ISSN 2181-385X

SCIENTIFIC TECHNICAL JOURNAL

CAFET

CENTRAL ASIAN FOOD ENGINEERING AND TECHNOLOGY



VOLUME 4 ISSUE 9
2026/9

Google Scholar

OLIY ATTESTATSIYA KOMISSIYASI

DIGITAL OBJECT IDENTIFIER

zenodo

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
TOSHKENT KIMYO-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

“CENTRAL ASIAN FOOD ENGINEERING AND TECHNOLOGY” ELEKTRON ILMIY JURNALI

OAK rayosatining 2023 yil 28-fevraldagi 333/5-son qarori bilan dissertatsiya ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy jurnallar ro‘yxatiga kiritilgan.

Texnika, qishloq xo‘jaligi, kimyo, biologiya, veterinariya yo‘nalishlari bo‘yicha yozilgan ilmiy maqolalar nashr etiladi.

2026/9

VOLUME 4 ISSUE 9

Toshkent 2026

ISSN 2181-385X

“Central Asian Food Engineering and Technology” elektron ilmiy jurnali 9-soni. – 2026-yil sentyabr

Bosh muharrir:
Botir Shukurillayevich Usmonov, t.f.d, professor.
Bosh muharrir o‘rinbosari:
Pulatov Xayrulla Lutpullayevich, k.f.d, professor.
Mas’ul kotib:
Sanayev Ermat Shermatovich, PhD, dotsent.
Texnik muharrir:
Xasanov Abbos Xasanovich, PhD, dotsent.

Tahrir hay’ati:

Gomez O. C., DSc. (Meksika)	*Ro‘ziboyev A.T., professor*
Erkmen O., DSc, professor. (Turkiya)	*Djaxangirova G.Z., professor*
Lee G.S., PhD. (Janubiy Koreya)	Yunusov M.Y., *t.f.d., professor*
Torices M. F., professor. (Ispaniya)	*Dodayev Q.O., t.f.d., professor*
Xakimov B.B., professor. (Daniya)	*Urinov U.K., t.f.d., professor*
Kirkor M.A., professor. (Belorussiya)	*Babaxanova Z.A., t.f.d., professor*
Isobayev M.D. (Tojikiston)	*Akramova R.R., PhD, professor*
Turobjonov S.M. t.f.d., akademik	*Shernayev A.N., PhD, professor*
Reymov A.M. akademik	*Normatov A.M., PhD, professor*
Raxmanberdiyev G.R., professor.	*Ayxodjayeva N. K. t.f.n, dotsent*
Serkayev Q.P., t.f.d., professor	*Saidvaliyev. S. S., t.f.d, dotsent*
Ikromov A., t.f.d., professor	*To’rayev T.B., t.f.d, dotsent*
Xo‘jamshukurov N.A., b.f.d. Professor	*Abduraximov A. X. PhD, dotsent*
Kadirov X. I., t.f.d., professor	*Maxmudov K.A., PhD, dotsent.*
Xakimov Z.T., t.f.d., professor	*Baltabayev U.N., PhD dotsent.*
Safarov T.T., *t.f.d., professor*	*Maxmudova D.X., PhD dotsent*
Yunusov O.Q., t.f.n., professor	*Salijonova Sh. D., t.f.d, dotsent*
Eminov A.M., t.f.d., professor	*Xodjayev S. F., PhD,dotsent*
Barakayev.N.R., t.f.d., professor	*Boboyev A.X., t.f.n, dotsent*
Abduraximov A.A., t.f.d., professor	*Qarshiyev T.O., t.f.n, dotsent*
Davronov Q.D., b.f.d. professor	*Mirzaqulov X.Ч., DSc, professor.*
Mkrtchyan R.V., t.f.d., professor	Jumayev B.M., *PhD, dotsent.*
Ataxanov. SH.N., t.f.d., professor	*Kamolov.A.B., PhD, dotsent.*

O‘zbekiston Respublikasi Prezidenti Administratsiyasi huzuridagi Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan 2022 yi 8-avgustda №1692 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Muassis: Toshkent kimyo-texnologiya instituti.
Tahririyat manzili: Toshkent shahri, Shayxontohur tumani, A. Navoiy ko‘chasi, 32.

УДК.574.52/583

UDK 665.117

KUNGABOQAR MOYINI FILTRLASH JARAYONI TADQIQOTI

Axmedov Azimjon Normo‘minovich,
Qarshi davlat texnika universiteti Oziq-ovqat mahsulotlari texnologiyasi kafedrasi professori, texnika fanlari doktori, professor, e-mail:a.ahmedov80@mail.ru
Haydarova Iroda Baxtiyor qizi,
G‘uzor tuman 1-son texnikum o‘qituvchisi, mustaqil izlanuvchi
e-mail:muhammadziyobehruzbek@gmail.com

Annotatsiya *Ushbu maqolada kungaboqar moyini tozalash bilan bog‘liq tahlillar keltirilgan bo‘lib, unda tadqiqot natijalari taqdim etiladi; xususan, bazalt asosidagi filtrlovchi material yordamida kungaboqar moyini mexanik usulda tozalash jarayoni ko‘rib chiqiladi hamda jarayon samaradorligi bazalt materialining zichligiga bog‘liqligi namoyish etiladi. Umuman olganda, filtrlashdan oldin aralashmalar miqdori 0,05 % ni tashkil etgan bo‘lsa, taklif etilgan bazalt tolali filtrlovchi material ushbu ko‘rsatkichni 0,02 % gacha kamaytirishga imkon berdi.*

Kalit so‘zlar: *bazalt asosidagi filtrlovchi material, kungaboqar moyi, birlamchi tozalash, cho‘kmadagi moy miqdori, kislotalilik, fosfatidlar, filtrlash.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

Ахмедов Азимжон Нормуминович,
профессор кафедры пищевых технологий Каршинского государственного технического университета, доктор технических наук; профессор,
e-mail:a.ahmedov80@mail.ru
Хайдарова Ирода Бахтиёр кизи,
преподаватель технического колледжа № 1 Гузарского района, самостоятельный соискатель; e-mail:muhammadziyobehruzbek@gmail.com

Аннотация *В данной статье представлены результаты анализа и исследований, касающихся очистки подсолнечного масла; в частности, рассматривается процесс механической очистки с использованием фильтрующего материала на основе базальта и демонстрируется зависимость эффективности этого процесса от плотности базальтового материала. В целом, использование предложенного фильтрующего материала из базальтового волокна позволило снизить содержание примесей с 0,05% (исходный уровень) до 0,02%.*

Ключевые слова: *фильтрующий материал базальтовый осмонский, масло подсолнечное, первичная очистка, масличность осадка, кислотность, фосфатиды, фильтрация*

RESEARCH ON THE SUNFLOWER OIL FILTRATION PROCESS

Akhmedov Azimjon Normuminovich,
Professor, Department of Food Technology, Karshi State Technical University; Doctor of Technical Sciences; e-mail:a.ahmedov80@mail.ru
Haydarova Iroda Bakhtiyor kizi,
Teacher at Guzar District Technical College No. 1; independent researcher,
e-mail:muhammadziyobehruzbek@gmail.com

Abstract *This article presents an analysis and research findings regarding the purification*

of sunflower oil; specifically, it examines the mechanical purification process using a basalt-based filtering material and demonstrates how the process efficiency depends on the density of the basalt material. Overall, while the impurity content prior to filtration was 0.05%, the proposed basalt-fiber filtering material enabled a reduction of this figure to 0.02%.

Key words: *osmonic basalt filter material, sunflower oil, primary treatment, sludge oil content, acidity, phosphatides, filtration*

Kirish. O‘simliy moylarini filtrlash jarayoni sanoat ishlab chiqarishida muhim bosqich hisoblanadi. [1]-manbada aniqlanishicha, mexanik filtrlash jarayonida qayta ishlanayotgan material qattiq va suyuq fazalarga ajraladi. O‘simlik moyi ishlab chiqarishda tozalash jarayoni yirik zarrachalar va mexanik aralashmalarni yo‘qotish maqsadida distillash, sentrifugalash va filtrlash usullarini o‘z ichiga oladi. Bundan tashqari, rafinatsiyalash jarayonidan so‘ng qolgan zarrachalarni tutib qolish hamda oqartirish bosqichidan keyin oqartiruvchi vosita zarrachalarini ajratib olish zarurdir [2].

Vintli presslarda moyni dastlabki yoki yakuniy ajratib olish bosqichlarida massa va shrot zarrachalari moy tarkibiga o‘tadi hamda moy oqimi bilan birga drenaj tirqishlari orqali tashqariga chiqadi. Moy tarkibida qattiq aralashmalarning mavjudligi uning sifatini pasaytiradi va keyingi qayta ishlash jarayonini murakkablashtiradi; bundan tashqari, ushbu aralashmalarning moy bilan o‘zaro ta’siri oksidlanish va fermentativ gidroliz jarayonlarini tezlashtiradi, natijada moyning ozuqaviy qiymati va organoleptik xossalari yomonlashadi [3].

Yog‘ni ajratib olish jarayonida fosfatidlar, mumlar, erkin yog‘ kislotalari, pigmentlar va boshqa qo‘shimcha birikmalar yog‘ tarkibiga o‘tadi. Fosfatidlar, sterollar va tokoferollar yog‘ning ozuqaviy qiymatini oshirsa-da, mumlar, erkin yog‘ kislotalari va gossipol uning sifatini pasaytiradi. Masalan, fosfatidlarning mavjudligi yog‘ni qayta ishlash xususiyatlariga salbiy ta’sir ko‘rsatib, rafinatsiyalash va gidrogenlash jarayonlarini murakkablashtiradi. Shu sababli, yog‘ sifatini saqlab qolishda uning dastlabki tozalanishi muhim ahamiyatga ega. Yog‘ning saqlash davomidagi barqarorligini oshirish uchun ushbu dastlabki tozalash jarayoni uni ajratib olishdan so‘ng darhol amalga oshirilishi lozim [4].

Filtrlash jarayonidagi muammolardan biri shundaki, moyning mayda zarralari filtrlovchi sirtni qoplagani sari jarayon samaradorligi pasayadi. Filtrni tozalash uchun sarflanadigan vaqt va mehnat ishlab chiqarish samaradorligini kamaytiradi [2].

Hozirgi vaqtda o‘simlik (kungaboqar) moylarini birlamchi tozalash jarayonida mavjud bo‘lgan yog‘siz shilimshiq moddalar, tozalangan moyni filtrlashda cho‘kmaga tushmaydigan mayda zarralar hamda oqartirish jarayonida mikrog‘ovaklar hosil qiluvchi o‘ta mayda zarralarning parchalanishi filtr sirtining tez tiqilib qolishiga olib kelmoqda.

Ushbu mavzu bo‘yicha olib borilayotgan tadqiqotning dolzarbligi shundaki, filtrlash jarayonida filtr yuzasining tiqilib qolishini oldini olish, shu orqali tozalashlar orasidagi xizmat muddatini uzaytirish va filtrlash samaradorligini oshirish maqsadida turli reagentlardan foydalanish mumkin.

Ishning maqsadi. O‘simlik manbalaridan olingan moylarni birlamchi tozalash jarayonini takomillashtirish.

Materiallar va usullar. Tadqiqotda moy-moyli mahsulotlar sanoatiga oid adabiyotlar, internetdagi nashrlar, statistik ma’lumotlar hamda moyni birlamchi tozalashning zamonaviy usullaridan foydalanilgan [5].

Natijalar va muhokama. O‘tkazilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, texnik hujjatlar talablariga javob bergan taqdirda, bazalt tolali filtrlovchi materialdan kungaboqar yog‘ini mexanik usulda filtrlashda foydalanish mumkin. Bu holat filtrlangan kungaboqar yog‘i ustidan o‘tkazilgan kimyoviy tahlilning ijobiy natijalari bilan tasdiqlanadi. Olingan ma’lumotlar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval

Bazalt filtri yordamida filtrlashdan oldin va keyin tozalanmagan kungaboqar yog‘ining ko‘rsatkichlari

№	Komponent nomi	Moy indekatori nazorati	Moy indikatori bazalt filtr yordamida filtrlanadi
1	Ranglilik (yod miqdoriga ekvivalent mg hisobida),	15	11
2	Kislotalik soni (mg KOH),	1,5	1,2
3	Yog‘siz moddalar (cho‘kma, massa ulushi bo‘yicha), %,	0,05	0,02
4	Fosfor saqlovchi moddalar, %, Stearooleolesitin hisobida P_2O_5 hisobida	 0,40 0,035	 0,30 0,025
5	Namlik va uchuvchan moddalar, %,	0,20	0,10
6	Sovun (sifat tahlili)	Ne obnarujeno	Ne obnarujeno
7	Yod soni (100 g mahsulotga to‘g‘ri keladigan g I2 hisobida)	125- 145	125- 145
8	Qo‘shimcha moddalar, %,	1,2	1,0

Kungaboqar yog‘ini bazalt asosidagi filtrlovchi material yordamida mexanik tozalash jarayoni amalga oshirilishi va uning samaradorligi bazalt materialining zichligiga bog‘liqligi aniqlandi. Xususan, filtrlashdan oldingi dastlabki aralashmalar miqdori 0,05 foizni tashkil etgan bo‘lsa, taklif etilgan bazalt tolali filtr matosi ushbu ko‘rsatkichni 0,02 foizgacha kamaytirishga imkon berdi. Bundan tashqari, yog‘ rangi va kislotalilik darajasi kabi boshqa sifat ko‘rsatkichlarida ham yaxshilanishlar kuzatildi; ushbu o‘zgarishlar o‘simlik moylarini qayta ishlash va neytrallash jarayonida ishqor sarfini kamaytirishga, natijada esa ishlab chiqarish xarajatlarini qisqartirib, yog‘-moy korxonalari uchun sezilarli iqtisodiy samara berishga xizmat qiladi.

Xulosalar. Mavjud va taklif etilayotgan filtrlardan foydalangan holda o‘simlik moyini filtrlash jarayonini tahlil qilish bazalt filtrlarni qo‘llash afzallik berishi haqidagi xulosaga olib keldi.

Bazalt tolali filtr yordamida o‘simlik moyini filtrlashda moy tarkibidagi cho‘kma miqdori 0,05% dan 0,02% gacha kamayishi, shuningdek, rang, kislotalilik darajasi va boshqa ko‘rsatkichlarning yaxshilanishi aniqlandi; bundan tashqari, filtrlovchi materialning xizmat qilish muddati uzayib, unumdorlik oshishiga erishildi. O‘simlik moyini filtrlash tezligi standart filtrlarnikiga nisbatan 1,1-2,0 baravar yuqori ekanligi aniqlandi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. O‘Brien. Fats and oils: Production, structure and properties, application. St.Petersburg, Professiya Publ. -2007, -P.752.

2. Никонович С.Н., Т.И. Тимофеенко, И.В. Спильник, Е.В.Скакалин Новые типы растительных масел “Идеального” состава. //Известия вузов. Пищевая технология. -2005, -№2-3, -106-110 с.

3. Шмидт А.А. Теоретические основы рафинации растительных масел. -М.: Пишчепромиздат. -1990, - С.443.

4. Эркаева Н.Ч., Ахмедов А.Н. Исследование процесса фильтрации растительных масел. // Universum: технические науки. - Москва, 2022. -№1(94). –С.73-75. (02.00.00; №1).

5. Кадиров Й. Лабораторний практикум по технологии масложировая переработки. Т:, Чулпан., 2005. –С 138.

УДК 664.8 (075.3)

ТОВАРНОЕ КАЧЕСТВО ТОМАТОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СЫРЬЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ

ХУЖАКУЛОВ Улугбек Каримкулович
Доктор философии по техническим наукам (PhD)
e-mail: ulug1989@inbox.ru
МАЖИДОВА Наргиза Кахрамоновна
Доктор технических наук, (DSc) профессор
e-mail: nargiz-1234n@mail.ru
МАЖИДОВ Кахрамон Халимович
Доктор технических наук, профессор
Бухарский государственный технический университет
г. Бухара, Республика Узбекистан
e-mail: kafedra-03@mail.ru

Аннотация – *Исследовано изменение товарного качества отдельных сортов томатов при обработке сырья воздействием электромагнитного поля. Изучены микробиологические и биохимические показатели томатов при предварительной обработке сырья. Установлены режимы и условия, обеспечивающие показатели качества томатов в процессе хранения.*

Ключевые слова *– Сорта томатов, электромагнитная обработка, плесневые грибы, товарное качество, биохимические показатели*

Результаты и их обсуждения.

Проведен эксперимент с использованием ранее установленных наиболее эффективных величин частот, магнитной индукции, длительности и кратности обработки ЭМП, а также с различными типами формирования ЭМП, с использованием однородного и неоднородного ЭМП [1,2]. В таблице 1 приведены средние микробиологические показатели, число КОЕ/г указанных культур микроорганизмов в результате воздействия выбранных режимов ЭМП в четырех повторностях опытов.

Как видно из таблицы 1, в случае использования неоднородного ЭМП и других ранее установленных наиболее эффективных параметров ЭМП во время воздействия на выбранные культуры плесневых микроорганизмов происходит: снижение числа микроорганизмов всех трех указанных культур на 6 порядков (с $1*10^7$ до 1*10) во всех четырех повторностях эксперимента.

Таблица 1

Микробиологические показатели культур плесневых микроорганизмов

Однократная обработка ЭМП, f=38 Гц, t=30 мин, ß=6 мТл	Контроль	Однородное поле	Неоднородное поле
КОЕ/г	1*107	1*10	1*10
Доверительный интервал, p	1	0,99	1
Однократная обработка ЭМП, f=38 Гц, t=50 мин, ß=6 мТл	Контроль	Однородное поле	Неоднородное поле
КОЕ/г	1*107	1*10	1*10
Доверительный интервал, p	1	0,99	1

По результатам проведенной серии опытов с помощью метода статистической обработки результатов экспериментов, использованного в работе была выведена формула зависимости эффективности электромагнитной обработки трех ранее выведенных видов

культур [3] плесневых микроорганизмов от параметров ЭМП и некоторых факторов, способных повлиять на результаты обработки.

$$A_1A_2BCDK_1K_2 = F, \quad (1)$$

где A_1 и A_2 - наиболее значимые параметры ЭМП, способные повлиять на результаты обработки, величины частоты (Гц) и длительности (ч, мин) обработки соответственно;

B - следующий по значимости параметр ЭМП, способный повлиять на результаты обработки, величина магнитной индукции (Тл);

C - следующий по значимости после величины магнитной индукции параметр электромагнитной обработки, значение кратности обработки ЭМП;

D - последний по значимости после остальных параметр ЭМП, способный повлиять на результаты обработки, тип модуляции ЭМП (однородная, неоднородная);

K_1 и K_2 - значения температуры и влажности соответственно являются постоянными в данной формуле, т.к. значения их величин во время обработки всегда должны быть стабильными т.е. соответствовать нормальным условиям окружающей среды.

F - значение величины числа КОЕ/г культур выведенных трех видов плесневых микроорганизмов после обработки ЭМП.

Кроме того, следует отметить тот факт, что отличия значений величины КОЕ/г всех трех культур плесневых микроорганизмов, использованных в каждой повторности эксперимента, друг от друга составляли не более 5 %, что также свидетельствует о достоверности результатов опытов.

Далее с использованием полученной формулы зависимости был спланирован и проведен эксперимент с использованием некоторых установленных ранее наиболее эффективных величин параметров ЭМП в процессе обработки самих томатов двух разновидностей сорта “Навбахор” (красные, бурые), при этом для достоверности результатов эксперимента некоторые параметры менялись в ходе проведения исследований, а результаты опытов сравнивались по различным показателям качества.

Сырье хранили в сезон 2024 года в течение одного месяца при температуре 2-6 °С, а также относительной влажности воздуха 90 - 92 % для обеих разновидностей. На хранение томаты двух разновидностей данного сорта были заложены в специальной таре. Все сырье перед закладкой на хранение подвергалось воздействию ЭМП. Кроме того, для сравнения результатов эксперимента были также заложены на хранение томаты, не обработанные ЭМП (контрольные образцы). При этом каждый образец томатов составлял не менее 1 кг массы нетто. Опыт проводился в четырех повторностях обработки каждого режима ЭМП.

Далее приведены средние сравнительные данные наилучших результатов проведенного эксперимента по хранению томатов выбранного сорта с использованием специально подобранных режимов ЭМП, а также контрольных образцов от четырех повторностей.

В таблицах 2 и 3 приведены показатели товарного качества томатного сырья двух разновидностей сорта “Навбахор”, обработанных ЭМП перед закладкой на хранение, а также контрольных образцов. Обработанное сырье и контрольные образцы хранились в течение 1 месяца в одинаковых условиях.

Таблица 2

Показатели товарного качества томатов сорта “Навбахор” (красные)

Показатели качества томатов	Способ хранения сырья				
	Контроль	ЭМП (неоднор.) f=38,0 Гц, ß=6 мТл, t=10 мин)	ЭМП (неоднор.) f=38,0 Гц, ß=6 мТл, t=20 мин)	ЭМП (неоднор.) f=38,0 Гц, ß=6 мТл, t=30 мин	ЭМП (неоднор.) f=38,0 Гц, ß=6 мТл, t=50 мин)
Естественная убыль,	4,2	3,0	3,5	0,9	3,3

Микробиологическая порча (альтернариоз, антракноз), %	42,5	14,9	40,5	0	4,0
Сумма потерь, %	46,7	17,9	44,0	0,9	7,3
Максимальный выход товарной продукции, %	53,3	82,1	56,0	99,1	92,7

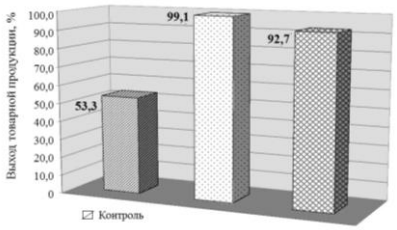
Таблица 3

Товарное качество томатов сорта “Навбахор” (бурые)

Показатели качества томатов	Способ хранения сырья				
	Контроль	ЭМП (однородное) f=18,0 Гц, ß=6 мТл, t=50 мин	ЭМП (неоднородное) f=18,0 Гц, ß=6 мТл, t=50 мин	ЭМП (однородное) f=38 Гц, ß=6 мТл, t=50 мин	ЭМП (не однородное) f=38 Гц, ß=6 мТл, t=50 мин
Естественная убыль, %	3,5	3,2	1,2	3,2	1,6
Микробиологическая порча (альтернариоз, антракноз, ботритиоз), %	50,0	17,0	18,8	12,1	7,0
Сумма потерь, %	53,5	20,2	20,0	15,3	8,6
Максимальный выход товарной продукции, %	46,5	79,8	80,0	84,7	91,4

Как видно из таблицы 2 и 3, убыль массы сырья за месяц хранения в опытных образцах составила 0,9 - 3,3 % в красных томатах сорта “Навбахор” и 1,2 - 3,2 % в бурых, а в контрольных образцах убыль массы сырья за аналогичный срок составила - 4,2 % и 3,5 % соответственно.

На рисунке 1 изображена диаграмма влияния обработки ЭМП томатов сорта “Навбахор” (красные) перед закладкой на хранение в течение 1 месяца, на максимальный выход товарной продукции.



Томаты, обр. ЭМП, f = 38 Гц, t = 30 мин., В = 6 мТл, поле неоднородное

Томаты, обр. ЭМП, f = 38 Гц, t = 50 мин., В = 6 мТл, поле неоднородное

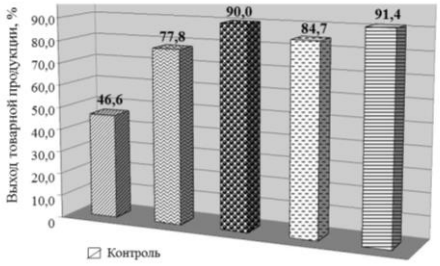
Рис. 1 - Влияние обработки ЭМП томатов сорта “Навбахор” (красные), на максимальный выход товарной продукции

На рисунке 2 изображена диаграмма зависимости максимального выхода товарной продукции томатов сорта “Навбахор” (бурые), после 1 месяца хранения от типа формирования ЭМП и частоты обработки при величине магнитной индукции В = 6 мТл.

Из рисунков 1 и 2 можно сделать вывод о том, что максимальный выход стандартной товарной продукции спустя месяц хранения сырья зависит от типа формирования ЭМП,

частоты и времени обработки. Максимальный процент выхода качественной продукции составил 90,0 - 91,4 % и был получен при обработке томатов сорта “Навбахор” (бурых) неоднородным ЭМП в течение 50 минут с частотой 38 Гц при величине магнитной индукции В=6 мТл.

Для томатов сорта “Навбахор” (красных) наиболее оптимальным режимом обработки ЭМП является обработка неоднородным электромагнитным полем с частотой 38 Гц в течение 30 минут при величине магнитной индукции В=6 мТл, при этом потери после 1 месяца хранения от убыли массы сырья и потерь от микробиологической порчи составляют всего 0,9 %.



Томаты, обр. ЭМП, f = 18 Гц, t = 50 мин, поле однородное

Томаты, обр. ЭМП, f = 18 Гц, t = 50 мин, поле неоднородное

Томаты, обр. ЭМП, f = 38 Гц, t = 50 мин., поле однородное

Томаты, обр. ЭМП, f = 38 Гц, t = 50 мин., поле неоднородное

Рис. 2 - Зависимость максимального выхода товарной продукции томатов сорта “Навбахор” (бурые), после 1 месяца хранения от однородности ЭМП и частоты обработки при величине магнитной индукции В = 6 мТл

На рисунке 3 представлена диаграмма зависимости поражения томатов сорта “Навбахор” (красных) заболеваниями, вызванными грибковыми микроорганизмами (альтернариоз, антракноз, ботритиоз) от времени обработки ЭМП с частотой 38 Гц при величине магнитной индукции В=6 мТл.

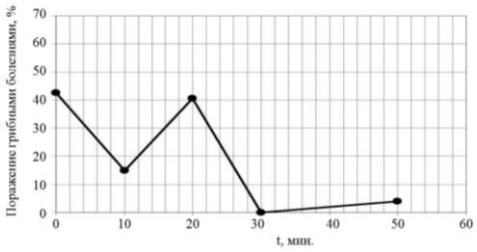


Рис. 3 - Диаграмма зависимости поражения томатов сорта Навбахор (красных) заболеваниями, вызванными плесневыми (грибковыми) микроорганизмами (альтернариоз, антракноз, ботритиоз) от времени обработки ЭМП с частотой 38 Гц при величине магнитной индукции В=6мТл

Из анализа данной диаграммы зависимости можно сделать вывод о том, что в случае изменения времени обработки от 0 до 10 минут, поражение томатов сорта “Навбахор” (красных) заболеваниями, вызванными грибковыми микроорганизмами снижается до 15 %, при длительности обработки в течение 20 минут поражение заболеваниями, вызванными грибковыми микроорганизмами возрастает и соответствует контрольным образцам (40,5 %). В случае увеличения длительности обработки до 30 минут, потери от грибковых микроорганизмов являются минимальными (близкими к нулю), а в дальнейшем, при длительности обработки в течение 50 минут, потери сырья лишь незначительно повышаются до 4 %.

В таблицах 4 и 5 приведены биохимические показатели качества томатов сорта “Навбахор” (красные, бурые), обработанные ЭМП перед закладкой на хранение, а также контрольных образцов.

Таблица 4

Биохимические показатели качества томатов сорта “Навбахор” (красные), обработанные ЭМП перед закладкой на хранение

Показатели качества томатов	Способ хранения			
	сырье	Контроль	ЭМП (неоднородное f=38,0 Гц, ß=6 мТл, t=30 мин)	ЭМП (неоднородное f=38,0 Гц, ß=6 мТл, t=50 мин)
Сухие вещества, растворимые, %	5,7	5,5	5,6	5,6
Общий сахар, %	4,2	3,32	3,54	3,49
Общая кислотность, %	0,40	0,55	0,49	0,47
Витамин С, мг %	23,6	19,4	23,2	22,8

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что потери сухих веществ за месяц хранения в контрольных образцах составили 3,5 % для томатов сорта “Навбахор” (красных) и 5,8 % для томатов сорта “Навбахор” (бурых). В образцах, обработанных ЭМП, потери оказались в 2 раза ниже и составили 1,7 % и 2,9 % соответственно.

Таблица 5

Биохимические показатели качества томатов сорта “Навбахор” (бурые), обработанные ЭМП перед закладкой на хранение

Показатели качества томатов	сырье	Контрольные образцы	обработан. ЭМП (однородное) f=18,0 Гц, ß=6 мТл, t=50 мин	обработан. ЭМП (неоднородное) f=18,0 Гц, ß=6 мТл, t=50 мин	обработан. ЭМП (однородное) f=38 Гц, ß=6 мТл, t=50 мин	обработан. ЭМП (неоднородное) f=38 Гц, ß=6 мТл, t=50 мин
Сухие вещества, растворимые, %	5,8	5,5	5,6	5,7	5,6	5,9
Общий сахар, %	3,8	3,30	3,40	3,47	3,44	3,50
Общая кислотность, %	0,42	0,43	0,47	0,50	0,50	0,55
Витамин С, мг %	17,6	20,2	22,0	23,0	22,3	23,3

Кроме того, зависимость для обработанных ЭМП и необработанных образцов сырья наблюдается в динамике витамина С и сахаров. Потеря сахаров в процессе хранения связана с их расходом на дыхание сырья, но обработка сырья ЭМП снижает данные потери на 5 - 6 % по сравнению с контрольными образцами, для обеих разновидностей томатов сорта “Навбахор”.

Из таблиц 4 и 5 заметно, что в процессе хранения изменяется еще и содержание витамина С. Резкое снижение витамина С наблюдается после 1 месяца хранения контрольных образцов томатов сорта “Навбахор” (красных). В них потери составили 16 %, в то время как в обработанных ЭМП образцах сырья содержание витамина С отмечалось

стабильным, лишь с минимальными потерями от первоначального количества его в исходном сырье. Следует отметить, что в томатах сорта “Навбахор” (бурых), в процессе 1 месяца хранения наблюдалось накопление витамина С в контрольных и опытных образцах. Данный факт можно объяснить тем, что в сырье происходил процесс дозревания, однако в образцах, обработанных ЭМП, данный процесс проходил с большей интенсивностью (табл. 5).

Выводы:

Максимальный выход стандартной товарной продукции спустя месяц хранения сырья зависит от типа формирования ЭМП, частоты и времени обработки. Максимальный процент выхода качественной продукции составил 90,0 - 91,4 % и был получен при обработке томатов сорта “Навбахор” (бурых) неоднородным ЭМП в течение 50 минут с частотой 38 Гц при величине магнитной индукции В=6 мТл. В томатах сорта “Навбахор” (бурых), в процессе 1 месяца хранения наблюдалось накопление витамина С в контрольных и опытных образцах.

Использованная литература:

1. Хужакулов У.К., Мажидова Н.К., Мажидов К.Х. Анализ и обзор современных технологий увеличения сроков годности местных сортов плодоовощной продукции. // Journal of food science. Volume 4, ISSUE 1, 2026 ISSN: 2181-385X –P. 25-29.
2. Khujakulov U.K., Majidova N.K., Majidov K.Kh. Innovative installations for the long-term storage of local vegetable raw materials. // Journal Food and Humanity. Contents lists available at ScienceDirect. 7 (2026) 101439. –P.1-6.
3. Богатырева, Т.Г. Технологии пищевых продуктов с длительными сроками хранения / Т.Г.Богатырева, Н.В.Лабутина. - СПб.: Профессия, 2013 - 184с.

УДК 664.8 (075.3)

ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ИНТЕНСИВНОСТИ ДЫХАНИЯ ПРИ ХРАНЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ

ХУЖАКУЛОВ Улугбек Каримкулович
Доктор философии по техническим наукам (PhD)
e-mail: ulug1989@inbox.ru
МАЖИДОВА Наргиза Кахрамоновна
Доктор технических наук, (DSc) профессор
e-mail: nargiz-1234n@mail.ru
МАЖИДОВ Кахрамон Халимович
Доктор технических наук, профессор
Бухарский государственный технический университет
г. Бухара, Республика Узбекистан
e-mail: kafedra-03@mail.ru

Аннотация – *Исследованы процессы дыхания при длительном хранении отдельных видов сельскохозяйственного сырья. Изучено изменение показателя интенсивности дыхания в процессе хранения. Установлено, что интенсивность дыхания контрольных и опытных плодов в течение 25-35 сут увеличивается. Этот показатель в контрольных образцах остается выше, чем в опытных. В контрольных плодах интенсивность дыхания снижается. Изменение интенсивности дыхания в процессе хранения плодов по режиму идентично.*

Ключевые слова – *сельскохозяйственное сырье, хранение, процессы дыхания, интенсивность, оптимальные режимы.*

Результаты и их обсуждения.

Клеточным дыханием называют совокупность протекающих в каждой клетке ферментативных процессов, в результате которых молекулы углеводов, жирных кислот и аминокислот расщепляются в конечном итоге до диоксида углерода и воды, а освобождающаяся энергия запасается клеткой и затем используется на обменные процессы [1,2].

В результате дыхания растительные клетки получают энергию, необходимую для поддержания их жизнедеятельности. Вместе с тем значение дыхания не ограничивается поставкой энергии. Дыхание - сложный многостадийный окислительно-восстановительный процесс. На его промежуточных этапах в процессе хранения растительного сырья из запасных питательных веществ образуются новые органические соединения, которые затем используются в различных метаболических реакциях. Таким образом, дыхание - источник многих метаболитов.

На интенсивность дыхания влияют различные повреждения: механические, микробиологические и физиологические [3,4]. Установлено, что интенсивность дыхания многих видов плодов при нанесении механических повреждений возрастает, особенно в первый период, что обусловлено повышением затрат энергии на биосинтез веществ защитного характера (суберина, полифенолов, фитоалексинов и др). Усиление дыхания при повреждении сельскохозяйственными вредителями, грызунами, микроорганизмами, физиологическими болезнями объясняется затратами энергии на образование защитных барьеров, некрозов, биосинтез бактерицидных веществ, активизацию окислительных ферментов.

Дыхание многих видов плодов, усиливается сначала до максимального уровня, после чего происходит снижение его интенсивности. Сам подъем дыхания является лишь внешним

проявлением качественной перестройки происходящих в плодах биохимических процессов. Усиление дыхания при созревании плодов связывают с ослаблением структурной целостности клетки, с активацией синтеза белка и разобщением окисления и фосфорилирования. При созревании изменяются структура и функции клетки, особенно их проницаемость.

На рисунке 1 приведена схема образования диоксида углерода при дыхании растительной продукции. Повышение интенсивности дыхания при созревании связывают с активацией малатной системы. Ключевым ферментом этой системы является малик-фермент или малатдегидрогеназа декарбоксилирующая. Принято считать, что основная функция малик-фермента состоит в регуляции уровня С4-кислот: фермент удаляет избыток яблочной кислоты, декарбоксилируя её до CO2 и пирувата (рисунок 1). Эта функция имеет важное значение для растительных тканей: малик-фермент активируется в клетках именно в тот период, когда дифференцируется вакуоль, и удаляет избыток яблочной кислоты, по тем или иным причинам не поступавшей в вакуоль. При декарбоксилировании малата образуется НАДФ^Н, который вовлекается в различные реакции биосинтеза. В ходе реакции декарбоксилирования малата образуется пируват. Приток пирувата влечёт за собой активацию пируватдекарбоксилазы и усиление образования ацетальдегида и спирта.

На активность малик-фермента могут влиять кислоты, входящие в цикл трикарбоновых кислот. Щавелевоуксусная, лимонная, изолимонная и α-кетоглутаровая кислоты образуются в цикле из яблочной кислоты и могут подавлять активность малик-фермента. Янтарная и фумаровая кислоты - предшественники яблочной кислоты в цикле, активируют при низких концентрациях субстрата, но сами подавляют активность фермента.

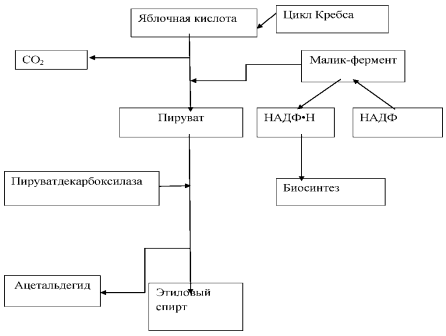


Рис. 1-Схема образования диоксида углерода при дыхании

Интенсивность дыхания (Id) плодов является обменным процессом и характеризует их физиологическое состояние, которое существенно зависит от воздействия внешних факторов, в частности, температуры и обработки биопрепаратами.

Значения Id плодов клементинов и ортаник существенно не отличаются и при температуре t=(+4±1) 0С составляют (3,8±0,2) и (3,5±0,2) мгCO2/(кг.ч). После обработки плодов биопрепаратами в течение 2 сут интенсивность дыхания повышается до значений (4,4±0,2) мгCO2/(кг.ч) и (3,8±0,2) мгCO2/(кг.ч) а затем постепенно снижается до первоначальных значений.

На рисунках 2, 3 и 4 приведены данные по изменению интенсивности дыхания клементинов и ортаник в зависимости от типа биопрепарата и продолжительности их хранения.

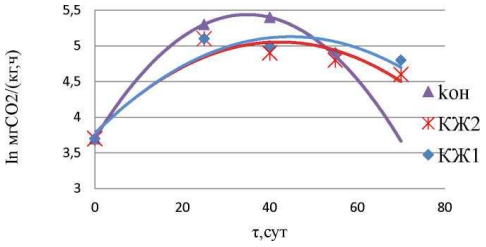


Рис. 2- Изменение интенсивности дыхания (I_d) при хранении сельхозсырья

Как следует из рисунка 2, в процессе хранения интенсивность дыхания контрольных и опытных плодов в течение 25-35сут увеличивается и в контрольных образцах остается выше, чем в опытных. При понижении температуры до $+4^0$C дыхание снижается при дальнейшем хранении плодов до 70 сут. В контрольных плодах интенсивность дыхания снижается, что можно объяснить реакцией декарбоксилирования органических кислот и преобладанием анаэробного дыхания.

Изменение интенсивности дыхания в процессе хранения плодов клементинов и ортаник по режиму 1 (Р) идентично.

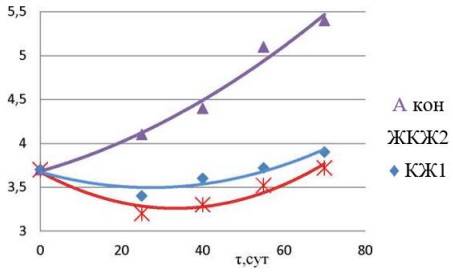


Рис. 3 - Изменение интенсивности дыхания (I_d) плодов, обработанных биопрепаратами, от продолжительности хранения при температуре t=(+4±1) ^{0}C, (Р2)

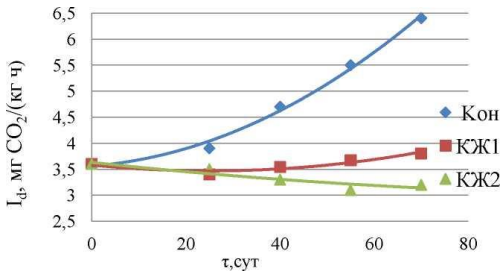


Рис. 4-Изменение интенсивности дыхания (I_d) плодов, обработанных биопрепаратами, от продолжительности хранения при температуре t=(+4±1) ^{0}C, (Р2)

Как следует из рисунка 4, в процессе хранения интенсивность дыхания контрольных образцов плодов увеличивается и остается выше, чем в опытных в течение всего периода хранения. Повышение интенсивности дыхания можно объяснить изменением физиологического состояния плодов и развитием патогенов на их поверхности.

Не установлено существенных различий по интенсивности дыхания плодов клементинов и ортаник, обработанных КЖ1 и КЖ2. Снижение этого показателя при хранении опытных образцов, возможно, связано с подавлением активности пиридиновых и флавиновых дегидрогеназ, а также цитохромоксидаз метаболитами бактерий-антагонистов.

Пытались связать устойчивость растений к инфекционным заболеваниям, в том числе плодов и овощей, с уровнем дыхания их тканей. Возможно, что более высокой устойчивостью должны обладать растения с низким уровнем дыхательного газообмена, так как с усилением дыхания увеличивается расход питательных веществ, а это должно привести к более быстрому истощению растительных тканей. Другая точка зрения состоит в том, что наиболее лежкими объектами являются те, которые характеризуются высоким уровнем дыхания. Не меньшее число данных свидетельствует об отсутствии прямой связи между лёжкостью плодов и овощей и присущим их тканям уровнем дыхательного газообмена.

Выводы: таким образом, можно предположить, что на основании определения интенсивности дыхания здоровых плодов практически невозможно судить об их лёжкости. Вместе с тем при хранении обязательным условием для защиты от болезней является поддержание в тканях на определённом уровне дыхательного газообмена, исключающее какие-либо нарушения в согласованной работе звеньев во всей цепи биологического окисления. Только при этом условии может быть наиболее полно использована устойчивость, которая присуща растительной ткани.

Использованная литература:

1.Богатырева, Т.Г. Технологии пищевых продуктов с длительными сроками хранения / Т.Г.Богатырева, Н.В.Лабутина. - СПб.: Профессия, 2013 - 184с.
2.ГОСТ Р 50421-92. Фрукты и овощи. Принципы и технологические приемы хранения в регулируемых газовых средах [Текст]. Дата введения 01.01.1994.
3.Khujakulov U.K., Majidova N.K., Majidov K.Kh. Innovative installations for the long-term storage of local vegetable raw materials. // Journal Food and Humanity. Contents lists available at ScienceDirect. 7 (2026) 101439. –P.1-6.
https://doi.org/10.1016/j.foohum.2026.101439

4.Хужакулов У.К., Мажидова Н.К., Мажидов К.Х. Оценка физикохимической характеристики местных сортов овощной продукции для хранения. // Development of science Volume 3. ISSN 3030-3907. Yanvar 2026/1.-P.139-145.

ПЭТ ЧИҚИНДИЛАРИНИ ТЭА ИШТИРОКИДА АМИНОЛИЗЛАШ АСОСИДА LS-MTI МИНЕРАЛ ТУЗЛАР ТЎПЛАНИШИ ИНГИБИТОРИНИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ ТЕХНОЛОГИЯСИ

Холматова Фотима Искандар қизи *- Тошкент кимё-технология институти "Нефт ва газни қайта ишлаш кимёвий технологияси" кафедраси таянч докторанти. xolmatovafotima93@gmail..com*
Раҳимов Хусниддин Нурбобоевич *- Тошкент кимё-технология институти "Нефт ва газни қайта ишлаш кимёвий технологияси" кафедраси доценти, Техника фанлари бўйича фалсафа доктори, PhD. xusniddin.raximov.89@gmail.com https://orcid.org/0009-0009-3607-5921*
Қодиров Ҳасан Иргашевич *- Тошкент кимё-технология институти "Асосий органик синтез" кафедраси профессори, Техника фанлари доктори. tkti.kodirov@mail.ru*
Машаев Элдор Эргашвой ўғли *- Тошкент кимё-технология институти "Нефт ва газни қайта ишлаш кимёвий технологияси" кафедраси доценти в.б., Кимё фанлари бўйича фалсафа доктори, PhD. eldor.mashayev@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-4594-3670*
Мардонов Асрор Ҳасанович *ЎзР ФА академик С.Ю.Юнусов номидаги Ўсимлик моддалари кимёси институте.amardonov3011@gmail.com*
Обидов Шоюнус Ботир ўғли *- Тошкент кимё-технология институти "Нефт ва газни қайта ишлаш кимёвий технологияси" кафедраси, Техника фанлари бўйича фалсафа доктори, PhD. shoobidov@gmail.com https://orcid.org/0000-0002-7678-4249*

Аннотация. *Мақолада ПЭТ асосидаги иккиламчи маҳсулотларни триэтаноламин (ТЭА) иштирокида аминолизлаш ва ҳосил бўлган маҳсулот асосида LS-MTI минерал тузлар тўпланиши ингибиторини олиш технологияси кўриб чиқилган. Технологик жараён уч асосий босқичдан ташкил топган: R1 реакторда ПЭТ чиқиндиларини ТЭА билан аминолизлаш, R2 реакторда синтез маҳсулоти асосида ингибирланган кислота олиш ва R3 реакторда карбамид, ортофосфор кислотаси, формальдегид ҳамда ДЭА иштирокида синергетик минерал тузлар тўпланиши ингибиторини шакллантириш. Аминолиз жараёнида ПЭТ материали 100 °С гача бир соатда қиздирилиб, кейин 225 °С гача яна бир соатда кўтарилган ва 225 °С да 6 соат ушлаб турилган. Иккинчи босқич 40–60 минут, учинчи босқич 30–40 минут давом этади. Технологик схема реакторлар, сиғимлар, насослар, фильтрлар ва иситиш-суюқлик айлантириш элементларидан ташкил топган. Маҳсулотнинг коррозиядан ҳимоялаш даражаси ТУ 6-01-04-689381-85-91 талаблари асосида назорат қилиниб, 90 % дан кам бўлмаган натижага эришилганда учинчи босқичда минерал тузлар тўпланишига қарши ингибиторнинг синергетик таркиби олинади. Якуний маҳсулот фильтрланиб, сиғимга жойланади ва омборга юборилади. Технология бўйича тажриба-синов ишлари Тошкент кимё-технология институти ва «Geo Research and Development Company» ОАЖ билан ҳамкорликда «Электрокимёзаводи» ҚК-АЖда ўтказилган ҳамда маҳсулот «Шўртаннефтгаз» ҚКда синовдан ўтказилган.*

Калит сўзлар: *ПЭТ чиқиндиси, аминолиз, триэтаноламин, LS-MTI, минерал тузлар тўпланиши, ингибитор, ингибирланган кислота, синергетик таркиб, технологик схема, коррозиядан ҳимоя.*

TECHNOLOGY FOR PRODUCING LS-MTI MINERAL SCALE INHIBITOR BASED ON AMINOLYSIS OF PET WASTE IN THE PRESENCE OF TRIETHANOLAMINE

Abstract. *The article considers the aminolysis of PET-based secondary products in the presence of triethanolamine (TEA) and the technology for producing an LS-MTI mineral scale inhibitor based on the obtained product. The technological process consists of three main stages: aminolysis of PET waste with TEA in reactor R1, production of inhibited acid based on the synthesized product in reactor R2, and formation of a synergistic mineral scale inhibitor composition in reactor R3 in the presence of urea, orthophosphoric acid, formaldehyde and DEA.*

During aminolysis, the PET material is heated to 100 °C for one hour, then to 225 °C for another hour and held at 225 °C for 6 hours. The second stage lasts 40–60 minutes and the third stage 30–40 minutes. The technological scheme includes reactors, vessels, pumps, filters and heating/circulation elements. The corrosion protection degree of the product is controlled according to TU 6-01-04-689381-85-91; when a result of not less than 90 % is achieved, the third stage for obtaining the synergistic mineral scale inhibitor composition is carried out. The final product is filtered, transferred to a vessel and sent to the warehouse. Pilot tests of the technology were carried out at Elektrokimyovod Plant in cooperation with Tashkent Chemical-Technological Institute and Geo Research and Development Company OJSC, and the product was tested at Shurtan Oil and Gas Production Joint Stock Company.

Keywords: *PET waste, aminolysis, triethanolamine, LS-MTI, mineral scale, inhibitor, inhibited acid, synergistic composition, technological scheme, corrosion protection.*

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИНГИБИТОРА МИНЕРАЛЬНЫХ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ LS-MTI НА ОСНОВЕ АМИНОЛИЗА ОТХОДОВ ПЭТ В ПРИСУТСТВИИ ТРИЭТАНОЛАМИНА

Аннотация. *В статье рассмотрены аминолиз вторичного продукта на основе ПЭТ в присутствии триэтаноламина (ТЭА) и технология получения на основе полученного продукта ингибитора минеральных солеотложений LS-MTI. Технологический процесс состоит из трех основных стадий: аминолиз отходов ПЭТ с ТЭА в реакторе R1, получение ингибированной кислоты на основе синтезированного продукта в реакторе R2 и формирование синергетического состава ингибитора минеральных солеотложений в реакторе R3 в присутствии карбамида, ортофосфорной кислоты, формальдегида и ДЭА. В процессе аминолиза материал ПЭТ нагревают до 100 °C в течение одного часа, затем в течение еще одного часа до 225 °C и выдерживают при 225 °C в течение 6 часов. Вторая стадия длится 40–60 минут, третья — 30–40 минут. Технологическая схема включает реакторы, емкости, насосы, фильтры и элементы нагрева/циркуляции. Степень защиты продукта от коррозии контролируют в соответствии с ТУ 6-01-04-689381-85-91; при достижении результата не менее 90 % осуществляют третью стадию получения синергетического состава ингибитора минеральных солеотложений. Готовый продукт фильтруют, направляют в емкость и на склад. Опытно-промышленные испытания технологии проведены на АО «Электрохимзавод» при сотрудничестве Ташкентского химико-технологического института и ОАО «Geo Research and Development Company», а продукт испытан на СП АО «Шуртаннефтегаз».*

Ключевые слова: *отходы ПЭТ, аминолиз, триэтаноламин, LS-MTI, минеральные солеотложения, ингибитор, ингибированная кислота, синергетический состав, технологическая схема, защита от коррозии.*

Кириш. Минерал тузларининг қувурлар, иссиқлик алмашинуви аппаратлари, насослар ва нефт-газ қудуқларининг ишчи зоналарида тўпланиши технологик тизимларнинг ишончлилиги ва иш унумдорлигига салбий таъсир қилувчи омиллардан биридир. Масштабнинг ҳосил бўлиши натижасида қувурнинг самарали кесими қисқаради, гидравлик қаршилик ортади, иссиқлик алмашинуви ёмонлашади ва жиҳозларни тозалаш ҳамда таъмирлашга эҳтиёж пайдо бўлади. Нефт-газ тизимларида $CaCO_3$, $CaSO_4$ ва бошқа минерал фазалар билан боғлиқ тўпланишлар айниқса муҳим бўлиб, уларни назорат қилишда кимёвий ингибиторлар кенг қўлланилади [1–3]. Замонавий минерал тузлар тўпланиши ингибиторларининг асосий гуруҳларига фосфатлар, органофосфонатлар, поликарбоксилатлар ва сульфонатланган полимерлар киради. Уларнинг таъсир механизми кальций ионларини боғлаш, кристалланиш ядроларининг ҳосил бўлишини секинлаштириш, кристалл ўсишининг фаол марказларини блоклаш, кристалл морфологиясини ўзгартириш ва ҳосил бўлган заррачаларни диспергирлашни қамраб олади [1,4,5]. Шу сабабли юқори самарали ингибитор таркибини ишлаб чиқишда функционал гуруҳларнинг сони, уларнинг

заряд ҳолати, полимер матрицаси ва сувдаги икки валентли катионлар билан ўзаро таъсири муҳим аҳамият касб этади. Фосфонатлар минерал тузлар ингибиторлари орасида юқори самарадорлиги билан ажралиб туради. Адабиётларда фосфонатларнинг $CaCO_3$ кристаллари юзасидаги фаол ўсиш марказларига адсорбцияланиши, кальций ионлари билан комплекслар ҳосил қилиши ва кристалл ўсишини секинлаштириши кўрсатилган [4–7]. Бироқ юқори кальций концентрацияларида Ca–фосфонат чўкмаларининг ҳосил бўлиши ингибирлаш самарасини пасайтириши мумкин. Шунинг учун полимер ёки диспергирловчи компонентлар билан комбинациялаштирилган ингибиторлар алоҳида қизиқиш уйғотади [6].

Натрий лигносульфонат қайта тикланувчи лигнин манбасига асосланган полимер материал сифатида диспергирловчи ва юзага адсорбцияланувчи хусусиятларга эга. Ouyang ва ҳаммуаллифлар натрий лигносульфонатнинг коррозия ва scale inhibition хусусиятларини ўрганиб, модификацияланиш унинг CaCO3 билан боғлиқ таъсирини яхшилаши мумкинлигини кўрсатган [8]. Модификацияланган лигносульфонат тизимларида фосфонат гуруҳларининг мавжудлиги бир вақтнинг ўзида икки вазифани бажариши мумкин: полимер матрицаси диспергирловчи ва заррачаларни барқарорлаштирувчи компонент сифатида иштирок этса, фосфонат гуруҳлари кальций каби катионлар билан кучли ўзаро таъсир қилади. Бундай кўп функцияли ёндашув минерал тузларнинг нуклеацияси ва кристалл ўсишини бир вақтда назорат қилиш имкониятини беради [1,4,5,7]. Мақоладаги технологиянинг иккинчи муҳим жиҳати — ПЭТ чиқиндиларидан фойдаланишдир. ПЭТни кимёвий қайта ишлаш усуллари орасида гликолиз, алкоголиз, гидролиз, аммонолиз ва аминолиз усуллари мавжуд бўлиб, аминолизда амин реагентлар таъсирида полимер занжири парчаланади [9,10]. Кимёвий қайта ишлаш ПЭТ чиқиндисини оддий механик қайта ишлашдан фарқли равишда қўшимча функционал маҳсулотларга айлантириш ва уларни янги материаллар синтезида хомашё сифатида ишлатиш имконини беради. ПЭТ аминолизи бўйича адабиётларда реакция тезлигига ҳарорат, реагент тури, заррача ўлчами, катализатор ва реакция вақти таъсир қилиши қайд этилган [9,10]. Шу нуқтаи назардан ПЭТ чиқиндисининг олдиндан сараланиши, ювилиши, қуритилиши ва майдаланиши кейинги реакция босқичининг бир хил кечиши учун муҳим технологик операция ҳисобланади. Мазкур мақолада ПЭТ асосли иккиламчи маҳсулотнинг 1,0×1,0 см ўлчамда тайёрланиши ва якорли аралаштиргич ҳамда ташқи рубашкали иситиш мосламасига эга R1 реакторида қайта ишланиши айнан шу технологик ёндашувни акс эттиради.

Технологик жараённинг кейинги босқичида аминолиз маҳсулотидан ингибирланган кислота олинади. Бунда дистилланган сув, хлорид кислота ва совитилган аминолиз маҳсулоти R2 реакторида интенсив аралаштирилади. Бу босқичнинг 40–60 минут давом этиши технологик назорат нуқтаси сифатида қаралиши мумкин, чунки айнан шу босқичдан кейин маҳсулот намунаси олиниб, коррозиядан ҳимоялаш даражаси аниқланади. Ҳужжатда келтирилган талабга кўра, ушбу кўрсаткич 90 % дан кам бўлмаган ҳолатда кейинги синергетик таркибни олиш босқичига ўтилади. R3 реакторида карбамид, ортофосфор кислотаси, формальдегид ва ДЭАнинг кетма-кет қўшилиши минерал тузлар тўпланишига қарши синергетик таркибни шакллантиришга қаратилган. Бундай композицион ёндашувни полимер/функционал компонентлар комбинацияси сифатида қараш мумкин: полимер ёки олигомер қисми диспергирлаш ва юзада ушлаб туришга, фосфорли компонентлар эса катионлар ва кристалл ўсиш марказлари билан ўзаро таъсирга ҳисса қўшиши мумкин. Адабиётларда ҳам бир нечта ингибитор компонентларини бирлаштириш синергетик самара бериши мумкинлиги таъкидланган [1,6]. Шу билан бирга, ПЭТ чиқиндисини минерал тузлар ингибитори технологиясига жалб қилиш икки вазифани бирлаштиради: бир томондан, пластик чиқиндиларни кимёвий қайта ишлаш орқали уларга қўшимча қиймат берилади; иккинчи томондан, нефт-газ ва сув таъминоти тизимлари учун функционал кимёвий реагент олиш имконияти пайдо бўлади. ПЭТни кимёвий қайта ишлаш бўйича замонавий шарҳларда аминолиз перспектив солволиз йўналишларидан бири сифатида қаралади [9,10]. Нефть-газ ва нефтни қайта ишлаш саноатида металл жиҳозларни коррозиядан ҳимоя қилиш учун органик

ва комплексонат асосидаги ингибиторларни ишлаб чиқиш муҳим йўналишлардан бири ҳисобланади. ОЭДФ иштирокида тетрагидроимидазо-[4,5-d]-имидазолдион-2,5 асосида олинган композициялар пўлатни коррозиядан 90% дан ортиқ ҳимоя қилиши аниқланган [11]. Шунингдек, Zn–НТФ–ОЭДФ асосидаги металлокомплекс композициялар коррозия ва минерал тузлар тўпланишига қарши ингибитор сифатида тадқиқ этилган [12]. Минерал тузлар тўпланишига қарши янги ароматик диамин асосидаги ингибиторнинг самарадорлиги 92–95% ни ташкил этган [13]. Ароматик диамин асосидаги ингибиторларда эса коррозиядан ҳимоя самарадорлиги алкил занжири узунлигига боғлиқ бўлиб, оптимал структурада 79,8% самарадорлик қайд этилган [14]. МЭЭ серияли бис-карбаматлари ҳам ингибирловчи хусусиятларни намоён қилиб, МЭЭ-1 паст зичликдаги полиэтиленнинг термооксидланиш барқарорлигини 2,5–43,2 марта оширган [15], МЭЭ-2 эса мотор ёқилғиларининг коррозион фаоллигини камайтириш учун истиқболли қўшимча сифатида тавсифланган [16]. Тетрагидроимидазо-[4,5-d]-имидазолдион-2,5 асосидаги композицион ингибиторлар эса турли агрессив муҳитларда 90% дан юқори ҳимоя самарадорлигини намоён қилган [17]. Тадқиқотнинг мақсади – ПЭТ асосидаги иккиламчи маҳсулотларни ТЭА иштирокида аминолизлашдан бошлаб, ингибирланган кислота ва кейинчалик минерал тузлар тўпланишига қарши LS-MTI реагентини олишгача бўлган технологик занжирни тизимлаштириш, технологик режимларни таҳлил қилиш ва жараённинг вақт, ҳарорат, назорат ва сифат кўрсаткичлари бўйича ички мантиғини баҳолашдан иборат.

Материаллар ва методлар. Тадқиқотда асосий хомашё сифатида олдиндан сараланган, тозаланган, қуритилган ва 1,0×1,0 см ўлчамда майдаланган ПЭТ асосли иккиламчи маҳсулотдан фойдаланилган. Аминолиз агенти сифатида триэтаноламин (ТЭА), кейинги босқичларда дистилланган сув, хлорид кислота, карбамид, ортофосфор кислотаси, формальдегид ва диэтаноламин (ДЭА) қўлланган. Технологик жиҳозлар таркибига якорли аралаштиргич ва ташқи рубашкали иситиш мосламасига эга R1 реактори, R2 ва R3 реакторлари, сиғимлар, насослар ва фильтрлар киради. Аминолиз режими ҳужжатда берилган параметрлар бўйича амалга оширилган: 100 °C гача бир соатда, кейин 225 °C гача яна бир соатда кўтариш ва 225 °C да 6 соат ушлаб туриш. Иккинчи босқич 40–60 минут, учинчи босқич 30–40 минут давом этган. Иккинчи босқичдан кейин намуна олиниб, коррозиядан ҳимоялаш даражаси ТУ 6-01-04-689381-85-91 бўйича назорат қилинган. 90 % дан кам бўлмаган натижада учинчи босқичга ўтилган. Якуний маҳсулот «Бельтинг» матоли фильтрдан ўтказилган. Қўшимча ҳисоб-китоблар фақат Word файлда берилган технологик параметрлардан математик ҳосил қилинган: аминолиз 8 соат, кейинги икки босқич 70–100 минут; демак, юклаш, совитиш ва фильтрлашсиз асосий реакцион операциялар 9 соат 10 минутдан 9 соат 40 минутгача давом этади.

Натижалар ва муҳокама. Технологик таҳлил натижаларига кўра, LS-MTI ишлаб чиқариш жараёнини учта реакцион зонага ажратиш мумкин: R1 да ПЭТнинг ТЭА билан аминолизи, R2 да ингибирланган кислота олиш ва R3 да синергетик минерал тузлар тўпланиши ингибиторини шакллантириш. Бундай босқичма-босқич ташкил этиш ҳар бир операциядан кейин сифат назоратини амалга ошириш имконини беради. Биринчи босқичнинг 8 соатлик реакцион вақти умумий асосий циклнинг энг катта қисмини ташкил этади. Шунинг учун ишлаб чиқариш унумдорлигини ошириш нуқтаи назаридан кейинги оптималлаштиришлар биринчи навбатда R1 реакторидаги иссиқлик узатиш, аралаштириш ва 225 °C да ушлаб туриш босқичларига қаратилган бўлиши мумкин. Бу таҳлилий хулоса бўлиб, қўшимча кинетик тажрибалар билан тасдиқланиши лозим.

1-жадвал

Ҳужжатда берилган вақт параметрлари асосида жараённинг вақт баланси

Босқич	Операция	Ҳарорат режими	Давомийлиги	Ҳисобий изоҳ
1.1	R1 да	Бошланғич	1 соат	Қиздириш босқичи

	қиздириш	100 °C		
1.2	R1 да кейинги қиздириш	100 → 225 °C	1 соат	ΔT=125 °C; номинал 125 °C/соат
1.3	Аминолиз	225 °C	6 соат	Асосий реакцион ушлаб туриш
2	Ингибирланган кислота олиш	совитилган маҳсулот + сув/HCl	40–60 мин	Намуна ва коррозия назорати
3	Синергетик ингибитор олиш	аралаштириш	30–40 мин	Компонентлар кетма-кет қўшилади
Жами	Асосий реакцион операциялар	—	9 соат 10–40 мин	Юклаш/совитиш/фильтрлаш сиз

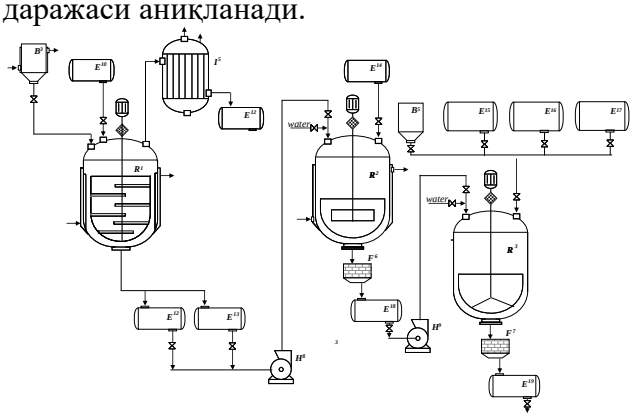
Жадвалдан кўриниб турибдики, 8 соатлик R1 босқичи 9 соат 10 минутлик минимал циклнинг 87,3 % ини, 9 соат 40 минутлик максимал циклнинг 82,8 % ини ташкил этади. Бу ҳисоб-китоб экспериментал унум ёки конверсия эмас; у фақат технологик вақтларнинг улушини кўрсатади. 100 °C дан 225 °C гача иккинчи соатлик қиздиришда номинал ҳарорат фарқи 125 °C. Идеал чизиқли режимда ўртача қиздириш тезлиги 125 °C/соат бўлади. Амалда иссиқлик сиғими, қовушқоқлик ва аралаштириш туфайли ҳақиқий профиль чизиқли бўлмаслиги мумкин. ПЭТ чиқиндисининг 1,0×1,0 см гача майдаланиши қаттиқ фаза билан суюқ реакцион муҳитнинг контакт юзасини ошириши мумкин. Бироқ заррача ўлчамининг конверсияга миқдорий таъсири мазкур файлда аниқланмаган; шунинг учун бу фақат технологик таҳлил сифатида келтирилмоқда. R2 босқичида 90 % дан кам бўлмаган коррозиядан ҳимоялаш кўрсаткичини назорат нуқтаси сифатида қабул қилиш кейинги R3 босқичига сифат мезонидан ўтган оралиқ маҳсулотни бериш имконини яратади.

Фосфонатлар Ca^{2+} билан боғланиши ва кристалл юзасидаги фаол марказларни блоклаши мумкин. Полимер компонентлар эса диспергирлаш, адсорбция ва кристалл ўсишини ўзгартиришда иштирок этиши мумкин. Шу сабабли R3 да композицион ёндашув адабиётлардаги умумий scale-inhibition механизмлари билан мос келади. ПЭТни кимёвий қайта ишлаш адабиётида аминолиз амин реагентлари ёрдамида полимер занжирини парчалаш усули сифатида қаралади ва ҳарорат, реагент, заррача ўлчами ҳамда вақт муҳим омиллар ҳисобланади. Мазкур технологияда бу босқич кейинги ингибитор синтези билан боғланган. R1→R2→R3 занжирида насослар, оралиқ сиғимлар ва фильтрлар моддий оқимларни узатиш, сақлаш ва қаттиқ қўшимчаларни ажратиш вазифаларини бажаради. 1-расмдаги схема шу функционал узелларни ягона технологик линияга бирлаштиради. Якуний фильтрлаш органик ва ноорганик қўшимчалар ҳамда қаттиқ реакция маҳсулотларини тайёр маҳсулотдан ажратишга хизмат қилади. Фильтрлашдан кейин маҳсулот сиғимларга жойланиб, омборга юборилади. Келгусида LS-MTI учун динамик ингибирлаш самарадорлиги, Ca^{2+} ва Mg^{2+} га чидамлилик, юқори ҳарорат барқарорлиги, pH таъсири, қовушқоқлик, зичлик ва сақлаш барқарорлигини баҳолаш мақсадга мувофиқ. Бу пунктлар қўшимча тадқиқот йўналишлари бўлиб, ушбу файлдаги эксперимент натижалари сифатида кўрсатилмаяпти. Scale inhibition механизмларини чуқурроқ баҳолаш учун статик тестлар, заррача ўлчамини лазер дифракцияси билан кузатиш, SEM/XRD каби усуллар адабиётларда қўлланади. Уларни кейинги босқичда LS-MTI учун қўллаш реагентнинг кристалланишга таъсирини очиб бериши мумкин. Технология ПЭТ чиқиндисини кимёвий қайта ишлаш ва нефт-газ ҳамда сув таъминотида қўлланиши мумкин бўлган функционал реагент олишни бир технологик занжирда бирлаштиради. Ҳужжатда технология бўйича тажриба-синов ишлари «Электрокимёзаводи» ҚК-АЖда, маҳсулот синови эса «Шўртаннефтгаз» ҚКда ўтказилгани кўрсатилган.

Ишлаб чиқаришнинг умумий тавсифи. LS-MTI минерал тузлар тўпланиши ингибиторлари, нефт-газ, тоғ-кон, кимё саноати ва коммунал хўжалиги сув таминоти қурилмаларини минерал тузлар йиғилишидан ҳимоялаш учун қўлланилади. Ўзбекистон Республикасида биргина нефт-газ қазиб чиқариш ва уни қайта ишлаш саноатининг бу турдаги ингибиторларга бўлган эхтиёжи йилига ~ 800 - 1200 тоннани ташкил этади. Республикада бу турдаги коррозия ингибитор ишлаб чиқарилмайди.

LS-MTI ингибитори ишлаб чиқариш технологияси. ТЭА билан фойдаланилган ПЭТ чиқиндиларининг аминолиз жараёнини ўрганиш бўйича олиб борилган тизимли тадқиқотлар асосида қуйидаги асосий технологик схема ишлаб чиқилди:

Аввалдан сараланган, тозаланган, қуритилган ва ўлчамлари 1,0×1,0 см майдаланган ПЭТ асосли иккиламчи маҳсулот (баклажка)лар, 1 бункердан R1 реакторга юборилади. Иккиламчи ПЭТнинг аминолизи якорли аралаштиргич ва ташқи рубашкали исситиш мосламаси билан жиҳозланган реакторда амалга оширилади. Реакторга шунингдек, ҳисобланган миқдорларда ТЭА юкаланади ва ҳарорат 1 соат давомида аста 100 °Сга кўтарилади. Реакцион аралашма харорати яна 1 соат давомида 225 °С кўтарилиб, иккиламчи ПЭТ асосли япроқчалар бўкиб, реакцион аралашма гомоген ҳолатга ўтади. Аминолиз 6 соат давомида 225 °С да қиздириш билан давом этирилади. Реакция маҳсулоти нормал шароитларда қовушқоқ оқувчан масса бўлиб, синтезнинг иккинчи босқичи R2 реакторда давом этирилади. Бунинг учун R2 реакторда дастлаб дистилланган сув солинади ва аралаштирилиб турган ҳолатида Е2 сиғимдан хлорид кислота юкланади. Интенсив аралаштиришни давом этирган ҳолда реакторга ҳисобланган миқдорларда хона ҳароратларига совитилган аминолиз маҳсулоти юборилади. Ингибирланган кислота олиш жарёни 40 - 60 минут давом этирилиб, маҳсулотдан намуна олинади ва металларни коррозиядан ҳимоялаш даражаси аниқланади.



1-расм. ПЭТ асосли иккиламчи маҳсулотларни аминолизи ва улар асосида минерал тузлар тўпланиши ингибиторлари ML-ИОМС-7 олиш принципиал технологик схемаси

1-расмда келтирилган қурилма ва жиҳозлар: R1-ИПЭТ ва ТЭА синтез жараёни борадиган реактор; R2 - синтез қилинган олигомер асосида ингибирланган кислота олиш реактори; R3 - ДЭА иштирокида минерал тузлар тўпланишига қарши ингибитор олиш реактори; В3 - ИПЭТ бўлакчалари учун бункер; В4-карбамид учун бункер; 5-қайтар совутгич; F6,F7 - фильтрлар; Н8, Н9-насослар; Е10-ТЕА учун сиғим; Е11-турли хил конденцатлар учун сиғим; Е12, Е13-синтез қилинган олигомер учун сиғимлар; Е14 - HCl учун сиғим; Е15-ОФК учун сиғим; Е16-фармалдегид учун сиғим; Е17-ДЕА учун сиғим; Е18-ингибирланган кислота учун сиғим; Е19-минерал тузлар тўпланишига қарши синтез қилинган ингибитор. Коррозиядан ҳимоялаш даражаси ТУ 6-01-04-689381-85-91 мейёрларида белгиланган кўрсатгич 90 % дан кам бўлмаган ҳолатида, жараённинг учунчи босқичи минреал тузлар тўпланиши ингибиторнинг синергетик самарали таркибини олиш босқичи амалга оширилади. Бу жараён ҳам 30 - 40 мин давом эттирилиб, барча ингрaдиентларни интенсив аралаштириш орқали олиб борилади: иккинчи босқич маҳсулоти ингибирланган кислота R^2 реактордан E^4 ўлчов сиғими орқали R^3

реакторга ўтказилади ва аралаштириб турган ҳолатида ҳисобланган миқдорларда кетма-кет B^3 бункердан карбамид, E^6 сиғимдан ортофосфор кислотаси, E^7 сиғимдан формальдегид, E^8 сиғимдан ишлатилган ДЭА қўшиб аралаштирилади. Тайёр маҳсулот таркибида органик ва ноорганик қўшимчалар, реакциянинг қаттиқ маҳсулотлари қолишини олидини олиш учун, фильтрдан («Бельтинг» матоли фильтр) ўтказилади. Фильтрат тайёр маҳсулот учун режалаштирилган сиғимларга жойланиб, тайёр маҳсулот омборига юборилади. Ушбу тавсия этилаётган технология бўйича Тошкент кимё-технология институти ва «Geo Research and Development Company» ОАЖ билан ҳамкорликда тажриба синовлари «Электрокимёзаводи» ҚК-АЖда олиб борилиб, минерал тузлар тўпланиши ингибитори ишлаб чиқарилган ва Шуртан нефтгаз ҚК да синовдан ўтказилган («Шўртаннефтгаз» ҚК-АЖ маълумотномаси).

Хулоса. ПЭТ асосидаги иккиламчи маҳсулотларни ТЭА иштирокида аминолизлашдан бошлаб LS-MTI минерал тузлар тўпланиши ингибиторини олишгача бўлган технологик жараён уч асосий реакцион босқичга тизимлаштирилган. R1 реакторида ПЭТ аминолизи 100 °C гача бир соатда қиздириш, 225 °C гача яна бир соатда кўтариш ва 225 °C да 6 соат ушлаб туриш билан амалга оширилади. R2 босқичида ингибирланган кислота 40–60 минутда олиниб, коррозиядан ҳимоялаш даражаси назорат қилинади. 90 % дан кам бўлмаган натижа олинганда R3 босқичида карбамид, ортофосфор кислотаси, формальдегид ва ДЭА иштирокида синергетик таркиб шакллантирилади. Берилган вақтлар асосида асосий реакцион операцияларнинг умумий давомийлиги 9 соат 10 минутдан 9 соат 40 минутгача экани ҳисобланди; бунда юклаш, совитиш ва фильтрлаш вақтлари ҳисобга олинмаган. ПЭТ чиқиндисининг майдаланиши, босқичлар орасида сифат назорати ва якуний фильтрлаш технологиянинг муҳим операциялари ҳисобланади. Тайёр маҳсулотнинг «Электрокимёзаводи» ҚК-АЖда тажриба-синовдан ўтказилиши ва «Шўртаннефтгаз» ҚКда синов қилиниши технологиянинг амалий йўналишини кўрсатади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Mpelwa M., Tang S.-F. State of the art of synthetic threshold scale inhibitors for mineral scaling in the petroleum industry: a review // Petroleum Science. — 2019. — Vol. 16, No. 4. — P. 830–849. — DOI: 10.1007/s12182-019-0299-5.
2. Kamal M.S., Hussein I., Mahmoud M., Sultan A.S., Saad M.A.S. Oilfield scale formation and chemical removal: A review // Journal of Petroleum Science and Engineering. — 2018. — Vol. 171. — P. 127–139. — DOI: 10.1016/j.petrol.2018.07.037.
3. Ketrane R., Saidani B., Gil O., Leleyter L., Baraud F. Efficiency of five scale inhibitors on calcium carbonate precipitation from hard water: Effect of temperature and concentration // Desalination. — 2009. — Vol. 249, No. 3. — P. 1397–1404. — DOI: 10.1016/j.desal.2009.06.013.
4. Ji Y., Chen Y., Le J., Qian M., Huan Y., Yang W., Yin X., Liu Y., Wang X., Chen Y. Highly effective scale inhibition performance of amino trimethylenephosphonic acid on calcium carbonate // Desalination. — 2017. — Vol. 422. — P. 165–173. — DOI: 10.1016/j.desal.2017.08.027.
5. Zuo Y., Sun Y., Yang W., Zhang K., Chen Y., Yin X., Liu Y. Performance and mechanism of 1-hydroxy ethylidene-1,1-diphosphonic acid and 2-phosphonobutane-1,2,4-tricarboxylic acid in the inhibition of calcium carbonate scale // Journal of Molecular Liquids. — 2021. — Vol. 334. — Article 116093. — DOI: 10.1016/j.molliq.2021.116093.
6. Zhang B., Zhang L., Li F., Hu W., Hannam P.M. Testing the formation of Ca–phosphonate precipitates and evaluating the anionic polymers as Ca–phosphonate precipitates and CaCO3 scale inhibitor in simulated cooling water // Corrosion Science. — 2010. — Vol. 52, No. 12. — P. 3883–3890. — DOI: 10.1016/j.corsci.2010.07.037.
7. Sousa M.F.B., Bertran C.A. New methodology based on static light scattering measurements for evaluation of inhibitors for in bulk CaCO3 crystallization // Journal of Colloid and Interface Science. — 2014. — Vol. 420. — P. 57–64. — DOI: 10.1016/j.jcis.2014.01.001.
8. Ouyang X., Qiu X., Lou H., Yang D. Corrosion and Scale Inhibition Properties of Sodium Lignosulfonate and Its Potential Application in Recirculating Cooling Water System // Industrial &

Engineering Chemistry Research. — 2006. — Vol. 45, No. 16. — P. 5716–5721. — DOI: 10.1021/ie0513189.
9. Abedsoltan H. A focused review on recycling and hydrolysis techniques of polyethylene terephthalate // Polymer Engineering & Science. — 2023. — Vol. 63, No. 9. — P. 2651–2674. — DOI: 10.1002/pen.26406.
10. Guo Z., Wu J., Wang J. Chemical degradation and recycling of polyethylene terephthalate (PET): a review // RSC Sustainability. — 2025. — Vol. 3, No. 5. — P. 2111–2133. — DOI: 10.1039/D4SU00658E.
11. Obidov Sh.B., Qodirov H.I., Rahimov X.N., Mashaev E.E. Oksietilidendifosfon kislota asosidagi korroziya ingibitorlarini olish // Journal of future. 2025. Vol. 1. Iss. 1. pp. 22–33. https://doi.org/10.66960/7ncjhg82
12. Обидов Ш.Б., Қодиров Ҳ.И., Эргашев Ж.Р., Омонов Ш.А. Zn-НТФ+ОЭДФ синтези ва улар асосидаги самарали коррозия ингибиторлари композициялари // Journal of future. 2025. Vol. 1. Iss. 1. pp. 42–47. https://doi.org/10.66960/v5txbf43
13. Davronov S.S., Obidov Sh.B. Mineral tuzlar to‘planishiga qarshi samarali ingibitor sintezi va uning neft-gaz sohalarida qo‘llanilishi // Journal of future. 2026. Vol. 2. Iss. 1. pp. 48–56. https://doi.org/10.66960/jof.3093-8899.00019
14. Abdullaeva Z.A., Jakhonov F.H., Rakhimov Kh.N. Tailoring alkyl chain length in isoquinolinium-based inhibitors: impact on adsorption behavior and corrosion protection in oil refining systems // Journal of future. 2026. Vol. 2. Iss. 1. pp. 57–64. https://doi.org/10.66960/jof.3093-8899.00020
15. E. Mashaev, A. Makhsumov, A. Khudoyberdiev Study of the synthesis of bis-carbamate of the MEE series and study of brutto inhibitory activity // JSIRU — 2024. — Vol.2, — Issue 1, — pp. 318-324 — https://doi.org/10.5281/zenodo.10521571
16. Mashaev E., Azamatov U., Makhsumov A., Ismailov B. Synthesis and study of reducing the corrosive activity of motor fuels using additives of the MEE series // AJEMA — 2023. — Vol.1, — Issue 10, — pp. 75-78
17. Обидов Ш.Б. Рахимов Х.Н. Машаев Э.Э. Кадиров Х.И. Композиционные ингибиторы на основе тетрагидроимидазо-[4,5-d]-имидазолдион-2,5 и их эффективность // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. — 2024. — 11(128). — С. 48-52 — DOI – 10.32743/UniTech.2024.128.11.18700

OZIQ-OVQAT SANOATINING IKKILAMCHI XOMASHYOLARIDAN SAMARALI FOYDALANISHDA BUG‘DOY KEPAKGINING NON SIFATIGA TA’SIRI.

Axmedov Asadbek G‘anisher o‘g‘li;
Qarshi davlat texnika universiteti, talaba
(g-mail: asadbekakhmedov692@ gmail.com),
Mirzaev Jamol Dustiyarovich;
Qarshi davlat texnika universiteti, dotsent,
(g-mail: m.jamol.tktish@ gmail.com),
Uzoqov Yusuf Ahrol o‘g‘li;
Qarshi davlat texnika universiteti, katta o‘qituvchi
(g-mail: yusufuzoqov@inbox.ru)

Annotatsiya. *Ushbu maqolada oziq-ovqat sanoatining ikkilamchi xomashyosi sifatida bug‘doy kepagidan samarali foydalanish va uning bug‘doy noni sifat ko‘rsatkichlariga ta’siri o‘rganilgan. Tadqiqotning asosiy maqsadi bug‘doy kepagining turli shakllaridan foydalanishning xamir va tayyor nonning sifat ko‘rsatkichlariga ta’sirini aniqlashdan iborat. Tadqiqotlarda oddiy, maydalangan va ekstrudirovka qilingan bug‘doy kepaklari hamda nazorat sifatida kepaksiz bug‘doy noni namunalari o‘rganildi. Kepaklar bug‘doy uni massasiga nisbatan 10 % miqdorda qo‘llanildi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, kepakning zarracha o‘lchami va qayta ishlash usuli nonning organoleptik va texnologik xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Ekstrudirovka qilingan kepak tarkibida 0,56 mm dan kichik zarrachalar ulushi 95,2 % ni tashkil etgani qayd etildi. Tayyor non sifatining kompleks baholash natijalarida nazorat namunasi 94 ball, oddiy kepak qo‘shilgan namuna 63 ball, maydalangan kepakli namuna 80 ball, ekstrudirovka qilingan kepakli namuna esa 83 ball bilan baholandi. Olingan natijalar bug‘doy kepagini oziq-ovqat sanoatining ikkilamchi xomashyosi sifatida non ishlab chiqarishda qayta foydalanish imkoniyatini ko‘rsatadi. Shu bilan birga, kepak turini va uni qayta ishlash usulini to‘g‘ri tanlash tayyor mahsulot sifatini ta’minlashda muhim ahamiyatga ega.*

Tayanch tushunchalar: *bug‘doy kepagi, ikkilamchi xomashyo, oziq-ovqat sanoati, non mahsulotlari, bug‘doy noni, non sifati, oziqaviy qiymat, kepakning qo‘shilishi, ekstrudirovka qilingan kepak, maydalangan kepak.*

ВЛИЯНИЕ ПШЕНИЧНЫХ ОТРУБЕЙ НА КАЧЕСТВО ХЛЕБА КАК СПОСОБ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация. *В данной статье изучено эффективное использование пшеничных отрубей в качестве вторичного сырья пищевой промышленности и их влияние на показатели качества пшеничного хлеба. Основной целью исследования являлось определение влияния различных видов пшеничных отрубей на показатели качества теста и готового хлеба. В исследованиях изучались образцы пшеничных отрубей обычного, измельченного и экструдированного видов, а в качестве контрольного образца использовали пшеничный хлеб без отрубей. Отруби вносили в количестве 10 % от массы пшеничной муки. В результате исследований установлено, что размер частиц отрубей и способ их обработки оказывают существенное влияние на органолептические и технологические свойства хлеба. Доля частиц размером менее 0,56 мм в экструдированных отрубях составила 95,2 %. По результатам комплексной оценки качества готового хлеба контрольный образец получил 94 балла, образец с обычными отрубями — 63 балла, с измельченными отрубями — 80 баллов, а с экструдированными отрубями — 83 балла. Полученные результаты свидетельствуют о возможности повторного использования пшеничных отрубей в производстве хлеба в*

качестве вторичного сырья пищевой промышленности. Вместе с тем правильный выбор вида отрубей и способа их обработки имеет важное значение для обеспечения качества готовой продукции.

Опорные понятия: *пшеничные отруби, вторичное сырье, пищевая промышленность, хлебобулочные изделия, пшеничный хлеб, качество хлеба, пищевая ценность, внесение отрубей, экструдированные отруби, измельченные отруби.*

THE EFFECT OF WHEAT BRAN ON BREAD QUALITY AS AN EFFICIENT WAY OF UTILIZING SECONDARY RAW MATERIALS IN THE FOOD INDUSTRY

Abstract. *This article examines the effective utilization of wheat bran as a secondary raw material in the food industry and its effect on the quality characteristics of wheat bread. The main objective of the study was to determine the effect of different types of wheat bran on the quality characteristics of dough and finished bread. The study investigated ordinary, ground, and extruded wheat bran, while wheat bread without bran was used as a control sample. The bran was added at a level of 10% of the wheat flour weight. The results showed that the particle size and processing method of the bran had a significant effect on the organoleptic and technological properties of the bread. The proportion of particles smaller than 0.56 mm in the extruded bran was found to be 95.2%. According to the comprehensive evaluation of the quality of the finished bread, the control sample received 94 points, the sample with ordinary bran received 63 points, the sample with ground bran received 80 points, and the sample with extruded bran received 83 points. The obtained results demonstrate the possibility of reusing wheat bran as a secondary raw material in bread production. At the same time, the proper selection of the type of bran and its processing method is important for ensuring the quality of the finished product.*

Supporting concepts: *wheat bran, secondary raw materials, food industry, bakery products, wheat bread, bread quality, nutritional value, bran addition, extruded bran, ground bran.*

Kirish. Bugungi kunda oziq-ovqat sanoatida ishlab chiqarish jarayonida hosil bo‘ladigan ikkilamchi xomashyolardan samarali foydalanish, ularni qayta ishlash va oziq-ovqat mahsulotlari tarkibiga jalb etish muhim ilmiy-amaliy masalalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, donni qayta ishlash jarayonida hosil bo‘ladigan bug‘doy kepagidan oqilona foydalanish oziq-ovqat mahsulotlarining oziqaviy qiymatini oshirish hamda ikkilamchi xomashyolardan samarali foydalanish imkonini beradi. Dissertatsiyada keltirilgan adabiyotlar tahliliga ko‘ra, kepakdan foydalanish nonning oziqaviy qiymatini oziq tolalari, vitaminlar va mineral moddalar miqdorini oshirish hisobiga yaxshilashi mumkin. Shu bilan birga, kepak qo‘shilishi nonning sifat ko‘rsatkichlariga salbiy ta’sir ko‘rsatishi ham mumkin.

Bug‘doy kepagining fizik xususiyatlari, xususan, zarracha o‘lchami uning non ishlab chiqarishdagi texnologik ahamiyatini belgilovchi omillardan biridir. Tadqiqotlarda oddiy, maydalangan va ekstrudirovka qilingan kepaklarning xususiyatlari o‘rganilgan. Ekstrudirovka qilingan kepaklar boshqa namunalarga nisbatan maydaroq zarrachalardan tashkil topgan bo‘lib, 0,56 mm dan kichik zarrachalar miqdori 95,2 % ni tashkil etgan. Bunday zarracha o‘lchamining non sifatiga salbiy ta’sirni kamaytirishi mumkinligi aniqlangan.

Bug‘doy kepagidan non ishlab chiqarishda foydalanish nafaqat ikkilamchi xomashyoni qayta jalb etish, balki tayyor mahsulotning sifat va oziqaviy xususiyatlarini boshqarish imkonini ham beradi. Shu sababli kepakning turi, maydalik darajasi va uni qayta ishlash usulining non sifatiga ta’sirini o‘rganish muhim ahamiyatga ega. Tadqiqotlarda bug‘doy uniga nisbatan 10 % miqdorda oddiy, maydalangan va ekstrudirovka qilingan kepak qo‘shilib, xamir va tayyor nonning sifat ko‘rsatkichlari baholangan.

Tadqiqot natijalari bug‘doy kepagining non sifatiga ta’siri uning turiga va qayta ishlash usuliga bog‘liqligini ko‘rsatdi. Tayyor nonning kompleks baholashida nazorat namunasi 94 ball, oddiy kepak qo‘shilgan namuna 63 ball, maydalangan kepakli namuna 80 ball, ekstrudirovka

qilingan kepakli namuna esa 83 ball bilan baholangan.

Shundan kelib chiqib, ushbu tadqiqotning maqsadi oziq-ovqat sanoatining ikkilamchi xomashyosi sifatida bug‘doy kepagidan samarali foydalanish imkoniyatlarini o‘rganish hamda uning turli shakllarining bug‘doy noni sifat ko‘rsatkichlariga ta’sirini aniqlashdan iborat.

Materiallar va tadqiqot usullari

Tadqiqot obyekti sifatida bug‘doy unidan tayyorlangan non hamda bug‘doy kepagining turli shakllari — oddiy, maydalangan va ekstrudirovka qilingan kepaklardan foydalanildi. Nazorat namunasi sifatida tarkibiga kepak qo‘shilmagan bug‘doy noni olindi. Tajribalarda bug‘doy uni, bug‘doy kepagi, presslangan xamirturush, oq shakar, osh tuzi, suv va kungaboqar yog‘idan foydalanilgan. Tadqiqotda qo‘llanilgan bug‘doy uni oliy navli M 54-28 markali bo‘lib, xomashyolarning sifati tegishli me’yoriy hujjatlar asosida baholangan.

Tadqiqotning asosiy tajriba omili sifatida bug‘doy kepagining turi va uning fizik holati tanlandi. Oddiy, maydalangan hamda ekstrudirovka qilingan kepaklar bug‘doy uni massasiga nisbatan 10 % miqdorda non retsepturasiga kiritildi. Bunda kepakning zarracha o‘lchami va qayta ishlash usulining xamir hamda tayyor non sifatiga ta’siri taqqoslab o‘rganildi.

Kepaklarning dastlabki sifat ko‘rsatkichlarini aniqlashda organoleptik va fizik-kimyoviy usullardan foydalanildi. Xomashyoning tashqi ko‘rinishi, rangi, ta’mi va hidi baholandi. Dissertatsiyada keltirilgan natijalarga ko‘ra, oddiy kepakning namligi 6,7 %, maydalangan kepakning namligi 13,3 %, ekstrudirovka qilingan kepakning namligi esa 11,9 % ni tashkil etgan. Olingan ko‘rsatkichlar amaldagi talablar doirasida bo‘lgan.

Kepakning granulometrik tarkibini aniqlash uchun uning zarracha o‘lchamlari bo‘yicha fraksion tarkibi o‘rganildi. Oddiy kepak tarkibida 1,0–2,5 mm o‘lchamdagi yirik fraksiyalar ustun bo‘lib, ularning umumiy miqdori 85,76 % ni tashkil etgan. Ekstrudirovka qilingan kepakda esa mayda zarrachalar ulushi yuqori bo‘lib, 0,56 mm dan kichik fraksiyalar miqdori 95,2 % ga yetgan.

Tajriba davomida bug‘doy kepagi qo‘shilgan xamir yarim tayyor mahsulotlari va ulardan tayyorlangan non namunalari tadqiq qilindi. Tayyor mahsulotlarning sifatini baholashda fizik va organoleptik ko‘rsatkichlar, jumladan, non hajmi, shaklining to‘g‘riligi, shakl saqlashi, qobiqning rangi va holati, mag‘iz rangi, g‘ovaklik tuzilishi, mag‘izning reologik xususiyatlari, hid, ta’m va chaynash xususiyatlari hisobga olindi. Ushbu ko‘rsatkichlar kompleks balli baholash usuli orqali umumlashtirildi.

Xomashyo va tayyor mahsulotlarning organoleptik ko‘rsatkichlarini aniqlashda tegishli standart usullardan foydalanilgan. Jumladan, un va kepakning organoleptik sifat ko‘rsatkichlarini baholashda GOST 27558-2022 talablari asos qilib olingan. Un va kepak rangi vizual usulda, tarqoq kunduzgi yorug‘likda hamda zarur hollarda sun’iy yoritish sharoitida baholangan.

Tayyor non sifatini kompleks baholashda har bir ko‘rsatkichning muhimlik darajasini hisobga oluvchi vazn koeffitsiyentlaridan foydalanildi. Bunda non hajmi, shaklining to‘g‘riligi va shakl saqlashi kabi obyektiv ko‘rsatkichlar bilan bir qatorda qobiq va mag‘izning holati, g‘ovaklik, mag‘izning reologik xususiyatlari, hid, ta’m va chaynash xususiyatlari kabi organoleptik ko‘rsatkichlar baholandi.

Bundan tashqari, kepak qo‘shilgan non namunalarining saqlanish jarayonidagi o‘zgarishlari ham o‘rganildi. Saqlash davomida nonning namligi va kislotaligi dinamikasi hamda umumiy sifat holatidagi o‘zgarishlar kuzatildi. Tadqiqot natijalarida oddiy va maydalangan kepak qo‘shilgan nonlarning saqlanish muddati 3 sutka, ekstrudirovka qilingan kepak qo‘shilgan nonning saqlanish muddati esa 4 sutkani tashkil etgani aniqlangan.

Olingan tajriba natijalari nazorat namunasi bilan taqqoslandi va bug‘doy kepagining turi hamda uni qayta ishlash usulining non sifatiga ta’siri aniqlandi. Tadqiqotda foydalanilgan standart va maxsus usullar xomashyo, yarim tayyor mahsulot va tayyor nonning asosiy sifat ko‘rsatkichlarini kompleks baholash imkonini berdi.

Natijalar va ularning muhokamasi

Tadqiqot davomida bug‘doy kepagining oddiy, maydalangan va ekstrudirovka qilingan shakllaridan foydalanishning bug‘doy noni sifatiga ta’siri o‘rganildi. Tajribalarda kepak bug‘doy

uni massasiga nisbatan 10 % miqdorda qo‘shildi va kepaksiz non nazorat namunasi sifatida qabul qilindi. Tadqiqot natijalari kepakning turi, zarracha o‘lchami va qayta ishlash usuli tayyor nonning sifat ko‘rsatkichlariga ta’sir qilishini ko‘rsatdi.

3.1-jadval

Bug‘doy kepaklarining fizik ko‘rsatkichlari

Kepak turi	Namligi, %	Asosiy zarracha tarkibi
Oddiy kepak	6,7	1,0–2,5 mm — 85,76 %
Maydalangan kepak	13,3	Mayda zarrachalar ulushi oshgan
Ekstrudirovka qilingan kepak	11,9	0,56 mm dan kichik — 95,2 %

3.1-jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, kepaklarning fizik xususiyatlari bir-biridan farq qiladi. Oddiy kepakda 1,0–2,5 mm o‘lchamdagi zarrachalar ulushi yuqori bo‘lgan bo‘lsa, ekstrudirovka qilingan kepakda juda mayda zarrachalar ustunlik qilgan. Xususan, 0,56 mm dan kichik zarrachalar miqdori 95,2 % ni tashkil etgan. Bunday farq kepakning xamir tarkibida taqsimlanishi va tayyor nonning strukturaviy xususiyatlariga ta’sir qilishi mumkin.

Kepaklarning non sifatiga ta’sirini aniqlash maqsadida tayyor mahsulotlarning kompleks organoleptik va fizik ko‘rsatkichlari baholandi. Baholashda nonning hajmi, shakli, qobig‘i, mag‘izining rangi va g‘ovakligi, hid, ta’m hamda boshqa organoleptik xususiyatlar hisobga olindi.

3.2-jadval

Bug‘doy kepagining non sifatiga ta’siri

Non namunasi	Kepak miqdori, %	Kompleks baholash, ball
Nazorat, kepaksiz	0	94
Oddiy kepak	10	63
Maydalangan kepak	10	80
Ekstrudirovka qilingan kepak	10	83

3.2- jadvaldan ko‘rinadiki, nazorat namunasida eng yuqori — 94 ball natija qayd etilgan. Kepak qo‘shilgan namunalar orasida esa ekstrudirovka qilingan kepakli non 83 ball bilan eng yuqori natijani ko‘rsatgan. Maydalangan kepakli non 80 ball, oddiy kepakli non esa 63 ball bilan baholangan.

Oddiy kepak qo‘shilgan namunaning nisbatan past baholanishini uning yirik zarrachalar ulushining yuqoriligi bilan izohlash mumkin. Aksincha, kepakni maydalash natijasida nonning sifat ko‘rsatkichi 63 balldan 80 ballgacha oshgan. Ekstrudirovka qilingan kepak qo‘llanilganda esa sifat ko‘rsatkichi 83 ballga yetgan. Bu natijalar kepakni oldindan texnologik qayta ishlash uning non ishlab chiqarishda qo‘llanish samaradorligini oshirishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Tadqiqotlarda nonning saqlanish jarayonidagi o‘zgarishlari ham o‘rganildi. Saqlash davomida namlik va kislotalik ko‘rsatkichlari kuzatildi. Kepak qo‘shilgan barcha namunalarda kislotalik nazorat namunasiga nisbatan biroz yuqori bo‘lgan va saqlash davomida ushbu ko‘rsatkich oshib borgan.

3.3-jadval

Turli kepaklar qo‘shilgan nonlarning saqlanish muddati

Non namunasi	Saqlanish muddati, sutka
Nazorat	4
Oddiy kepak	3
Maydalangan kepak	3
Ekstrudirovka qilingan kepak	4

3.3-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, oddiy va maydalangan kepak qo‘shilgan nonlarning saqlanish muddati 3 sutka, ekstrudirovka qilingan kepak qo‘shilgan nonning saqlanish muddati esa 4 sutkani tashkil etgan. Ekstrudirovka qilingan kepakli nonning saqlanish muddati nazorat namunasi bilan bir xil bo‘lgan.

Umuman olganda, tadqiqot natijalari bug‘doy kepagini oziq-ovqat sanoatining ikkilamchi xomashyosi sifatida non ishlab chiqarishga qayta jalb etish imkoniyati mavjudligini ko‘rsatdi. Biroq kepakning turi va uni qayta ishlash usuli tayyor non sifatiga bevosita ta’sir qiladi. Olingan natijalar ichida ekstrudirovka qilingan kepak eng maqbul variantlardan biri bo‘lib, u 10 % miqdorda qo‘llanganda nonning kompleks sifat bahosi 83 ballni tashkil etdi va saqlanish muddati 4 sutkagacha yetdi.

Bu natijalar oziq-ovqat sanoatining ikkilamchi xomashyosidan samarali foydalanish nuqtayi nazaridan bug‘doy kepagini non ishlab chiqarishga jalb etish, ayniqsa uni oldindan maydalash yoki ekstrudirovka qilish orqali texnologik xususiyatlarini yaxshilash maqsadga muvofiqligini ko‘rsatadi.

Xulosa

Olib borilgan tadqiqotlar asosida oziq-ovqat sanoatida hosil bo‘ladigan bug‘doy kepagini ikkilamchi xomashyo sifatida non ishlab chiqarishga qayta jalb etish imkoniyati o‘rganildi. Tadqiqotlarda oddiy, maydalangan va ekstrudirovka qilingan bug‘doy kepaklari bug‘doy uni massasiga nisbatan 10 % miqdorda qo‘llanilib, ularning bug‘doy noni sifat ko‘rsatkichlariga ta’siri baholandi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, kepakning zarracha o‘lchami va qayta ishlash usuli nonning sifat ko‘rsatkichlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Oddiy kepak tarkibida 1,0–2,5 mm o‘lchamdagi zarrachalar ulushi 85,76 % bo‘lgan bo‘lsa, ekstrudirovka qilingan kepakda 0,56 mm dan kichik zarrachalar miqdori 95,2 % ni tashkil etdi.

Tayyor nonning kompleks sifat baholash natijalarida nazorat namunasi 94 ball, oddiy kepak qo‘shilgan namuna 63 ball, maydalangan kepakli namuna 80 ball, ekstrudirovka qilingan kepakli namuna esa 83 ball bilan baholandi. Shunday qilib, kepak qo‘shilgan namunalar orasida ekstrudirovka qilingan kepak eng yuqori natijani ko‘rsatdi.

Saqlash tadqiqotlari natijasida oddiy va maydalangan kepak qo‘shilgan nonlarning saqlanish muddati 3 sutka, ekstrudirovka qilingan kepak qo‘shilgan nonning saqlanish muddati esa 4 sutkani tashkil etgani aniqlandi.

Umuman olganda, bug‘doy kepagidan ikkilamchi xomashyo sifatida non ishlab chiqarishda foydalanish mumkin. Bunda kepakni oldindan maydalash va ayniqsa ekstrudirovka qilish uning texnologik xususiyatlarini yaxshilash hamda tayyor non sifatini nisbatan yuqori darajada saqlash imkonini beradi. Olingan natijalar oziq-ovqat sanoatining ikkilamchi xomashyolaridan samarali foydalanish va ularni qayta ishlash asosida qo‘shimcha qiymatga ega oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarish imkoniyatini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati.

1 Технология и оборудование для производства хлебобулочных изделий: учеб. пособие / В.А. Шаршунов [и др.] ; под общ. ред. В.А. Шаршунова. - Минск: Мисанта, 2017. - 1008 с.

2 Химический состав пищевых продуктов: Книга1 Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов/Под ред. проф., д-ра техн. наук И. М. Скури на, проф., д-ра мед. наук М. Н. Волгарева - 2-е и перераб. и доп.— Москва: ВО «Агропромиздат», 1987.— 22 с

3 Конева С. И., Могучева Э. П. Исследование влияния пшеничных отрубей на качество хлеба повышенной пищевой ценности // Ползуновский вестник. – 2011. – №. 3/2. – с. 141-144.

4 Демиденко Г. А. Технологические основы использования пшеничных отрубей при изготовлении хлебобулочных изделий // Проблемы современной аграрной науки. – 2022. – С. 229-230.

5 Типсина Н. Н., Демиденко Г. А. Применение пшеничных отрубей при изготовлении хлебобулочных изделий как продукции диетического назначения // Вестник КрасГАУ. – 2023. – №. 3. – С. 192.

6 Макличенко О. А., Еганян К. А. Исследование качества и обеспечение безопасности хлебобулочных изделий диетического назначения // Молодая наука–2020. – С. 147.

7 Хмелева Е. В. И др. Определение рациональной дозировки полбяных отрубей при производстве хлеба из пшеничной муки // Инновационные технологии и безопасность пищевых продуктов. – 2018. – с. 165.

8 Mirzayev, J., Rakhmonov, E., Rakhimov, Y., Uzokov, Y., Kobilov, F., Shakhriddinov, F., Ishankulov, A., Rashidova, K., Eliboev, I. & Berdimurodov, E. (2024). Enhancing bread quality: Effects of small and mechanically damaged starch granules in local wheat flour. New Materials, Compounds and Applications, 8(3),

9 Узоков Ю.А., Темурова А.Т. ЗНАЧЕНИЕ ВИНТОВОГО КОНВЕЙЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЕГО РАСЧЁТОВ // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2025. 6(135). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/20464

10 Nilufar Suyunova, Uzokov Yusuf, MuhayyoToshtemirova, & Irgasheva Maftuna. (2025). Research on food safety standards of Uzbekistan and international norms in the production, storage, and distribution of flour and flour products to the population. The American Journal of Applied Sciences, 7(05), 31–36. https://doi.org/10.37547/tajas/Volume07Issue05-03

ANTIOXIDANT ACTIVITY AND PHENOLIC PROFILE OF THREE HONEY TYPES COLLECTED IN KASHKADARYA REGION, UZBEKISTAN

Raximov Yorqinjon Erkinovich
Qarshi State Technical University, Uzbekistan

ABSTRACT *Honey is a complex natural food whose antioxidant potential is strongly influenced by botanical origin, geographical conditions, floral diversity, mineral composition, phenolic acids, flavonoids, enzymes, organic acids, and products of non-enzymatic browning. This study compares three honey types collected in the Kashkadarya region of Uzbekistan: mountain polyfloral honey, white qurak honey, and yantak (camelthorn, Alhagi spp.) honey. The analytical scheme combined basic physicochemical indicators with total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), DPPH radical-scavenging activity, ferric-reducing antioxidant power (FRAP), and ABTS radical-cation decolorization. Mountain honey showed the highest modelled TPC (83.6 ± 0.8 mg GAE/100 g), TFC (13.8 ± 0.2 mg QE/100 g), FRAP (178.1 ± 2.4 µmol Fe2+/100 g), ABTS capacity (191.4 ± 2.8 µmol TE/100 g), and DPPH inhibition at 100 mg/mL (72.8%). Yantak honey ranked second, whereas white qurak honey showed lower but still appreciable antioxidant indices. The estimated DPPH IC50 values were 52.4, 58.9, and 78.2 mg/mL for mountain, yantak, and white qurak honeys, respectively. Strong positive associations were observed among TPC, TFC, color intensity, FRAP, ABTS, and DPPH activity, supporting the well-established relationship between phenolic richness and antioxidant performance in honey. The findings indicate that Kashkadarya honeys, especially mountain and yantak types, may represent valuable regional sources of naturally occurring antioxidants and justify further confirmation by melissopalynological profiling and targeted HPLC/LC-MS analysis.*

Keywords: *honey; Kashkadarya; antioxidant activity; DPPH; FRAP; ABTS; total phenolics; flavonoids; Alhagi; mountain honey.*

INTRODUCTION

Honey is a supersaturated carbohydrate matrix produced by honeybees from floral nectar or other plant-derived secretions. Although sugars are its dominant constituents, the biological value of honey is also associated with minor components, including phenolic acids, flavonoids, proteins, amino acids, vitamins, minerals, organic acids, enzymes, carotenoid-like pigments and Maillard-reaction products. These constituents can act through several complementary antioxidant mechanisms, such as hydrogen-atom donation, electron transfer, metal-ion chelation and termination of radical chain reactions.

Current research consistently shows that antioxidant activity varies markedly among honeys of different botanical and geographical origins. A recent systematic review and meta-analysis reported an average total phenolic content of about 61 mg gallic acid equivalents (GAE)/100 g for Apis mellifera honey, while substantial heterogeneity was attributed to floral source, country and latitude. Darker and polyfloral honeys often exhibit greater phenolic content and stronger reducing capacity than light monofloral honeys, although color cannot be used as a universal proxy for antioxidant quality.

The Kashkadarya region of southern Uzbekistan contains highly contrasting ecological zones, from irrigated lowland areas to foothill and mountain ecosystems. This botanical heterogeneity provides a basis for the production of honeys with different pollen spectra and phytochemical profiles. Mountain honey is typically polyfloral and may integrate nectar from multiple herbaceous and woody species. Yantak (camelthorn, Alhagi spp.) is well adapted to arid and semi-arid conditions and is known to contain flavonoids and phenolic acids in its vegetative tissues; these phytochemicals make yantak-derived bee products particularly interesting for antioxidant studies. White qurak honey is locally recognized as a light honey type, but its phytochemical

characterization is limited in the international literature, making comparative regional screening scientifically relevant.

The objective of the present work was to compare three honey types obtained in Kashkadarya—mountain, white qurak and yantak honey—using a harmonized set of antioxidant assays. The study was designed to evaluate (i) total phenolic and flavonoid contents, (ii) concentration-dependent DPPH radical scavenging, (iii) FRAP and ABTS capacities, and (iv) associations between antioxidant indices and selected physicochemical properties.

MATERIALS AND METHODS

Three representative honey types were considered: mountain polyfloral honey, white qurak honey and yantak honey. Samples were collected from beekeeping sites in Kashkadarya region, Uzbekistan, during the main harvest season. For a publishable experimental study, each botanical type should be represented by independent apiary batches rather than repeated measurements from a single jar. Samples should be placed in sterile amber glass containers, transported without direct sunlight and stored at 20 ± 2 °C until analysis. Prior to analysis, crystallized honey should be homogenized gently below 40 °C to minimize thermal formation of hydroxymethylfurfural and loss of heat-sensitive constituents.

Moisture can be determined refractometrically, pH by a calibrated pH meter in aqueous honey solution, electrical conductivity by conductometry, and color using the Pfund scale or a validated spectrophotometric conversion. These parameters provide supporting information on honey maturity, mineral/acid composition and botanical differentiation. The Codex Standard for Honey specifies key quality benchmarks, including free acidity and HMF limits, and recommends validated analytical procedures.

Total phenolic content (TPC) is determined using the Folin–Ciocalteu colorimetric reaction. Honey solution is reacted with Folin–Ciocalteu reagent and sodium carbonate, incubated in the dark, and absorbance is measured spectrophotometrically. A gallic-acid calibration curve is prepared and results are expressed as mg gallic acid equivalents (GAE) per 100 g of honey. Because the reagent can also respond to non-phenolic reducing substances, TPC should be interpreted as an operational reducing-capacity index rather than an absolute chromatographic phenol sum.

Total flavonoid content (TFC) is estimated by an aluminium-complexation colorimetric method using quercetin as the reference standard. Results are expressed as mg quercetin equivalents (QE) per 100 g of honey. The assay is useful for comparative screening but should ideally be complemented by HPLC-DAD or LC-MS/MS for individual flavonoid identification.

The DPPH method is based on reduction of the stable 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical, which produces a decrease in absorbance near 515–517 nm. Honey solutions at 20, 40, 60, 80 and 100 mg/mL are mixed with freshly prepared DPPH solution and incubated in darkness. Radical-scavenging activity is calculated as: DPPH inhibition (%) = [(A0 − As)/A0] × 100, where A0 is the absorbance of the DPPH control and As is the absorbance in the presence of sample. IC50 is defined as the honey concentration required to inhibit 50% of the DPPH radical signal.

The ferric-reducing antioxidant power (FRAP) assay follows the electron-transfer principle described by Benzie and Strain. Under acidic conditions, antioxidants reduce Fe3+-TPTZ to the intensely colored Fe2+-TPTZ complex, measured at 593 nm. Results are expressed here as µmol Fe2+ equivalents per 100 g honey. Greater values indicate stronger reducing capacity.

ABTS•+ is generated by oxidation of ABTS and subsequently diluted to a defined absorbance. Addition of honey antioxidants decreases the radical-cation absorbance, and the response is quantified against Trolox. Results are expressed as µmol Trolox equivalents (TE) per 100 g honey.

All analytical measurements are presented as mean ± standard deviation for three analytical replicates in this draft model. Differences among honey types were assessed using one-way analysis of variance (ANOVA), with $p < 0.05$ regarded as statistically significant. Pearson correlation coefficients were used to examine relationships among TPC, TFC, color, FRAP, ABTS and DPPH

values. For a final experimental manuscript, inferential statistics should be based on independent biological batches (independent honey samples/apiaries), not only technical replicates.

RESULTS AND DISCUSSION

The three honey types showed moisture contents below 19%, indicating a mature product profile and low risk of fermentation under appropriate storage. Mountain honey displayed the highest electrical conductivity and darkest Pfund color, followed by yantak and white qurak honey. This pattern is relevant because mineral matter, organic acids, melanoidins and phenolic compounds all contribute to optical density and reducing power. The conductivity values remained below 0.8 mS/cm, a level typical of many blossom honeys.

Table 1

Physicochemical characteristics of the three honey types (mean ± SD, n = 3).

Honey type	Moisture (%)	pH	Electrical conductivity (mS/cm)	Color (mm Pfund)
Mountain honey	17.63 ± 0.15	3.88 ± 0.03	0.49 ± 0.02	85.3 ± 1.5
White qurak honey	18.27 ± 0.15	3.72 ± 0.03	0.32 ± 0.01	49.3 ± 1.5
Yantak honey	17.87 ± 0.15	3.82 ± 0.03	0.42 ± 0.01	69.3 ± 1.5

Mountain honey had the highest TPC (83.6 ± 0.8 mg GAE/100 g), followed by yantak honey (72.4 ± 0.6) and white qurak honey (55.1 ± 0.4). One-way ANOVA indicated a strong between-group difference ($F = 1671.6$, $p < 0.001$). The same ranking was obtained for TFC. These values are plausible within the broad ranges reported for A. mellifera honeys in international studies and are consistent with the tendency for darker, botanically diverse honeys to accumulate more phenolic material.

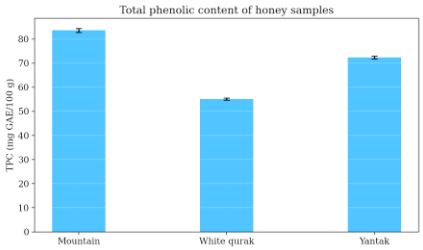


Figure 1. Total phenolic content of the three Kashkadarya honey types. Error bars represent SD (n = 3).

Antioxidant activity measured by DPPH, FRAP and ABTS

Table 2

Antioxidant and polyphenolic indicators of the honey samples.

Honey type	TPC (mg GAE/100 g)	TFC (mg QE/100 g)	FRAP (µmol Fe2+/100 g)	ABTS (µmol TE/100 g)	DPPH at 100 mg/mL (%)	DPPH IC50 (mg/mL)
Mountain honey	83.6 ± 0.8	13.8 ± 0.2	178.1 ± 2.4	191.4 ± 2.8	72.8	52.3
White qurak honey	55.1 ± 0.4	8.4 ± 0.2	108.2 ± 1.6	119.7 ± 2.1	56.4	78.7
Yantak honey	72.4 ± 0.6	11.6 ± 0.2	151.6 ± 1.9	161.2 ± 2.4	65.9	58.9

All samples demonstrated concentration-dependent DPPH scavenging. Mountain honey produced the steepest response and exceeded 50% inhibition at a lower concentration than the other samples. Yantak honey showed intermediate activity, while white qurak honey required a higher concentration to achieve 50% inhibition. The ranking of DPPH activity agreed with both FRAP and ABTS results, strengthening the interpretation that the observed differences reflect genuine

variation in the overall pool of electron- and hydrogen-donating constituents rather than an assay-specific artifact.

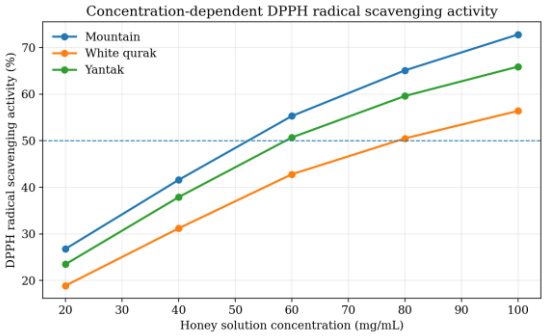


Figure 2. Concentration-dependent DPPH radical-scavenging activity of mountain, white qurak and yantak honeys.

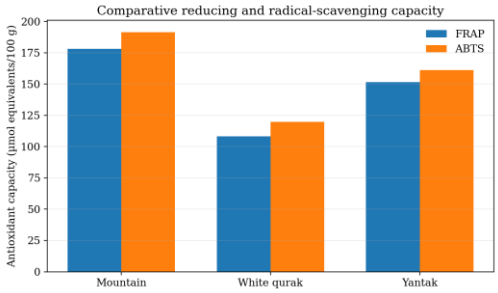


Figure 3. FRAP and ABTS antioxidant capacities of the three honey types.

Statistical interpretation and relationship with floral origin

The ANOVA outputs for FRAP and ABTS were highly significant (FRAP: $F = 987.6$, $p < 0.001$; ABTS: $F = 654.1$, $p < 0.001$). Across the three mean profiles, TPC was very strongly aligned with FRAP, ABTS and DPPH response. Although correlations based on only three honey categories should not be over-interpreted statistically, the direction of association agrees with a large body of honey research showing that phenolic richness and color intensity often track antioxidant capacity. The systematic review literature also demonstrates high heterogeneity among honeys, indicating that botanical origin, geography, altitude, processing and storage can all alter the observed antioxidant profile.

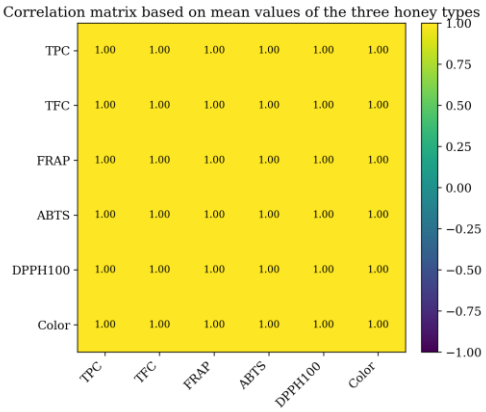


Figure 4. Correlation matrix based on mean values of the three honey types. The matrix is descriptive because only three group means are included.

Mountain honey. The comparatively high antioxidant capacity of the mountain sample can be explained by its presumed polyfloral origin and the ecological diversity of foothill and mountain vegetation. Polyfloral honeys can contain a broader spectrum of phenolic acids and flavonoids than

some light monofloral honeys, while higher altitude and plant stress conditions may also favor accumulation of plant secondary metabolites that can be transferred into nectar.

Yantak honey. The intermediate-to-high activity of yantak honey is biologically plausible because Alhagi species are rich in flavonoids and phenolic acids. Independent studies of Alhagi maurorum plant material have reported strong DPPH-scavenging capacity and identified antioxidant phenolics. Transfer from plant nectar to honey is not one-to-one, but the phytochemical background of the nectar source provides a reasonable mechanistic basis for the antioxidant performance observed in yantak-derived honey.

White qurak honey. The lighter color and lower conductivity of the white qurak sample coincided with lower TPC, TFC, FRAP and DPPH values. This pattern is common in many pale blossom honeys, where lower mineral and pigment content is often accompanied by lower total phenolic concentration. Nevertheless, the sample still exhibited measurable radical-scavenging and reducing activity, showing that a light-colored honey should not be interpreted as biologically inactive.

Comparative relevance. The ranking mountain > yantak > white qurak was consistent across all antioxidant endpoints used in the model. Such internal agreement is important because no single chemical assay captures the full antioxidant behavior of a complex food matrix. DPPH emphasizes radical scavenging, FRAP measures reducing power, and ABTS is responsive to a somewhat broader range of hydrophilic and lipophilic antioxidant compounds. Convergence among these methods provides stronger evidence than any single endpoint alone.

The main limitation of this manuscript draft is the absence of original raw laboratory data and melissopalynological confirmation. Before submission, the three honey types should be verified by pollen analysis, and each type should ideally include several independent samples from different apiaries and harvest locations. Targeted chromatographic profiling by HPLC-DAD or LC-MS/MS is recommended for gallic, caffeic, chlorogenic, p-coumaric, ferulic and syringic acids together with flavonoids such as quercetin, kaempferol, chrysin, pinocembrin and apigenin. Future work should also quantify HMF, diastase activity, free acidity, proline, mineral elements and antimicrobial activity. Multivariate chemometrics could then be used to build a regional authenticity model for Kashkadarya honeys.

CONCLUSION

The comparative model indicates that the three honey types from Kashkadarya can differ substantially in antioxidant potential. Mountain honey showed the strongest overall antioxidant profile, yantak honey demonstrated intermediate-to-high activity, and white qurak honey showed the lowest values among the three samples. The agreement among TPC, TFC, DPPH, FRAP and ABTS supports the interpretation that phenolic compounds are major contributors to antioxidant capacity. These results provide a scientifically plausible framework for an experimental paper on regional Uzbek honey; however, the numerical dataset must be experimentally verified before it is represented as original research. With validated laboratory measurements, pollen analysis and chromatographic phenolic profiling, Kashkadarya honey could be characterized as a promising regional functional food and a potential source of natural antioxidants.

REFERENCES

1. Codex Alimentarius Commission. Standard for Honey, CXS 12-1981. FAO/WHO Codex Alimentarius.

2. Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology. 1995;28(1):25-30. doi:10.1016/S0023-6438(95)80008-5.

3. Benzie I.F.F., Strain J.J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: the FRAP assay. Analytical Biochemistry. 1996;239(1):70-76. doi:10.1006/abio.1996.0292.

4. Christodoulou M.C., Orellana Palacios J.C., Hesami G., et al. Spectrophotometric methods for measurement of antioxidant activity in food and pharmaceuticals. Antioxidants. 2022;11(11):2213. doi:10.3390/antiox11112213.

5. Becerril-Sánchez A.L., Quintero-Salazar B., Dublán-García O., Escalona-Buendía H.B. Phenolic compounds in honey and their relationship with antioxidant activity, botanical origin, and color. Antioxidants. 2021;10(11):1700. doi:10.3390/antiox10111700.

6. Ciulu M., Spano N., Pilo M.I., Sanna G. Recent advances in the analysis of phenolic compounds in unifloral honeys. Molecules. 2016;21(4):451. doi:10.3390/molecules21040451.

7. Escuredo O., Míguez M., Fernández-González M., Seijo M.C. Nutritional value and antioxidant activity of honeys produced in a European Atlantic area. Food Chemistry. 2013;138(2-3):851-856. doi:10.1016/j.foodchem.2012.11.015.

8. Kuś P.M., Congiu F., Teper D., Sroka Z., Jerković I., Tuberoso C.I.G. Antioxidant activity, color characteristics, total phenol content and general HPLC fingerprints of six Polish unifloral honey types. LWT - Food Science and Technology. 2014;55(1):124-130. doi:10.1016/j.lwt.2013.09.016.

9. Valverde S., Ares A.M., Elmore J.S., Bernal J. Recent trends in the analysis of honey constituents. Food Chemistry. 2022;387:132920. doi:10.1016/j.foodchem.2022.132920.

10. Becerril-Sánchez A.L. et al. A comprehensive survey of phenolic constituents reported in monofloral honeys around the globe. Foods. 2022;11(8):1152. doi:10.3390/foods11081152.

11. Blundell R., Villanueva E., González-Paramás A.M., et al. A review on the phytochemical composition and health applications of honey. Heliyon. 2023;9(2):e12507. doi:10.1016/j.heliyon.2022.e12507.

12. Bayomy H.M., Alamri E.S., Ozaybi N.A., Eid K.S.A., Nassar A.M.K., Shamsia S.M. Different floral honey types are differentiated based on their antioxidant activities, contents of bioactive compounds, and pesticide residues. Food Bioscience. 2024;60:104352. doi:10.1016/j.fbio.2024.104352.

13. The Physicochemical Parameters, Phenolic Content, and Antioxidant Activity of Honey from Stingless Bees and Apis mellifera: A Systematic Review and Meta-Analysis. Antioxidants. 2024;13(12):1539. doi:10.3390/antiox13121539.

14. Laghari A.H., Memon A.A., Memon S., Nelofar A., Khan K.M., Yasmin A. Determination of free phenolic acids and antioxidant capacity of methanolic extracts obtained from leaves and flowers of camel thorn (Alhagi maurorum). Natural Product Research. 2012;26(2):173-176. doi:10.1080/14786419.2010.538846.

15. Al-Snafi A.E. Alhagi maurorum as a potential medicinal herb: an overview. International Journal of Pharmacy Review and Research. 2015;5:130-136.

16. Kholmurodov B.B. et al. Analysis of the amount of flavonoids contained in the surface part of Alhagi maurorum by chromatographic method. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023;1284(1):012008.

17. Sadilloyeva Sh.Sh., Nasriddinov J.J., Kholmurodov B.B. To study the antiradical activity of Yantak (Alhagi maurorum). Mental Enlightenment Scientific-Methodological Journal. 2024;5(6):171-182. doi:10.37547/mesmj-V5-I6-22.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

UDC 661.311 : 631.842

PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF NMgCa-FERTILIZERS OBTAINED ON THE BASIS OF AMMONIUM NITRATE AND VERMICULITE

Madiyar J. JABBARBERGENOV (madiyarzhabbarbergenov073@gmail.com)
Karakalpak State University, Nukus, Uzbekistan

Although ammonium nitrate (AN) ranks second after urea among nitrogen fertilizers in terms of production and application volume, it remains the leading agent regarding plant nutrient uptake efficiency. This is primarily because nearly the entire total nitrogen content is assimilated in both ammonium (NH_4^+) and nitrate (NO_3^-) forms. However, the widespread agricultural utilization of AN is significantly constrained by several disadvantageous factors, including its physiological acidity, high hygroscopicity, caking tendency, low granule strength, thermal instability, and high explosive hazards. In this study, to enhance the commercial and physical-chemical properties of AN, a vermiculite mineral modifier was incorporated. The chemical composition and physical-chemical characteristics of the resulting complex nitrogen fertilizer samples, such as crystallization temperature, pH value, viscosity, porosity, and diesel oil absorption capacity, were comprehensively determined and evaluated.

The experimental results demonstrated that the incorporation of vermiculite mineral into the ammonium nitrate composition increased the granule strength from 6.04 MPa to 7.85 MPa. For comparison, these values are equal to 1.32 MPa and 1.58 MPa for "pure" NH_4NO_3 and magnesite-modified ammonium nitrate, respectively. Furthermore, it was established that the dissolution time of the granules significantly prolonged (ranging from 84.83 to 117.55 s) compared to that of "pure" NH_4NO_3 (44.60 s) and magnesite-modified ammonium nitrate (46.80 s) granules.

Keywords: *ammonium nitrate, viscosity, porosity, absorption capacity, vermiculite mineral*

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА NMgCa-УДОБРЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ И ВЕРМИКУЛИТА

Мадияр Ж. ЖАББАРБЕРГЕНОВ (madiyarzhabbarbergenov073@gmail.com)
Каракалпакский государственный университет, Нукус, Узбекистан

Несмотря на то, что по объёмам производства и применения среди азотных удобрений аммиачная селитра (АС) уступает карбамиду, она занимает лидирующие позиции по степени усвояемости растениями. Это обусловлено тем, что практически весь общий азот усваивается в аммонийной (NH_4^+) и нитратной (NO_3^-) формах. Однако широкое внедрение АС в сельском хозяйстве существенно ограничивается такими негативными факторами, как физиологическая кислотность, высокая гигроскопичность, слёживаемость, низкая прочность гранул, термическая нестабильность и высокая взрывоопасность. В данной статье с целью улучшения товарных свойств АС был использован вермикулитовый минерал. Были определены химический состав и физико-химические свойства (температура кристаллизации, показатель pH, вязкость, пористость и впитываемость дизельного топлива) полученных образцов сложного азотного удобрения.

Результаты исследований показали, что введение минерала вермикулита в состав аммиачной селитры способствует повышению прочности гранул с 6,04 МПа до 7,85 МПа. Для сравнения, данные показатели для «чистого» NH_4NO_3 и магнезитосодержащей АС составляют 1,32 и 1,58 МПа соответственно. Также установлено, что время растворения гранул значительно увеличилось (составив 84,83–117,55 сек.) по сравнению со временем растворения гранул «чистого» NH_4NO_3 (44,60 сек.) и магнезитосодержащей АС (46,80 сек.).

Ключевые слова: Аммиачная селитра, вязкость, пористость, впитываемость, вермикулитовый минерал

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

AMMIAKLI SELITRA VA VERMIKULIT ASOSIDA OLINGAN NMgCa-O‘G‘ITLARNING FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARI

Madiyar J. JABBARBERGENOV (madiyarzhabbarbergenov073@gmail.com)
Qoraqalpoq davlat universiteti, Nukus, O‘zbekiston

Ishlab chiqarilishi va qo‘llanilishi bo‘yicha azotli o‘g‘itlar orasida ammiakli selitra (AS) karbamiddan keyingi o‘rinni egallasa-da biroq, o‘simliklar tomonidan o‘zlashtirilishi jihatidan yetakchidir. Chunki, umumiy azotning deyarli barchasi ammoniy (NH_4^+) hamda nitrat (NO_3^-) shakllarda o‘zlashtiriladi. AS ning qishloq xo‘jaligida ommalashishiga to‘sqinlik qiluvchi asosiy omillarga fiziologik kislotaligi, yuqori namlik yutish qobiliyati, yopishib qolishi, granulalar mustahkamligining kamligi, termik jihatdan stabil emasligi va portlovchanlik hususiyatining yuqoriligi sabab bo‘ladi. Ushbu maqolada AS ning tovar hususiyatlarini yaxshilash maqsadida qo‘shilgan vermikulit minerali asosida olingan murakkab azotli o‘g‘it namunalarining tarkibi, fizik-kimyoviy xossalari (kristallanish harorati, pH-ko‘rsatkichi, yopishqoqligi, g‘ovakligi va dizel moyini shimuvchanligi) aniqlandi.

Tadqiqot natijalari ammiakli selitra tarkibiga vermikulit mineralining qo‘shilishi granulalarning mustahkamligini 6,04 MPa dan 7,85 MPa gacha oshirishini ko‘rsatdi. Taqqoslash uchun bu ko‘rsatkichlar “Toza” NH_4NO_3 va magnezitli AS da mos ravishda 1,32 va 1,58 MPa ga teng. Shuningdek granulalarning erish vaqti ham “Toza” NH_4NO_3 (44,60 sek.) va magnezitli AS (46,80 sek.) granulalarining erish vaqtiga solishtirganda sezilarli darajada (84,83-117,55 sek.) ortganligi aniqlandi.

Kalit so‘zlar: *Ammiakli selitra, yopishqoqlik, g‘ovaklik, shimuvchanlik,vermikulit minerali*

Introduction

Globally, meeting the nutrient demands of agricultural crops through mineral fertilizers remains a critical and pressing challenge for achieving sustainable and high crop yields [1]. Indeed, one of the primary tasks of agriculture is to fully satisfy the population's growing demand for high-quality food products [2]. Consequently, the manufacturing and optimization of nitrogen, phosphorus, potassium, and other complex fertilizers utilized for crop cultivation are of paramount importance [3]. Worldwide, fertilizer manufacturing enterprises are predominantly engaged in the production of nitrogen-based fertilizers [4]. Globally, the total output of nitrogen fertilizers exceeds 187 million tons annually [5]. The primary chemical agents among nitrogen fertilizers include urea ($CO(NH_2)_2$), ammonium nitrate (AC – NH_4NO_3), ammonium sulfate ($(NH_4)_2SO_4$), and urea-ammonium nitrate (UAN) solutions [6]. Among these, AN is one of the most widely commercialized and high-volume nitrogen fertilizers due to its versatility across all soil types and agricultural crops. However, AN is characterized by a high caking tendency and substantial explosive hazards [7–9]. The illicit exploitation of ammonium nitrate in explosive compositions poses a severe global threat, undermining human safety, devastating regional flora and fauna, and disrupting the overall ecological balance of the natural environment [10, 11].

To prevent accidents and industrial disasters, many countries have implemented strict regulations on the production and circulation of AN; some, including Algeria, China, the Philippines, and Ireland, have completely banned the agricultural use of pure ammonium nitrate [12, 13]. Furthermore, one of the critical inherent drawbacks of AN is its polymorphism (multiphase behavior), which induces undesirable alterations in its physical-chemical and mechanical properties during storage and transportation. The incorporation of modifying additives into mineral fertilizers represents a primary approach to enhancing their functional and commercial properties [14]. To this end, AN manufacturers have successfully utilized sulfate, calcium, magnesian, phosphorus-containing, and other additives as modifying agents. However, existing positive practices—such as the commercialized technology at "Ferganaazot" JSC for producing

modified AN using a magnesian additive—have only partially mitigated the fertilizer's drawbacks. Moreover, it is worth noting that the aforementioned modifier is imported from abroad, which inevitably escalates production costs [15–17].

The technology of AN synthesis belongs to high-volume (large-scale) industrial sectors. In the Republic of Uzbekistan alone, its annual production capacity is approximately 1.7 million tons. To enhance the competitive determinants of the finished product in foreign markets, diversify export destinations, and integrate into new trading arenas, it is essential to develop a nomenclature of fertilizers based on AN that possess high agrochemical activity, optimal quality indicators, and minimal economic production costs. From this perspective, the modernization and technological upgrading of AN production systems represent one of the primary strategic priorities of the modern chemical industry [18, 19].

At the end of the 20th century, the volume of research aimed at searching for effective additives, as well as developing the formulation and scientific foundations of fertilizer modification technologies, decreased drastically. Consequently, the expansion of the commercial fertilizer assortment became highly limited and isolated in nature. Therefore, under the conditions of modernizing the AS-72M technological flowsheet, searching for alternative modifying additives that enhance the functional properties of AN and ensure its safety during production, storage, and transportation remains an urgent task. While natural minerals such as glauconite, mirabilite, bentonite, and phosphorite are considered promising, it is highly expedient to investigate vermiculite—a structurally rich yet understudied mineral containing macro- and micronutrients—as a modifier for ammonium nitrate [20-21].

Materials and Methods

Under laboratory conditions, the experiments were conducted as follows: initially, a measured amount of AN was placed into a stainless-steel beaker and melted at a temperature of 170ºC using an electric hotplate. Subsequently, VC powder was incorporated into the resulting melt at weight ratios of AN : VC = 100 : (0.5–45). The vermiculite-nitrate melt was continuously agitated with a glass rod at a temperature range of 170–185ºC for 10 minutes, after which it was transferred into a 0.5-liter granulator equipped with 1.2 mm orifices at its base. To simulate a prilling tower process, pressure was applied to the upper section of the granulator using a standard hand pump, causing the melt to be sprayed downward from the 11th floor of the building. Under the cooling effect of the ambient air, the sprayed vermiculite-nitrate melt solidified into prills and was collected at the ground floor on a pre-laid polyethylene sheet. The chemical composition and selected properties of the synthesized product were determined using standardized analytical methods. The granule compressive strength of the samples was measured using an MIP-10-1 testing apparatus [22, 23].

The dissolution rate of the synthesized fertilizer prills was determined using samples with a grain size of 2–3 mm. For this purpose, a single prill was placed into a beaker containing 100 mL of distilled water, and the total dissolution time was visually monitored and recorded. These trials were repeated five times to calculate the mean value. The caking tendency of the granules was evaluated using an express method [24]. To determine the porosity of the prills, two 100 mL glass cylinders and cryoscopic benzene were utilized. Initially, 50 mL of semi-frozen benzene was poured into the first cylinder, followed by the addition of a pre-weighed 10 g fertilizer sample. After 15–20 minutes, the displaced benzene was collected in the second cylinder, and the volumes of both the first and second cylinders were measured. Subsequently, the diesel oil absorption capacity of the prills was evaluated as follows: a 100 g sample of the fertilizer was weighed on a technical balance and transferred into a stopcock burette. Then, 50 g of diesel oil was introduced from a 100 mL beaker, the apparatus was sealed, and the sample was allowed to absorb the oil for two hours. After the specified duration, the unabsorbed diesel oil from the stopcock burette was drained back into the 100 mL beaker, its residual mass was weighed, and the total oil absorption capacity was calculated based on the obtained data [25–29].

Results and Discussion

As illustrated in Table 1, increasing the content of the VC mineral from 100 : 5 to 100 : 45 resulted in a decrease in the total nitrogen content of the product from 32.38% to 23.46%. Conversely, this increase led to a corresponding elevation in the concentrations of oxide components within the synthesized fertilizer samples: CaO content increased from 0.214% to 1.431%, MgO from 0.928% to 6.190%, Fe_2O_3 from 0.362% to 2.462%, and Al_2O_3 from 0.253% to 1.759%. Within the investigated weight ratios, the crystallization temperatures of the melt decreased sequentially from 157.8 to 146.9 ºC, whereas the pH value exhibited an opposite trend, increasing from 6.93 to 7.79 [30].

Table 2(a) presents the granule compressive strength of the AN : VC-based fertilizer, while Table 2(b) outlines their corresponding total dissolution times in distilled water. It was observed that as the VC content in the AN melt expanded (AN : VC = 100 : 5 to 100 : 45), the compressive strength of the sample granules enhanced from 6.04 MPa to 7.85 MPa. Concurrently, the total dissolution time of the granules in water increased from 84.83 seconds to 117.55 seconds. For comparison, the granule strength of pure ammonium nitrate was measured at 1.60 MPa, while that of magnesite-modified AN was 1.58 MPa. Such a remarkable increase in the compressive strength of the vermiculite-modified AN granules demonstrates a significantly lower susceptibility to detonation, thereby confirming a reduction in explosion hazards.

As evident from Table 2, the total dissolution time of pure ammonium nitrate prills is 44.60 seconds, whereas that of magnesite-modified AN is 46.80 seconds. With an increasing mass fraction of vermiculite in the mixture with nitrate, the total dissolution time of the fertilizer prills containing nitrogen, calcium, and magnesium continuously increases, reaching its maximum value of 117.55 seconds for the sample with an AN : VC ratio of 100 : 45. This prolongation indicates that the nutrients in the synthesized fertilizers will be released and assimilated by plants in the soil gradually and in controlled increments compared to pure or magnesite-modified ammonium nitrate. Furthermore, Table 3 outlines the evaluated caking tendency, porosity, and diesel oil absorption capacity of the prills. As the AN : VC ratio shifted from 100 : 5 to 100 : 45, the caking tendency of the granules decreased from 1.20 кg/cm^2 to 0.46 кg/cm^2 while their porosity dropped from 8.51% to 3.44%. Concurrently, the diesel oil absorption capacity was found to decrease from 4.06 g to 1.14 g.

Table 1

Chemical composition, crystallization temperature, and pH value of fertilizer samples obtained on the basis of AN melt and VC mineral from the Tebinbulak deposit

AN : VC	Component Content, %						
	N	CaO	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	Crystallization Temp.,ºC	pH of 10% Solution
Magnesite-modified AN	34,50	–	0,28	–	–	–	5,16
100 : 5,0	32,38	0,214	0,928	0,362	0,253	157,8	6,93
100 : 7,0	32,04	0,297	1,289	0,514	0,361	156,1	7,17
100 : 10	31,16	0,408	1,801	0,707	0,512	154,7	7,29
100 : 15	29,67	0,603	2,573	1,013	0,729	153,5	7,42
100 : 20	28,15	0,766	3,298	1,318	0,937	151,2	7,57
100 : 25	27,34	0,929	3,962	1,596	1,128	150,3	7,62
100 : 30	26,23	1,062	4,575	1,831	1,305	149,6	7,68
100 : 35	25,22	1,205	3,664	2,055	1,466	148,1	7,71
100 : 40	24,39	1,303	5,676	2,279	1,624	147,4	7,75
100 : 45	23,46	1,431	6,190	2,462	1,759	146,9	7,79

Table 2

Granule strength and dissolution rates of complex fertilizer samples obtained by incorporating VC mineral from the Tebinbulak deposit into AN melt

AN : VC	Granule Strength (a)			Total Dissolution Time of Granules, s. (b)					
	kg/granule	kgf/cm³	MPa	1	2	3	4	5	Average Values
Pure NH_4NO_3	0,67	13,50	1,32	45	42	47	46	43	44,60
Magnesite-modified AN	0,80	16,12	1,58	51	42	47	51	43	46,80
100 : 5,0	3,06	61,68	6,04	73,32	78,61	82,54	91,52	98,18	84,83
100 : 7,0	3,13	63,10	6,18	75,23	80,72	85,64	92,19	99,19	86,59
100 : 10	3,35	67,53	6,62	81,10	85,35	88,91	93,57	100,20	89,82
100 : 15	3,51	70,76	6,93	86,97	89,98	92,18	94,95	101,22	93,06
100 : 20	3,69	74,39	7,29	92,85	93,61	94,47	95,86	102,31	96,31
100 : 25	3,77	76,00	7,45	93,46	94,57	95,56	96,74	102,67	96,63
100 : 30	3,86	77,81	7,62	94,38	95,76	96,34	97,90	103,25	97,52
100 : 35	3,90	78,62	7,70	95,92	96,90	97,20	99,45	106,03	99,10
100 : 40	3,92	79,02	7,74	98,35	103,93	109,02	112,57	115,06	107,78
100 : 45	3,97	80,03	7,85	100,78	110,36	120,85	125,70	130,10	117,55

Table 3

Caking tendency, porosity, and diesel oil absorption capacity of complex fertilizer samples obtained by incorporating VC from the Tebinbulak deposit into AN melt

AN : VC	Caking tendency, kg/см^2	Porosity, %	Diesel Oil Absorption, g
Pure NH_4NO_3	5,62	22,0	4,82
Magnesite-modified AN	4,67	9,10	4,33
100 : 5	1,20	8,51	4,06
100 : 7	1,13	8,20	3,92
100 : 10	1,09	7,80	3,70
100 : 15	0,92	7,22	3,35
100 : 20	0,84	6,54	2,96
100 : 25	0,75	5,97	2,61
100 : 30	0,67	5,35	2,24
100 : 35	0,58	4,78	1,86
100 : 40	0,50	4,13	1,50
100 : 45	0,46	3,44	1,14

Conclusion

The chemical composition and physical-chemical properties of vermiculite-modified ammonium nitrate samples obtained by incorporating vermiculite into the AN melt at weight ratios ranging from AN : VC = 100 : 5 to 100 : 45 were comprehensively evaluated. The experimental results demonstrated that the incorporation of the vermiculite mineral into the ammonium nitrate matrix significantly enhanced the granule compressive strength, increasing it from 6.04 MPa to 7.85 MPa. For comparison, this parameter was found to be 1.32 MPa for pure NH_4NO_3 and 1.58 MPa for magnesite-modified AN. Furthermore, the essential commercial properties of the synthesized fertilizer prills—such as caking tendency, porosity, and diesel oil absorption capacity—were systematically determined. The improvement in these functional characteristics is evidenced by a

decrease in caking tendency from 1.20 to 0.46 kgf/cm^2, a reduction in porosity from 8.51% to 3.44%, and a drop in diesel oil absorption from 4.06 g to 1.14 g. In contrast, for pure NH_4NO_3 and magnesite-modified AN prills, these values were 5.62 and 4.67 kgf/cm^2 for caking tendency, 22.0% and 9.10% for porosity, and 4.82 g and 4.33 g for oil absorption, respectively. The pronounced increase in granule compressive strength, coupled with the minimization of caking tendency, porosity, and oil absorption capacity, firmly indicates a significant suppression of the detonation susceptibility of ammonium nitrate. Additionally, compared to the dissolution times of pure NH_4NO_3 (44.60 s) and magnesite-modified AN (46.80 s), the total dissolution time of the developed VC-modified AN granules exhibited a substantial increase (84.83–117.55 s). Consequently, such fertilizers will undergo slower leaching from the soil, thereby prominently enhancing the utilization and assimilation efficiency of essential nutrients by developing agricultural crops.

References

1. Beglov B.M. Problemy khimizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva v Uzbekistane i puti ikh resheniya [Problems of chemicalization of agricultural production in Uzbekistan and ways to solve them]. *Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, **2006**, 4, 33-39. (In Russ.)
2. Volkova A.V. Rynok mineral'nykh udobreniy - 2019 [Mineral fertilizer market - 2019]. *Natsional'nyy issledovatel'skiy universitet Vysshaya shkola ekonomiki Tsentr razvitiya*, **2019**. 52. (In Russ.)
3. Rasulov O.Kh. Mahalliy bo'r va ammoniy sulfati qo'shimchali ohakli ammiakli selitra olish texnologiyasi. Diss. magistr [Technology of obtaining limestone ammonium nitrate with local chalk and ammonium sulfate additives. Master diss.]. Tashkent, **2024**. 5. (In Uzbek.)
4. Zhmay L., Khristianova Ye. Ammiachnaya selitra v Rossii i v mire. Sovremennaya situatsiya i perspektivy [Ammonium nitrate in Russia and in the world. Modern situation and prospects]. *Mir sery, N, P i K*, **2004**, 2, 8. (In Russ.)
5. Chernyshov A.K., Levin B.V., Tugolukov A.V., Ogarkov A.A., Il'yin V.A. Ammiachnaya selitra: svoystva, proizvodstvo, primeneniye [Ammonium nitrate: properties, production, application]. Moscow, ZAO «INFOKhIM» Publ., **2009**. 544. (In Russ.)
6. Bozorov I.I. Tekhnologiya polucheniya AS-udobreniy na osnove plava ammiachnoy selitry, prirodnogo gipsa i fosfogipsa. Diss. magistr [Technology of obtaining AN-fertilizers based on ammonium nitrate melt, natural gypsum and phosphogypsum. Master diss.]. Denau, **2024**. 115. (In Russ.)
7. Usmanov K.P. Modifitsirovaniye ammiachnoy selitry neorganicheskimi kremniysoderzhashchimi soyedineniyami. Diss. kand. tekhn. nauk [Modification of ammonium nitrate with inorganic silicon-containing compounds. PhD diss.]. Moscow, **2013**. 125. (In Russ.)
8. Levin B.V., Sokolov A.N. Ammiakli selitra asosidagi murakkab o‘g‘itlar ishlab chiqarishdagi muammolar va texnik yechimlar [Problems and technical solutions in the production of complex fertilizers based on ammonium nitrate]. *Dunyo oltingugurt, N, P va K olami*, **2004,** 2, 13-21. (In Uzbek.)
9. Kydyraliyeva A.D. Sovershenstvovaniye tekhnologii ammiachnoy selitry c tsel'yu uluchsheniya fiziko-khimicheskikh i agrokhimicheskikh kharakteristik. Diss. dok. filos. (PhD) tekhn. nauk [Improving the technology of ammonium nitrate in order to improve physicochemical and agrochemical characteristics. PhD diss.]. Shymkent, **2020**. 138. (In Russ.)
10. Lavrov V.V., Shvedov K.K. O vzryvoopasnosti ammiachnoy selitry i udobreniy na yeyo osnove [On the explosiveness of ammonium nitrate and fertilizers based on it]. *Nauchno-tekhnicheskiye novosti: ZAO «INFOKhIM»*, Spetsvypusk, **2004**, 4, 44-49. (In Russ.)
11. Taubkin I.S., Saklantiy A.R., Samoylenko N.G., Solovyov I.V. O vzryvoopasnosti ustanovok dlya polucheniya ammiachnoy selitry i udobreniy na yeyo osnove [On the

explosiveness of plants for the production of ammonium nitrate and fertilizers based on it]. *Khimicheskaya promyshlennost'*, **2010**, 87(3), 148-160. (In Russ.)

12. Turdialiyev U.M. Tekhnologiya polucheniya neslezhivayushcheysya i vzryvobezopasnoy ammiachnoy selitry na osnove yeyo plava i bentonitovykh glin. Diss. dok. tekhn. nauk (DSc) [Technology of obtaining non-caking and explosion-safe ammonium nitrate based on its melt and bentonite clays. DSc diss.]. Tashkent, **2018**. 180. (In Uzbek.)
13. Mineyev V.G. Agrokhimiya [Agrochemistry]. Moscow, Izd-vo MGU Publ., **2004**. 720. (In Russ.)
14. Turdialiyev U.M., Namazov Sh.S., Seytnazarov A.R., Beglov B.M. Neslezhivayushchayasya Ammiachnaya selitra s dobavkoy bentonita Azkamarskogo mestorozhdeniya [Non-caking Ammonium nitrate with the addition of bentonite from the Azkamar deposit]. *Uzbekskiy khimicheskiy zhurnal*, **2016**, 3, 56-62. (In Russ.)
15. Turdialiyev U.M., Namazov Sh.S., Ortikova S.S., Reymov A.M. Svoystva granulirovannoy ammiachnoy selitry s dobavkoy bentonitovykh glin Uzbekistana [Properties of granulated ammonium nitrate with the addition of bentonite clays of Uzbekistan]. *Uzbekskiy khimicheskiy zhurnal*, **2015**, 2, 31-37. (In Russ.)
16. Turdialiev U.M., Namazov Sh.S., Reymov A.M., Seytnazarov A.R., Beglov B.M., Mirsalimova S.R. Modificated ammonium nitrate based on its melt and bentonic clay. *Austrian Journal of Technical and Natural Sciences*, **2016**, 1-2, 85-97.
17. Turdialiyev U.M. Razrabotka tekhnologii polucheniya modifitsirovannoy ammiachnoy selitry s dobavkoy bentonitovykh glin. Diss. kand. tekhn. nauk (PhD) [Development of technology for obtaining modified ammonium nitrate with the addition of bentonite clays. PhD diss.]. Tashkent, **2016**. 109. (In Russ.)
18. Chornyy V.A., Streltsov O.A. Primeneniye ayerosila dlya modifitsirovaniya azotsoderzhashchikh mineral'nykh udobreniy [Application of aerosil for modification of nitrogen-containing mineral fertilizers]. *Khimicheskaya tekhnologiya*, **1988**, 2, 47-49. (In Russ.)
19. Bozorov I.I., Mamataliev A.A., Namazov Sh.S. NS-udobreniya na osnove plava ammiachnoy selitry i prirodnogo gipsa [NS-fertilizers based on ammonium nitrate melt and natural gypsum]. *UNIVERSUM: tekhnicheskiye nauki*, **2020**, 12(81), 31-35. (In Russ.)
20. Shvedov K.K., Rubtsov Yu.I. Otsenka bezopasnosti tekhnologii polucheniya, granulirovaniya i khraneniya ammiachnoy selitry [Safety assessment of the technology of production, granulation and storage of ammonium nitrate]. *Nauchno-tekhnicheskiye novosti: ZAO «INFOKhIM»*, Spetsvypusk, **2004**, 2, 39-44. (In Russ.)
21. Glagolev O.L. “Cherepovets Azot” OAJda ammiakli selitra va uning asosidagi mahsulotlarni ishlab chiqarishning moslashuvchan sxemasi bo‘yicha AS-72M qurilmasini ekspluatatsiya qilishning amaliy tajribasi [Practical experience in operating the AS-72M unit according to a flexible scheme for the production of ammonium nitrate and products based on it at JSC "Cherepovets Azot"]. *Oltingugurt, N, P, K olami axborotnomasi*, **2004**, 2, 21-23. (In Uzbek.)
22. GOST 30181.4-94. Mineral fertilizers. Method for determination of total mass fraction of nitrogen in complex fertilizers and ammonium nitrates in ammonium and nitrate forms (Devarda method). Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov Publ., **1996**. 8. (In Russ.)
23. GOST 21560.2-82. Mineral fertilizers. Method for determination of static strength of granules. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov Publ., **2003**. 4. (In Russ.)
24. Pestov N.Ye. Fiziko-khimicheskiye svoystva zernistykh i poroshkoobraznykh khimicheskikh produktov [Physicochemical properties of granular and powder-like chemical products]. Moscow, Izd-vo AN SSSR Publ., **1947**. 239. (In Russ.)
25. Namazov Sh.S., Ibragimov N.S., Dzhamalov S.D., Salikhov Sh.I., Kholiboyev Yo.Yu., Reymov A.M., Turdialiyev U.M., Seytnazarov A.R. Sposob polucheniya granulirovannoy

ammiachnoy selitry [Method for producing granulated ammonium nitrate]. *Patent UZ*, IAP 05400, **2017**.

26. Gafurov K., Shamshidinov I. Technology of mineral fertilizers and salts. Tashkent, **2007**. 351.
27. Bozorov I.I., Mamataliev A.A., Namazov Sh.S., Turaev X.X. Polucheniya azotnosernykh udobreniy na osnove plava nitrata ammoniya i prirodnogo gipsa Baysunskogo mestorozhdeniya [Obtaining nitrogen-sulfur fertilizers based on ammonium nitrate melt and natural gypsum of the Boysun deposit]. *Universum: tekhnicheskiye nauki*, **2022**, 11(104). Available at: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14614 (accessed 19.06.2026). (In Russ.)
28. Zhabbarbergenov M.Zh., Mamataliev A.A., Madenov B.D., Namazov Sh.S. Kompleksnyye granulirovannyye azotsoderzhashchiye udobreniya na osnove plava ammiachnoy selitry i Karakalpakstanskogo vermikulita [Complex granulated nitrogen-containing fertilizers based on ammonium nitrate melt and Karakalpakstan vermiculite]. *UNIVERSUM: tekhnicheskiye nauki*, **2025**, 54. DOI: 10.32743. (In Russ.)
29. Chernyshev A.K., Levin B.V., Tugolukov A.V., Ogarkov A.A., Il'yin V.A. Ammiachnaya selitra. Svoystva, proizvodstvo, primeneniye [Ammonium nitrate. Properties, production, application]. Moscow, ZAO «INFOKhIM» Publ., **2009**. 544. (In Russ.)
30. GOST 24596.5-81. Feed phosphates. Method for determination of pH of solution or suspension. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov Publ., **2004**. 2. (In Russ.)

UDK 664.8:582.711.71

TURKISTON QIZIL DO'LANASI (CRATAEGUS TURKESTANICA POJARK.) MEVALARINING FUNKSIONAL OZIQ-OVQAT MAHSULOTLARI ISHLAB CHIQARISHDAGI ISTIQBOLLARI (sharh)

A.X. Jabborova*, J.B. Farmonov**
**Qarshi davlat texnika universiteti*
***Iqtisodiyot va pedagogika universiteti*
**Mas'ul muallif, e-mail: jabborovaa1990@gmail.com*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada Turkiston qizil do'lanasi (Crataegus turkestanica Pojark.) mevalarining kimyoviy tarkibi, bioaktiv komponentlari va funksional oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarishdagi istiqbollari tahlil qilindi. Mavjud ilmiy manbalar asosida turning pektin, flavonoid va boshqa biologik faol moddalarga boyligi hamda ularning funksional mahsulotlar yaratishdagi ahamiyati baholandi. Kelgusidagi ilmiy tadqiqot yo'nalishlari belgilandi*

Tayanch so'zlar: *Turkiston do'lanasi,* Crataegus turkestanica, *funksional oziq-ovqat, bioaktiv birikmalar, flavonoidlar, pektin, polifenollar.*

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛОДОВ БОЯРЫШНИКА ТУРКЕСТАНСКОГО (CRATAEGUS TURKESTANICA POJARK.) В ПРОИЗВОДСТВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

А. Х. Джаббарова*, Ж. Б. Фармонов**
*Каршинский государственный технический университет
**Университет экономики и педагогики
**Автор для корреспонденции, e-mail: jabborovaa1990@gmail.com*

Аннотация. *В статье проанализированы химический состав, биоактивные компоненты и перспективы использования плодов боярышника туркестанского (Crataegus turkestanica Pojark.) при производстве функциональных пищевых продуктов. На основе современных научных данных оценено содержание пектинов, флавоноидов и других биологически активных веществ, а также определены перспективные направления дальнейших исследований и практического применения.*

Ключевые слова: *боярышник туркестанский, Crataegus turkestanica, функциональные пищевые продукты, биоактивные соединения, флавоноиды, пектин, полифенолы.*

PROSPECTS FOR THE USE OF TURKESTAN HAWTHORN (CRATAEGUS TURKESTANICA POJARK.) FRUITS IN THE PRODUCTION OF FUNCTIONAL FOODS

A. Kh. Jabborova*, J. B. Farmonov**
**Karshi State Technical University*
***University of Economics and Pedagogy*
**Corresponding author, e-mail: jabborovaa1990@gmail.com*

Abstract. *This review analyzes the chemical composition, bioactive compounds, and potential applications of Turkestan hawthorn (Crataegus turkestanica Pojark.) fruits in functional food production. Based on current scientific literature, the significance of pectin, flavonoids, and other bioactive constituents is evaluated, and future research directions for the development of innovative functional food products are highlighted.*

Keywords: *Turkestan hawthorn, Crataegus turkestanica, functional foods, bioactive compounds, flavonoids, pectin, polyphenols.*

Kirish. Zamonaviy oziq-ovqat ta’minoti ko‘plab muammolarga duch kelmoqda. Dunyo aholisi soni va aholining farovonlik darajasi oshib borayotgan bir sharoitda atrof-muhitga imkon qadar kam zarar yetkazgan oziq-ovqat ishlab chiqarish tizimi hamda aholini sifatli oziq-ovqatga bo‘lgan talabi oshib bormoqda [1].

Mahalliy o‘simlik xomashyolaridan oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarishda foydalanish ularning oziqaviy tarkibi bilan birga texnologik xossalarini ham o‘rganishni talab etadi. Do‘lana (*Crataegus*) turkumiga mansub mevalar shu nuqtayi nazardan qiziqish uyg‘otadi. Biroq turkumdagi turlar kimyoviy tarkibi va antioksidant ko‘rsatkichlari bo‘yicha bir xil emas: turli do‘lana mevalarini taqqoslagan tadqiqotda fenol birikmalari miqdorida sezilarli farqlar aniqlangan. Do‘lana mevalari qadimdan oziq-ovqat va xalq tabobatida qo‘llanib kelgan bo‘lib, ayniqsa Xitoy an’anaviy tibbiyotida ularning ovqat hazmini yaxshilash, qon aylanishini faollashtirish va yurak-qon tomir tizimi faoliyatini qo’llab-quvvatlashdagi ahamiyati katta [4].

Zamonaviy fitokimyoviy tadqiqotlar esa do‘lana mevalarining polifenollar, flavonoidlar, fenol kislotalari, proantosianidinlar va boshqa biologik faol birikmalarga boyligini hamda ularning yuqori antioksidant salohiyatini tasdiqlamoqda [5]. Shu sababli do‘lana mevalari sharbatlar, murabbolar, jele, fermentlangan ichimliklar, biologik faol qo‘shimchalar va boshqa funksional oziq-ovqat mahsulotlarini ishlab chiqarishda istiqbolli xomashyo sifatida e’tirof etilmoqda. Turkiston qizil do’lanasi (*Crataegus turkestanica* Pojark.) mevalari biologik faol moddalar majmuasiga boy bo’lib, oziq-ovqat va farmatsevtika sanoati uchun istiqbolli tabiiy xomashyo hisoblanadi. So’nggi yillarda *Crataegus* turkumiga mansub turlar tarkibining fitokimyoviy tahlili ushbu mevalarda polifenollar, flavonoidlar, fenol kislotalari, proantosianidinlar, triterpenoidlar, askorbin kislotasi, organik kislotalar hamda pektin moddalarining yuqori miqdorda mavjudligini ko’rsatmoqda. (1-jadval) Mazkur birikmalar kuchli antioksidant, yallig’lanishga qarshi, gipolipidemik va kardioprotektiv xususiyatlari bilan ajralib turadi hamda funksional oziq-ovqat mahsulotlarini yaratishda muhim biologik komponentlar sifatida e’tirof etiladi [4-9,10].

1-jadval.

***Crataegus turkestanica* mevalarining asosiy bioaktiv komponentlari va ularning biologik ahamiyati**

Komponent	Asosiy vakillari	Biologik ta’siri
Flavonoidlar	Hyperoside, Vitexin	Antioksidant
Fenol kislotalari	Chlorogenic acid	ROS kamaytiradi
Proantosianidin	OPC	Yurakni himoya qiladi
Pektin	HM pectin	Prebiotik, jel hosil qiladi
Fosfolipid	Phosphatidylcholine	Emulsifikatsiya

O‘zbekistonda o‘suvchi *Crataegus turkestanica* mevalarining kimyoviy tarkibini o‘rganishga bag’ishlangan tadqiqotlarda, *C. turkestanica* mevalaridan ajratib olingan pektin moddalari chiqishi 11,25 % ni tashkil etgani aniqlangan bo‘lib, bu ko‘rsatkich *C. songarica* turiga (9,58 %) nisbatan yuqori ekanligi qayd etilgan. Tadqiqot natijalariga ko’ra, pektinning monosaxarid tarkibida uron kislotalari va arabinoza ustunlik qiladi, bu esa ularning klassik yuqori metoksillangan pektinlar guruhiga mansubligini ko‘rsatadi. Pektinning esterlanish darajasi 62,4 %, molekulyar massasi esa taxminan 110 000 Da ni tashkil qilgan. Ushbu ko‘rsatkichlar *C. turkestanica* pektinining oziq-ovqat sanoatida tabiiy jel hosil qiluvchi va stabilizator sifatida qo’llash imkoniyatlari yuqoriligini ko‘rsatadi [8].

Maqolaning maqsadi — *C. turkestanica* mevalari haqidagi nashr etilgan ma’lumotlarni umumlashtirish va ulardan funksional oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarishda foydalanishning ilmiy hamda texnologik istiqbollarini baholash.

Materiallar va usullar

Maqola adabiyotlar sharhi sifatida tayyorlandi; unda mualliflarning yangi laboratoriya tajribalari yoki mahsulot sinovlari natijalari keltirilmaydi. Tahlil uchun *C. Turkestanica* ning botanik maqomi, meva morfologiyasi, pektin moddalari, fenol birikmalari va oziq-ovqatda qo‘llanishiga oid ochiq ilmiy nashrlar ko‘rib chiqildi. Boshqa Crataegus turlarida quritish va maydalash bo‘yicha olingan natijalardan faqat qiyosiy texnologik ma’lumot sifatida foydalanildi. Manbalar turning o‘zida olingan dalillar va boshqa turlardan kelib chiqadigan ehtimoliy qo‘llanish yo‘nalishlariga ajratib tahlil qilindi.

Natijalar va muhokama

Mevalarning xomashyo sifatidagi xususiyatlari: Turkiston qizil do‘lanasi O‘zbekistonning Tyan-Shan va Pomir-Olay tog’ tizimlari florasining muhim tarkibiy qismi bo‘lib, tabiiy populyatsiyalari tog’ ekotizimlarining biologik xilma-xilligini saqlashda muhim ahamiyatga ega. Xususan, Chatqol tizmasining Kungurbuka tog’larida olib borilgan bioekologik tadqiqotlar ushbu turning dengiz sathidan 960–1480 m balandliklarda yaxshi rivojlanishini, ayrim hududlarda 2 gektargacha bo‘lgan tabiiy qalinzorlarni hosil qilishini hamda populyatsiya maydonining yildan-yilga kengayib borayotganligini ko‘rsatgan [7]. Bunday ekologik barqarorlik ushbu turning mahalliy bioresurs sifatidagi ahamiyatini yanada oshiradi.

Morfologik jihatdan *C. turkestanica* mayda daraxt yoki yirik buta bo‘lib, jigarrang-kulrang po‘stloqli shoxlari, ba’zan siyrak tikanlari, chuqur bo’lingan barglari va to‘q qizil rangli mevalari bilan tavsiflanadi. Turkiston qizil do‘lanasi (*Crataegus turkestanica* Pojark.) ning mevalari va barglarining umumiy ko‘rinishi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Turkiston do‘lanasi (Crataegus turkestanica Pojark.)ning morfologik tuzilishi

*Crataegus turkestanica*ning asosan mevalaridan foydalaniladi. Shu sababli meva o‘lchamlari hosildorlik va xomashyo zaxiralarini aniqlashda muhim ahamiyatga ega. Meva ko‘rsatkichlari — uzunligi, eni va meva bandi uzunligining o‘zgarishi 2-jadval ma’lumotlarida aks ettirilgan [7].

2-jadval

Turli senopopulyatsiyalarda *Crataegus turkestanica* Pojark. mevalarining o‘lchamlari (quritilgan holatda, mm)

Meva ko‘rsatkichi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	O‘rtacha ko‘rsatkich
Meva uzunligi	10,1	11,2	10,5	12,1	12,4	11,1	12,5	9,1	10,2	11,5	11,1
Meva eni	8,4	8,3	8,2	9,8	10,7	10,5	10,2	7,9	8,9	9,9	9,3
Meva bandining uzunligi	11,1	12,3	10,5	9,4	10,1	8,7	12,0	11,5	11,1	12,2	10,9

Pektin moddalarining texnologik ahamiyati

Pektin moddalari funksional oziq-ovqat mahsulotlarining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. Ular og‘ir metall ionlari bilan kompleks hosil qilish, ovqat hazm qilish tizimini me’yorlashtirish, ichak mikrobiotasini qo’llab-quvvatlash hamda oziq-ovqat mahsulotlariga kerakli reologik xususiyatlarni berish kabi biologik va texnologik afzalliklarga ega. Shu sababli pektinga boy o‘simlik xomashyolari, jumladan *C. turkestanica* mevalari funksional ichimliklar, jemlar, marmeladlar, pastilalar va boshqa sog’lom oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarishda istiqbolli manba sifatida qaralmoqda.

Bundan tashqari, *Crataegus* turkumi vakillarining mevalari flavonoidlar (giperozid, viteksin, kversitrin), proantosianidinlar hamda fenol kislotalariga boyligi sababli kuchli antioksidant faollikka ega. Mazkur biologik faol moddalar erkin radikallarni neytrallash, yurak-qon tomir tizimini himoya qilish, oksidlovchi stressni kamaytirish hamda metabolik kasalliklar xavfini pasaytirishda muhim rol o’ynaydi. Shu bois zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda do‘lana mevalari bioaktiv komponentlarning tabiiy manbai sifatida tobora ko’proq e’tibor qozonmoqda [4, 9, 11].

Natijada, *Crataegus turkestanica* mevalari tarkibidagi pektin moddalar, polifenollar va boshqa biologik faol komponentlarning uyg‘unligi ushbu turning funksional oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarish uchun yuqori salohiyatga ega mahalliy o‘simlik xomashyosi ekanligini tasdiqlaydi. Kelgusida ushbu bioaktiv moddalarni zamonaviy qayta ishlash va fermentatsiya texnologiyalari bilan uyg‘unlashtirish ularning biologik samaradorligini yanada oshirish imkonini beradi.

Kimyoviy birikmalari ko‘rsatkichlar

Eronning turli hududlaridan olingan do‘lana mevalarini qiyosiy o‘rgangan tadqiqotda *C. turkestanica* ham tekshirilgan. O‘sha tadqiqot namunalarida umumiy fenol birikmalari miqdori *C. turkestanica* mevasida taqqoslangan turlar orasida eng past bo‘lgan. Bu natija mazkur tur mevasida fenol birikmalari yo‘qligini anglatmaydi; u turga oid xususiyatlarni boshqa do‘lana turlaridagi yuqori ko‘rsatkichlar bilan almashtirib bo‘lmasligini ko‘rsatadi [20].

Shu sababli O‘zbekistonda yig‘ilgan *C. turkestanica* mevasidan tayyorlanadigan mahsulot uchun umumiy fenollar, ayrim fenol birikmalari va antioksidant faollikni xomashyo hamda tayyor mahsulotda alohida o‘lchash lozim. Kimyoviy tarkibni chuqurroq tahlil qilish natijalari *Crataegus turkestanica* mevalarining lipid fraksiyasi ham biologik jihatdan qimmatli ekanligini ko‘rsatadi. Olib borilgan tadqiqotlarda meva perikarpida 12 ta fosfolipid sinfi aniqlangan bo‘lib, ular orasida fosfatidilxolin, fosfatidiletanolamin va fosfatidilinozitol asosiy ulushni tashkil etadi. Ushbu membrana lipidlari oziq-ovqat mahsulotlarining emulsifikatsiya xususiyatlarini yaxshilashi hamda biologik faol komponentlarning hujayra membranalari orqali o‘zlashtirilishiga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin [12].

So’nggi yillarda *Crataegus* turkumiga mansub mevalar asosida turli funksional oziq-ovqat mahsulotlarini yaratishga qaratilgan tadqiqotlar sezilarli darajada faollashdi. Zamonaviy tadqiqotlarda do‘lana mevalaridan funksional sharbatlar, fermentlangan ichimliklar, suv kefiri, mevali vino, bioaktiv polisaxaridlar, tabiiy antioksidant qo‘shimchalar, Pickering emulsiyalari hamda antosiyanin asosidagi pH-sezgir qadoqlash plyonkalari ishlab chiqilganligi qayd etilgan [14,15,16].

Mahsulot ishlab chiqarish imkoniyatlari

Funksional oziq-ovqat mahsulotlarini yaratishda foydalaniladigan o‘simlik xomashyosi nafaqat biologik faol moddalarga boy bo‘lishi, balki texnologik jihatdan qayta ishlash jarayonlariga mosligi, biofaol komponentlarning barqarorligi hamda tayyor mahsulotning iste’mol xususiyatlarini yaxshilashi bilan ham tavsiflanishi lozim. Shu nuqtai nazardan, Crataegus oilasi mevalari kimyoviy tarkibi va fizik-kimyoviy xususiyatlari bilan funksional oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarish uchun istiqbolli xomashyo hisoblanadi. (3-jadval)

3-jadval

Turli *Crataegus* turlarining oziq-ovqat sanoatidagi qo‘llanilishi

Tur	Mahsulot	Mamlakat
C. pinnatifida	Sharbat, vino, jem	Xitoy
C. monogyna	Choy, ekstrakt	Turkiya
C. laevigata	Nutraceutical	Germaniya
C. turkestanica	Funksional oziq-ovqat (istiqbolli)	O‘zbekiston

Mazkur turning mevalarida flavonoidlar, fenol kislotalari, proantosianidinlar, triterpenoidlar, organik kislotalar, vitamin C, mineral elementlar hamda pektin moddalarining yuqori miqdorda uchrashi ularning antioksidant, kardioprotektiv va metabolik faolligini belgilaydi. Ayniqsa, flavonoidlar va proantosianidinlar erkin radikallarni neytrallash, lipid peroksidlanishini kamaytirish hamda oksidlovchi stress bilan bog‘liq surunkali kasalliklarning oldini olishda muhim biologik rol o’ynaydi [4, 5, 7].

Do‘lananing boshqa turlarida quritish va maydalash usuli kukunning eruvchanligi, rangi hamda ayrim fenol birikmalarining saqlanishiga ta’sir qilishi aniqlangan. Bu natijalar Turkiston do‘lanasidan meva kukuni olishni tadqiq etish uchun texnologik yo‘nalish beradi, lekin aynan ushbu turda qaysi quritish usuli maqbul ekanini belgilamaydi [21].

Mavjud dalillarga ko‘ra, *C. turkestanica* mevasini dastlab pastila, pyure va meva kukuni tarkibida sinash maqsadga muvofiq. Keyingi tadqiqotlarda xomashyoning yetilish darajasi, quritish harorati, danakni ajratish usuli, mahsulotning ta’mi, mikrobiologik xavfsizligi va saqlash muddati birgalikda baholanishi lozim.

XULOSA

Adabiyotlar tahlili Turkiston do‘lanasi (*Crataegus turkestanica* Pojark.) mevalaridan oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarishda foydalanish imkoniyati mavjudligini ko‘rsatdi. Xususan, O‘zbekistonda o‘sadigan ushbu tur mevalaridan pektin moddalari ajratib olingan, shuningdek, ulardan meva pastilasi tayyorlash tajribasi nashr etilgan.

Mevaning pektin moddalariga oid ma’lumotlar uni pyure va pastila kabi mahsulotlar tarkibida qo‘llashni tadqiq etish uchun asos bo‘la oladi. Bunda retseptura va qayta ishlash usulining mahsulot teksturasi hamda sifatiga ta’sirini alohida baholash lozim.

Biroq mevaning mahalliy sharoitdagi kimyoviy tarkibi, biofaol moddalarning qayta ishlash jarayonida saqlanishi va tayyor mahsulot sifati yetarlicha o‘rganilmagan. Shu bois *C. turkestanica* asosida funksional oziq-ovqat mahsulotini tavsiya etishdan oldin uning tarkibi, xavfsizligi, saqlashdagi barqarorligi va iste’mol xususiyatlarini eksperimental baholash zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. McClements D.J., Grossmann L. Next-Generation Plant-Based Foods: Challenges and Opportunities // Annual Review of Food Science and Technology. – 2024. – Vol. 15. – P. 79–101. – DOI: 10.1146/annurev-food-072023-034414.
2. Farid M.S., Anjum R., Yang Y. et al. Recent trends in fermented plant-based analogues and products, bioactive peptides, and novel technologies-assisted fermentation // Trends in Food Science & Technology. – 2024. – Vol. 149. – Article 104529. – DOI: 10.1016/j.tifs.2024.104529.
3. Caliskan O. Mediterranean hawthorn fruit (Crataegus) species and potential usage // The Mediterranean Diet: An Evidence-Based Approach / eds. V.R. Preedy, R.R. Watson. – Amsterdam: Elsevier, 2015. – P. 621–628. – DOI: 10.1016/B978-0-12-407849-9.00055-5.
4. Cui M., Cheng L., Zhou Z. et al. Traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and safety concerns of hawthorn (Crataegus genus): A comprehensive review // Journal of Ethnopharmacology. – 2024. – Vol. 319. – Article 117229. – DOI: 10.1016/j.jep.2023.117229.

5. Li T., Fu S., Huang X. et al. Biological properties and potential application of hawthorn and its major functional components: A review // Journal of Functional Foods. – 2022. – Vol. 90. – Article 104988. – DOI: 10.1016/j.jff.2022.104988.
6. Royal Botanic Gardens, Kew. Plants of the World Online (POWO). Crataegus turkestanica Pojark. [Electronic resource]. – URL: https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:724420-1 (accessed: 23.07.2026).
7. Tojiboyev M., Yuldashev A. Bioecological Characteristics of Crataegus turkestanica Pojark. in the Kungurbuka Mountains of the Chatkal Range (Uzbekistan) // European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies. – 2025. – Vol. 5, No. 1. – P. 5–10. – DOI: 10.55640/eijmrms-05-01-02.
8. Zokirova M.S., Malikova M.Kh., Botirov E.Kh. Pectin substances of the fruit of two types of hawthorn growing in Uzbekistan // Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya. – 2024. – No. 2. – P. 118–125. – DOI: 10.14258/jcprm.20240213399.
9. Yang B., Liu P. Composition and health effects of phenolic compounds in hawthorn (Crataegus spp.) of different origins // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2012. – Vol. 92, No. 8. – P. 1578–1590. – DOI: 10.1002/jsfa.5671.
10. Kumar D., Arya V., Bhat Z.A. et al. The genus Crataegus: Chemical and pharmacological perspectives // Revista Brasileira de Farmacognosia. – 2012. – Vol. 22, No. 5. – P. 1187–1200. – DOI: 10.1590/S0102-695X2012005000094.
11. Alirezalu A., Salehi P., Ahmadi N. et al. Flavonoids profile and antioxidant activity in flowers and leaves of hawthorn species (Crataegus spp.) from different regions of Iran // International Journal of Food Properties. – 2018. – Vol. 21, No. 1. – P. 452–470. – DOI: 10.1080/10942912.2018.1446146.
12. Gazizov F.Y., Glushenkova A.I. Phospholipids of the pericarp of Crataegus turkestanica // Chemistry of Natural Compounds. – 1996. – Vol. 31, No. 4. – P. 465–466. – DOI: 10.1007/BF01177412.
13. Bruce B.B., Boateng I.D., Boateng C. Recent advances in bioactive peptides from fermented plant-based foods and their bioactivities // Food Chemistry: X. – 2025. – Vol. 32. – Article 103291. – DOI: 10.1016/j.fochx.2025.103291.
14. Yan J., Cui R., Tang Z. et al. Development of pH-sensitive films based on gelatin/chitosan/nanocellulose and anthocyanins from hawthorn (Crataegus scabrifolia) fruit // Journal of Food Measurement and Characterization. – 2021. – Vol. 15, No. 5. – P. 3901–3911. – DOI: 10.1007/s11694-021-00978-8.
15. Liu J., Yang W., Lv Z. et al. Effects of different pretreatments on physicochemical properties and phenolic compounds of hawthorn wine // CyTA – Journal of Food. – 2020. – Vol. 18, No. 1. – P. 518–526. – DOI: 10.1080/19476337.2020.1791962.
16. Ma J.-X., Yang W., Ng C.Y.J. et al. The hawthorn (Crataegus pinnatifida Bge.) fruit as a new dietary source of bioactive ingredients with multiple beneficial functions // Food Frontiers. – 2024. – Vol. 5, No. 4. – P. 1534–1558. – DOI: 10.1002/fft2.413.
17. Ozcelik F., Akan E., Kinik O. Use of Cornelian cherry, hawthorn, red plum, rosehip and pomegranate juices in the production of water kefir beverages // Food Bioscience. – 2021. – Vol. 42. – Article 101219. – DOI: 10.1016/j.fbio.2021.101219.
18. Keser S., Celik S., Turkoglu S. et al. The investigation of some bioactive compounds and antioxidant properties of hawthorn (Crataegus monogyna subsp. monogyna) // Journal of Intercultural Ethnopharmacology. – 2014. – Vol. 3, No. 2. – P. 51–55. – DOI: 10.5455/jice.20140120103320.
19. Jia H., Jia Y., Ren F., Liu H. Enhancing bioactive compounds in plant-based foods: Influencing factors and technological advances // Food Chemistry. – 2024. – Vol. 460. – Article 140744. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.140744.
20. Alirezalu A. et al. Physicochemical characterization, antioxidant activity, and phenolic compounds of hawthorn (Crataegus spp.) fruits species for potential use in food applications //Foods. – 2020. – Т. 9. – №. 4. – С. 436.
21. Liu S. et al. Effects of different drying and milling methods on the physicochemical properties and phenolic content of hawthorn fruit powders //Journal of Food Processing and Preservation. – 2020. – Т. 44. – №. 6. – С. e14460.

МИНЕРАЛ ТУЗ ҚАТЛАМЛАРИНИНГ ШАКЛЛАНИШИ, ИДЕНТИФИКАЦИЯСИ ВА ЮВИШ ЖАРАЁНИНИ ТАДҚИҚ ЭТИШ

Жаҳонов Фазлиддин Ҳасанович *- Тошкент кимё-технология институти "Нефт ва газни қайта ишлаш кимёвий технологияси" кафедраси таянч докторанти.*
fazliddinhasanovich@gmail.com
Дониёров Ғиёс Тиловович*- Тошкент кимё-технология институти Янгиер филиали. Ўқув ишлар буйича директор ўринбосари*
Техника фанлари бўйича фалсафа доктори, PhD. daniyarovgiyos@gmail.com
Раҳимов Хусниддин Нурбобоевич *- Тошкент кимё-технология институти "Нефт ва газни қайта ишлаш кимёвий технологияси" кафедраси доценти, Техника фанлари бўйича фалсафа доктори, PhD. xusniddin.raximov.89@gmail.com https://orcid.org/0009-0009-3607-5921*
Қодиров Ҳасан Иргашевич *- Тошкент кимё-технология институти "Асосий органик синтез" кафедраси профессори, Техника фанлари доктори. tkti.kodirov@mail.ru*
Машаев Элдор Эргашвой ўғли *- Тошкент кимё-технология институти "Нефт ва газни қайта ишлаш кимёвий технологияси" кафедраси доценти в.б., Кимё фанлари бўйича фалсафа доктори, PhD. eldor.mashayev@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-4594-3670*

Аннотация. *Ушбу мақолада минерал туз йиғилмаларининг шаклланиш механизмлари, уларнинг қувурлар, қудуқларнинг ствололди ҳудудлари ва ер усти ускуналарида тўпланиши, таркиби ва идентификация усуллари таҳлил қилинган. Туз қатламларининг ҳосил бўлишида гомоген ва гетероген нуклеация, ҳарорат, босим, pH, ташқи газлар, суюқликлар мослиги ҳамда турбулентликнинг таъсири кўриб чиқилган. Тажрибаларда минерал тузларни ювиш жараёнида ювувчи реагент концентрацияси, ҳарорат ва оқим тезлигининг таъсири баҳоланган. Олинган натижалар ҳароратнинг ошиши тозалаш давомийлигига реагент дозасининг ошишига нисбатан кучлироқ таъсир кўрсатишини, шунингдек, реагент концентрацияси ва оқим тезлигини мақбул танлаш металл юзасининг тозаланиш сифатига бевосита таъсир қилишини кўрсатди. Минерал тузларни ювиш учун амалий меъёрлар ҳамда металл юзасида коррозион ўзгаришлар юзага келиш эҳтимоли баҳоланди.*

Калит сўзлар: *минерал тузлар, туз йиғилмалари, нуклеация, қудуқ, НКТ, барий сульфати, ювувчи реагент, концентрация, ҳарорат, оқим тезлиги, коррозия, металл юзаси.*

FORMATION, IDENTIFICATION, AND INVESTIGATION OF THE WASHING PROCESS OF MINERAL SALT DEPOSITS

Abstract. *This article analyzes the formation mechanisms of mineral salt deposits, their accumulation in pipes, near-wellbore zones of wells, and surface equipment, as well as their composition and identification methods. The effects of homogeneous and heterogeneous nucleation, temperature, pressure, pH, external gases, fluid compatibility, and turbulence on the formation of salt deposits are considered. In the experiments, the effects of washing reagent concentration, temperature, and flow rate on the process of washing mineral salts were evaluated. The obtained results showed that an increase in temperature has a stronger effect on the cleaning duration than an increase in reagent dosage; furthermore, the optimal selection of reagent concentration and flow rate directly affects the quality of cleaning of the metal surface. Practical standards for washing mineral salts and the possibility of corrosion changes occurring on the metal surface were evaluated.*

Keywords: *mineral salts, salt deposits, nucleation, well, tubing, barium sulfate, washing reagent, concentration, temperature, flow rate, corrosion, metal surface.*

ФОРМИРОВАНИЕ, ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССАПРОМЫВКИ МИНЕРАЛЬНЫХ СОЛЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Аннотация. *В данной статье проанализированы механизмы формирования минеральных солевых отложений, их накопление в трубах, призабойных зонах скважин и наземном оборудовании, а также их состав и методы идентификации. Рассмотрено влияние гомогенной и гетерогенной нуклеации, температуры, давления, pH, внешних газов, совместимости жидкостей и турбулентности на образование солевых отложений. В экспериментах оценивалось влияние концентрации промывочного реагента, температуры и скорости потока на процесс промывки минеральных солей. Полученные результаты показали, что повышение температуры оказывает более сильное влияние на продолжительность очистки по сравнению с увеличением дозировки реагента, а также что оптимальный выбор концентрации реагента и скорости потока непосредственно влияет на качество очистки металлической поверхности. Оценены практические нормы для промывки минеральных солей, а также вероятность возникновения коррозионных изменений на металлической поверхности.*

Ключевые слова: *минеральные соли, солевые отложения, нуклеация, скважина, НКТ, сульфат бария, промывочный реагент, концентрация, температура, скорость потока, коррозия, металлическая поверхность.*

Кириш. Минерал туз қатламларининг ҳосил бўлиши нефть-газ қазиб олиш, сув ҳайдаш тизимлари ҳамда иссиқлик энергетикаси ускуналаридан фойдаланиш жараёнларида жиддий технологик муаммолардан бири ҳисобланади. Сув таркибидаги минерал компонентларнинг ўта тўйиниши, ҳарорат ва босимнинг ўзгариши, турли кимёвий таркибли сувларнинг аралашиши ҳамда гидродинамик шароитларнинг ўзгариши натижасида минерал компонентлар чўкма ҳосил қилиб, қувурлар ва технологик ускуналар ички юзаларида қатлам сифатида тўпланади. Бундай қатламлар оқим кесимининг торайиши, босим йўқотишларининг ортиши, иссиқлик узатиш самарадорлигининг пасайиши ва ускуналарнинг ишдан чиқишига олиб келиши мумкин [1]. Камал ва ҳаммуаллифлар томонидан олиб борилган кенг қамровли таҳлилда нефть-газ тизимларида карбонат, сульфат ва сульфид табиатли туз қатламлари кенг тарқалгани, уларнинг шаклланиши эса ҳарорат, босим, эритманинг тўйиниш даражаси ва оқим гидродинамикаси каби омилларга боғлиқлиги кўрсатилган [1].

Минерал тузларнинг шаклланиш механизмида нуклеация ва кристалл ўсиши муҳим аҳамиятга эга. Айниқса, барий сульфати, кальций сульфати ва кальций карбонати каби минералларнинг чўкиши сув таркибидаги ионлар концентрацияси, босим ва ҳарорат ўзгариши ҳамда ўзаро мос келмайдиган сувларнинг аралашиши билан боғлиқ. Мпелва ва Тангнинг тадқиқотларида минерал тузларнинг ҳосил бўлишини чеклашда ингибиторларнинг нуклеацияни сусайтириш, кристалл ўсишини бузиш ва диспергирлаш механизмлари муҳим эканлиги қайд этилган [2]. Шунингдек, муаллифлар нефть-газ тизимларида кальций, барий ва стронций ионлари иштирокида турли сульфат ва карбонат тузларининг ҳосил бўлишини таъкидлайдилар [2].

Туз қатламларининг ҳосил бўлиши нафақат уларнинг кимёвий таркибига, балки оқим тезлиги ва гидродинамик шароитларга ҳам боғлиқ. Хормали, Петраков ва Афшари Моэйн томонидан кальций карбонати чўкиши бўйича ўтказилган тажрибаларда оқим тезлиги ошиши кристалланишнинг индукция даврига сезиларли таъсир кўрсатиши аниқланган. Шу билан бирга, сув ҳайдаш жараёнида минерал тузларнинг ҳосил бўлиши қатлам ўтказувчанлигининг пасайиши ва технологик ускуналарда туз қатламларининг шаклланишига сабаб бўлиши мумкин [3].

Барий сульфати туз қатламлари орасида алоҳида мураккабликка эга бўлиб, унинг паст эрувчанлиги сабабли анъанавий кислотали ишлов бериш усуллари ҳар доим ҳам етарли самара бермайди. Динамик шароитларда барий сульфати чўкиши оқим йўлида босим

тушишини кучайтириши ва қувурларнинг ўтказувчанлигини пасайтириши мумкин. Хормали ва Аҳмади томонидан ўтказилган тадқиқотда барий сульфати чўкиши турли инъекция тезликлари ва вақт оралиқларида динамик қувурни тўсиш тажрибалари орқали ўрганилган ҳамда туз чўкишининг босим тушиши билан боғлиқлиги математик усуллар асосида баҳоланган [4].

Барий сульфати чўкиш кинетикасини ўрганиш ҳам минерал тузларни назорат қилишда муҳим аҳамиятга эга. Рафие ва ҳаммуаллифлар барий сульфати қатламларининг ҳосил бўлиш кинетикасини моделлаштириб, чўкманинг шаклланиши ва юзага ёпишиш жараёнларини миқдорий баҳолаш имконини берган моделни таклиф қилганлар [5]. Бу натижалар минерал туз қатламларининг фақат кимёвий таркибини эмас, балки уларнинг ҳосил бўлиш тезлиги ва динамик хусусиятларини ҳам ҳисобга олиш зарурлигини кўрсатади. Шаклланган минерал туз қатламларини бартараф этишда кимёвий усуллар, айниқса хелатловчи реагентлар, муҳим аҳамиятга эга. Луо ва ҳаммуаллифлар барий сульфати қатламларини йўқотиш учун диэтилентриаминпентасирка кислотаси (DTPA) ва паст молекуляр массали натрий полиакрилат асосида хелатловчи тизим ишлаб чиққанлар. Тадқиқотда ушбу тизимнинг барий сульфатини эритиш қобилияти, зарра ўлчами, коррозион хусусиятлари ва қатламнинг ўтказувчанлигига таъсири комплекс равишда баҳоланган [6]. Натижалар хелатлаш, кристалл панжарасини бузиш ва диспергирлаш механизмларини биргаликда қўллаш минерал тузларни бартараф этиш самарадорлигини оширишини кўрсатган.

Минерал туз қатламларини олдини олиш ва уларни бартараф этишнинг самарадорлиги реагентнинг тури билан бир қаторда унинг концентрацияси, ҳарорат, таъсир вақти ва оқим тезлигига ҳам боғлиқ. Луо ва ҳаммуаллифлар томонидан полимерли ингибиторлар бўйича ўтказилган тадқиқотда кальций карбонати, кальций сульфати, барий сульфати ва стронций сульфати каби турли минерал тузларга нисбатан ингибирлаш самарадорлиги ўрганилган ҳамда ҳарорат, pH ва муҳитнинг ион таркиби ингибитор таъсирига сезиларли таъсир кўрсатиши аниқланган [7].

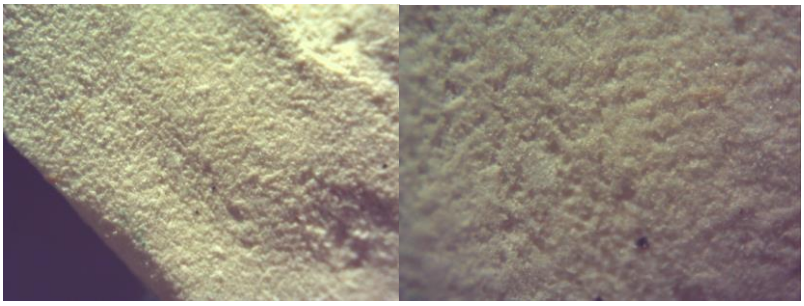
Шундай қилиб, минерал туз қатламларининг шаклланишини назорат қилиш ва уларни самарали бартараф этиш учун тузнинг минералогик таркиби, нуклеация ва кристалл ўсиши механизмлари, оқимнинг гидродинамик параметрлари ҳамда ювувчи реагентнинг кимёвий хусусиятларини комплекс равишда ҳисобга олиш талаб этилади [8]. Мазкур муаммонинг долзарблиги минерал туз қатламларини бартараф этишда юқори самарадорликни таъминлаш билан бир вақтда металл юзанинг коррозион емирилишини минималлаштириш зарурати билан белгиланади. Шу нуқтаи назардан, ушбу тадқиқотда минерал тузларни ювиш жараёнига ювувчи реагент концентрацияси, ҳарорат ва оқим тезлигининг таъсирини ўрганиш, тозалаш самарадорлигини баҳолаш ҳамда металл юзасида юзага келиши мумкин бўлган коррозион ўзгаришларни аниқлашга алоҳида эътибор қаратилган. Бу ёндашув мақолада келтирилган тажрибавий натижалар – реагент концентрацияси, ҳарорат ва оқим тезлигининг тозалаш жараёнига таъсири – билан бевосита уйғунлашади.

Материаллар ва методлар. Тадқиқотда қувур ва металл юзасида тўпланган минерал туз қатламларидан фойдаланилди. Тузларнинг таркиби ва идентификацияси рентгенографик таҳлил ҳамда гамма-нурлар асосидаги таҳлил маълумотлари орқали баҳоланган. Қувурлардаги туз йиғилмаларини аниқлаш ва жараённи назорат қилишда NODAL-анализни қўллаш имконияти ҳам кўриб чиқилган. Туз қатламларини ювиш жараёнида ювувчи реагент концентрацияси (5–10 %), ҳарорат (20–70 °C) ва оқим тезлиги (0,1–1,9 м/с) асосий экспериментал параметрлар сифатида танланган. Ювиш самарадорлиги туз қатламининг эриш динамикаси, металл юзасининг тозаланиш даражаси ва нисбий эриш тезлиги K_0 орқали баҳоланган.

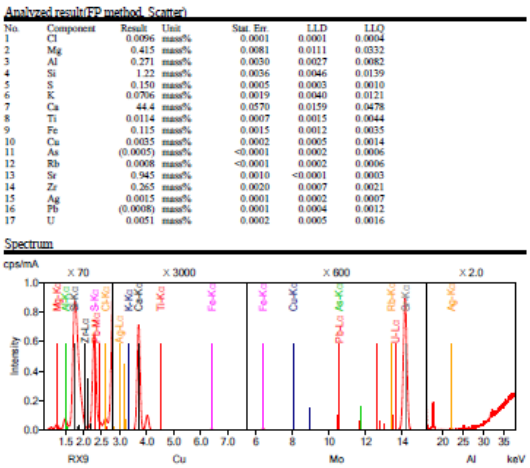
Натижалар ва муҳокама. Гарчи ҳарорат ёки босим ўзгариши, ташқи газлар мавжудлиги, pH ўзгариши ёки бир-бирига тўғри келмайдиган суюқликлар туз йиғилмалари ҳосил бўлишида асосий таъсир омили ҳисоблансада, кўпинча ўта тўйинган ҳолатдаги қатлам

сувлари ҳам туз чўкмасини бермайди. Туз чўкмаси йиғилиши учун у аста-секин аралашмадан “ўсиши” керак бўлади. Ривожланишнинг биринчи босқичи тўйинган аралашмада ўзгарувчан атомлар кластери пайдо бўлишидир, жараённинг ўзи эса гомоген нуклиация деб аталади. Кейинчалик, тўйинган аралашма ионларининг локал флуктуацияси таъсирида атом кластерлари кичик кристалл куртаклар ҳосил қилади. Ушбу кристаллар дефект юзадаги ионлар адсорбцияси ҳисобига ўсиб, ўлчамини катталаштириб боради. Куртак кристалларнинг ўсиш сабаби, ушбу зарралар радиуси кенгайган сари кристаллар эркин энергия юзаси кескин қисқариб боради ва улар критик катталикка эришиши омилини яратади. Катта кристаллар ўсишда давом этади, кичиклари эса яна эрийди. Шундай қилиб, ўта тўйинган муҳитда куртак кристалларнинг шаклланиши туз тузилмаларининг катталашишига олиб келади. Жараён кўрсатадики, туз чўкмалари йиғилишида куртак кристаллар ўзига хос катализатор вазифасини ўтайди.

Кристаллар ўсиши қаттиқ жисм ва суюқлик ўртасида мавжуд бўлган жараён, гетероген нуклеациясини намойиш қилиш тенденциясига эга. Қувур юзалари, эксплуатация қилинаётган колонналар перфорацион тешиклари, шунингдек уланишлар ва пайванд чокларидаги нотекисликлар гетероген нуклеацияси юзага келиши жойларидир. Юқори даражадаги турбулентлик ҳам туз йиғимлари ҳосил бўлиши жараёнини катализаторлашга қодир. Шундай қилиб, чўкманинг йиғилиши оқимда тўйинган босим таъсирида содир бўлади. Ўз навбатида бу бурғу қудуғи узатиш ускуналарида чўкмаларнинг тез орада пайдо бўлишини изоҳлайди. Нуклеация ҳодисаси ҳақидаги тасаввурларимиздан келиб чиққан ҳолда, кимёвий реагентлардан фойдаланиб, нуклеация жараёнини, туз йиғимлари ўсишини секинлаштирувчи ва чўкма ҳосил бўлиш тезлигини қарийб нолгача тушурувчи туз йиғилмалари ўсишига қарши ингибиторлар ишлаб чиқилди 1-расм.



1-расм. Туз йиғилмалари



2-расм. Туз йиғилмаларини идентификациялаш

Туз йиғилмалари жойи ва таркибини идентификациялаш – уларни бартараф этишга қаратилган иқтисодий ишланмаларга қўйилган биринчи қадамдир 2-расм.

НКТ эксплуатацион колонналари ва ер усти ускуналари - НКТ эксплуатацион колонналари туз йиғилмалари уларнинг ички юза қисмида зич жойлашган қаттиқ қатлам кўринишида учрайди. Улар кўпинча диаметри 1 см ва ундан йириқроқ бўлган, бир неча сантиметрли қатламдан иборат. Туз йиғимлари ўсишининг дастлабки самарадорлиги қувурлар ички юза қисмидаги нотекисликлар кўпайиши, улардаги диаметр кичрайиши ва оқимга таъсири туфайли қазиб олиш суръатининг пасайиши. Шу сабабдан босим ошади, қазиб олиш тушади. Кристаллар катталашиши мобайнида бурғуланган қудуқ пастки секцияларига етиб бориш имконияти бўлмайди, бунда қувурлар орқали ўтувчи оқим кескин пасаяди. Қувурлардаги туз йиғилмалари кимёвий таркиби бўйича фарқ қилади ва бурғуланган қудуқнинг барча даврларига оид қатламлардан иборат. Туз йиғилмалари кўпинча асфальтен ва парафин қатламлардан, ҳамда темир сульфиди, карбонатлар ёки коррозия маҳсулотларидан ташкил топган қувурга ёпишган туз қатламларидан иборат.

Коннинг ствололди ҳудудлари – карбонатли ёки сульфидли йиғилмалари (қудуқ атрофи участкалари учун одатий ҳол) зарралари қувур ички юзасидаги йиғилмалар заррасидан кичикроқ ўлчамга эга, яъни уларнинг ўлчам катталиги сантиметр эмас, микронга тенг. Бу эса гравийли зичловчилар ва фильтрлар, ҳамда табиий жинслардаги ковакларнинг тўлиб қолишига олиб келади. Қудуқ стволига яқин туз йиғилмалари одатда, қудуқнинг узоқ вақт тўхтаб туриши давомида ҳар қатламдаги номутаносиб сувлар қўшилиши оқибатида шаклланади. Бундай юпқа туз қатлами қоплама ролини бажаради. Уларни кимёвий эритиш ёки кислота ёрдамида йўқотиш, қазиб олиш самарадорлигини кескин оширади.

Сиқиб чиқарувчи қудуқлар – туз йиғилмаларининг сиқиб чиқарувчи қудуқларга негатив таъсири улардан чиқарилаётган сув ҳароратининг кўтарилиб бориши билан изоҳланади. Қўшимча равишда, агар қудуққа қуйилаётган сув, туз эритмаси қатлам сувлари билан бевосита қудуққа яқин жойда қўшилиши. Мазкур муаммо сўриб сув киритишнинг эрта босқичларига тегишлидир, чунки қуйилаётган сувлар қудуққа яқин ҳудуддаги номутаносиб сувлар билан қўшилишади. Бу жойда ҳосил бўлган туз йиғилмаси қатламнинг ўтказувчанлигини туширади ва шу орқали сув қуйиш стратегияси самарадорлигини туширади.

Туз йиғилмаларини топиш – табиатда йиғилмаларнинг ялоҳида фрагмент ёки рентгенографик кўринишида бўлишига физик исботлар мавжуд. гамма-нурлар ёрдамида ўтказилган тадқиқотлар чўкмага тушган Ra^{226} изотопи орқали унга тегишли бўлган барий сульфати мавжудлигини кўрсатади. Кўплаб тадқиқотлар гамма-нурлар фаоллиги одатий фонидан тахминан 500 API ортиқ катталикка ошгани кузатилган.

Қазиб олишда NODAL - анализдан фойдаланиш агарда қазиб олишнинг илк босқичларида қувурларда ўтгазувчанлик қўққисдан камайиб қолса, улардаги туз йиғилмаларини кузатиш имконини беради. Назарияга кўра, NODAL – анализ қазиб олиш миқдори камайганда туз йиғимларини аниқлашга қодир, бироқ ушбу ҳолатда қатламга бундан бошқа негатив таъсир бўлиши эҳтимоли камдир.

Сув чиқариб олишнинг кескин кўпайиши туз йиғимларига алоқадор муаммолар билан боғлиқ, айниқса ушбу шароит нефть қазиб олиш суръатини туширса. Одатда, операторлар сувнинг кимёвий таркибини, аниқроғи, қатлам сувларидаги эриган ионлар миқдорини кузатиб боришади. Сувда нефть қазиб олиш миқдори тушишига тегишли ва сув кўпайганини англатувчи, чўкма ҳосил қилувчи Ba^{2+} ёки $[SO_4^{2-}]$ ионларнинг кескин ўзгариши, жўнатилаётган сув қатламдан ўтгани ва туз йиғилиши бошланганини кўрсатади. Ҳолатга кўрсатилган кимёвий таъсир, масалан, кислотали ишлов бериш ушбу тахминга асос бўлади.

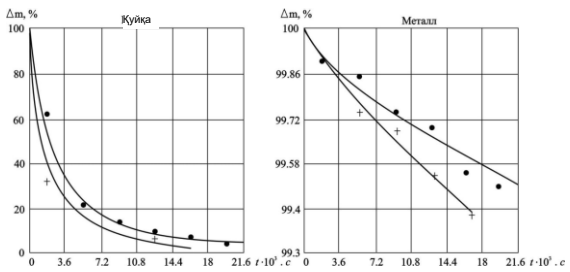
Туз йиғилмалари юзага келиш эҳтимолини олдиндан огоҳлантириш операторлар учун жуда муҳим, бинобарин, қудуқларда туз йиғилиш жараёни бор-йўғи 24 соат оралиғида ёки унданда тезроқ ўтиши мумкин. Қудуқлар юқори сифатли ускуналар ва сувнинг кимёвий таркибини назорат қилиш мақсадида, доимий назорат тизими билан лойиҳалаштирилган.

Ички датчиклар ва туз йиғилмаларини доимий назорат қилувчи тизимлар фаол тадқиқот соҳаларидир. Масалан, BP Amoco томонидан туз йиғилмаларини pH га ва ҳарорат билан бир қаторда хлорид иони концентрациясига сезгир, босимли ва оқимни ўлчовчи кўп фазали, карбонат тузилмаларини аниқ детектирлашга ва туз йиғилмаларини назорат қилиш мақсадида кимёвий дозалашни тартибга солишда ёрдам берувчи интегрирланган назорат тизими ишлаб чиқарилган.

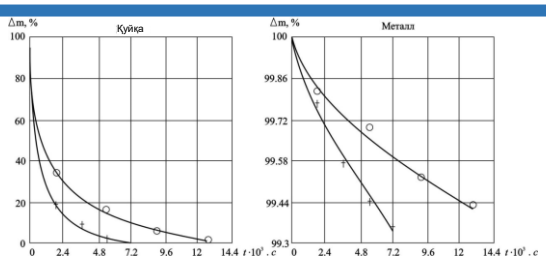
Туз қатламини йўқотувчи усуллар тезкор, қудуққа, қувурларга ва қатлам муҳитига зиёнсиз, шунингдек, йиғилмаларнинг қайта пайдо бўлишини бартараф этиш борасида самарали бўлиши шарт. Қатламни интенсификация қилишда қазиб олиш миқдорини пасайтирмаслик мақсадида, кўпинча аралашмалардан фойдаланилади. Туз чўкмаларини йўқотишнинг илғор усуллари чўкмаларнинг тури, миқдори, чўкманинг физик таркиби ва структурасини ўрганиш билан боғлиқ. Тозалаш усулларини тор доирада танлаш ҳақиқатдан ҳам туз чўкмаларининг тез орада қайта тикланишига сабаб бўлиши мумкин.

Қувурлардаги туз қатламининг тузилиши ва мустаҳкамлиги йўқотиш усулини танлашда муҳим роль ўйнайди. Тузилиш ва мустаҳкамлик энг юпқа қопламдан, нозик иплардан ёки кўп сонли микроковакли кристаллардан токи тошдек қаттиқ камўтказувчанли ва мураккаб қатламларгача бўлади. Туз йиғилмаларининг тиниқлиги уларнинг йўқотишга мойиллиги билан бевосита боғлиқ. Туз йиғилмалари бир минералдан ташкил топган бир фаза кўринишида учраши мумкин, аммо аксарият улар тузилиши жиҳатидан бир-бирига ўхшаш, қўшилиши мумкин бўлган бирикмалардир. Барий сульфати одатда паст ўтказувчанликка эга ва кимёвий ёўқотиш усулларига ўта чидамли, ҳамда кўпгина механик йўқотиш усуллари билан олиб ташланади. Барий сульфати аралашмалари эса стронций сульфати, кальций сульфати ва ҳатто кальций карбонати билан турли кимёвий ва механик тозалаш усулларини қўллаш имконини беради.

Кимёвий усуллар – туз йиғилмаларини кимёвий усулда йўқотиш кўпинча биринчи ва арзон усул саналади, айниқса механик усулларни қўллаш қийин ва самарасиз ёки қиммат бўлган шароитда. Масалан, карбонатли минераллар хлорид кислотасида осон эрийди ва шунинг учун осон йўқотилади. Оғир сульфатли чўкма – қийинроқ вазият, чунки у кислоталарда қарийб эримайди. Қатлам жинсларидан уни хелат ташкил этувчи реагентлар, яъни кислоталарга бардошли бўлган тузулмани яккалаб, металлар ионларини мустаҳкам халқасимон тузилмага келтириш орқали парчаланади. Аксарият кимёвий ишлов беришлар реагентларнинг туз йиғилмалари юзасига кириш босқичига қараб назорат қилинади. Бинобарин, умумий юза майдонининг ҳажмга ёки умумий юза майдонининг массага нисбати чўкмани олиб ташлаш жараёнининг тезлиги ва самарадорлиги борасида муҳим параметр ҳисобланади. Ковакли материаллари, ўта юпқа қопламалар лойсимон зарралари катта реакцион тўқнашув майдонлари тез таъсирланади, чунки атроф юза майдони ва кислота ҳажми катта. Умумий юзанинг ҳажмга нисбати кичик бўлган қалин, коваксиз туз йиғилмалари ҳар қандай, ҳатто ўта кучли кимёвий реагентларга ҳам секин таъсирланади. Қувурлардаги туз йиғилмалари массалари умумий юза майдонига нисбатан катта бўлгани сабабли жуда секин таъсирланади, шунинг учун кимёвий тозалаш усулини қўллаш тавсия этилмайди.

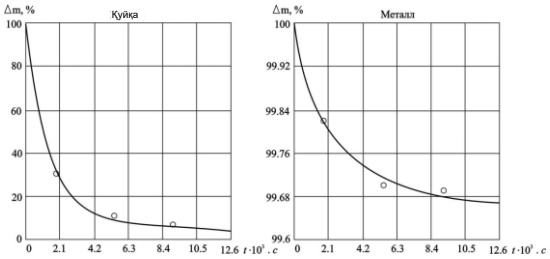


а)



б)

3-расм. Тўпланган тузлардан ювишдаги эриш жараёни динамикаси (ювувчи реагент концентрацияси 8 %): -×-ювувчи реагент оқим тезлиги 0,1 м/с; □- ювувчи реагент оқим тезлиги 1,0 м/с; а) ювувчи реагент харорати 24 °С; б) ювувчи реагент харорати 30 °С.



4-расм. Ювувчи реагент миқдори 8 %, эритма харакат тезлиги 1 м/с, ювиш ҳарорати 30 °С бўлгандаги ювиш жараёни ўзгариши

Ювиш харорати ва ювувчи эритма дозаси таққосланган графиклардан кўринадики, хароратнинг ошиши дозанинг ошишига нисбатан тозалаш давомийлигига кўпроқ таъсир кўрсатади: ювиш 5 % дозаларда, харорат 20 °Сда металл юзаларни тозалаш давомийлиги $39{,}6 \cdot 10^3$ секундни ташкил этади, худди шундай концентрацияларда хароратнинг аста 70 °С гача оширилиши билан тозалаш давомийлиги $16{,}5 \cdot 10^3$ секунд давом этиб, 2,4 мартагача қисқаради; ювувчи эритма дозасини 10 % гача ошириш билан 20 °Сда тозалаш давомийлиги $19{,}8 \cdot 10^3$ секундни ташкил этади, яни 2,1 мартага қисқаради ва бу билан юқорида келтирилган фикр исботланади.



5-расм. Металл намуналарининг тўпланган минерал тузларни ювиш жараёнидаги ўзгариши



6-расм. Металл намуналарининг тўпланган минерал тузларни ювиш жараёнидаги коррозион ўзгаришлари:

а)минерал туз ювиш реагенти дозаси - 5 %, харорат - 70 °С, ювувчи эритма оқим тезлиги - 1 м/с (металл юзасининг тозаланиш сифати 16,7 %);
б)минерал туз ювиш реагенти дозаси - 10 %, харорат - 70 °С, ювувчи эритма оқим тезлиги - 1 м/с (металл юзасининг тозаланиш сифати 66,7 %);
в)минерал туз ювиш реагенти дозаси - 8 %, харорат - 20 °С, ювувчи эритма оқим тезлиги - 1,9 м/с (металл юзасининг тозаланиш сифати 83,3 %);

Ювувчи реагент самарали концентрациясини аниқлашда харорат ва реагент оқим тезлигини мақбул параметрларини танлаш муҳим ҳисобланади. Тажрибалар 5%-ли концентрациялардаги ювувчи реагентлардан фойдаланилганда, 50 °С харорат ва оқим тезлиги 1,8 м/с бўлганда самара 43,3 % ни ташкил этади; жараён айни концентрацияларда < 50 °С хароратларда ювуш жараёни секин амалга ошади ва бу билан ўз-ўзидан ювуш самараси ҳам кутилган паст бўлишини, тозалаш жараёни нисбий тезлиги $К_0$=10 кичик бўлишини кўриш мумкин. Харорат ва оқим тезлигини бир хил сақлаб (50 °С ва 1,8 м/с) ювувчи реагент концентрациясини 10 % га ошириш билан тозалаш жараёни нисбий тезлигини $К_0$=25-35 бирликка ошириш имконини берсада, лекин яраларни (зародышни) кўчириш даражаси бу концентрацияда хароратни 40°С ва оқим тезлигини 1-1,9 м/с чегарасида сақлаш зарурлигини кўрсатади.

1-жадвал

Тўпланган минерал тузларни ювиш мейёрлари

Ювувчи эритма дозаси, %	Харорат, °С	Оқим тезлиги, м/с	Изоҳ
5	30-40	0,45-1,45	-
8	> 30	1-1,9	Кўп миқдорларда минерал тузлар тўпланган шароитларда (> 1500 г/м^2) фойдаланилади
10	25	1,45-1,9	Кам конценртацияли ювувчи реагентлар самарасиз бўлган шароитларда мавжуд тўпланган минерал тузларни ювиш учун фойдаланилади

Ювувчи реагент концентрациясини 20 °С 8 % гача фойдаланиш тавсия этилсада, шу билан бирга ювиш давомилигидаги тўпланган минерал тузлар ва конструкцион материал металлнинг нисбий эриш тезлиги қиймати ($К_0$ = 27) юқори бўлишига қарамай ҳарорат 30 °С, ювиш эритмаси оқим тезлиги 1 м/с бўлган шароитларда тавсия этилмайди; хароратнинг яна оширилиши билан 45 °С тўпланган минерал тузлардан ювиш сифати кескин ёмонлашиб, металл юзасида ёриқлар ёки яралар пайдо бўлиши аниқланган.

Хулоса. Шундай қилиб, синтез қилинган метиленсульфонат анилин иштирокидаги тўпланган минерал тузларни эриш ювиш механизми мураккаб бўлиб, жараённинг муқобил кўрсатгичларини аниқлаш ҳам ўта мураккаб ва муҳим ҳамда тозалаш сифатига қатъий таъсир кўрсатади. Шу билан бирга тадқиқотлар давомида минерал тузлардан ювиш жараёни бўйича тўпланган назарий параметрлар тажрибаларда олинган амалий мейёрлар билан мослиги аниқланди.

Фойдаланилган адабиётлар

[1] Kamal M.S., Hussein I., Mahmoud M., Sultan A.S., Saad M.A.S. Oilfield scale formation and chemical removal: A review // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. — 2018. — Vol. 171. — P. 127–139. — DOI: 10.1016/j.petrol.2018.07.037.

[2] Mpelwa M., Tang S.-F. State of the art of synthetic threshold scale inhibitors for mineral scaling in the petroleum industry: a review // *Petroleum Science*. — 2019. — Vol. 16. — P. 830–849. — DOI: 10.1007/s12182-019-0299-5.
[3] Khormali A., Petrakov D.G., Afshari Moein M.J. Experimental analysis of calcium carbonate scale formation and inhibition in waterflooding of carbonate reservoirs // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. — 2016. — Vol. 147. — P. 843–850. — DOI: 10.1016/j.petrol.2016.09.048.
[4] Khormali A., Ahmadi S. Prediction of barium sulfate precipitation in dynamic tube blocking tests and its inhibition for waterflooding application using response surface methodology // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. — 2023. — Vol. 13. — P. 2267–2281. — DOI: 10.1007/s13202-023-01679-2.
[5] Rafiee H., Sorbie K.S., Mackay E.J. The deposition kinetics of barium sulphate scale: model development // *Frontiers in Materials*. — 2023. — Vol. 10. — Article 1198176. — DOI: 10.3389/fmats.2023.1198176.
[6] Luo Z., Zhang N., Zhao L., Wang C., Wu L., Liu P., Ji H. A chelating agent system for the removal of barium sulfate scale // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. — 2020. — Vol. 10. — P. 3069–3079. — DOI: 10.1007/s13202-020-00886-5.
[7] Luo H., Chen D., Yang X., Zhao X., Feng H., Li M., Wang J. Synthesis and performance of a polymeric scale inhibitor for oilfield application // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. — 2015. — Vol. 5. — P. 177–187. — DOI: 10.1007/s13202-014-0123-0.
[8] Abdullaeva Z.A., Jakhonov F.H., Rakhimov Kh.N. Tailoring alkyl chain length in isoquinolinium-based inhibitors: impact on adsorption behavior and corrosion protection in oil refining systems // *Journal of future.* — 2026. — Vol. 2. Iss. 1. — pp. 57–64. — https://doi.org/10.66960/jof.3093-8899.00020

UDK 547.791.9:544.478

MIS OKSIDLI NANOTOLALI KATALIZATOR ISHTIROKIDA 1-BENZIL-4-ALMASHINGAN 1,2,3-TRIAZOLLAR SINTEZI

R.M. Egamberdiyeva[1], F.F. Xoshimov[2], M.I. Soliyev[3]
[1]Namangan davlat texnika universiteti tayanch doktoranti;
[2]Namangan davlat texnika universiteti professori, kimyo fanlari doktori
[3]Namangan davlat texnika universiteti professori, PhD
Mas'ul muallif: ***R.M. Egamberdiyeva*** *: Email:roxatoye@gmail.com.*
• https://orcid.org/0009-0007-7175-4343:

ANNOTATSIYA

Muammoning kelib chiqishi. *Mis katalizatorligidagi azid–alkin siklobirikishi 1,4-dialmashingan 1,2,3-triazollarni yumshoq sharoitda olishning ishonchli yo'llaridan biridir. Biroq eruvchan mis tuzlarini mahsulotdan ajratish murakkabligi va nanostrukturali mis oksidlarida faza hamda morfologiyaning katalitik natijaga ta'siri tayanchga biriktirilgan tizimlarni o'rganishni talab qiladi.*

Maqsad. *12X18N10T zanglamas po'lat to'rda elektrokimyoviy cho'ktirish va kislorodli muhitda oksidlash orqali olingan mis oksidli nanotolali qatlamni benzilazidning fenilatsetilen, pent-1-in va geks-1-in bilan siklobirikishida sinash hamda mahsulotlarni fizik-kimyoviy belgilar asosida baholash.*

Metodologiya. *Mis qatlami 0,1 mol/l mis sulfat va 0,5 mol/l sulfat kislota elektrolitida 160 mV ko'rsatilgan potensialda 15 daqiqa, 25 °C da cho'ktirildi; namuna 5 °C/min tezlikda 500 °C gacha qizdirilib, 1 soat ushlab turildi. Reaksiyalar 2 mmol benzilazid, 2 mmol terminal alkin, mis hisobida 0,04 mmol katalizator va 0,4 mmol natriy askorbat bilan uchlamchi butanol–suvning teng hajmli aralashmasida 50 °C da 12 soat olib borildi. Morfologiya skanerlovchi elektron mikroskopiya, mahsulotlar esa infraqizil va yadro magnit rezonans spektroskopiyasi bilan tekshirildi.*

Ilmiy yangilik. *Bitta texnologik rejimda aril va ikki xil alkil terminal alkin uchun to'rga biriktirilgan nanotolali mis oksidli qatlamning qo'llanishi qiyoslandi; katalizatorsiz nazorat bilan farq tezlik konstantasi emas, ajratib olingan mahsulot unumi orqali baholandi.*

Natijalar. *Elektron mikrotasvirlarda uzunchoq tolasimon tuzilmalar va alohida tolalar uchun 40,3 hamda 111 nm o'lchovlar qayd etildi. 1-Benzil-4-fenil-, 1-benzil-4-propil- va 1-benzil-4-butil-1,2,3-triazollar mos ravishda 85, 83 va 81% ajratib olingan unum bilan olindi. Fenilatsetilen modeli uchun katalizatorsiz 38%, katalizator bilan 85% unum, ya'ni 47 foiz punkt yoki 2,24 baravar farq kuzatildi.*

Kalit so'zlar: *klik-kimyo; azid–alkin siklobirikishi; 1,2,3-triazol; benzilazid; terminal alkin; mis oksidi; nanoto'la; elektrokimyoviy cho'ktirish; natriy askorbat; geterogen kataliz.*

СИНТЕЗ 1-БЕНЗИЛ-4-ЗАМЕЩЕННЫХ 1,2,3-ТРИАЗОЛОВ В ПРИСУТСТВИИ ВОЛОКНИСТОГО КАТАЛИЗАТОРА НА ОСНОВЕ ОКСИДА МЕДИ

АННОТАЦИЯ

Актуальность. *Медью катализируемое азид-алкиновое циклоприсоединение является надежным способом получения 1,4-дизамещенных 1,2,3-триазолов в мягких условиях. Трудность удаления растворимых солей меди из продукта и влияние фазового состава и морфологии наноструктурированных оксидов меди обусловливают интерес к нанесенным системам.*

Цель. *Оценить слой оксида меди с волокнистой морфологией, сформированный на сетке из нержавеющей стали 12Х18Н10Т электроосаждением и окислением в кислородной среде, в циклоприсоединении бензилазида с фенилацетиленом, пент-1-ином и гекс-1-ином.*

Методология. *Медное покрытие осаждали из электролита, содержащего 0,1 моль/л сульфата меди и 0,5 моль/л серной кислоты, при указанном потенциале 160 мВ в течение 15 мин при 25 °C. Образец нагревали со скоростью 5 °C/мин до 500 °C и выдерживали 1 ч. Реакции проводили с 2 ммоль бензилазида, 2 ммоль терминального алкина, 0,04 ммоль катализатора в пересчете на медь и 0,4 ммоль аскорбата натрия в равных объемах трет-бутанола и воды при 50 °C в течение 12 ч. Морфологию изучали сканирующей электронной микроскопией, продукты — инфракрасной спектроскопией и ядерным магнитным резонансом.*

Научная новизна. *В едином технологическом режиме сопоставлено применение закрепленного на сетке волокнистого медьоксидного слоя для арильного и двух алкильных терминальных алкинов; отличие от опыта без катализатора оценено по выходу выделенного продукта, а не как константа скорости.*

Результаты. *На электронных микрофотографиях выявлены вытянутые волокноподобные структуры; для отдельных волокон отмечены размеры 40,3 и 111 нм. 1-Бензил-4-фенил-, 1-бензил-4-пропил- и 1-бензил-4-бутил-1,2,3-триазолы получены с выходами 85, 83 и 81% соответственно. Для модели с фенилацетиленом выход составил 38% без катализатора и 85% с катализатором: разность 47 процентных пунктов, отношение выходов 2,24.*

Ключевые слова: *клик-химия; азид-алкиновое циклоприсоединение; 1,2,3-триазол; бензилазид; терминальный алкин; оксид меди; нановолокно; электроосаждение; аскорбат натрия; гетерогенный катализ.*

SYNTHESIS OF 1-BENZYL-4-SUBSTITUTED 1,2,3-TRIAZOLES USING A FIBROUS COPPER-OXIDE CATALYST

ABSTRACT

Background. *Copper-catalyzed azide–alkyne cycloaddition is a reliable route to 1,4-disubstituted 1,2,3-triazoles under mild conditions. Difficult removal of soluble copper salts from products and the influence of phase composition and morphology in nanostructured copper oxides motivate the study of supported systems.*

Purpose. *To evaluate a fibrous copper-oxide layer prepared on 12X18H10T stainless-steel mesh by electrodeposition and oxidation in oxygen for the cycloaddition of benzyl azide with phenylacetylene, pent-1-yne and hex-1-yne.*

Methodology. *Copper was deposited from an electrolyte containing 0.1 mol/L copper sulfate and 0.5 mol/L sulfuric acid at a reported potential of 160 mV for 15 min at 25 °C. The sample was heated at 5 °C/min to 500 °C and held for 1 h. Reactions contained 2 mmol benzyl azide, 2 mmol terminal alkyne, 0.04 mmol catalyst calculated as copper and 0.4 mmol sodium ascorbate in equal volumes of tert-butanol and water at 50 °C for 12 h. Morphology was examined by scanning electron microscopy, while products were assessed by infrared and nuclear magnetic resonance spectroscopy.*

Originality. *A mesh-supported fibrous copper-oxide layer was compared under one technological regime for one aryl and two alkyl terminal alkynes. The catalyst-free comparison was interpreted through isolated product yield rather than an unsupported kinetic rate constant.*

Findings. *Electron micrographs showed elongated fibre-like structures, with individual measurements of 40.3 and 111 nm. The isolated yields of 1-benzyl-4-phenyl-, 1-benzyl-4-propyl- and 1-benzyl-4-butyl-1,2,3-triazoles were 85, 83 and 81%, respectively. In the phenylacetylene model, the yield was 38% without catalyst and 85% with catalyst, corresponding to a 47 percentage-point difference and a 2.24-fold yield ratio.*

Keywords: *click chemistry; azide–alkyne cycloaddition; 1,2,3-triazole; benzyl azide; terminal alkyne; copper oxide; nanofibre; electrodeposition; sodium ascorbate; heterogeneous catalysis.*

1. KIRISH

“Klik-kimyo” konsepsiyasi kichik molekulyar bloklardan yuqori selektiv, modulli va amaliy jihatdan sodda jarayonlar orqali murakkab tuzilmalar hosil qilishni nazarda tutadi [1]. Ushbu konsepsiyaning asosiy reaksiyalaridan biri — organik azidlarning terminal alkinlar bilan mis(I) ishtirokidagi siklobirikishi — Rostovtsev va hammualliflar hamda Tornøe, Christensen va Meldal tomonidan mustaqil ravishda bayon etilgan [2, 3]. Jarayon odatda 1,4-dialmashingan 1,2,3-triazollarni regioselektiv hosil qiladi; shu sababli u organik sintez, materialshunoslik va biologik kon’yugatsiyada keng qo‘llanadi [4].

Reaksiya mexanizmi oddiy bir markazli sxemadan ko‘ra murakkabroq bo‘lib, mis(I) atsetilidlarining agregatsiyasi va dinuklear intermediatlar bilan bog‘liq muvozanatlarni qamrab oladi [5]. Zamonaviy sharhlarda eruvchan va tayanchga mahkamlangan katalizatorlar, ligandlar hamda reaksiyani tezlashtirish usullari tizimlashtirilgan [6]. Mis(II) tuzini natriy askorbat bilan in situ qaytarish qulay bo‘lsa-da, mahsulotdagi qoldiq mis va katalizatorni ajratish masalalari geterogen yoki operatsion ajraladigan tizimlarga ehtiyoj tug‘diradi [7].

Mis oksidi nanostrukturalari bu nuqtai nazardan alohida qiziqish uyg‘otadi. CuO nanosfera, nanosterjen va nanotolalarini taqqoslagan tadqiqotda shaklga bog‘liq katalitik farq kuzatilgan, ammo faza, sirt holati, yuvilib chiqish va qayta ishlatish mustaqil usullar bilan tekshirilgan [8]. CuO nanosterjen va nanosferalari hamda Cu_2O nanozarrachalari azid–alkin siklobirikishida samarali bo‘lishi ko‘rsatilgan [9, 10]. Keyingi ishlar grafen, magnit metall-organik karkas va boshqa tayanchlardagi mis markazlarining oson ajratilishi va qayta ishlatilishini o‘rgangan [11, 12]; 2018–2023-yillardagi geterogen mis katalizatorlari bo‘yicha sharh esa faol sirt haqidagi da’volar leaching va qayta foydalanish tajribalari bilan asoslanishi kerakligini ta’kidlaydi [13].

Shu asosda tadqiqotning maqsadi 12X18N10T zanglamas po‘lat to‘rga elektrokimyoviy cho‘ktirilib, kislorodli muhitda oksidlangan nanotolali mis qatlamini benzilazidning fenilatsetilen, pent-1-in va geks-1-in bilan siklobirikishida bir xil sharoitda baholash, mahsulot unumlarini qiyoslash va mavjud spektroskopik dalillarning chegaralarini aniq ko‘rsatishdan iborat. Tadqiqot gipotezasi: to‘r yuzasidagi uzunchoq mis oksidli tuzilmalar natriy askorbat ishtirokida faol mis(I) turlarining hosil bo‘lishi uchun prekatalitik sirt vazifasini bajarishi mumkin. Bu gipoteza morfologik tasvir va mahsulot unumi bilan qo‘llab-quvvatlanadi, biroq fazaviy tarkib hamda haqiqiy geterogenlikni alohida sinovlarsiz yakuniy isbotlangan deb bo‘lmaydi.

2. MATERIALLAR VA METODLAR

2.1. Reaktivlar

Benzilazid, fenilatsetilen, pent-1-in, geks-1-in, natriy askorbat, uchlamchi butanol, mis sulfat, sulfat kislota, xlorid kislota, atseton va etanol dissertatsiyada keltirilgan metodikalar hamda tijoriy reaktivlar asosida ishlatilgan. Erituvchilar an’anaviy usullarda tozalangan. Benzilazid va past molekulali organik azidlar zarba, qizdirish va kontsentratsiyalashga sezgir; tajribalar kichik miqyosda, mo‘rili shkafda, himoya ekranidan foydalanib va metall azidlar to‘planishiga yo‘l qo‘ymasdan bajarilishi lozim. Ushbu xavfsizlik talablari natijalarni takrorlash uchun metodning ajralmas qismi hisoblanadi.

2.2. Mis oksidli nanotolali qatlamni tayyorlash

12X18N10T markali zanglamas po‘lat to‘r katod sifatida olindi. To‘r ketma-ket atseton va etanolda 5 daqiqadan saqlandi, suv bilan yuvildi, 0,1 mol/l xlorid kislota eritmasida 1 daqiqa faollashtirildi, distillangan suv bilan chayilib quritildi. Anod sifatida mis plastinka ishlatildi. Elektrolit 0,1 mol/l mis sulfat va 0,5 mol/l sulfat kislotadan tayyorlandi. Mis qatlamini cho‘ktirish 25 °C da 15 daqiqa, manbada 160 mV deb ko‘rsatilgan potensiostatik rejimda amalga oshirildi. Elektrolizdan so‘ng to‘r kislorodli muhitdagi keramik tigelga joylashtirildi. Namuna 25 °C dan 500 °C gacha 5 °C/min tezlikda qizdirildi, 500 °C da 1 soat ushlab turildi va sekin sovitildi. Qizdirish natijasida misning oksidlangan qora qatlami hosil bo‘ldi.

1-jadval. Katalizator qatlamini tayyorlashning asosiy parametrlari

Bosqich	Muhit yoki parametr	Rejim
Yuzani tozalash	Atseton, so‘ng etanol	Har birida 5 min
Faollashtirish	0,1 mol/l xlorid kislota	1 min
Elektrolit	0,1 mol/l mis sulfat + 0,5 mol/l sulfat kislota	25 °C
Elektrocho‘ktirish	160 mV deb qayd etilgan potensial	15 min
Termik oksidlash	Kislorodli muhit	5 °C/min; 500 °C; 1 soat

2.3. Triazollarni sintez qilish

Besh millilitr uchlamchi butanol–suv (1:1, hajmiy) aralashmasidagi benzilazid (2 mmol) eritmasiga terminal alkin (2 mmol), katalizator (mis hisobida 0,04 mmol; alkinga nisbatan 2 mol%) va 0,1 ml suvdagi natriy askorbat (0,4 mmol; 20 mol%) ketma-ket qo‘shildi. Aralashma 50 °C da 12 soat aralashtirildi. Reaksiya borishi silikagel plastinkadagi yupqa qatlamli xromatografiya bilan, toluol–etanol (4:1, hajmiy) elyuentida kuzatildi. Qattiq fenil mahsulot filtrlandi va quritildi.

2.4. Tahlil va hisoblash

Katalizator morfologiyasi skanerlovchi elektron mikroskopiya bilan o‘rganildi. Infraqizil spektrlar PerkinElmer Spectrum tizimida qayd etildi. Proton va uglerod-13 yadro magnit rezonans spektrlari Bruker Avance asbobida o‘lchandi. Kimyoviy siljishlar δ, milliondan ulushlarda berildi. Mahsulot unumi ajratib olingan massa asosida quyidagicha hisoblanadi:

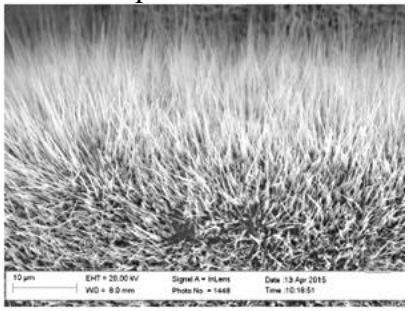
$$\eta = m(amaliy) / [n(cheklovchi\ reagent) \times M(mahsulot)] \times 100\%.$$

Fenilatsetilen modelida katalizatorli va katalizatorsiz tajriba bir xil 12 soatlik yakuniy nuqtada taqqoslandi. Absolyut farq 85 − 38 = 47 foiz punkt; unumlar nisbati 85/38 = 2,24; nisbiy o‘sish (85 − 38)/38 × 100 = 123,7%. Vaqt bo‘yicha konsentratsiya profili olinmagani uchun bu qiymatlar tezlik konstantasi, boshlang‘ich tezlik, aylanish soni yoki aylanish chastotasi sifatida talqin qilinmadi.

3. NATIJALAR VA MUHOKAMA

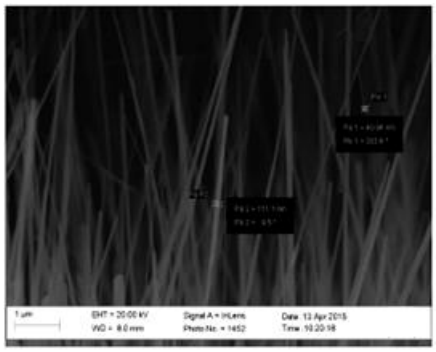
3.1. Katalizator sirtining morfologiyasi

Termik ishlovdan keyingi qatlam SEM tasvirida to‘r yuzasidan o‘sib chiqqan uzunchoq, tolasimon tuzilmalar ko‘rinishida namoyon bo‘ldi (1-rasm). Mazkur tasvir qoplama bir jinsli kukun emasligini va bir o‘lchamli elementlar mavjudligini ko‘rsatadi. Biroq SEMning o‘zi kristall faza, oksidlanish darajasi, g‘ovaklik, maxsus sirt yuzasi yoki faol markazlar sonini aniqlamaydi. Shuning uchun “yuqori sirt yuzasi” va “CuO fazasi” haqidagi izohlar bevosita o‘lchov emas, tekshirilishi kerak bo‘lgan strukturaviy gipoteza sifatida qaraldi.



1-rasm. Termik oksidlangan mis qatlamining SEM tasviri; masshtab chizig‘i 10 µm.

Kattaroq tasvirda alohida tolalar uchun 40,3 va 111 nm qiymatlar qayd etilgan (2-rasm). Ikki nuqtaviy o‘lchov butun taqsimotning statistik o‘rtachasi emas; shu bois natija “40–120 nm o‘rtacha diametr” deb emas, kuzatilgan o‘lchovlar sifatida berildi.



2-rasm. Mis oksidli qatlamdagi alohida tolasimon elementlarning SEM o‘lchovlari; masshtab chizig‘i 1 μm.

3.2. Siklobirikish natijalari

Benzilazidning fenilatsetilen, pent-1-in va geks-1-in bilan reaksiyalarida tegishli 1-benzil-4-almashingan 1,2,3-triazollar olindi. Terminal alkinning uch bog‘dan keyingi uglerod skeleti mahsulotning 4-holatidagi o‘rinbosarga aylanadi: pent-1-in propil, geks-1-in esa butil hosila beradi. Barcha tajribalarda substratlar ekvimolyar bo‘lib, 2 mol% mis va 20 mol% natriy askorbat ishlatilgan.

2-jadval. Terminal alkin tabiatining mahsulot unumiga ta’siri*

№	Terminal alkin	Mahsulot	M, g/mol	Unum, %	Massa, g
1	Fenilatsetilen	1-Benzil-4-fenil-1H-1,2,3-triazol	235,28	85	0,400
2	Pent-1-in	1-Benzil-4-propil-1H-1,2,3-triazol	201,27	83	0,334
3	Geks-1-in	1-Benzil-4-butil-1H-1,2,3-triazol	215,30	81	0,349

** Sharoit: uchlamchi butanol–suv 1:1, 50 °C, 12 soat, 2 mol% mis, 20 mol% natriy askorbat.*

Unumlar tor 81–85% oralig‘ida bo‘lib, mazkur kichik substrat qatorida aril va chiziqli alkil guruhlarining keskin farq bermaganini ko‘rsatadi.

3.3. Katalizatorsiz nazorat bilan qiyoslash

3-jadval. Fenilatsetilen modeli uchun 12 soatlik yakuniy nuqta

Tajriba	Katalizator	Unum, %	85% ga nisbatan izoh
Nazorat	Yo‘q	38	—
Asosiy	Mis oksidli nanotolali qatlam	85	+47 foiz punkt; 2,24 baravar

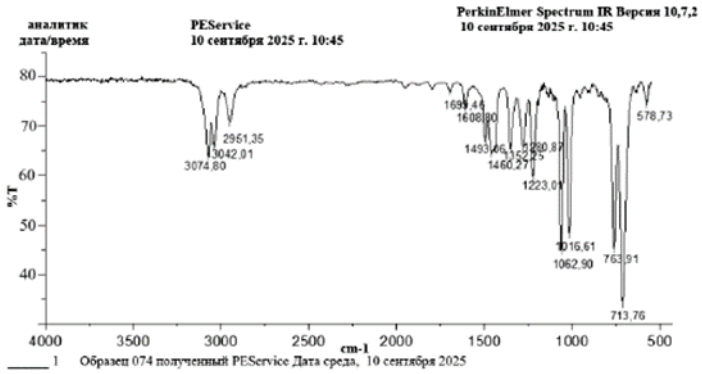
Katalizatorli tizimda mahsulot unumi nazoratga nisbatan sezilarli yuqori. Bu natija mis oksidli qatlam va natriy askorbat birgalikda reaksiyaning mahsulot hosil qilish qobiliyatini kuchaytirganini ko‘rsatadi. Adabiyotlarda natriy askorbat Cu(II) ni faol Cu(I) turlariga qaytarishi, nanotolali morfologiya esa mis markazlarining reagentlar bilan aloqasini yaxshilashi mumkinligi qayd etilgan [8, 9].

3.4. Mahsulotlarning fizik va spektroskopik tavsifi

4-jadval. Ajratib olingan mahsulotlarning fizik belgilari

Mahsulot	Agregat holati va rang	Suyuqlanish harorati, °C	Zichlik, g/cm³	Eruvchanlik
Fenil hosila	Oq yoki qaymoq rangli kristall	126–127	1,15	Suvda yomon; organik erituvchilarda yaxshi
Propil hosila	Och sariq yarim qattiq modda	20–25	1,09	Suvda yomon; etanol, metanol va atsetonda yaxshi
Butil hosila	Och sariq moysimon modda	18–20	1,06	Suvda yomon; etanol, metanol va atsetonda yaxshi

Fenil hosilaning infraqizil spektrida 3074,8 cm^{-1} atrofidagi aromatik/triazol C–H, 1608,8 va 1493,2 cm^{-1} dagi aromatik skelet hamda 1460 cm^{-1} atrofidagi halqa tebranishlari kuzatildi (3-rasm). 713,8–763,9 cm^{-1} oralig‘idagi kuchli signallar monosubstitutsiyalangan aromatik halqalarning tekislikdan tashqari C–H tebranishlariga mos keladi. IQ-spektr funktsional guruhlarni qo‘llab-quvvatlaydi, ammo regioizomerni yakka o‘zi ajratmaydi.



3-rasm. 1-Benzil-4-fenil-1H-1,2,3-triazolning IQ-spektri.

5-jadval. Proton yadro magnit rezonansi bo‘yicha diagnostik signallar

Mahsulot	Triazol-H, δ	N–CH_2–Ph, δ	4-o‘rinbosar uchun diagnostik δ, ppm
Fenil hosila	7,65–7,75 (s)	5,55–5,60 (s)	Ar–H 7,25–7,45 va 7,80–7,85 (m)
Propil hosila	7,20–7,35 (s)	5,45–5,50 (s)	2,60–2,75 (t); 1,60–1,75 (m); 0,90–1,00 (t)
Butil hosila	7,20–7,25 (s)	5,45–5,50 (s)	2,65–2,75 (t); 1,55–1,70 (m); 1,30–1,45 (sext); 0,90–0,95 (t)

Fenil hosila uchun δ 5,55–5,60 dagi benzil metilen singleti va δ 7,65–7,75 dagi triazol protoni adabiyotdagi δ 5,57 hamda 7,66 qiymatlariga yaqin [14]. Propil va butil hosilalarida

triazolga qo‘shni metilen signallarining δ 2,60–2,75 sohada paydo bo‘lishi, terminal metil tripletlarining δ 0,90–1,00 oralig‘ida kuzatilishi kutilgan alkil skeletlariga mos.

3.5. Ilmiy talqin va tadqiqot chegaralari

Natijalar mis oksidli tolasimon qatlamni siklobirikish uchun prekatalizator sifatida ko‘rishga asos beradi. O‘rganilgan tadqiqot ishlarida CuO nanotolalarida natriy askorbat ishtirokida Cu(I) turlarining in situ hosil bo‘lishi va nanotola shaklining nisbatan yuqori samaradorligi ko‘rsatilgan [8, 12].

Mazkur ishda uchta substrat, bitta harorat, bitta vaqt va bitta katalizator yuklamasi tekshirildi [9–13].

4. XULOSA

12X18N10T zanglamas po‘lat to‘rda elektrokimyoviy cho‘ktirish va 500 °C da kislorodli termik ishlov orqali uzunchoq tolasimon morfologiyaga ega mis oksidli qatlam olindi. SEMda alohida elementlar uchun 40,3 va 111 nm o‘lchovlar qayd etildi; bu qiymatlar ikki nuqtaviy kuzatuv bo‘lib, statistik diametr taqsimoti emas.

Mazkur qatlam natriy askorbat ishtirokida benzilazidning fenilatsetilen, pent-1-in va geks-1-in bilan siklobirikishida qo‘llanib, mos 1-benzil-4-almashingan 1,2,3-triazollar 85, 83 va 81% ajratib olingan unum bilan hosil qilindi. Fenilatsetilen modeli uchun katalizatorli unum 85%, katalizatorsiz unum 38% bo‘lib, farq 47 foiz punkt, unumlar nisbati 2,24 ni tashkil etdi. Ushbu natija katalitik ta’sirni qo‘llab-quvvatlaydi, ammo kinetik tezlikni bildirmaydi.

IQ va proton yadro magnit rezonansi signallari taklif etilgan triazol tuzilmalariga mos keladi.

ADABIYOTLAR / REFERENCES

1. Kolb H.C., Finn M.G., Sharpless K.B. Click Chemistry: Diverse Chemical Function from a Few Good Reactions. Angewandte Chemie International Edition. 2001;40:2004–2021. DOI: 10.1002/1521-3773(20010601)40:11<2004::AID-ANIE2004>3.0.CO;2-5.

2. Rostovtsev V.V., Green L.G., Fokin V.V., Sharpless K.B. A Stepwise Huisgen Cycloaddition Process: Copper(I)-Catalyzed Regioselective Ligation of Azides and Terminal Alkynes. Angewandte Chemie International Edition. 2002;41:2596–2599. DOI: 10.1002/1521-3773(20020715)41:14<2596::AID-ANIE2596>3.0.CO;2-4.

3. Tornøe C.W., Christensen C., Meldal M. Peptidotriazoles on Solid Phase: 1,2,3-Triazoles by Regiospecific Copper(I)-Catalyzed 1,3-Dipolar Cycloadditions of Terminal Alkynes to Azides. Journal of Organic Chemistry. 2002;67:3057–3064. DOI: 10.1021/jo011148j.

4. Hein J.E., Fokin V.V. Copper-catalyzed azide–alkyne cycloaddition and beyond: new reactivity of copper(I) acetylides. Chemical Society Reviews. 2010;39:1302–1315. DOI: 10.1039/B904091A.

5. Berg R., Straub B.F. Advancements in the mechanistic understanding of the copper-catalyzed azide-alkyne cycloaddition. Beilstein Journal of Organic Chemistry. 2013;9:2715–2750. DOI: 10.3762/bjoc.9.308.

6. Neumann S., Biewend M., Rana S., Binder W.H. The CuAAC: Principles, Homogeneous and Heterogeneous Catalysts, and Novel Developments and Applications. Macromolecular Rapid Communications. 2020;41:1900359. DOI: 10.1002/marc.201900359.

7. Shiri P., Aboonajmi J. A systematic review on silica-, carbon-, and magnetic materials-supported copper species as efficient heterogeneous nanocatalysts in click reactions. Beilstein Journal of Organic Chemistry. 2020;16:551–586. DOI: 10.3762/bjoc.16.52.

8. Kaur A., Mann S., Goyal B., Pal B., Goyal D. CuO nanostructures of variable shapes as an efficient catalyst for cycloaddition of azides with terminal alkyne. RSC Advances. 2016;6:102733–102743. DOI: 10.1039/C6RA20725A.

9. Amini M., Pourvahabi Anbari A., Ramezani S., Gautam S., Chae K.H. Copper(II) Oxide Nanoparticles as an Efficient Catalyst in the Azide–Alkyne Cycloaddition. ChemistrySelect. 2016;1:4607–4612. DOI: 10.1002/slct.201600972.

10. Amini M., Ramezani S., Pourvahabi Anbari A., Beheshti A., Gautam S., Chae K.H. Simple Preparation of Cuprous Oxide Nanoparticles for Catalysis of Azide–Alkyne Cycloaddition. Journal of Chemical Research. 2018;42:166–169. DOI: 10.3184/174751918X15221562069666.
11. Samuel A.G., Subramanian S., Vijendran V., Bhagavathsingh J. Copper(II)-Bis-Cyclen Intercalated Graphene Oxide as an Efficient Two-Dimensional Nanocomposite Material for Copper-Catalyzed Azide–Alkyne Cycloaddition Reaction. Frontiers in Chemistry. 2022;9:754734. DOI: 10.3389/fchem.2021.754734.
12. Arefi E., Khojastehnezhad A., Shiri A. A magnetic copper organic framework material as an efficient and recyclable catalyst for the synthesis of 1,2,3-triazole derivatives. Scientific Reports. 2021;11:20514. DOI: 10.1038/s41598-021-00012-3.
13. Kasana S., Nigam V., Singh S., Kurmi B.D., Patel P. A New Insight Into the Huisgen Reaction: Heterogeneous Copper Catalyzed Azide–Alkyne Cycloaddition for the Synthesis of 1,4-Disubstituted Triazole (From 2018–2023). Chemistry & Biodiversity. 2024;21:e202400109. DOI: 10.1002/cbdv.202400109.
14. Castillo J.-C., Bravo N.-F., Macías M., Portilla J. Water-Compatible Synthesis of 1,2,3-Triazoles under Ultrasonic Conditions by a Copper(I) Complex-Mediated Click Reaction. ACS Omega. 2020;5:30148–30159. DOI: 10.1021/acsomega.0c04592.
15. Kalhor S., Sepehrmansourie H., Zarei M., Zolfigol M.A., Shi H. Application of Functionalized Zinc-Based Metal–Organic Frameworks with Copper Oxide in Heterocycle Synthesis via Azide–Alkyne Cycloaddition. Inorganic Chemistry. 2024;63:4898–4914. DOI: 10.1021/acs.inorgchem.3c03988.

Kimyo fanlari (02.00.14)
UDC 547.32/661.725.82/691.535/691.32

SEMENT KOMPOZITSIYALARI SIFATINI OSHIRISHDA PIROLIZ MOYI ASOSIDAGI YUQORI SAMARALI PLASTIFIKATSIYALOVCHI QO'SHIMCHALARNI SINTEZ QILISH.

Kamalov Botir Satvaldiyevich, *mustaqil izlanuvchi,*
Toshkent kimyo texnologiya ilmiy tadqiqot instituti,
ORCID: 0009-0007-1233-121X, botirkamalov26@gmail.com, +998902737755
Berdiyev Sanjar Allanazarovich, t.f.d. (DSc),
Toshkent kimyo texnologiya ilmiy tadqiqot instituti,
ORCID: 0009-0005-1516-2840, sanjarberdiev75@gmail.com

Химические науки (02.00.14)
UDC 547.32/661.725.82/691.535/691.32

СИНТЕЗ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК НА ОСНОВЕ ПИРОЛИЗНОГО МАСЛА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ.

Камалов Ботир Сатвалдиевич, *независимый исследователь, Ташкентский научно исследовательский институт химических технологий,*
ORCID: 0009-0007-1233-121X, botirkamalov26@gmail.com, +998902737755
Бердиев Санжар Алланазарович, *д.т.н. (DSc),*
Ташкентский научно исследовательский институт химических технологий,
ORCID: 0009-0005-1516-2840, sanjarberdiev75@gmail.com

Chemical sciences (02.00.14)
UDC 547.32/661.725.82/691.535/691.32

SYNTHESIS OF HIGH-EFFICIENCY PLASTICIZING ADDITIVES BASED ON PYROLYSIS OIL TO IMPROVE THE QUALITY OF CEMENT COMPOSITES.

Kamalov Botir Satvaldiyevich, *researcher,*
The Tashkent Scientific Research Institute of Chemical Technology,
ORCID: 0009-0007-1233-121X, botirkamalov26@gmail.com, +998902737755
Berdiev Sanjar Allanazarovich, DSc,
The Tashkent Scientific Research Institute of Chemical Technology
ORCID: 0009-0005-1516-2840, sanjarberdiev75@gmail.com

Annotatsiya. *Oddiy portlandsementning bir xil turdagi superplastifikatorlar, naftalensulfonat-formaldegid kondensat (NSF) ishtirokida gidratatsiyasi turli xil tajriba usullari yordamida o'rganildi. Superplastifikatsiyalangan oddiy portlandsement pastalari har bir turdagi superplastifikatorlarning turli xil qo'shimchalari bilan standart suv konsentratsiyasi qiymatlaridan foydalanib tayyorlandi. Qorishmalar normal qotish sharoitida turli vaqt oralig'ida namlandi. Natijalar shuni ko'rsatadiki, NFS superplastifikatori egiluvchanlikni oshiradi va standart suv konsistensiyasini pasaytiradi. Natijada gidratatsiyali qotish jarayonining barcha yoshlarida superplastifikatsiyalangan sement pastalarining mexanik xossalari yaxshilanadi. Naftalin sulfonat-*

formaldegid kondensati betonning mexanik xossalarini yaxshilashda natriy lignosulfonat superplastifikatoriga nisbatan yuqori samaradorlikka ega ekanligi aniqlandi.

***Kalit so'zlar**: piroliz moyi, sulfat kislota va formalin, natriy gidroksidnihg 40 % li eritmasi, harorat.*

***Аннотация.** Было проведено исследование гидратации обычного портландцемента с использованием однородного типа суперпластификатора конденсата нафталинсульфоната и формальдегида (NSF) с применением различных экспериментальных методов. Пасты из обычного портландцемента с суперпластификатором были приготовлены с использованием стандартных значений содержания воды при различных дозах каждого типа суперпластификатора. Смеси выдерживались в нормальных условиях в течение различных периодов времени. Результаты показывают, что суперпластификатор NSF повышает прочность на изгиб и снижает консистенцию стандартной воды. Следовательно, механические свойства цементных паст, суперпластифицированных этим веществом, улучшаются на всех этапах процесса гидратации и отверждения. Установлено, что конденсат нафталинсульфоната с формальдегидом более эффективен, чем суперпластификатор на основе лигносульфоната натрия, в плане улучшения механических свойств бетона.*

***Ключевые слова:** пиролизное масло, серная кислота и формалин, 40-процентный раствор гидроксида натрия, температура.*

***Abstract.** A study was conducted into the hydration of ordinary Portland cement using a homogeneous superplasticiser a naphthalene sulphonate and formaldehyde (NSF) condensate employing various experimental methods. Pastes of ordinary Portland cement with the superplasticiser were prepared using standard water contents at various dosages of each type of superplasticiser. The mixtures were left to cure under normal conditions for varying periods of time. The results show that the NSF superplasticiser increases flexural strength and reduces the consistency of the standard water. Consequently, the mechanical properties of cement pastes superplasticised with this substance are improved at all stages of the hydration and hardening process. It has been established that naphthalene sulphonate condensate with formaldehyde is more effective than a sodium lignosulphonate-based superplasticiser in terms of improving the mechanical properties of concrete.*

***Keywords:** pyrolysis oil, sulphuric acid and formalin, 40 per cent sodium hydroxide solution, temperature.*

Kirish.

Hozirgi kunda O'zbekiston respublikasida sanoat qurilishi hajmini oshishi atrof-muhit va agrssev muhitlarga chidamli konstruksiyalar va binolarning mustaxkamligi va bardoshliligini oshiradigan yangi mahalliy va qayta tiklanadigan hom ashyolar asosidgi organik qo'shimchalar izlash qurilish materiallari uchun kimyoviy qo'shimchalar sohasidagi asosiy vazifalardan biridir. Beton eng muhim qurilish materialidir. Bunga juda jiddiy talablar qo'yiladi, chunki ko'p narsa uning sifati va xususiyatlariga bog'liq, beton bardoshli va juda mustahkam bo'lishi kerak, shu bilan birga gidroizolyatsiyani ta'minlaydi, mexanik stressga bardosh beradi. Zamonaviy qurilish texnologiyasining o'ziga xos xususiyati - bu texnik va texnologik xususiyatlarga ega bo'lgan beton ishlab chiqarish, shu bilan birga energiya va moddiy xarajatlarni minimallashtirish. Sement kompozitsiyalarini sifatini keskin oshirishda yuqori samarali plastifikatsiyalovchi qo'shimchalar ishlatish muhim omildir. Ushbu jihatdan yuqori texnologiyalar maxsuli bo'lgan energiya va resurs tejamkor plastifikatsiyalovchi qo'shimchalarni ishlab chiqarish texnologiyasini yaratish va maxalliy homashyolar texnologiyasini yaratish maxalliy hom ashyolar, ayniqsa ikkilamchi resurslarni ishlatish,qurilish sanoatida konsentrlangan suspenziyalarni reologik xossalari va struktura hosil qilish jarayonlarini rostlash uchun tayyor maxsulot xossalarini va boshlang'ich qorishma harakatchanligini, sement sistemalarining fizik-mexanik, fizik-kimyoviy xossalarini maqsadli o'zgartira oladigan yangi samarali organik qo'shimchalarni yaratish dolzarb vazifa hisoblanadi.

Superplastifikatorlar – bu beton aralashmalari va betonlarining reologik va fizik -mexanik xususiyatlarini tartibga solishga imkon beruvchi qo'shimchalar.

Beton aralashmasiga kiritilganda superplastifikatorlar uning harakatchanligini 20 sm dan oshiqroq konus cho'kishiga olib keladi, shu bilan birga, hosil bo'ladigan betonning mustahkamligi dastlabki harakatchanlik aralashmasidan olingan beton kuchiga teng yoki yaqin bo'lib qoladi. Superplastifikatorlarni qo'llash sohalari temir -beton buyumlar (plitalar, panellar, bosimli quvurlar va boshqalar) va katta zichlikdagi mustahkamlangan konstruktsiyalarni ishlab chiqarish, monolit temir -beton konstruktsiyalarni qurish va ishlab chiqarishdir.

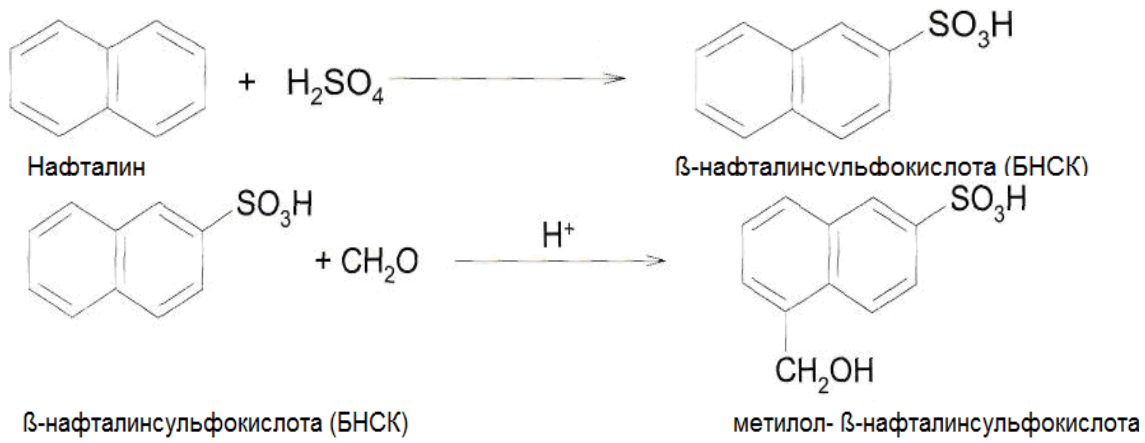
Adabiyotlarda superplastifikator qo'shimchalarning oddiy Portlandsement asosidagi sement pastalarining fizik-kimyoviy xossalariga ta'sirini o'rganishga qaratilgan ko'plab tadqiqotlar olib borilgan. Ushbu tadqiqotlarda superplastifikatorlarning sement zarrachalari yuzasida adsorbsiyalanishi, ularning disperslanish darajasini oshirishi, suvga bo'lgan talabni kamaytirishi hamda sement tizimining reologik xususiyatlarini boshqarishdagi roli alohida e'tirof etilgan. Shuningdek, superplastifikatorning kimyoviy tarkibi, molekulyar tuzilishi va qo'llash miqdori sementning gidratatsiya jarayonlari, qotish kinetikasi hamda hosil bo'ladigan sement toshining mikrostrukturasi va fizik-mexanik xossalariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlangan. Shu sababli superplastifikatorlarning sement tizimi bilan o'zaro ta'sir mexanizmlarini ilmiy asosda o'rganish yuqori mustahkamlikka, barqaror reologik xossalarga va yaxshilangan ekspluatatsion ko'rsatkichlarga ega sement kompozitsiyalarini yaratishning muhim ilmiy asoslaridan biri hisoblanadi
[1-7]. Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, superplastifikatorlarning samaradorligi ularning molekulyar tuzilishi, funksional guruhlari va sement zarrachalari bilan adsorbsion o'zaro ta'siriga bevosita bog'liq. Sulfonat guruhli naftalin-formaldegid kondensatlari sement zarrachalarining disperslanishini kuchaytirib, qorishmaning suv talabini kamaytirish va reologik xossalarini yaxshilash imkonini beradi. Shu nuqtai nazardan, piroliz moyining naftalinga boy aromatik fraksiyalaridan sulfonlash va kondensatsiyalash orqali yuqori samarali superplastifikatorlar olish ikkilamchi mahalliy xomashyodan samarali foydalanish hamda yaxshilangan fizik-mexanik xossalarga ega sement kompozitsiyalarini yaratishning istiqbolli yo'nalishi hisoblanadi [8]. Ilmiy adabiyotlarda oddiy Portlandsementning gidratatsiya jarayonlari hamda superplastifikatorlarning sement komponentlari bilan o'zaro ta'sir mexanizmlariga bag'ishlangan ko'plab tadqiqotlar keltirilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, superplastifikatorlarning sement zarrachalari yuzasida adsorbsiyalanishi ularning disperslanish holatini o'zgartirib, suv-sement tizimidagi fazalararo jarayonlar va gidratatsiya kinetikasiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shu bois superplastifikator–sement o'zaro ta'sir mexanizmini o'rganish sement kompozitsiyalarining reologik, strukturaviy va fizik-mexanik xossalarini maqsadli boshqarishning muhim ilmiy asosi hisoblanadi [9-12]. Tadqiqotlarda polikarboksilat asosidagi superplastifikatorlarning Portlandsement pastalarining mexanik, mineralogik, mikrostrukturaviy va reologik xossalariga ta'siri kompleks ravishda o'rganilgan. Olingan natijalar PCE qo'shimchasining sement zarrachalari disperslanishini boshqarishi, gidratatsiya jarayonlari va hosil bo'ladigan fazalar tarkibiga ta'sir etishi, shuningdek, sement matritsasining mikrostrukturasi hamda reologik xususiyatlarini o'zgartirishini ko'rsatadi. Mazkur jarayonlar natijasida sement kompozitsiyasining strukturaviy shakllanishi va mexanik ko'rsatkichlarini maqsadli boshqarish imkoniyati yuzaga keladi [13]. Superplastifikatorlar sement gidratatsiyasining dastlabki bosqichida jarayonning ma'lum darajada sekinlashishiga olib kelishi mumkin va bu ta'sir qo'shimcha miqdori ortishi bilan yanada yaqqol namoyon bo'ladi. Buning asosiy sababi organik qo'shimcha molekulalarining sementning faol komponentlari bilan o'zaro ta'sirlashib, gidratatsiya mahsulotlarining diffuziyasi, yangi fazalarning nukleatsiyasi va kristallarning o'sish jarayonlariga ta'sir ko'rsatishi bilan izohlanadi. Shu bilan birga, suvda disperslanuvchi polimerlarning qo'llanilishi sement pastasi, qorishma va betonning strukturaviy shakllanishiga ta'sir etib, qotgan kompozitsiyalarning fizik-mexanik hamda ekspluatatsion xossalarini o'zgartirishi aniqlangan. Demak, polimer qo'shimchalarning turi va optimal miqdorini tanlash sementning gidratatsiya kinetikasi hamda yakuniy kompozitsiya xossalarini maqsadli

boshqarishda muhim ahamiyat kasb etadi [14-15]. Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, superplastifikatorlar Portlandsementning nafaqat dastlabki gidratatsiya kinetikasiga, balki keyingi bosqichlarda sement matritsasining mikrostrukturaviy shakllanishiga ham sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Ayniqsa, yuqori dozada qo‘llanganda, bir xil suv-sement nisbatida superplastifikator saqlagan sement pastalarining mikrostrukturasi nazorat namunasiga nisbatan sekinroq rivojlanishi aniqlangan. Shu bilan birga, akrilat-polietilenglikol asosidagi superplastifikatorning kondensatsiyalangan mikrokremnezem bilan modifikatsiyalangan Portlandsement tizimida qo‘llanilishi uning fizik-kimyoviy va mexanik xossalarini boshqarishda muhim ahamiyat kasb etadi. Demak, superplastifikatorning kimyoviy tabiati va miqdorini mineral qo‘shimchalar bilan o‘zaro ta’sirini hisobga olgan holda optimallashtirish sement kompozitsiyalarining gidratatsiyasi, mikrostrukturasi va yakuniy mustahkamlik xossalarini maqsadli boshqarishning muhim omili hisoblanadi [16-19]. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, 5,0 va 7,5 % kondensatsiyalangan mikrokremnezem saqlagan portlandsement tizimlariga superplastifikator kiritilishi gidratatsiyaning barcha bosqichlarida mexanik xossalarning yaxshilanishiga olib keladi. Mazkur samaradorlik yangi tayyorlangan sement pastasining ishlanuvchanligi ortishi va qotgan sement matritsasining umumiy g‘ovakligi kamayishi bilan izohlanadi. Shuningdek, naftalin asosidagi superplastifikatorni Portlandsement klinkeri va gips bilan birgalikda maydalash mahsulotning maydalik darajasi, suvga bo‘lgan talabi hamda sement qorishmalarining siqilishdagi mustahkamligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi aniqlangan. Ushbu natijalar naftalin asosidagi superplastifikatorlardan foydalanish sementning suv talabini boshqarish, zichroq mikrostruktura shakllantirish va sement kompozitsiyalarining fizik-mexanik ko‘rsatkichlarini yaxshilashda istiqbolli ekanligini ko‘rsatadi [20]. O‘rganilgan tadqiqotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, superplastifikatorlarning sement tizimidagi samaradorligi faqat qorishmaning harakatchanligini oshirish bilan cheklanmay, balki suv-sement nisbatini kamaytirish, qotish jarayonini boshqarish va sement toshining mustahkamlik ko‘rsatkichlarini yaxshilashda ham namoyon bo‘ladi. Xususan, melamin va naftalinsulfonat asosidagi superplastifikatorlarning oq Portlandsement gidratatsiyasiga ta’sirini qiyosiy o‘rganish ularning kimyoviy tuzilishi sement bilan o‘zaro ta’sir mexanizmini belgilovchi muhim omil ekanligini ko‘rsatadi. Naftalinsulfonat asosidagi qo‘shimchalarning suv talabini kamaytirish va yuqori mustahkamlikka ega sement kompozitsiyalarini shakllantirish imkoniyati ushbu turdagi superplastifikatorlarni ikkilamchi aromatik xomashyolar, jumladan, piroliz moyi asosida olish va ularning samaradorligini tadqiq etish ilmiy jihatdan istiqbolli ekanligini asoslaydi [21].

Superplastifikatorlarning Portlandsement tizimiga ta’siri ularning kimyoviy tuzilishi, sement zarrachalari yuzasiga adsorbsiyalanish qobiliyati hamda qo‘llaniladigan miqdori bilan bevosita bog‘liq. Melamin asosidagi Melment va naftalinsulfonat asosidagi Lomar-D superplastifikatorlari sement qorishmasining ishlanuvchanligini sezilarli darajada oshirishi va talab etiladigan suv miqdorini kamaytirishi aniqlangan. Biroq superplastifikator konsentratsiyasining ortishi sementning boshlang‘ich va yakuniy qotish muddatlarini uzaytirgan, bu esa organik qo‘shimchalarning sement zarrachalari va gidratatsiya mahsulotlari yuzasida adsorbsiyalanishi natijasida gidratatsiya reaksiyalarining kinetikasi o‘zgarishi bilan izohlanadi. Turli kimyoviy tabiatga ega superplastifikatorlarning sement toshi mikrostrukturasiga ta’siri bir xil emasligi ham aniqlangan. Xususan, Melment ishtirokida sement matritsasidagi g‘ovaklar o‘lchamining kamayishi kuzatilgan bo‘lsa, Lomar-D qo‘llanilganda g‘ovaklar o‘lchamining ortishi qayd etilgan. Lomar-D ning gidratlangan sement yuzasida Melmentga nisbatan yuqori adsorbsiyalanish qobiliyatiga ega ekanligi uning gidratatsiya jarayoniga kuchliroq sekinlashtiruvchi ta’sir ko‘rsatishining asosiy sabablaridan biri sifatida baholangan. Bu natijalar superplastifikatorning faqat suv kamaytiruvchi samaradorligini baholash yetarli emasligini, balki uning adsorbsion xususiyati, gidratatsiya kinetikasi va sement matritsasining g‘ovaklik strukturasiga ta’sirini ham kompleks hisobga olish zarurligini ko‘rsatadi. Shuningdek, natriy lignosulfonat va polinaftalinsulfonat asosidagi superplastifikatorlarning qotgan Portlandsement pastalarining gidratatsiya xususiyatlari, mikrostrukturasi va mexanik ko‘rsatkichlariga ta’siri o‘rganilishi ushbu qo‘shimchalarning yuqori samarali suv kamaytiruvchi komponent sifatidagi ahamiyatini tasdiqlaydi. Ularning suv sarfini kamaytirish bilan bir qatorda

sementning qotish jarayoni va mustahkamlik shakllanishiga ta’sir ko‘rsatishi, ayniqsa, yuqori haroratli iqlim sharoitida yuqori sifatli beton kompozitsiyalarini olish nuqtai nazaridan muhim hisoblanadi. Bunda qo‘shimcha miqdorining o‘zgarishi gidratatsiya darajasi va mexanik xossalarga bevosita ta’sir qilganligi sababli har bir superplastifikator uchun samarali konsentratsiyani tajriba asosida aniqlash talab etiladi.

Tajriba qismi. Tajribada UzKorGas korxonasi chiqindisi bo’lgan piroliz moyi, (tarkibida 85-90% gacha Naftalin saqlaydi), H_2SO_4 93% li, CH_2O 30% li, 40%li NaOH eritmasidan foydalanib olib borilgan. Tajriba bajarishda 400 gr li stakanga 50gr piroliz moyidan solib 60-70^{0}C haroratga chiqariladi keyin 50 gr konsentrlangan sulfat kislota eritmasini solib aralashtirgich yordamida aralashtiriladi. Bu yerda harorat ko’tarila boshlaydi ekzotermik jarayon boshlanadi. Harorat 110 ^{0}C gacha ko’tariladi va haroratni 130 ^{0}Cga oshiramiz CH_2O 36% li eritmasini tomchilatib solinadi. 4-5 tomchi formalin solingandan so’ng reaksiya harorati tushishi kuzatildi (reaksiya harorati 70^0 C ga pasayib ketdi). Haroratni 130 ^{0}C ga ko’tarib CH_2O solishga davom etamiz va qora rangli quyuq holatdagi aralashma hosil bo’ladi. Olingan aralashmaga 40%li NaOH eritmasi sekinlik bilan solinadi ko’pirish yuzaga keladi va aralashma rangi to’q jigarranga o’tadi.



1-rasm. Piroliz moyidan superplastifikator olish reaksiyasi.

1-jadval.

Piroliz moyidan superplastifikator olishning optimal sharoitini aniqlash.

№	Piroliz moyi gr	N_2SO_4 gr	CH_2O gr	NaOH gr	Temperatura, C^0	Sementni yoyilishi, sm
1	100	5	5	5	80	5
2	100	5	15	5	80	6
3	100	5	30	5	80	5
4	100	5	45	5	80	10
5	100	5	50	5	80	12
6	100	5	65	5	80	11
7	100	10	15	10	80	7
8	100	10	30	10	80	8
9	100	10	45	10	80	8
10	100	10	50	40	80	14

11	100	10	65	10	80	12
12	100	15	15	15	80	8
13	100	15	30	15	80	8
14	100	15	45	40	80	14
15	100	15	50	15	80	11

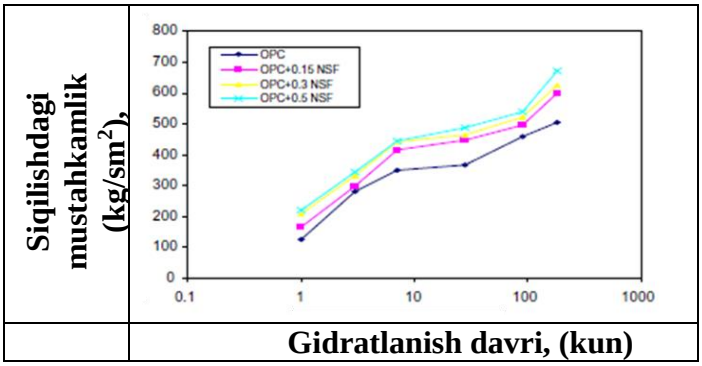
Sement xamirini tayyorlash. Superplastifikator qo'shilgan beton qorishmalari OPCdan standart suv/qattiq modda (Suv/Sement) nisbatida, sement og'irligiga nisbatan 0,15%, 0,3% va 0,5% NSF qo'shilgan holda tayyorlandi. Har bir pasta uchun quyuqlikdagi standart suvning qiymatlari **2-jadvalda** keltirilgan. Beton qorishmasi qoliplarda solinadi, 24 soatgacha 100% nisbiy namlikda qotdi, so'ngra 3, 7, 28, 90 va 180 kunlik turli vaqt oraliqlarida suv ostida qotdi. Qotgan sement pastalarining gidratatsiya reaksiyasi har bir vaqt oralig'ida oldingi tadqiqotda keltirilgan usulga muvofiq to'xtatildi [22]. So'ngra namunalar 90^0C haroratda uch soat davomida quritildi va sinov vaqtigacha saqlandi.

2-jadval.

PPC uchun LS va NSF superplastifikatori bilan standart suv konsentratsiyasining qiymatlari.

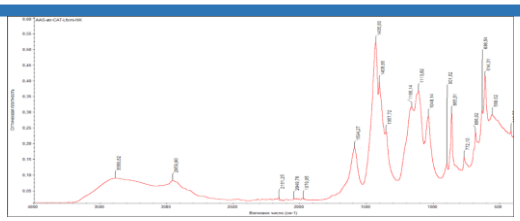
	Suv /Sement	**nisbati**
Superplastifikatori konsentratsiyasi, (%)	LS superplastifikator	NFS superplastifikator
0	0.259	0.259
0.15	0.256	0.254
0.30	0.251	0.250
0.50	0.247	0.246

Tadqiqotning natijalarining amaliy ahamiyati olingan superplastifikatorlarni mineral suspenziyalarni mineralda dispergator sifatida beton qorishmalarining reologik xossalarini rostlash uchun ishlatilishiga xizmat qiladi.



2-rasm. Turli NSF superplastifikatorli oddiy Portland sement xamirlarida namlanishning turli davrlariga qarab siqilish mustahkamligi.

2-rasmda. NSF ning qotgan plastifikator qo'shilgan beton qorishmalarining mexanik xususiyatlarini yaxshilashdagi samaradorligi NSF ning konsistensiya uchun zarur bo'lgan standart suv miqdorini LS ga nisbatan pastroq qiymatlarga kamaytirishdagi samaradorligi bilan bog'liq bo'lib, bu esa NSF ning molekulyar og'irligi LS superplastifikatoriga nisbatan pastroq ekanligiga to'g'ri kelishi mumkin. Molekulyar og'irligi eng kam bo'lgan polimer eng ko'p adsorbsiyalanadi [23]. Olingan mahsulotni 43gr suvga eritib, 100gr sementga solib yaxshilab aralashtirib GOST bo'yicha yoyilishini kuzatildi. Silendrdan tushayotgan sementni yoyilishini 25 dm gacha yoyildi.



3-Rasm. Sintez qilingan superplastifikator IQ-spektri.

3-rasmdan ko'rinib turibdiki, xom ashyoni qayta ishlagandan so'ng, IQ spektridan kelib chiqqan holda, olingan superplastifikator asosan quyidagi funksional guruhlarga ega ekanligini aytish mumkin. 1166,14 sm^{-1} sohasidagi yangi absorbsiya bandlari funksional guruh SO_2-OH o'z tuzilishini R-SO_2-OH kimyoviy aloqasiga o'zgartirganligini ko'rsatadi. IQ spektrida -1040,14 sm^{-1} hududida assimetrik valentli tebranishlar uchun assimilyatsiya chiziqlari mavjud va 772,10-614,31sm^{-1} hududida simmetrik valentlik vibratsiyasining xarakterli assimilyatsiya chiziqlari mavjud. Bu sintezlangan superplastifikatorning funksional guruhga ega ekanligini ko'rsatadi. Superplastifikatorni ishlab chiqarish uchun xom ashyo sifatida ishlatiladigan modda tarkibida (C-S) funksional guruhlarga egaligi ko'rsatilgan. Suv-sement nisbati superplastifikatorlarning sement toshining fizik-mexanik xususiyatlariga ta'sirini o'rganishda muhim rol o'ynaydi. Suv-sement (W/C) nisbatini pasaytirish va shu tariqa sement pastasini normal zichlik bilan olish uchun tsement toshini tayyorlashda superplastifikatorning asosiy vazifasi. Quyidagi jadvallar superplastifikatorining W/C nisbatini pasaytirish va sement pastasining mustahkamligini yaxshilash ta'sirini ko'rsatadi.

3-jadval

Sintez qilingan superplastifikatorli PC400 D0 markali portlend sement pastalarining sinov natijalari.

№	Sement miqdori, g	Sement massasidan qo'shimcha miqdori, %	Suv / sement nisbat	Yoyiluvchanligi, sm	14 kundan keyin kuch, MPa
1	100	–	0,43	7	16
2	100	0,2	0,43	9	16,5
3	100	0,4	0,43	13	17
4	100	0,6	0,43	15	17,5
5	100	0,8	0,43	17	18
6	100	1	0,43	17.5	18

4-jadval

Sintez qilingan superplastifikatorli PC400 D20 markali portlend sement pastalarining sinov natijalari.

№	Sement miqdori, g	Sement massasidan qo'shimcha miqdori, %	Suv / sement nisbat	Yoyiluvchanligi, sm	14 kundan keyin kuch, MPa
1	100	–	0,43	11	11,5
2	100	0,2	0,43	14	11
3	100	0,4	0,43	14	11
4	100	0,6	0,43	16	11,5

5	100	0,8	0,43	17	11,5
6	100	1	0,43	18	12

5-jadval

Sintez qilingan superplastifikatorli PC500 D0 markali portlend sement pastalarining sinov natijalari.

№	Sement miqdori, g	Sement massasidan qo'shimcha miqdori, %	Suv / sement nisbat	Yoyiluvchanligi, sm	14 kundan keyin kuch, MPa
1	100	–	0,43	6	12
2	100	0,2	0,43	6	12
3	100	0,4	0,43	7	12,5
4	100	0,6	0,43	9	12,5
5	100	0,8	0,43	13	13
6	100	1	0,43	14	13

3, 4, 5-jadvallardan ko'rinib turibdiki, olingan superplastifikatorini sement pastasiga qo'shish sement toshining mustahkamligini yaxshilaydi. Bu sement toshining tuzilishiga ijobiy ta'sir ko'rsatishi bilan bog'liq. O'rtacha zichlik indeksi sement pastalarining superplastifikatorini qo'shish orqali ishlov berish qobiliyatini ko'rsatadi. Portlend sement PS 400 D20 har xil turdagi qurilish materiallarida katta miqdorda ishlatiladi. Shunga ko'ra, PS 400 portland sement va sintez qilingan superplastifikator qo'shilgan beton qorishmalariga asoslangan qurilish kompozitsiyalarining fizik-mexanik xususiyatlarini o'rganish muhim ahamiyatga ega. Superplastifikator biriktiruvchining og'irligi bo'yicha 1% gacha qo'shilgan. Superplastifikatorni 1% dan ko'p qo'shilishi ko'p hollarda sement toshining mustahkamligini pasayishiga olib keladi deb hisoblanadi. Beton qorishmalarining ish qobiliyati 0,43 W/C nisbatida tarqalishi mumkinligi baholandi.

O'tkazilgan tadqiqotlar natijalari sintez qilingan superplastifikatorning sementli tizimlarda samarali suv kamaytiruvchi qo'shimcha sifatida namoyon bo'lishini ko'rsatgan. Xususan, superplastifikator qo'llanilganda sement qorishmasining talab etilgan harakatchanligi va normal quyuqligi saqlangan holda suv sarfini 15-20 % gacha kamaytirish imkoniyati aniqlangan. Bunda suv miqdorining kamayishi sement toshining fizik-mexanik xossalariga salbiy ta'sir ko'rsatmagan, aksincha, tajriba natijalarida uning mustahkamlik ko'rsatkichlarining ma'lum darajada ortishi kuzatilgan. Superplastifikator molekulalarining sement zarrachalari yuzasida adsorbsiyalanishi va zarrachalararo o'zaro tortishish kuchlarini kamaytirishi natijasida ularning samarali disperslanishi bilan izohlanadi. Sement zarrachalarining bir tekis taqsimlanishi flokulyatsiyalangan agregatlar tarkibida ushlanib qolgan suvning ajralib chiqishiga imkon yaratadi. Natijada qorishmaning talab etilgan reologik xossalarini ortiqcha suv kiritmasdan ta'minlash mumkin bo'ladi. Shu sababli superplastifikatorning samaradorligini baholashda suv-sement nisbati (W/C) asosiy texnologik omillardan biri hisoblanadi. Tadqiqot natijalari asosida sintez qilingan superplastifikatorni sementli materiallarga kiritish 15-20 % suv tejamkorligini ta'minlashi, sement toshining mustahkamligini pasaytirmasligi va aksincha uning ortishiga sharoit yaratishi aniqlangan. Suv sarfining kamayishi hamda sementli materialning talab etilgan ekspluatatsion xususiyatlarini saqlab qolish imkoniyati ushbu superplastifikatorlardan foydalanishning texnologik va iqtisodiy samaradorligini belgilaydi. Shu bilan birga, suv va xomashyo resurslaridan oqilona foydalanish imkoniyati ularni resurs

tejamkor sement va beton kompozitsiyalarini ishlab chiqishda istiqbolli kimyoviy qo‘shimcha sifatida baholashga asos bo‘ladi.

Foydanalingan adabiyotlar

1. Andersen PJ, Roy DM, Gaidis JM, Grace WR. The effects of adsorption of superplasticizers on the surface of cement. Cement Concrete Res 1987;17(5):805-13.
2. Winnefeld F, Becker S, Pakusch J, Go tz T. Effects of the molecular architecture of comb-shaped superplasticizers on their performance in cementitious systems. Cement Concrete Comp 2007;29(4):251-62.
3. Chiocchio G, Paolini AE. Optimum time for adding superplasticizer to Portland cement pastes. Cement Concrete Res 1985;15(5):901-8.
4. El Husseiny FL. Physico-mechanical characteristics of admixed cement pastes containing melment. Ceramic Sci Tech 2002;67(1-2):3-7.
5. Singh NB, Sarvahi R, Singh NP, Shukla AK. Effect of temperature on the hydration of ordinary Portland cement in the presence of a superplasticizer. Thermochim Acta 1994;247(2):381-8.
6. Emoto T, Bier TA. Rheological behavior as influenced by plasticizers and hydration kinetics. Cement Concrete Res 2007;37(5):647-54.
7. Macias A, Goni S. Characterization of admixture as plasticizer or superplasticizer by deflocculation test. ACI Mater J 1999;96(1):40-6.
8. Chandra S, Bjornstrom J. Influence of cement and superplasticizers type and dosage on the fluidity of cement mortars- Part I. Cement Concrete Res 2002;32(10):1605-11.
9. Chandra S, Bjornstrom J. Influence of superplasticizer type and dosage on the slump loss of Portland cement mortars Part II. Cement Concrete Res 2002;32(10):1613-9.
10. Hsu KC, Chiu JJ, Chen SD, Tseng YC. Effect of addition time of a superplasticizer on cement adsorption and on concrete workability. Cement Concrete Comp 1999;21(5-6):425-30.
11. Krstulovic R, Z mikic A, Dabic P. Examination of reaction between the NSF superplasticizer and cement. Cement Concrete Res 1994;24(5):948-58.
12. Yoshioka K, Tazawa EI, Kawai K, Enohata T. Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals. Cement Concrete Res 2002;32(10):1507-13.
13. Puertas F, Santos H, Palacios M, Martnez Ramrez S. Polycarboxylate superplasticizer admixtures: effect on hydration, microstructure and rheological behaviour in cement pastes. Adv Cement Res 2005;17(2):77-89.
14. Colak A. Characteristics of pastes from a Portland cement containing different amounts of natural pozzolan. Cement Concrete Res 2003;33(4):585-93.
15. Colak A. Properties of plain and latex modified Portland cement pastes and concretes with and without superplasticizer. Cement Concrete Res 2005;35(8):1510-21.
16. Gu P, Xie P, Beaudoin JJ, Jolicoeur C. Investigation of the retarding effect of superplasticizers on cement hydration by impedance spectroscopy and other methods. Cement Concrete Res 1994;24(3):433-42.
17. Sakai E, Kasuga T, Sugiyama T, Asaga K, Daimon M. Influence of superplasticizers on the hydration of cement and the pore structure of hardened cement. Cement Concrete Res 2006;36(11):2049-53.
18. Yousuf M, Mollah A, Palta P, Hess TR, Vempati RK, Cocke DL. Chemical and physical effects of sodium lignosulfonate superplasticizer on the hydration of Portland cement and solidification/stabilization consequences. Cement Concrete Res 1995;25(3):671-82.
19. El Gamal SMA. Effect of acrylate-PEG superplasticizer on the mechanical and physico-chemical properties of blended cement pastes containing condensed silica fume. Silic Ind 2005;70(1-2):19-23.

20. Bouzoubaa N, Zhang MH, Malhotra VM. Superplasticized Portland cement: production and compressive strength of mortars and concrete. Cement Concrete Res. 1998;28(12):1783-96.

21. Singh NB, Sarvahi R, Singh NP. Effect of superplasticizers on the hydration of cement. Cement Concrete Res 1992;22(5):725-35.

22. Abo El Enein SA, Daimon M, Ohsawa S, Kondo R. Hydration of low porosity slag-lime pastes. Cement Concrete Res 1974;4(2):299-312.

PLASTIK ALMASHINUV VA BALIQ TANASINING KIMYOVIY TARKIBINI BAHOLASH

To‘ymurodova Shoira Shavkat qizi
Tayanch doktorant
e-mail: shoiratuymurodova222@gmail.com
Majidov Qahramon Halimovich
Texnika fanlari doktori, professor
Buxoro davlat texnika universiteti
e-mail: kafedra-03@mail.ru
Saidvaliyev Saidazim Saidamirxanovich
Texnika fanlari doktori, dotsent
Toshkent kimyo-texnologiya instituti

Annotatsiya *– Baliqlarni omuxta yemlar bilan boqganda plastik almashinuv va baliq tanasining kimoviy tarkibini baholash o‘rganildi. Biokimoviy ko‘rsatkichlar tahlili omuxta yemi tarkibiga seolitning kiritilishi gidrobiontlarning plastik almashinuv yo‘nalishiga hech qanday salbiy ta’sir ko‘rsatmaydi. Baliq o‘sishining quruq moddasi tarkibidagi organik va noorganik nutriyentlarning fundamental mutanosibligi jiddiy o‘zgarishlarga uchramadi. 3, 5 va 7 % miqdorida seolit qo‘shilgan ozuqasini iste’mol qilgan baliqlarning yashovchanlik darajasi barqaror yuqori bo‘lib, tor fiziologik optimum — 97,5–98,1 % oralig‘ida o‘zgardi. Mineral miqdorini 7 % gacha oshirish o‘sishni rag‘batlantiruvchi samaraning yanada kuchliroq yo‘qolishiga olib keldi. Taqqoslanayotgan guruhlarda baliqlarning massa to‘plash dinamikasi o‘xshash xarakterga ega bo‘ldi va parvarish yakunidagi zootexnik ko‘rsatkichlar o‘zaro yaqin qiymatlarni tashkil etdi. Ikki retseptura uchun mutlaq optimum 3 % li sorbent dozirovkasi hisoblanib, uning qo‘llanilishi ozuqa xarajatlarining 12,7–18,8 % ga radikal qisqarishi fonida ixtiomassa o‘sish sur’atini 17,1–19,8 % ga jadallashtirishni kafolatlaydi.*

Kalit so‘zlar: *baliq oziqa yemlari, kimoviy tarkib, plastik almashinuv, baholash usullari.*

ОЦЕНКА ПЛАСТИЧЕСКОГО ОБМЕНА И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕЛА РЫБ

Аннотация *— изучены показатели пластического обмена и химический состав тела рыб при их кормлении комбикормами. Анализ биохимических показателей показал, что включение цеолита в состав комбикорма не оказывает отрицательного влияния на направление пластического обмена у гидробионтов. Фундаментальное соотношение органических и неорганических нутриентов в сухом веществе прироста рыб не претерпело существенных изменений.*

Выживаемость рыб, потреблявших корма с добавлением цеолита в количестве 3, 5 и 7 %, оставалась стабильно высокой и находилась в узком диапазоне физиологического оптимума — 97,5–98,1 %. Увеличение содержания минеральной добавки до 7 % приводило к более выраженному снижению стимулирующего эффекта на рост. В сравниваемых группах динамика накопления массы рыб имела сходный характер, а зоотехнические показатели в конце периода выращивания характеризовались близкими значениями.

Для обеих рецептур абсолютным оптимумом являлась дозировка сорбента на уровне 3 %, применение которой обеспечивало ускорение темпов прироста ихтиомассы на 17,1–19,8 % на фоне радикального сокращения затрат корма на 12,7–18,8 %.

Ключевые слова: *корма для рыб, химический состав, пластический обмен, методы оценки.*

ASSESSMENT OF PLASTIC METABOLISM AND THE CHEMICAL COMPOSITION OF FISH BODY

Abstract *— Plastic metabolism and the chemical composition of fish body tissues were evaluated when fish were fed compound feeds. Analysis of biochemical parameters demonstrated that the inclusion of zeolite in the compound feed did not exert any adverse effect on the direction of plastic metabolism in aquatic organisms. The fundamental ratio of organic and inorganic nutrients in the dry matter of fish growth remained largely unchanged.*

The survival rate of fish fed diets supplemented with zeolite at levels of 3%, 5%, and 7% remained consistently high, ranging within a narrow physiological optimum of 97.5–98.1%. Increasing the mineral additive level to 7% resulted in a more pronounced reduction in the growth-stimulating effect. The dynamics of body mass accumulation in the compared groups showed similar patterns, while the zootechnical parameters at the end of the rearing period were characterized by closely comparable values.

For both feed formulations, the absolute optimum was a sorbent inclusion level of 3%, which ensured an acceleration of ichthyomass growth by 17.1–19.8% while radically reducing feed expenditure by 12.7–18.8%.

Keywords: *fish feed, chemical composition, plastic metabolism, assessment methods.*

Kirish. Jahon oziq-ovqat va qishloq xo‘jaligi tashkiloti (FAO) ma’lumotlariga ko‘ra, insoniyatning yuqori sifatli oqsilga bo‘lgan ehtiyojini qondirishda baliq va baliq mahsulotlari asosiy manbalardan biri hisoblanadi [1,2]. Shu bilan birga, intensiv baliqchilikni rivojlantirish, birinchi navbatda, to‘laqonli, ozuqaviy qiymati yuqori va iqtisodiy jihatdan arzon omuxta yem ishlab chiqarish bazasini yaratishni taqozo etadi.

Baliq unini qisman yoki to‘liq almashtira oladigan, mahalliy sharoitda yetishtiriladigan o‘simlik oqsillari, xususan, soya va uning qayta ishlangan mahsulotlaridan [3,4], shuningdek, turli yuqori oqsilli konsentratlardan foydalanish, yem tarkibidagi yog‘lar miqdorini maqbullashtirish hamda hazm qilishni yaxshilovchi tabiiy mineral qo‘shimchalar (seolitlar)ni qo‘llash dolzarb ilmiy-amaliy muammo hisoblanadi.

Respublikamizda so‘nggi yillarda oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlash va eksportbop mahsulotlar ishlab chiqarish bo‘yicha qator chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Mahalliy xomashyolardan samarali foydalangan holda omuxta yem sanoatini modernizatsiya qilish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biridir.

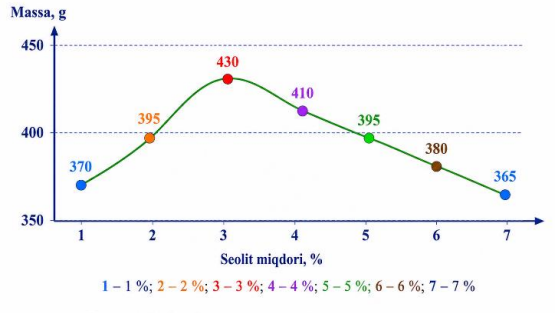
Buxoro viloyatidagi suv havzalarida karp, do‘ngpeshona, oq amur va boshqa turdagi baliqlarni yetishtirishda ekologik toza va arzon ozuqa bazasini yaratish zarur. Soya donini ekstruziya qilish orqali uning tarkibidagi antiozuqaviy moddalarni parchalash, xom yog‘ darajasini maqbullashtirish va yem hazm bo‘lish ko‘rsatkichlarini tabiiy seolitlar yordamida oshirish [5,6] bo‘yicha kompleks texnologik yechimlarni ishlab chiqish ushbu ishining dolzarbligini belgilab beradi.

Omuxta yem ishlab chiqarish jarayonlarini takomillashtirish, muqobil oqsil va yog‘ manbalarini izlash hamda mineral qo‘shimchalar orqali baliqlar mahsuldorligini oshirish masalalari xorijiy va mahalliy olimlar tomonidan keng tadqiq etilgan [7,8].

Qayta ishlangan soya, maqbullashtirilgan yog‘ miqdori hamda seolitlarni yagona kompleks texnologiya sifatida birlashtirish [9,10] va uni Buxoro viloyati iqlim sharoitida qo‘llash masalasi hanuzgacha kompleks ilmiy yechimini topmagan.

Biokimoviy ko‘rsatkichlar tahlili shuni tasdiqladiki, VBS-RJ omuxta yemi tarkibiga seolitning kiritilishi (xuddi K-111-9 (2) da bo‘lgani kabi) gidrobiontlarning plastik almashinuv yo‘nalishiga hech qanday salbiy ta’sir ko‘rsatmaydi. Tajribadagi baliqlarning somatik to‘qimalarida faqatgina lipidlarning jadalroq depolanishi hisobiga quruq modda miqdorining biroz oshish tendensiyasi kuzatildi (1-jadval).

Shu bilan birga, baliq o‘sishining quruq moddasi tarkibidagi organik va noorganik nutriyentlarning fundamental mutanosibligi jiddiy o‘zgarishlarga uchramadi: xom protein ulushi 42,7–44,3 %, xom yog‘ — 37,3–40,1 %, mineral elementlari — 6,0–6,8 % oralig‘ida o‘zgardi (2-jadval). Bu qiymatlar nazorat parametrlariga (mos ravishda 44,8 %, 33,1 % va 6,6 %) juda yaqin va to‘liq muvofiq keldi.



1-rasm. VBS-RJ ozuqasidagi seolit miqdorining karp baliqlari massasiga ta’siri

Gidrobiontlarning yashovchanligi

3, 5 va 7 % miqdorida seolit qo‘shilgan VBS-RJ ozuqasini iste’mol qilgan ikki yoshli baliqlarning yashovchanlik darajasi barqaror yuqori bo‘lib, tor fiziologik optimum — 97,5–98,1 % oralig‘ida o‘zgardi.

PK-11 OM retsepturasida seolitning samaradorligi (3 %)

Mineral sorbentning o‘sishni rag‘batlantiruvchi potensiali PK-1 markali past oqsilli omuxta yem tarkibida ham o‘z tasdig‘ini topdi. Ratsion tarkibiga 3, 5 va 7 % qo‘shimcha kiritilishi uning energetik zichligini mos ravishda 3,8, 6,0 va 9,0 % ga pasaytirganiga qaramay, ozuqaning mahsuldorlik xususiyatlarini yomonlashtirmadi.

Eng yuqori biologik va iqtisodiy samara ozuqa tarkibida 3 % seolit bo‘lgan tajriba variantida qayd etildi. Tajribadagi baliqlarning o‘sish sur’ati bo‘yicha ustunligi (6,8 % ga) parvarishlashning birinchi oyi oxiridayoq yaqqol namoyon bo‘ldi va keyingi davrlarda ham muttasil saqlanib qoldi (2-rasm). Tajriba yakuniga kelib, o‘rtacha sutkalik o‘sish 3,2 g ni (nazoratda — 2,5 g/sut.) tashkil etdi va baliqlarning o‘rtacha massasi 422 grammga yetib, nazorat ko‘rsatkichlaridan 19,8 % ga oshib ketdi bunda farqlar yuqori statistik ishonchlilikka ega, (4-jadval). Amaliy jihatdan olib qaraganda, PK-1 omuxta yemiga 3 % seolit qo‘shilishi 1 m³ sadok maydonidan qo‘shimcha 10,6 kg baliq mahsuloti olish hamda ozuqa sarfini 18,8 % ga tejash imkonini berdi.

Yuqori dozirovkalarning (5 % va 7 %) ta’siri

Seolit miqdorining 3 % dan 5 % gacha oshirilishi ozuqa tarkibidagi qo‘shimchaning mahsuldorlik samaradorligini planomer ravishda pasaytirdi, biroq tajribaning yakuniy baliqchilik ko‘rsatkichlari nazoratdagidan baribir yuqoriligicha qoldi: massaning o‘sishi 12,2 % ga ko‘p, omuxta yemning solishtirma xarajati esa 10,4 % ga kam bo‘ldi.

Mineral miqdorini 7 % gacha oshirish o‘sishni rag‘batlantiruvchi samaraning yanada kuchliroq yo‘qolishiga olib keldi. Shunga qaramay, ushbu ratsionning umumiy mahsuldorligi nazorat ozuqa darajasidan pastga tushib ketmadi. Taqqoslanayotgan guruhlarda baliqlarning massa to‘plash dinamikasi o‘xshash xarakterga ega bo‘ldi va parvarish yakunidagi zootexnik ko‘rsatkichlar o‘zaro yaqin qiymatlarni tashkil etdi.

O‘simlik ratsionlari bo‘yicha umumiy xulosalar

Olingan ma’lumotlarni umumlashtirib shuni aniqlash mumkinki, asosan o‘simlik manbali komponentlardan tashkil topgan VBS-RJ va PK-1 omuxta yemlarining tarkibiga 7 % gacha tabiiy seolit kiritilishi ularning mahsuldorlik xususiyatlari pasayishiga olib kelmaydi. Har ikki retseptura uchun mutlaq optimum 3 % li sorbent dozirovkasi hisoblanib, uning qo‘llanilishi ozuqa xarajatlarining 12,7–18,8 % ga radikal qisqarishi fonida ixtiomassa o‘sish sur’atini 17,1–19,8 % ga jadallashtirishni kafolatlaydi.

1-jadval

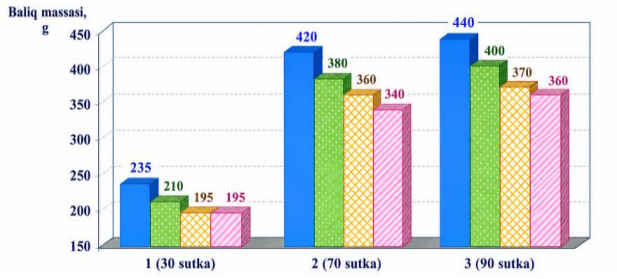
Seolit qo‘shilgan VBS-RJ omuxta yemida boqilgan ikki yoshli baliq tanasining kimyoviy tarkibi, xom massaga nisbatan % da

Variantlar	Namlik, %	Xom protein, %	Xom yog‘, %	Mineral moddalar, %
Tajriba boshida	74,8±1,2	12,8±0,5	6,4±0,2	2,6±0,07
Tajriba oxirida seolit darajasi bilan %: 3 5 7	 66,8±0,96 66,2±1,0 67,0±1,3	 15,6±0,71 15,0±0,6 14,6±0,8	 11,6±0,41 12,0±0,5 12,4±0,4	 2,5±0,082 2,5±0,05 2,3±0,04
Nazorat ozuqasida	67,0±1,3	14,6±0,8	12,4±0,4	2,3±0,06

2-jadval

Seolit qo‘shilgan VBS-RJ omuxta yemida o‘stirilgan ikki yoshli baliqlarning 1 kg massasi o‘sishida asosiy organik va mineral moddalar konsentratsiyasi, g/kg va quruq moddaga nisbatan % da

Seolit qo‘shimchasi, %	Quruq modda, g/kg	Xom protein		Xom yog‘		Mineral moddalar	
		g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%
3	360,8	160,0	44,3	134,7	37,3	24,6	6,8
5	370,4	158,4	42,7	141,3	38,1	24,6	6,6
7	362,9	153,6	42,3	150,0	40,1	21,7	6,0
Seolitsiz (nazorat)	350,3	156,9	44,8	116,0	33,1	23,1	6,6



2-rasm. Quyidagi miqdorlarda seolit qo‘shilgan holda PK-1 omuxta yemida ikki yoshli baliqlarning o‘sishi:

3%; 5%; 7%; 0% (nazorat)
1 - 30 sutka; 2 - 70 sutka; 3 - 90 sutka

3-jadval

Seolit qo‘shilganda PK-1 omuxta yemlarida ikki yoshli baliqlarning o‘stirish natijalari

T/r	Ko‘rsatkichlar	Seolit qo‘shimchasi, %			Nazorat
		3	5	7	
1.	Baliq massasi, g - tajriba boshida - tajriba oxirida	106,0±0,64 22,0±11,6	106,4±0,83 94,6±9,6	106,2±0,73 58,5±10,0	106,0±0,93 52,0±6,9
2.	O‘rtacha sutkalik o‘sish, g	3,2	3,0	2,6	2,5
3.	Nazoratga nisbatan o‘sish, %	119,8	112,2	101,9	100,0
4.	Yashovchanligi, %	96,2	97,5	95,8	96,8
5.	Ozuq asarfi, kg/kg o‘sishga	3,9	4,3	4,8	4,8

Olingan tajriba ma’lumotlarini umumlashtirib shuni ta’kidlash mumkinki, issiq suvli industrial sharoitda boqiladigan baliqlarning mahsuldorlik omuxta yemlari tarkibiga seolitni funksional qo‘shimcha sifatida kiritish yaqqol kompleks samara beradi. U massa to‘plash jadalligini rag‘batlantiradi, umumiy ozuqa xarajatlarini minimallashtiradi va nutriyent-energetik kompleksning yanada samarali o‘zlashtirilishini ta’minlaydi.

K-111-9 (2) omuxta yemi tarkibida eng maqbul va iqtisodiy jihatdan o‘zini oqlaydigan doza sifatida 5 % li konsentratsiya e’tirof etildi. Ushbu ratsionning qo‘llanilishi baliqning individual o‘sish ko‘rsatkichini 27,2 % ga, sadoklarning umumiy baliq mahsuldorligini 31,5 % ga oshirishga hamda, shu bilan birga, omuxta yemning solishtirma sarfini 19,4 % ga qisqartirishga imkon beradi.

Xulosa: Omuxta yemi tarkibida eng maqbul va iqtisodiy jihatdan o‘zini oqlaydigan doza sifatida 5 % li konsentratsiya e’tirof etildi. Ushbu ratsionning qo‘llanilishi baliqning individual o‘sish ko‘rsatkichini 27,2 % ga, sadoklarning umumiy baliq mahsuldorligini 31,5 % ga oshirishga hamda, shu bilan birga, omuxta yemning solishtirma sarfini 19,4 % ga qisqartirishga imkon beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Агеев Н.В., Ленкова Т.Н. Экономическая эффективность применения цеолитов в рационах цыплят-бройлеров// Применение природных цеолитов В животноводстве и растениеводстве. Тбилиси: Мецинереба, 1984. - С. 195-197.
2. Великанова В.А., Пчелкин Ю.А., Смагулов С.Г., Королев М.И., Чебаков В.П. Эффективная кормовая добавка в рационы сельскохозяйственной птицы И Применение природных цеолитов в животноводстве и растениеводстве. Тбилиси: Мецниереба, 1984. С. 179-182.
3. Гамыгин Е.А., Лысенко В.Я., Скляров В.Я., Турецкий В.И. Комбикорма для рыб: Производство и методы кормления. М.: Агропромиздат, 1989. 168 с.
4. Гамыгин Е.А., Пономарев С.В., Канидьев А.Н. и др. Методические указания по кормлению рыб новыми комбикормами, выпускаемыми предприятиями Минрыбхоза СССР. - М.: ВНИИПРХ, 1990. - 45 с.
5. Желтов Ю.А., Федоренко В.А., Васильченко Н.И., Сидоров Н.А. Методы рационального кормления карпа в условиях тепловодных рыбоводных хозяйств//

Всеросс. научно-производственное совещ. по проблемам развития пресноводной аквакультуры: Тез. докл., Москва, 15-19 ноября 1993 г. М.: ВНИИПРХ, 1993.-С. 90-91.
6. Кулаев С.Н. Влияние природного цеолитов на движение пищи и эффективность использования питательных веществ карпом // Рыбное хозяйство. Серия: Корма и кормление в аквакультуре: аналитическая реферативная информация Всероссийского научно-исследовательского проектно-изыскательского института экономики, информации и автоматизированных систем управления рыбного хозяйства. М.: ВНИЭРХ, 2001, Вып.4. - С. 13-18.
7. 10. Quarles C.L. Zeolites: a new ingredient may cut calories needed to produce poultry, red mest // Feedsttuffs. 1985. V. 57, N.41. P. 35-36.
8. Saton S.A. Effects on growth and mineral composition of carp of deletion of trace elements on magnesium from fish meal diet // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. - 1983. - V. 49, N.3.-P. 431-435.
9. Тўймуродова Ш.Ш., Мажидов К.Х. Развитие производства кормов в рыбоводстве. Тезисы докладов XIV Международной научной конференции студентов и аспирантов. Техника и технология пищевых производств. Могилев: 2026. С.157.
10. Уринов Б.У., Мажидов К.Х., Тўймуродова Ш.Ш. Инактивация антипитательных веществ зерновых компонентов комбикорма. Universum: технические науки, научный журнал: Москва: 2026. - № 2 (143), С.15-18.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

TURLI MIQDORDAGI SEOLITNING OZUQA XUSUSIYATLARIGA VA BALIQNING O‘SISH SUR’ATIGA TA’SIRI

To‘ymurodova Shoira Shavkat qizi
Tayanch doktorant
e-mail: shoiratuymurodova222@gmail.com
Majidov Qahramon Halimovich
Texnika fanlari doktori, professor
Buxoro davlat texnika universiteti
e-mail: kafedra-03@mail.ru
Saidvaliyev Saidazim Saidamirxanovich
Texnika fanlari doktori, dotsent
Toshkent kimyo-texnologiya institute

Annotatsiya *– turli miqdordagi seolitning ozuqa xususiyatlariga va baliqning o‘sish sur’atiga ta’siri o‘rganildi. Parvarishlash davri 110 sutkagacha davom etgan tajribalarda ozuqaga eng kam miqdorda (1 %) seolit qo‘shilishi omuxta yemining mahsuldorlik xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatmadi. Baliqlarning o‘rtacha vazni 343 grammni (nazoratda - 342 g), baliq mahsuldorligi esa mos ravishda 55,4 va 55,9 kg/m³ ni tashkil etdi. Seolitning baliq o‘sishiga ijobiy (rag‘batlantiruvchi) ta’siri uni omuxta yem tarkibiga 3, 5 va 7 % miqdorida kiritilganda statistik ishonchli tarzda namoyon bo‘ldi. yuqori mahsuldorlik fenomenining mexanizmi ozuqa massasining reologik xususiyatlari o‘zgarishi bilan izohlanadi. Tarkibida 5 % klinoptilolit bo‘lgan omuxta yem bazaviy ratsionga nisbatan eng maqbul yopishqoqlikka (qovushqoqlikka) ega bo‘ladi. Ratsion tarkibiga 5 % miqdorida klinoptilolit kiritilishi baliqlar tomonidan nutrientlarni o‘zlashtirish samaradorligining ishonchli darajada oshishiga olib keldi. Ozuqa tarkibida 5 % seolit bo‘lganda nutrientlar va energiyadan mahsuldor foydalanish darajasining yuqoriligi 1 kg baliq ixtiomassasi uchun sarflangan umumiy ozuqa xarajatlarini 19,4 % ga qisqartirdi.*

Kalit so‘zlar*: Omuxta yemlar, ozuqa xususiyati, seolitlar, baliqlarning o‘sish sur’ati.*

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ ЦЕОЛИТА НА ПИТАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА КОРМА И ТЕМПЫ РОСТА РЫБ

Аннотация *– изучено влияние различных уровней цеолита на питательные свойства комбикорма и темпы роста рыб. В экспериментах продолжительностью до 110 суток установлено, что добавление цеолита в минимальном количестве (1 %) не оказало существенного влияния на продуктивные свойства комбикорма. Средняя масса рыб составила 343 г (в контроле — 342 г), а рыбопродуктивность — соответственно 55,4 и 55,9 кг/м³.*

Положительное (стимулирующее) влияние цеолита на рост рыб статистически достоверно проявлялось при его включении в состав комбикорма в количестве 3, 5 и 7 %. Механизм повышения продуктивности объясняется изменением реологических свойств кормовой массы. Комбикорм, содержащий 5 % клиноптилолита, характеризовался наиболее оптимальной вязкостью по сравнению с базовым рационом. Включение клиноптилолита в рацион в количестве 5 % приводило к достоверному повышению эффективности усвоения питательных веществ рыбами. Более высокая эффективность продуктивного использования питательных веществ и энергии при содержании 5 % цеолита в корме позволила сократить общие затраты корма на получение 1 кг ихтиомассы рыбы на 19,4 %.

Ключевые слова: *комбикорма, питательные свойства, цеолиты, темпы роста рыб.*

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

EFFECT OF DIFFERENT ZEOLITE INCLUSION LEVELS ON THE NUTRITIONAL PROPERTIES OF FEED AND FISH GROWTH RATE

Abstract *— The effect of different zeolite inclusion levels on the nutritional properties of compound feed and fish growth rate was studied. In experiments lasting up to 110 days, the addition of zeolite at the lowest inclusion level (1%) did not have a significant effect on the productive properties of the compound feed. The average body weight of the fish was 343 g (342 g in the control group), while fish productivity was 55.4 and 55.9 kg/m³, respectively.*

A positive (growth-stimulating) effect of zeolite on fish growth was statistically significant when it was incorporated into the compound feed at levels of 3%, 5%, and 7%. The mechanism underlying the increased productivity is explained by changes in the rheological properties of the feed mass. The compound feed containing 5% clinoptilolite exhibited the most optimal viscosity compared with the basal diet. The inclusion of 5% clinoptilolite in the diet resulted in a statistically significant increase in the efficiency of nutrient utilization by fish. The higher efficiency of nutrient and energy utilization observed at a 5% zeolite inclusion level reduced the total feed expenditure required to produce 1 kg of fish ichthyomass by 19.4%.

Keywords: *compound feeds, nutritional properties, zeolites, fish growth rate.*

Kirish. Jahon oziq-ovqat va qishloq xo‘jaligi tashkiloti (FAO) ma’lumotlariga ko‘ra, insoniyatning yuqori sifatli oqsilga bo‘lgan ehtiyojini qondirishda baliq va baliq mahsulotlari asosiy manbalardan biri hisoblanadi [1,2]. Shu bilan birga, intensiv baliqchilikni rivojlantirish, birinchi navbatda, to‘laqonli, ozuqaviy qiymati yuqori va iqtisodiy jihatdan arzon omuxta yem ishlab chiqarish bazasini yaratishni taqozo etadi.

Baliq unini qisman yoki to‘liq almashtira oladigan, mahalliy sharoitda yetishtiriladigan o‘simlik oqsillari, xususan, soya va uning qayta ishlangan mahsulotlaridan [3,4], shuningdek, turli yuqori oqsilli konsentratlardan foydalanish, yem tarkibidagi yog‘lar miqdorini maqbullashtirish hamda hazm qilishni yaxshilovchi tabiiy mineral qo‘shimchalar (seolitlar)ni qo‘llash dolzarb ilmiy-amaliy muammo hisoblanadi.

Respublikamizda so‘nggi yillarda oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlash va eksportbop mahsulotlar ishlab chiqarish bo‘yicha qator chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Mahalliy xomashyolardan samarali foydalangan holda omuxta yem sanoatini modernizatsiya qilish davlat siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biridir.

Buxoro viloyatidagi suv havzalarida karp, do‘ngpeshona, oq amur va boshqa turdagi baliqlarni yetishtirishda ekologik toza va arzon ozuqa bazasini yaratish zarur. Soya donini ekstruziya qilish orqali uning tarkibidagi antiozuqaviy moddalarni parchalash, xom yog‘ darajasini maqbullashtirish va yem hazm bo‘lish ko‘rsatkichlarini tabiiy seolitlar yordamida oshirish [5,6] bo‘yicha kompleks texnologik yechimlarni ishlab chiqish ushbu ishining dolzarbligini belgilab beradi.

Omuxta yem ishlab chiqarish jarayonlarini takomillashtirish, muqobil oqsil va yog‘ manbalarini izlash hamda mineral qo‘shimchalar orqali baliqlar mahsuldorligini oshirish masalalari xorijiy va mahalliy olimlar tomonidan keng tadqiq etilgan [7,8].

Qayta ishlangan soya, maqbullashtirilgan yog‘ miqdori hamda seolitlarni yagona kompleks texnologiya sifatida birlashtirish [9,10] va uni Buxoro viloyati iqlim sharoitida qo‘llash masalasi hanuzgacha kompleks ilmiy yechimini topmagan.

Parvarishlash davri 110 sutkagacha davom etgan tajribalarda ozuqaga eng kam miqdorda (1 %) seolit qo‘shilishi K-111-9 (2-variant) omuxta yemining mahsuldorlik xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatmadi. Suv harorati 22 dan 30 °C gacha o‘zgarib turgan tabiiy sharoitda baliqlarning o‘sish sur’ati nazorat guruhidagidan deyarli farq qilmadi (ilovalar, 4-jadval). Tajriba yakunida baliqlarning o‘rtacha vazni 343 grammni (nazoratda - 342 g), baliq mahsuldorligi esa mos ravishda 55,4 va 55,9 kg/m³ ni tashkil etdi. Har ikki variantda 1 kg o‘sish uchun sarflangan ozuqa miqdori (ozuqa koeffitsienti) bir xil - 3,6 kg ga teng bo‘ldi (2-jadval). Nutrientlarni o‘zlashtirish

ko‘rsatkichlari ham o‘zaro yaqin bo‘lib, ozuqaning almashinuv energiyasidan foydalanish koeffitsienti (KIE) tajribada 22,5 % ni, nazoratda 21,4 % ni tashkil etdi. Proteindan foydalanish koeffitsientida (KIP) ham shunga o‘xshash manzara kuzatildi (3-jadval).

Seolitning baliq o‘sishiga ijobiy (rag‘batlantiruvchi) ta’siri uni omuxta yem tarkibiga 3, 5 va 7 % miqdorida kiritilganda statistik ishonchli tarzda namoyon bo‘ldi. E’tiborga molik jihati shundaki, mazkur ijobiy ta’sir tajribaning oxiriga kelib planomer ravishda kuchayib boruvchi xususiyatga ega bo‘ldi.

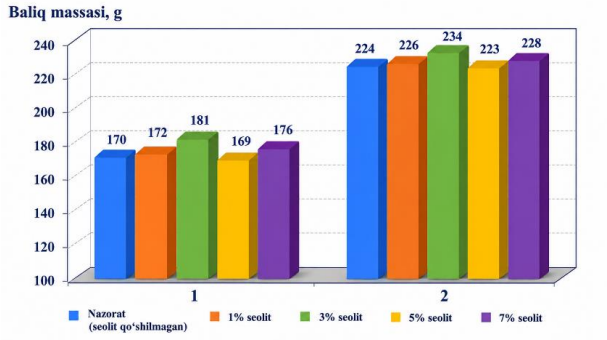
3 % li qo‘shimchaning samaradorligi:

Ozuqa tarkibiga 3 % mineral kiritilishi parvarishlashning 70-sutkasidan so‘ng baliqlar massasining keskin oshishiga turtki bo‘ldi (2-rasm). Bu davr suv haroratining (10 sentabrdan boshlab) mavsumiy pasayishi va baliq uchun optimal hisoblangan chegaraga (25 °C va undan pastga) tushishi bilan mos keldi. Natijada, baliqlar 372 g vaznga yetib, nazorat ko‘rsatkichidan 8,8 % ga o‘zib ketdi. Konversiya jarayonining sezilarli darajada optimallashuvi qayd etildi:

- KIP (proteindan foydalanish koeffitsienti) nazoratga nisbatan 12,2 % ga oshdi (3-jadval).
- 1 kg baliq o‘sishi uchun ozuqa sarfi 11,2 % ga kamayib, 3,2 kg ni tashkil etdi (nazoratda - 3,6 kg).
- Xuddi shunday, 1 kg o‘sishga sarflangan xom protein xarajati 13,8 % ga, xom yog‘ sarfi 10,0 % ga, yalpi energiya sarfi esa 13,2 % ga qisqardi.

Eng yuqori samara (5 % li qo‘shimcha) va uning fiziologik mexanizmi:

O‘sish bo‘yicha eng yuqori sur’at ozuqa tarkibida 5 % seolit bo‘lgan tajriba variantida qayd etildi (2-rasm). Parvarishlashning 35-sutkasidayoq ushbu guruhdagi baliqlar vazni nazoratdagidan 11,2 % ga yuqori bo‘ldi. Tajriba yakuniga kelib esa massalar o‘rtasidagi tafovut maksimal - 27,2 % ga yetdi (tajribada 435 g, nazoratda 342 g; ilovalar, 3-jadvallar).



1-rasm. K-111-9 (1-variant) aralash yemiga seolit qo‘shilganda ikki yoshli karp baliqlarning o‘sish dinamikasi
1-30 sutkadan keyin; 2-45 sutkadan keyin.

1-jadval

Seolit qo‘shilgan K-111-9 (1) omuxta yemlarida ikki yoshli baliqlarni o‘stirish natijalari

Ko‘rsatkichlar	Seolit qo‘shimchasi, %				Nazorat
	1	3	5	7	
1. Baliq massasi, g: - tajriba boshida- tajriba oxirida	89,0±0,82 25,0±4,2	89,4±0,72 27,0±5,8	89,2±0,92 34,0±7,0	89,0±1,02 23,0±6,7	89,5±0,82 24,0±5,2
2. O‘rtacha sutkalik o‘sish, g	3,0	3,0	3,2	3,0	3,0
Nazoratga nisbatan o‘sish, %	100,4	101,3	104,5	99,6	100,0
3. Yashovchanligi	99,0	98,0	99,0	98,0	98,0

(saqlanishi), %					
4. Ozuqa sarfi, kg/kg o‘sishga	2,9	2,9	2,7	3,0	3,0

2-jadval

Seolit qo‘shilgan K-111-9 (2) omuxta yemlarida ikki yoshli baliqlarni o‘stirish natijalari

Ko‘rsatkichlar	Seolit qo‘shimchasi, %					Nazorat
	1	3	5	7	10	
1. Baliq massasi, g:- tajriba boshida- tajriba oxirida	60,2±0,43 43,0±6,7	60,0±0,53 72,0±8,3	60,4±0,54 35,0±9,2	60,0±0,43 62,7±6,9	60,7±0,33 50,2±8,4	60,4±0,53 42,0±7,9
2. O‘rtacha sutkalik o‘sish, g	3,9	4,3	5,2	4,2	4,1	3,9
Nazoratga nisbatan o‘sish, %	100,2	108,8	127,2	106,0	104,2	100,0
3. Yashovchanligi (saqlanishi), %	98,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
4. Ozuqa sarfi, kg/kg o‘sishga	3,6	3,2	2,9	3,3	3,5	3,6

3-jadval

Ikki yoshli baliqlarni o‘stirishda K-111-9 (2) omuxta yemlarining oziq moddalari va energiyasidan foydalanish samaradorligi

Ko‘rsatkichlar	Seolit qo‘shimchasi, %					Nazorat
	1	3	5	7	10	
1 kg o‘sish uchun sarflandi, g: Quruq modda	3200	2800	2500	2900	3000	3200
Xom protein	1140	1000	880	990	1010	1160
Xom yog‘	100	90	70	80	90	100
Mineral moddalar	310	310	320	390	480	260
Almashinuv energiyasi, MJ	42,2	37,0	32,7	36,7	37,5	42,7
KIP*, %	14,3	16,5	19,2	16,9	16,4	14,3
KIE, %	22,5	26,7	29,5	27,0	25,7	21,4

KIP - ozuqa proteinidan foydalanish koeffitsienti

Fiziologik asoslash: Bunday yuqori mahsuldorlik fenomenining mexanizmi ozuqa massasining reologik xususiyatlari o‘zgarishi bilan izohlanadi. Tarkibida 5 % klinoptilolit bo‘lgan omuxta yem bazaviy ratsionga nisbatan eng maqbul yopishqoqlikka ega bo‘ladi. Bunday ozuqa massasi baliqning hazm qilish traktidan o‘tish davomida ichakning so‘ruvchi yuzasi bilan yanada zichroq va uzoqroq aloqada bo‘ladi. Bu esa, o‘z navbatida, nutrientlarning fermentatsiyalanishi va organizm tomonidan o‘zlashtirilishini karrasiga oshirib yuboradi.

5 % li seolit qo‘shimchasi fonida nutrientlarning o‘zlashtirilish samaradorligi

Ratsion tarkibiga 5 % miqdorida klinoptilolit kiritilishi baliqlar tomonidan nutrientlarni o‘zlashtirish samaradorligining ishonchli darajada oshishiga olib keldi. Nazorat ko‘rsatkichlari bilan taqqoslaganda, baliqning o‘sishi uchun ozuqadagi quruq moddadan foydalanish konversiyasi 3,5 %

ga, xom proteindan foydalanish - 4,9 % ga, xom yog‘dan - 52,5 % ga va almashinuv energiyasidan foydalanish 8,1 % ga ortdi (3-jadval).

Shu bilan birga, baliq tanasining kimyoviy tahlili natijalari lipidlarning ortiqcha to‘planishi yuz bermaganligini ko‘rsatdi: 1 kg o‘sishga tajribada 139,0 g, nazoratda esa 137,4 g yog‘ to‘g‘ri keldi. Bu esa yog‘ fraksiyasi organizm tomonidan birinchi navbatda energetik xarajatlarni qoplash uchun sarflanganligini bevosita tasdiqlaydi (4-5-jadvallar). Baliqlarning kimyoviy tarkibi va massasining o‘sish parametrlari asosida hisoblab chiqilgan plastik almashinuv yo‘nalishi tahlili shuni ko‘rsatdiki, tajribadagi baliqlar o‘sishida xom protein (169,5 g/kg) va mineral moddalar (24,2 g/kg) akkumulyatsiyasi nazorat qiymatlari bilan (mos ravishda 166,0 va 22,8 g/kg) bir xil darajada bo‘ldi.

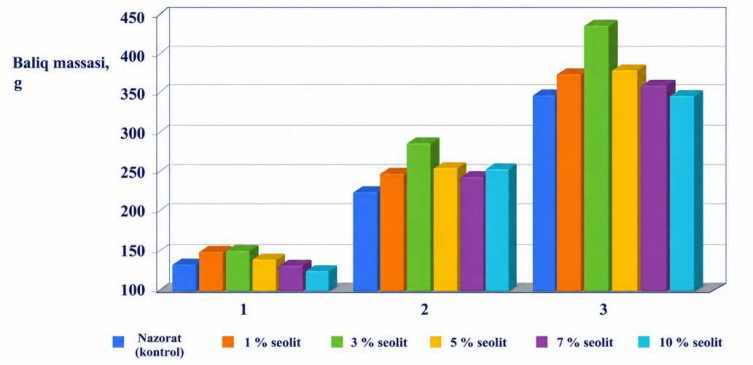
Ozuqa tarkibida 5 % seolit bo‘lganda nutrientlar va energiyadan mahsuldor foydalanish darajasining yuqoriligi 1 kg baliq ixtiomassasi uchun sarflangan umumiy ozuqa xarajatlarini 19,4 % ga qisqartirdi (ozuqa koeffitsienti tajribada 2,9 birlik, nazoratda 3,6 birlikni tashkil qildi). Buning fonida 1 kg o‘sishga sarflangan xom protein xarajati 24,1 % ga, xom yog‘ sarfi 30,0 % ga va almashinuv energiyasi sarfi 23,4 % ga kamaydi (2-3-jadvallar). Tajriba omuxta yemining proteindan foydalanish koeffitsienti (KIP) 19,2 % ga yetib, nazoratdagi ko‘rsatkichdan (14,3 %) sezilarli darajada o‘zib ketdi.

7 % li seolit konsentratsiyasidagi mahsuldorlikni baholash

K-111-9 (2) omuxta yemi tarkibidagi mineral miqdorini 7 % gacha oshirish ijobiy sinergetik samara bermadi. 5 % li variant bilan solishtirilganda, baliqlarning o‘sish sur’ati pasaygani kuzatildi, bu esa ratsionning energetik qiymati keskin tushib ketganligi bilan izohlanadi. Xususan, seolit miqdorining 5 % dan 7 % gacha oshirilishi omuxta yemning yalpi kaloriyaligini 1,6 MJ/kg ga kamaytirdi, baliq massasining o‘sish tezligini 21,2 % ga sekinlashtirdi va, o‘z navbatida, ozuqa sarfining 13,8 % ga ortishiga sabab bo‘ldi. Bu holatda birlik o‘sish uchun oqsil sarfi 12,5 % ga oshdi, uning o‘zlashtirilish koeffitsienti (KIP) esa 19,2 % dan 16,9 % gacha tushib ketdi.

Shunga qaramay, nazorat guruhi bilan taqqoslaganda, 7 % li qo‘shimcha yuqoriroq mahsuldorlik xususiyatlarini ta’minladi. Bu ustunlik parvarishlashning 70-sutkasidan keyin yaqqol namoyon bo‘la boshladi va tajriba yakuniga qadar saqlanib qoldi. Ushbu guruhda gidrobiontlarning yakuniy vazni 362,7 grammga yetdi, bu esa nazorat qiymatidan 6,0 % ga yuqori demakdir ($P < 0,05$).

Alimentar moddalar konversiyasi samaradorligi ham nazoratdagidan ustun bo‘ldi: xom protein bo‘yicha - 2,6 % ga, xom yog‘ bo‘yicha - 42,5 % ga, almashinuv energiyasi bo‘yicha esa - 5,6 % ga. Yakuniy natijalarga ko‘ra, 7 % li seolit qo‘shimchasi bazaviy K-111-9 (2) omuxta yemining 1 kg o‘sish uchun sarfini 3,3 birlikkacha tushirishga, ya’ni nazoratga nisbatan 8,4 % iqtisod qilishga imkon berdi (2-rasm, ilovalarning 3-4-jadvallari).



2-rasm. K-111-9 (2-variant) kombikormida seolit qo‘shilganda ikki yoshli karp baliqlarning o‘sish dinamikasi.
Seolit miqdori (massa foizida):
B1% (nazorat); 1%; 3%; 5%; 7%; 10%
1-35 sutkada; 2-70 sutkada; 3-110 sutkada.

4-jadval

Seolit qo‘shilgan K-111-9 (2) omuxta yemida boqilgan ikki yoshli baliq tanasining kimyoviy tarkibi, xom massaga nisbatan % da

Variantlar	Namlik	Xom protein	Xom yog‘	Mineral moddalar
Tajriba boshida	76,2±0,7	13,2±0,2	7,2±0,8	2,4±0,3
Tajriba oxirida seolit darajasi bilan, %: 1 3 5 7 10	 68,5±0,76 7,2±0,56 7,5±0,66 7,0±0,76 8,0±0,6	 15,8±0,41 6,0±0,11 6,4±0,21 6,2±0,31 6,0±0,1	 12,8±0,31 3,4±0,41 3,0±0,21 3,0±0,11 3,0±0,2	 2,3±0,22 2,4±0,32 2,4±0,52 2,3±0,22 2,2±0,2
Nazorat ozuqasida	69,1±0,5	16,0±0,2	12,6±0,4	2,3±0,1

5-jadval

K-111-9 (2) seolitli omuxta yemida o‘stirilgan ikki yoshli baliqlarning 1 kg massasi o‘sishida organik va mineral moddalar konsentratsiyasi, g/kg va quruq moddaga nisbatan % da

Seolit qo‘shimchasi, %	Quruq modda, g/kg	Xom protein		Xom yog‘		Mineral moddalar	
		g/kg	%	g/kg	%	g/kg	%
1	331,4	163,5	49,4	146,0	42,2	22,8	6,9
3	335,0	165,4	49,4	145,0	43,8	24,0	7,2
5	338,9	169,1	49,9	139,0	41,0	24,2	7,4
7	348,3	167,9	48,2	144,0	41,3	22,8	6,5
10	336,6	165,7	49,2	142,0	42,2	21,6	6,4
Seolitsiz (nazorat)	324,1	166,0	51,2	137,4	42,4	22,8	7,0

Maksimal dozadagi (10 %) seolitning mahsuldorlik va metabolizmga ta’siri

Klinoptilolit ulushini 10 % gacha yetkazilganda K-111-9 (2-variant) omuxta yemining energetik zichligi qonuniyatli ravishda 1,13 MJ ga (ya’ni 9,5 % ga) pasayishi kuzatildi. Bunga qaramay, ratsionning mahsuldorlik xususiyati barqaror saqlanib qoldi va nazorat ko‘rsatkichlaridan ortda qolmadi. Tajriba sikli yakuniga kelib, tajriba guruhidagi baliqlarning o‘rtacha massasi 356,2 grammga yetdi, nazoratda esa bu ko‘rsatkich 342,0 grammni tashkil etdi. Mazkur farq 95 % li ishonchlilik darajasida statistik jihatdan ahamiyatsiz bo‘lib chiqdi.

Ushbu variantda alimentar moddalarning o‘zlashtirilish koeffitsientlari nazoratdagi bilan deyarli teng yoki undan biroz yuqoriroq bo‘ldi. Birlik o‘sish uchun sarflangan ozuqa xarajati (ozuqa koeffitsienti) va sadoklarning umumiy baliq mahsuldorligi ham taqqoslanayotgan guruhlarda o‘zaro yaqin qiymatlarni namoyon qildi.

Xulosa. Alimentar moddalar konversiyasi samaradorligi ham nazoratdagidan ustun bo‘ldi: xom protein bo‘yicha - 2,6 % ga, xom yog‘ bo‘yicha - 42,5 % ga, almashinuv energiyasi bo‘yicha esa - 5,6 % ga. Yakuniy natijalarga ko‘ra, 7 % li seolit qo‘shimchasi bazaviy K-111-9 (2) omuxta yemining 1 kg o‘sish uchun sarfini 3,3 birlikkacha tushirishga, ya’ni nazoratga nisbatan 8,4 % iqtisod qilishga imkon berdi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

11. Агеев Н.В., Ленкова Т.Н. Экономическая эффективность применения цеолитов в рационах цыплят-бройлеров// Применение природных цеолитов В животноводстве и растениеводстве. Тбилиси: Мецинереба, 1984. - С. 195-197.
12. Великанова В.А., Пчелкин Ю.А., Смагулов С.Г., Королев М.И., Чебаков В.П. Эффективная кормовая добавка в рационы сельскохозяйственной птицы И Применение природных цеолитов в животноводстве и растениеводстве. Тбилиси: Мецниереба, 1984. С. 179-182.
13. Гамыгин Е.А., Лысенко В.Я., Скляров В.Я., Турецкий В.И. Комбикорма для рыб: Производство и методы кормления. М.: Агропромиздат, 1989. 168 с.
14. Гамыгин Е.А., Пономарев С.В., Канидьев А.Н. и др. Методические указания по кормлению рыб новыми комбикормами, выпускаемыми предприятиями Минрыбхоза СССР. - М.: ВНИИПРХ, 1990. - 45 с.
15. Желтов Ю.А., Федоренко В.А., Васильченко Н.И., Сидоров Н.А. Методы рационального кормления карпа в условиях тепловодных рыбоводных хозяйств// Всеросс. научно-производственное совещ. по проблемам развития пресноводной аквакультуры: Тез. докл., Москва, 15-19 ноября 1993 г. М.: ВНИИПРХ, 1993.-С. 90-91.
16. Кулаев С.Н. Влияние природного цеолитов на движение пищи и эффективность использования питательных веществ карпом // Рыбное хозяйство. Серия: Корма и кормление в аквакультуре: аналитическая реферативная информация Всероссийского научно-исследовательского проектно-изыскательского института экономики, информации и автоматизированных систем управления рыбного хозяйства. М.: ВНИЭРХ, 2001, Вып.4. - С. 13-18.
17. Quarles C.L. Zeolites: a new ingredient may cut calories needed to produce poultry, red mest // Feedsttuffs. 1985. V. 57, N.41. P. 35-36.
18. Saton S.A. Effects on growth and mineral composition of carp of deletion of trace elements on magnesium from fish meal diet // Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. - 1983. - V. 49, N.3.-P. 431-435.
19. Тўймуродова Ш.Ш., Мажидов К.Х. Развитие производства кормов в рыбоводстве. Тезисы докладов XIV Международной научной конференции студентов и аспирантов. Техника и технология пищевых производств. Могилев: 2026. С.157.
20. Уринов Б.У., Мажидов К.Х., Тўймуродова Ш.Ш. Инактивация антипитательных веществ зерновых компонентов комбикорма. Universum: технические науки, научный журнал: Москва: 2026. - № 2 (143), С.15-18.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РЫБНЫХ КОРМОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ, БОГАТОГО БЕЛКАМИ

Атаханов Шухрат Нуриддинович
Наманганский государственный университет
профессор кафедры "Биотехнологии"
E-mail: atahanovshn@mail.ru
ORCID: 0009-0001-4319-1332
Тухтабоев Мохиржон Рахимжанович
Наманганский государственный университет
ORCID: 0009-0002-5771-0209
E-mail: mtuxtaboyev@mail.ru
Азимхожаев Озодбек Йулдошхужа угли
студент Наманганский государственный университет
ORCID:0009-0004-5365-8989
G-mail: ozodbekazimkxojayev8@gmail.com
Муҳлиса Абдураҳимова Мирзаакбар кизи
Студентка Наманганский государственный университета
ORCID:0009-0000-6003-8009
G-mail: abdurahimovamuxlisa81@gmail.com

Аннотация *В статье приведен анализ образующихся вторичного животного и растительного сырья, богатого белками. Приведены анализы литературных данных о химическом составе, пищевой и биологической ценности вторичного сырья животного и растительного происхождения. Также изучены технологии переработки вторичного сырья растительного и животного происхождения. Даны методики проведения экспериментов, технологические схемы, технологические параметры, рецептуры кормов, богатых белками приготовленные из вторичного животного и растительного сырья.*

Ключевые слова: *корм для рыб, протеин, белок, клетчатка, жир, микробиологический показатель, тяжелые металлы, пестициды, вторичное сырьё, костная мука, бычья шкура.*

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR FISH FEED FROM PROTEIN-RICH BY-PRODUCTS

Atakhanov Shukhrat Nuriddinovich
Namangan State University
Professor, Department of Biotechnology
E-mail: atahanovshn@mail.ru
ORCID: 0009-0001-4319-1332
Tukhtaboev Mokhirzhon Rakhimzhanovich
Namangan State University
ORCID: 0009-0002-5771-0209
E-mail: mtuxtaboyev@mail.ru
Azimkhojaev Ozodbek Yuldoshkhuzha ugli
Student, Namangan State University
ORCID: 0009-0004-5365-8989
Email: ozodbekazimkxojayev8@gmail.com

Muxlisa Abdurahimova Mirzaakbar kizi
Student, Namangan State University
ORCID: 0009-0000-6003-8009
Email: abdurahimovamuxlisa81@gmail.com

Преобразования в последние годы коснулись все отрасли экономики и сельского хозяйства. В настоящее время можно ощущать положительные сдвиги во всех сферах народного хозяйства. Наибольшие положительные результаты также получены в сфере рыбоводства. Раньше этот продукт питания практически был дефицитом и в основном потребность населения в этом пищевом сырье обеспечивалось благодаря поставкам замороженных рыб из России и Казахстана, Азербайджана, также рыбными консервами. Благодаря особому вниманию правительства пашей республики и проводимым реформам в отрасле рыбоводства расширился ассортимент рыб, улучшилась качества, снизился стоимость продукции, обеспечение стало круглогодичным.

Постановка проблемы: На основании принятых указов и решений Правительством по развитию рыбоводства были достигнуты успехи по выращиванию рыб. На основании этих указов выделяются земли, льготные кредиты, обеспечивается породистыми личинками рыб. В последнее время все шире применяют интенсивные методы выращивания рыб. Это также способствует увеличению количества выращиваемых рыб.

Все вышеуказанные позитивные работы способствует улучшению обеспечения населения рыбными продуктами. С развитием отрасли, увеличением выращиваемых рыб, образованием новых водоемов возникает другая проблема: Проблема кормов для рыб. Как общеизвестно производство кормов для рыб в нашей республике не сильно развита. Во многих фермерских хозяйствах рыб кормят комбикормами и их потеря очень велика. Корм или комбикорма выбрасывают в воду и освоение этих кормов составляет 40-50% , а остальные часть корма загрязняет воду. И оседая на дно озер гниют. Это тоже приводит к подорожанию готовой продукции. Проведенные нами исследования показывают, что в европейских стран при потреблении кормов 1 кг привес рыб также составляет 1 кг, а потери до 10 % от объема кормов. Эти корма также не загрязняет воду и богатый дрожжами, жирами, витаминами, минералами и другими веществами, которые необходимы для хорошего развития рыб.

Учитывая вышесказанные нами была сформулирована цель создания кормов для рыб из местного вторичного животного сырья богатого протеинами и разрабатываемый корм имел все вышесказанные характеристики.

Так нами была выбрана разработка технологии кормов богатого протеинами, нам необходимо было критически анализировать существующие технологии, их ингредиенты, основные компоненты входящих в состав рецептур.

Мы анализируя рецептуры кормов для рыб, также изучали возможности получения рецептурных компонентов непосредственно в нашей республике. Это также влияет на образование цен рыбных кормов.

Литературный обзор: Анализируя рецептурные компоненты рыбных кормов мы выявили, что основным источником протеинов является сырьё животного происхождения. Здесь необходимо учесть тот фактор, чтобы этот компонент не способствовал к подорожанию выпускаемого продукта т.к. продукты животного происхождения стоит дорого. Учитывая эти особенности мы взяли в качестве мясного компонента бычью и коровью шкуру. Нам необходимо было изучить химический состав этого сырья т.к, стоимость и распространенность приемлемое и в достаточном количестве.

Анализ литературных источников показывает, что бычья шкура один из важнейших продуктов убоя крупного рогатого скота. Она составляет около 7-8% всей убойной живой массы.(1). По данным авторов тяжелые шкуры весом 27-37,5 кг получают в 15 месячном возрасте. Данные авторов Г.Р. Залялюдинова и др (2) свидетельствует, что в химический

состав шкуры входят органические и неорганические вещества. К органическим веществам относится: белки, жиры, углеводы, ферменты, гормоны, витамины.

Авторами работы (3) установлено, что у всех животных масса шкур возрастает равномерно с живой массой тела. В 6-месячном, 1,5-гадовалом и 3-годичном возрасте % выход шкур от живой массы значительно превышают аналогичные показатели чем другие животные.

Авторами (3) исследования установлено, что наиболее приемлемыми для дальнейшего использования и переработки шкуры крупного рогатого скота являются в возрасте 3-4 лет.

В указанном возрасте шкуры крупного рогатого скота достигнет наибольшего объема, и имеют наилучший химический состав.

Как мы раньше говорили, в химический состав шкуры крупного рогатого скота входят вода, белки (коллаген, эластин, ретикулин, муцины и мукоиды, альбумины и глобулины), липиды, минеральные вещества, мукополисахаридные экстрактивные вещества, гликоген, витамины. (4). Наиболее распространённым белком в шкуре, соединительной ткани является коллаген. По количеству в организме он составляет около $^1/_3$ всех белков. По данным авторов (4) содержание коллагена в различных тканях (в % к сырой ткани)

Сухожилия	25-35
Кости	10-20
Хрящи	10-15
Кожа	15-25
Стенки сосудов	5-12
Почки	0,4-0,6
Печень	0,1-1
Мозг	0,2-0,4

Коллаген характеризуется некоторыми особенностями аминокислотного состава. В нем очень мало тирозина, метионина и нет триптофана, цистеина и цистеина, поэтому этот белок неполноценный.(4). Свойства коллагена заключается в том, что он сильно набухает, причем его масса увеличивается в 1,5-2 раза. Так как мы при приготовлении кормов для рыб взяли шкуру крупного рогатого скота, анализировали способность набухания в средах при 5,0-7,0. По данным авторов она по набуханию уступает миозину (масса набухшего белка взята в % к массе сухого):

Коллаген	200
Миозин	300
Ретикулин	30
Эластин	25
Кератин	40
Фиброин	32

По литературным данным (5) содержание воды составляет 64-68%, сухое вещество 32-36%. На долю белковых веществ приходится примерно 90-95% от массы сухого вещества шкуры (5). Количество липидов в шкурах колеблется в пределах 3-10%. Углеводы содержатся в шкуре в небольших количествах 1,5-2%.(5). Минеральные вещества шкуры в основном представлены ионами калия и натрия, а также небольшими количествами ионов кальция, железа, магния, алюминия, цинка и др. Содержание минеральных веществ не превышает 0,8% от массы сухого вещества шкуры. Это компоненты шкуры играют

существенную роль в физиологических процессах, ответственных за формирование морфологических структур, а также обуславливает наличие целого ряда ценных свойств шкуры. Поэтому нам необходимо анализировать работы об изменениях химического состава и свойствах в процессах первичной обработки и дальнейшего производства.

Имея некоторые представления о химическом составе шкуры крупного рогатого скота, нам необходимо изучить научные исследования по изучению изменений происходящих в процессе первичной обработки.

На качество шкуры крупного рогатого скота влияют первичная обработка. В доменных условиях (5) сырьё сначала окунают на 4 часа в чистую воду, после того на протяжении 12 часов его выдерживают в солевом растворе, что готовится из расчёта 20 гр соли на 1л воды. Здесь необходимо учесть, что шкура начнет набухать и необходимо заготовить на килограмм 8л жидкости. Потом идёт удаление жирного покрова, мойка, покалывание, дубление, жировка и другие процессы.(5). В литературных источниках отмечают, что длительность технологических операций по обработке шкурах до консервирования, включая обряду не должна превышать для крупного рогатого скота 3 часа(6).

В промышленности в цехах по обработке шкуры крупного рогатого скота устанавливают чаны для промывки и дезинфекции шкур, барабаны для поселки, пикеливания и промывки сырья, подмостки или стеллажи, мездрильные, навалосгоночные и отжимные машины.(7). Шкуры крупного рогатого скота в промышленности консервируют мокросоленым способом. По данным авторов на 1 кг парной шкуры крупного рогатого скота идет 4 л солевого раствора длительность тузлукования в бурсаках чанов 18-20 ч, и для стекания раскола развешивают в течение 1-2 часа. В настоящее время шкуру крупного рогатого скота консервируют радиоактивным облучением.(8).

Для удаления волосяного покрова из шкуры крупного рогатого скота используют известь. Для приготовления известкового раствора берут 3 л воды на 1 кг извести.(9). Учеными ведутся разработки ферментативного обезволосывания шкур (10). Сущность данного действия заключается в том, что ферментативное обезволосывания шкур крупного рогатого скота проводят в растворе фермента коллагенолитической протеазы из гепатопанкреатина в количестве 0,001-0,005% от массы сырья, а при солении используют сульфид натрия в количестве 0,5-1,1% от массы сырья (10). По мнению авторов метод обеспечивает сокращения длительности процесса, улучшается качество, и за счет интенсификации повышается экономическая эффективность (10). В работе исследователи (11) был использован метод обработки шкуры крупного рогатого скота используя жидкий азот в течении 3-20 мин. В работах (12,13,14,15,16) также авторами проведены исследовательские работы по интенсификации процесса обезвоживания.

Вышеприведённый анализ подготовки бычьей шкуры показывает, что оно также имеет особое значение при производстве различных видов продукции, в том числе кормовом производстве. При разработке технологии корма для рыб с использованием бычьей шкуры будем учитывать этот фактор.

Теперь рассмотрим и анализируем технологии приготовления кормов для разных видов рыб.

Исследователи М.Д. Мукатова и др (17). Разработали рецептуру рыборастительной кормовой смеси

Таблица 1

№	Наименование ингредиента	Соотношение %
1	Измельченные рыбные отходы	41,2
2	Карбамид	0,24
3	Отходы от разделки речных раков	18,8
4	Водное растение рдест пронзеннолистный	2,94
5	Отруби пшеничные	17,0

6	Соевый изолят	2,94
7	Плотны ходок корня солодки	0,59
8	Молочная сыворотка	3,1
9	Прессованные хлебопекарное изделие	1,4
10	Вода горячая	11,8
11	Итого	100

При сравнительном анализе качественных показателей она имеет внешний вид формы гранулы цилиндрической с неравномерной поверхностью и мелкими порами, цвет темно коричневый, запах свойственный набору входящих в рецепт комбикорм компонентов, без затхлого, плесневелого и других посторонних запахов.

Авторы установили (17) возможность использования рыборастительных кормов на основе измельченных рыбных отходов с внесением сухих ингредиентов с выходом сухих гранул, содержащих воду не более 10%, в количестве 43% от массы корм смеси и в пересчете на исходную массу рыбных отходов и выявлена хорошая посдаемость опытной партии.

К использованию вторичных рыбных ресурсов рыбной промышленности как источник пищевых и биологических добавок посвящена работа авторов Самойловой Д.А, Цибизова М.Е. (18).

Ученые из Казахстана В.И.Сидорова, Н.И.Январова, С.Ж.Асылбекова и др (19) разработали новую технику и технологию для рыбных кормов. Разработанная рецептура комбикормов для форели авторами исследований включает следующие ингредиенты:

Таблица 2

Нормы ввода компонентов в комбикорма для форели,%

№	Компонент	Форел	
		сеголетки	Товарная рыба
1	Пшеница	0-20	0-30
2	Отруби пшеничные	0-5	0-7
3	Соя полно жирная	0-7	0-7
4	Шрот соевый	0-20	0-40
5	Дрожжи кормовые	0-15	0-15
6	Мука: рыбная	0-70	0-50
7	Мясокостная	0-5	0-10
8	Мука кровяная	0-10	0-5
9	Глютин кукурузный	0-15	0-30
10	Пшеничный зародыш	0-10	0-40
11	Пшеничная клейковина	0-10	0-5
12	Соевый изолят	0-10	0-5
13	Молоко сухое обезжиренное	0-10	0-5
14	Жир рыбий	0-15	0-30
15	Масло подсолнечное	0-3	0-5

Анализ состава рецептур основных компонентов показывает, что авторы выбрали богатые белками продукты, но некоторые из них являются микробнообсеменными.

Авторы (18) также исследовали физико-механические свойства комбикормов для форели.

Таблица 3

Физико-механические свойства комбикормов для форели

№	Показатель	Рецепт комбикормов для форели	
		стартовый	продукционный
1	Влажность,%	8,8	8,03
2	Цвет	Темно-коричневый	Темно-коричневый
3	Запах	Приятный рыбный	Приятный рыбный
4	Объемная масса кг/м^3	613,1±11,2	563,8±8,5
5	Размер гранул мм	2	5
6	Водостойкость, мин	825±35,5	725±35,5
7	Разбухаемость, мин	122±15	90±20
8	Крошимость, %	2,5±0,034	2,5±0,022
9	Коэффициент водопоглощения	0,83±0,002	0,73±0,002

Как показывает анализ данных табл.4. стартовый корм не уступает по всем своим показателям к продуктивным.

Авторы вышеприведенного исследования также разработали технологию экстрадированных стартовых комбикормов для молоди судака, тиляпи и кларисвого сома (20). Представленные комбикорма представляют собой крупки размером 0,2 мм, 0,5 мм, 1 мм, 2 мм. Цвет крупок варьировалось от темно коричневого до светло коричневого, значение водостойкости составляет не менее 2,5 часов, крошимость и не более разбухаемость 1,5% минут, объемная масса ниже 1000кг/м^3. Эти показатели практически не уступают стартовой продукции.

В работе С.Л.Чернявская, Л.М.Есина, А.С.Виннов, О.Н.Кривонос разработали (21) технологию кормовых продуктов из мелких азово-черноморских рыб: авторы исследования исследовали химический состав сырья использованного при производстве кормов

Таблица 5

Химический состав рыбного и растительного сырья

Показатели	Хамса	Широш	Тюлька	Тщеница	Кукуруза
Белок %	14,1±0,8	13,3±0,8	15,3±0,9	10,6±0,8	9,0±0,7
Жир %	17,5±0,9	6,5±0,5	17,4±0,8	1,7±0,8	4±0,2
Зола %	1,7± 0,1	2,9±0,1	2,5±0,1	1,6±0,09	1,3±0,09
Вода %	66,7 ±2,7	76±3,3	64,8±2,2	4,4±1,0	13±0,1

Авторы доказали, что использование данных видов рыб в качестве белково жировых компонентов является целееобразным. Как видно из анализов рецептур комбикормов для рыб для обогащения их белками используют мясокостную муку, рыбные отходы, кровяную муку, рыбную муки и некоторое растительное сырьё, которое богато белками.

В исследовательской работа Н.В.Сорокиной (22) комбикорма для осетровых рыб разработали с использованием тыквенного жмыха. Авторы предложили следующий состав комбикормов:

Таблица 6

Рецепт продукционного комбикорма для осетровых рыб

Кормовые компоненты	Содержание, %
Мука рыбная	50
Тыквенный жмых	10
Витазар	20
Дрожи кормовые	10
Пшеница	3
Жир рыбий	6
Премикс ВМП ПО-1	1

По заключению авторов этот комбикорм отличается высоким содержанием протеинов и липидов, которое является важнейшим питательным продуктом при кормлении осетровых рыб. (22) Добавление в рецептуру дрожжей также способствовало обогащаю протеинами, у которого количество сырого протеина составляет 45,5 %.

По утверждению авторов введения в рецептуру тыквенного жмыха способствует обогащению витаминами, минералами, клетчаткой, что благотворно влияет на пищеварения осетровых рыб.

Авторы также исследовали содержание в нем основных питательных веществ отдельных компонентов.

Таблица 7

Состав продукционного комбикорма с тыквенным жмыхом и содержание в нем основных питательных веществ отдельных компонентов

Показатель	**Мука рыбная жирная**	**Дрожжи кормовые сухие**	**Жмых тыквенный**	**Жыр рыбий**	**Пшеница**	**Витазар**	**Премике**	**Комбикорм**
Содержание компонентав в состава комбикорма,	50	12	10	4	3		2	1
Сырой протеин, г/кг	267,5	54,6	36,8	-	4,0	64,9	-	428
Сырой жир,г/кг	54,0	1,8	11,3	39,2	0,6	16	-	123
Сырая клетчатка, г/кг	-	0,2	30,2	-	0,5	8,4	-	39
Без азотистые в-ва	47,5	42,1	7,7	-	19,8	76	-	193
Сырая зола, г/кг	81,0	9,2	4,9	-	0,6	14	-	110

По результатам исследований авторы достигли гарантированных величин индикаторных показателей протеиновой и липидной питательности: сырого протеина -42,8 %, сырого жира-12,3 %, клетчатки-3,9 % . Авторы указывают, что содержание сырого

протеина в опытном превышает 1,18 раз чем контрольный, сырого жира 1,29 раза больше, чем в контрольном, а массовая доля клетчатки 1,77 раза выше, чем в контрольном.

В работе Габеевой А.Р., (23) исследовано возможность использование канючу для приготовления кормов зеркального карпа. Авторы вводимы в цион как источник белков витаминной добавки при нагуле карпа и они установили и эффективности использования канычи для выращивания карпа. (23)

Кошак Ж.В., Гадлевекая Н.Н анализировали ассортимент и показатели кормов для радужной форели в республике Беларус. По заключению авторов корм для форели в основном завозят из за рубежа. Авторы указывают что свойства отечественных кормов для форели не всегда отвечает современным требованиям, что приводит к более высоким затратам кормов на килограмм прироста живой массы, загрязнению окружающей среды и повышенным непроизводительным затратам. По нашему мнению такая же обстановка в корма производстве для рыбы в нашей республике.

Все качественные корма рабовладельческие хозяйства завозят из-за рубежа. Они качественные, богатые, белками, жирами, витаминами, углеводами. Но их высокая стоимость влияет на стоимость готовой продукции.

Исходя из вышеприведенных можно сделать вывод о том что необходимо наладить производство отечественных комбикормов для рыб в нашей республике. Анализ существующих технологий показывает, что в нашей республике имеются все компоненты для производства рыбных кормов. Надо развивать отечественную отрасль кормопроизводства для рыб.

Мы анализируя существующие технологии пришли к выводу что на этих технологиях имеются ряд недостатков:

-используют мясокостную муку, которая значительно влияет на себестоимость кормов;

-в некоторых кормах используют кровяную муку и она имеет особый запах, что снижает качество кормов;

- многие технологии приготовления проводятся с отработкой высокой температурой, что снижает пищевую и биологическую ценность кормов.

Исходя из вышеприведенных нами была разработана технология при приготовлении рыбных кормов богатого протеинами, на основе вторичного животного сырья богатого белками. Для проведения исследований были выбраны следующие методы исследований и материалы.

Материали и методы исследований:

Материалами для проведения исследовательских работ были выбраны бычья шкура ГОСТ 28425-90 (25), мука кукурузная ГОСТ14176-69 (26), из рисовой сечки ГОСТ 6292-93 (27), мука из пшеничных отрубей ГОСТ 7169-66 (28), соевого жмыха ГОСТ 3898-56 (29), мясокостная мука ГОСТ 59296-2021 (30). Все выбранные продукты отвечали требованиям вышестоящих ГОСТов.

В работе использовали бычья шкура, полученная в убойном цехе животных города Намангана мука кукурузную, рисовую, приобрели на рынках города Намангана. Мясокостную муку получили путем нагревания костей в муфельных печах и с последующим измельчением. Соевый жмых получили с масло заводов г Учкургана.

Для приготовления кормов для рыб, из бичей шкуры удалили во лосяной покров и измельчали, после чего сушили методом атмосферной сублимационной сушки и сушеную шкуру измельчали, получали порошок.

В экспериментах использовали корм, полученный по разработанной технологии.

Для получения средней пробы кормов для рыб отбирали пробы от трёх образцов одного вида кормов, смешивали их и получали среднею пробу согласно по ГОСТ 26929 в количестве 1% от массы корма, но менее 500-600г. Все эксперименты в производственных и

лабораторных условиях проводили в пятикратной повторности, результаты экспериментов подвергались статистической обработке по методу наименьших квадратов (7)

Объектом исследования настоящей работы является рыбный корм полученный из вторичного животного и растительного сырья.

В лабораторных условиях кафедру Биотехнологии были разработаны рецептуры и технологические схемы кормов для рыб.

Были исследованы основы физико-химические, микробиологические показатели, а также безопасность и пригодность кормов для рыб.

Влажность рыбных кормов исследовали по ГОСТ 10385-2014 (31). Пробу рыбных кормов сушили в сушильном шкафу в течении 4 часов при 105^0C до постоянной массы. Сырой протеин определяли по ГОСТ 10385-2014 (32), сыров жир исследовали по ГОСТ 20385-2014 (33), без азотистые экстрактивные вещества по ГОСТ 10385-2014 (34), сырую клетчатку в рыбных кормах определяли по ГОСТ 10385-2014 (35), и исследовали содержание золы по ГОСТ 10358-2014 (36) в исследуемом образце. Также были исследованы содержания тяжелых металлов свинца, по ГОСТ 26932-80 (37), кадмия по ГОСТ 26932-80 (38), ртути по ГОСТ 26927-80 (39), мышьяка по ГОСТ 26930-86 (40), йода по O'zDst 1091:2011 (41), содержание α, β, γ- ГХЦГ (11), метаболиты ДДТ по МУ 012-300/10 (42).

Результаты исследования и их обсуждения:

При разработке новых технологических схем и рецептур, необходимо учесть основные технологические принципы, такие как наилучшее использование сырья, сокращения времени проведения процесса, рациональное использование энергии и оборудования, оптимальный вариант. Эти принципы соблюдают с учетом фундаментальных физико-химических и биологических закономерностей а также закономерностей экономики и кибернетики. Необходимо иметь ввиду, что фундаментальные законы дают лишь качественную характеристику технологического процесса, а для эффективности нужна количественная оценка.

Необходимо ещё учесть, что стоимость готовой продукции завесить от стоимости исходного сырья. Полное использование сырья является одним из основных методов снижения удельных затрат на производство готовой продукции. При анализе и синтеза технологических схем необходимо составить материальный баланс. Он позволяет оценить степен использования исходного сырья и установить этапы процесса, на которых его используют более эффективно.

При разработке рецептур новых продуктов здесь необходимо иметь ввиду что ценообразования зависит от исходного сырья и целесообразно это учесть.

Повышенный расход сырья приводит к снижению производительности технологической линии по готовому продукту, увеличению затрат труда, топлива, электроэнергии и воды на единицу продукции.т.е.к повышению её себестоимости.

Основная задача нашей исследовательской работы заключается в снижении себестоимости, повышению пищевой и биологической ценности кормов.

Учитывая вышеизложенное нами были проанализированы рецептуры существующих кормов для рыб, а также изучены состав сырья, которое способствует увеличению и обогащению белками этих кормов, а также учитывалось себестоимость и доступность этих видов сырья.

Исходя из вышесказанных нами была изучен бычья шкура как источник белковой основы рыбных кормов.

Данные о химическом составе бычьей шкуры приведены в литературном обзор этой статьи. Технология приготовления кормов для рыб с повышенным содержанием белка заключается в очистке волосяного покрова с обработкой щелочью, выдерживанием в течении суток и последующем после очистки шкуры его выдерживают в растворе уксусной

кислоты в течении суток, после чего тщательно моют в проточной холодной воде и промытая бычья шкура измельчается в измельчителе, после чего мелкоизмельченному бычье шкуре дают форму пластов толщиной 8-12 мм и замораживает при температуре -18^0 С, замороженные пласты сушат в атмосферном сублимационном сушке в течении 7-8 часов, после чего измельчают, просеивают через сито № 0,28 и в просеянный порошок бычьей шкуры добавляют просоленную муку кукурузную, просеянную муку рисовой сечки, просеянную муку из семян амаранта, просеянную муку из соевого жмыха и просеянную мясо-костную муку, смешивают, смесь вводят в экструдер при непрерывном перемешивании желатинируют крахмал и дают форму сушат и сверху обрабатывают пищевым парафином.

Таблица 8

Рецептура рыбного корма богатого протеинами из вторичного животного и растительного сырья

№	Наименование сырья	Количество, гр		
1	Мука из шкуры крупного рогатого скота	45	50	55
2	Мука кукурузная	10	9	8
3	Мука из рисовой сечки	5	4	3
4	Мука из семян амаранта	10	9	8
5	Мука из жмыха соевого шрота	25	24	23
6	Мясо-костная мука	5	4	3
Итого		100	100	100

При разработке рецептур мы выбрали 3 варианта рецептур. Наиболее оптимальным был II-вариант рецептур.

При разработке рецептур корма для рыб мы обосновывали причинно-следственную связь между соотношениями составляющих компонентов. Одним из компонентов корма для рыб является мука из шкуры крупного рогатого скота. Использование этой муки менее 45 масс. % не приведет к обогащению.

К обогащению белками и превышению этого количества более 55% масс способствует к ухудшению органолептических показателей. Только указанные количественные пределы способствую получению корма с повышенным содержанием белка.

Использования муки из кукурузы, рисовой сечки, соевого шрота способствовало к обогащению углеводами, белками, клетчаткой и формированию вкуса корма для рыб. Только указанные пределы вышеуказанных сырьевых компонентов способствовали получению кормов для рыб с повышенным содержанием белка и высокими органолептическими показателями.

При использовании амарантовой муки, мы брали листья и корневую часть, а также семенную головку. Наиболее лучшие результаты были получены при использовании семенных головок, т. к. он богат белками, жирами, а также оно способствовало улучшению органолептических показателей, таких как цвета кормов для рыб.

Использование мясо-костной муки способствовало к обогащению корма жирами, а также минеральными веществами, повышению количества добавленной мясо-костной муки более 5 масс % приводит к ухудшению органолептических показателей, а снижению этого показателя менее 3мас% не позволяет достичь цель данной исследовательской работы.

Ниже приводим технологическую схему приготовления производства корма для рыб (рис.1).

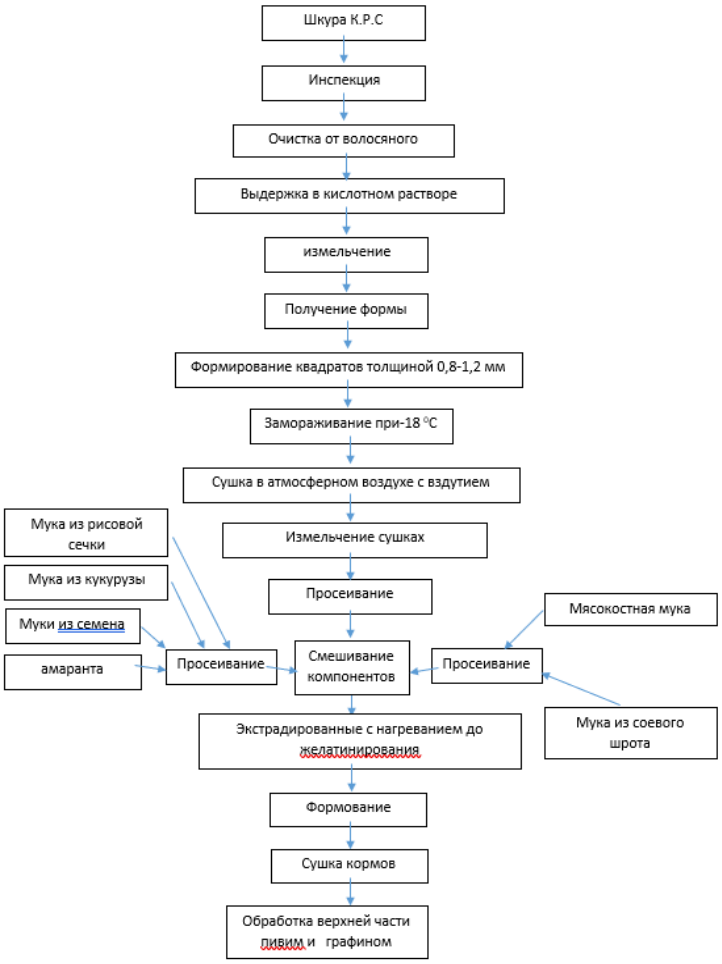


Рис.1. Технологическая схема приготовления рыбных кормов с повышенным содержанием белка из вторичного сырья животного и растительного сырья

Наиболее полного представления о пищевой ценности и безвредности мы исследовали микробиологические, органолептические и физико-химические показатели рыбного корма.

Таблица 9

Содержание тяжелых металлов и других постоянных веществ в рыбном корме

№	Показатели составных частей	Определенная концентрация	Единица измерения	Документы, использованние при исследовании	Соответсвие показателей (требований)
1	Свинец	0.00	мг/кг	ГОСТ 26932-86	Соответствует
2	Кадмий	мг/кг	мг/кг	ГОСТ 26933-86	Соответствует
3	Ртут	мг/кг	мг/кг	ГОСТ 26927-86	Соответствует
4	Мышяк	мг/кг	мг/кг	ГОСТ 26930-86	Соответствует
5	Элементарный	0.00118	мг/кг	O`z DST 1091-2011	Соответствует
6	α, β, γ ГХЦГ	0.00	мг/кг	МУ 012-3/0010	Соответствует
7	Метаболиты ДДТ	мг/кг	мг/кг	МУ 012-3/0020	Соответствует

Как показывает анализ данных табл.9, что соли тяжелых металлов не обнаружены в рыбном корме, полученном из вторичного животного и растительного сырья

Также были исследованы основные микробиологические показатели таблица.10.

Таблица 10.

Основные микробиологические показатели рыбных кормов полученных из вторичного животного и растительного сырья

№	Наименование Исследуемого образца	Общее микроби. число КМА/КОЕ в 1,0 гр		БГКП		Возбуждение болезни Патоген микрофлора, сальмонелла		Плесень, дрожжи КОЕ, в 1,0		Saureus		L. monositigenes		В сочец ГОСТ	
		Норма	Факт. норма	Норма	Фактнорма	Норма	Факт. норма	Норма	Факт. норма	Норма	Факт. норма	Норма	Факт. норма	Норма	Факт. норма
1	Рыбный корм	2,5х104	Не определено	1,0 гр	Неопределено	50 гр не допускается	Не определено	100 гКОЕ	Отрицательный	1,0 гр не допускается	Отрицательный	50 гр не допускается		200 гр не допускается	Отрицательный

Анализ данных табл.10. свидетельствует что, рыбные корма отвечают всем требованиям по микробиологическим показателям, предъявляемым рыбным кормам.

Ещё основным показателем рыбных кормов является их органолептические и физико-химические показатели. Данные об этих показателях приведены в таблице 11,

№	Показатели	Определенная концентрация	Единица измерения	Документы использованние при исследовании	Соответствие показателей (требований)
1	Влажность	4,5 %	%	ГОСТ 10385-2014	Соответствует
2	Сырой протеин	17,6 %	%	ГОСТ 10385-2014	Соответствует
3	Сырой жир	8,7 %	%	ГОСТ 10385-2014	Соответствует
4	Без азотистые экстрактивные вещества	31,9 %	%	ГОСТ 10385-2014	Соответствует
5	Сырая клетчатка	32,4 %	%	ГОСТ 10385-2014	Соответствует
6	Зола	13,9 %	%	ГОСТ 20385-2014	Соответствует
7	Внешний вид	Круглые, длиной 1-1,5-см			
8	Вкус	Приятный			
9	Запах	Приятный, без постороннего запаха			
10	Цвет	Ярко желтый			
11	Консистенция	Твердая			

Как показывает анализ данных таблицы 11, влажность данного рыбного корма полученного из вторичного животного и растительного сырья составляет 4.5%, сырой протеин 17.6% и оно по сравнению существующим ГОСТ кормов рыбных 2.4 раза превышает , сырой жир 8.7%, без азотистые экстрактивные вещества 31.9% , сырая клетчатка 32.4%, зола 13.9%.

Использование бычьей шкуры и вторичного растительного сырья богатого белками способствовало повышению содержанию сырого протеина.

При разработке данной технологии впервые были применены атмосферная сублимационная сушка, что способствовало полному сохранению пищевых веществ, таких как белки, жиры в бычьей шкуре.

Использование вторичных сырьевых ресурсов животного и растительного сырья богатого белками привело к снижению себестоимости разрабатываемого рыбного корма

Заключение: Проведенные исследования показали , что в условиях нашей республики целесообразно использовать шкуру крупного рогатого скота для производства рыбных кормов, т.к. во первых их в достаточном количестве, во вторых стоит дёшево и ещё не нужно его переработка в крупных масштабах. Обработка шкуры крупного рогатого скота без тепловой обработки, получая из него порошка также способствует повышению пищевой и биологической ценности разрабатываемого корма Использование при производстве кормов продуктов вторичных сырьевых материалов, таких как рисовая сечка, кукурузная мука, соевого жмыха семена амаранта, а также костной муки способствует не только получению продукта с повышенным содержанием белка, жиров, углеводов, клетчатки минералов, витаминов, а также снижению себестоимости разрабатываемых рыбных кормов. Дальнейшее наши исследования будут изучение освоения рыбами этих кормов а также не быстрому оседанию данных кормов в водоемах. Освоение разработанной технологии в условиях республики Узбекистан будут способствовать увеличению переработки вторичных сырьевых ресурсов, получению качественных рыбных кормов с низкой себестоимостью, а также к снижению цен на готовую рыбную продукцию.

Литература:

1. Качество кожевенного сырья крупного рогатого скота. Л.И.Кибкало., Н.И.Жеребилов. Вестник Курекой государственной сельскохозяйственной академии. 2009 №4-с. 63-68.
2. Г.Р.Залялютдинова, Е.В.Купман, В.В.Хамматова Факторы, влияющие на упруго пластические и прочностные свойства шкур.
3. Н.Ш.Камалов Показатели выхода массы шкур в зависимости от живой массы. Ветеринарный журнал Беларуси. 2.(15) 2021.-с-101-106.
4. М.Алимардонова. Биохимия мяса и мясных продуктов. Издательство, Фолиант, Астана. 2009.-182с.
5. https:// agronomu.com.book.
6. https://furlib.ru.books.
7. https:// pandia.ru.
8. Лысенко В.С., Ковтун А.Е., Шмат Е.В. Журнал Евразийский совет ученых. ЕСУ.2014, №2-с. 103-106.
9. Баранов В.А. Технология переработки кожевенного, овчинно-шубного и пушно-мехового сырья. Учебное пособие. В.А.Баранов-Казань. ФГБОУ ВО КТАВМ имени Н.Э.Баумана, 2018-56 с.
10. RU2061046c1. Способ ферментативного обезволосывания шкур.
11. АС 2790857/28-12. Способ обезволосывания шкур.
12. Патент RU 2198932. Способ обезволосывания кожевенного сыря.
13. Патент RU 429596. Состав для обезволосывания шкур.
14. Патент RU 459500. Способ обработки шкур.
15. Патент RU 562206. Способ отделения волосяного покрова от кожевой ткани шкур.

16. Патент RU 607556. Водяной состав для обработки шкур.
17. 17. М.Д.Мукатова, Н.А.Кричко. Разработка технологий изготовления рыборастительных кормов. Вестник МГТУ 2016. Т. 19 №3.С 633-639
18. 18.Самойлова Д.А., Цибизова М.Е. Вторичные ресурсы рыбной промышленности как источник пищевых и биологически активных добавок. Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хозяйества. 2015. №2. С. 129-136.
19. 19. В.И.Сидорова, Н.И.Январова, С.Ж.Асылбекова, С.К.Койшибаева, Н.С.Бадрыдлова, А.Е.Ахметов. Разработка новых технологии и техники производства кормов для рыб. Новости науки. Казахстана №4. (134). 2017.-С. 164-180.
20. 20.В.И.Сидирова. Н.И.Январова, С.Ж.Асылбекова. Корма для молоди судака. Новости наука Казахстана. №4 (134) 2017-с. 181-186.
21. 21.С.Л.Чернявская, Л.М.Есина, А.С.Виннов, О.Н.Кривоное. Разработка технологии кормовых продуктов из мелких азовочерноморских рыб.Труды. ЮгНИРО. Т. 54. 2017-С 123-132
22. 22.Н.В.Соркина. Разработка комбикорма для осетровых рыб с использованием тыквенного жмыха. Дисс. На соис.уч.степ. Канд.техн. наук Астрахань., 2017-170 С
23. 23. А.Р.Габаева. Хозяйственно-биологические особенности зеркалного карпа с использованием нетрадиционног корма (канычи). Дисс.на.соис.учен. степ.канд. техн. наук. Влауннавназ. 2018-123 с
24. 24. Ж.В.Кошак, Н.Н.Гадлевская. Комбикорм для радужной форели. Особенности рецептуры и технологии производства. Журнал наша сельское хозяйство. Минск. 2016. 2016.№18 –с1-6с
25. Влажность рыбных кормов исследовали по ГОСТ 10385-2014 (31). Пробу рыбных кормов сушили в сушилном шкафу в течении 4 часов при 105^0С до 26. Постоянной массы. Сырой протеин определяли по ГОСТ 10385-2014 (32), 27. Сыров жир исследовали по ГОСТ 20385-2014 (33),
28. Без азотистые экстрактивные вещества по ГОСТ 10385-2014 (34)
29. Сырую клетчатку в рыбных кормах определяли по ГОСТ 10385-2014 (35)
30. Исследовали содержание золы по ГОСТ 10358-2014 (36)
31. Также были исследованы содержания тяжелых металлов свинца, по ГОСТ 26932-80 (37),
32. Кадмия по ГОСТ 26932-80 (38),
33. Ртути по ГОСТ 26927-80 (39),
34. Мышьяка по ГОСТ 26930-86 (40),
35. Йода по OzDst 1091:2011 (41),
36. Содержание α, β, γ- ГХЦГ (11), метоболиты ДДТ по МУ 012-300/10 (42).

УДК 661.183.2:546.72/49

СОСТАВ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОБРАБОТАННЫХ ХЛОРИДАМИ МЕТАЛЛОВ

Умматов Обиджон Олимжон угли
Кокандский государственный университет, соискатель
Узбекистан, г. Коканд
Очилов Голиб Мамаюнусович
Кокандский государственный университет,
доктор химических наук, профессор,
Республика Узбекистан, г. Коканд, e-mail: golibjon.ochilov@mail.ru
Матмусаев Абдумуталиб Каххоржон угли
Кокандский государственный университет, докторант,
Узбекистан, г. Коканд, e-mail: Abdumutalib07091997@gmail.com
Эшметов Иззат Дусимбатович
Институт общей и неорганической химии АН РУз,
доктор технических наук, профессор,
Узбекистан, г. Ташкент, e-mail: izzat.dusimbatovich@gmail.com
Бухоров Шухрат Буриевич
Ташкентский химико-технологический институт,
доктор технических наук, профессор,
Узбекистан, г. Ташкент

Аннотация. *Исследовано влияние природы и расхода металлического модификатора на состав и структуру углеродных материалов из древесных отходов. Сопоставлены серии, полученные при массовых отношениях $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ или $ZnCl_2$ к карбонизату 0,5:1, 1:1 и 2:1. Для образцов среднего состава выполнены рентгеновская дифракция, инфракрасная спектроскопия, энергодисперсионный элементный анализ, электронная микроскопия и адсорбция азота. Увеличение расхода соли сопровождалось уменьшением выхода твёрдого продукта и ростом зольности и содержания металла. При отношении 1:1 выход составлял 66,1–71,2 %, а содержание металла — 2,55–3,25 %. Наборы дифракционных рефлексов согласуются с железооксидной фазой шпинельного типа, CuO и гексагональным ZnO. Максимальная поверхность среди трёх модифицированных образцов отмечена для Zn-1,0 и составила 1186,4 м²/г; доля микропор в общем объёме равнялась 62,8 %. Показана необходимость различать массовое содержание металла и результаты локального элементного анализа, а также учитывать неодинаковую долю металла в исходных солях.*

Ключевые слова: *древесный карбонизат, хлориды металлов, углеродный композит, рентгеновская дифракция, ИК-спектроскопия, элементный состав.*

COMPOSITION AND STRUCTURAL FEATURES OF WOOD-DERIVED CARBON MATERIALS TREATED WITH METAL CHLORIDES

Obidjon Ummatov
Kokand State University, Doctoral Applicant
Uzbekistan, Kokand
Golib Ochilov
Kokand State University,
Dr. Sci. (Chem.), Professor,

Republic of Uzbekistan, Kokand, e-mail: golibjon.ochilov@mail.ru
Abdumutalib Matmusaev
Kokand State University, PhD student,
Uzbekistan, Kokand, e-mail: Abdumutalib07091997@gmail.com
Izzat Eshmetov
Institute of General and Inorganic Chemistry, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan,
Dr. Sci. (Tech.), Professor,
Uzbekistan, Tashkent, e-mail: izzat.dusimbatovich@gmail.com
Shukhrat Bukhorov
Tashkent Institute of Chemical Technology,
Dr. Sci. (Tech.), Professor,
Uzbekistan, Tashkent

Abstract. *The effects of metal precursor identity and dosage on the composition and structure of wood-derived carbon materials were examined. Series prepared at $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$, or $ZnCl_2$-to-char mass ratios of 0.5:1, 1:1, and 2:1 were compared. X-ray diffraction, infrared spectroscopy, energy-dispersive elemental analysis, electron microscopy, and nitrogen adsorption were performed for the samples prepared at a ratio of 1:1. Increasing the salt dosage decreased the solid product yield while increasing ash and metal contents. At a ratio of 1:1, product yields ranged from 66.1 to 71.2%, and metal contents from 2.55 to 3.25%. Diffraction peak sets were consistent with a spinel-type iron oxide, CuO, and hexagonal ZnO. Zn-1.0 exhibited the highest surface area among the modified samples, 1186.4 m^2/g, with micropores accounting for 62.8% of the total pore volume. The results highlight the distinction between bulk metal content and local elemental analysis and the unequal metal fractions of the precursor salts.*

Keywords: *wood char, metal chlorides, carbon composite, X-ray diffraction, infrared spectroscopy, elemental composition.*

METALL XLORIDLARI BILAN ISHLOV BERILGAN YOG'OCH KO'MIR MATERIALLARINING TARKIBI VA TUZILISH XUSUSIYATLARI

Ummatov Obidjon Olimjon o‘g‘li
Qo‘qon davlat universiteti, mustaqil izlanuvchi
O‘zbekiston, Qo‘qon shahri
Ochilov Golib Mamayunusovich
Qo‘qon davlat universiteti,
kimyo fanlari doktori, professor,
O‘zbekiston Respublikasi, Qo‘qon shahri, e-mail: golibjon.ochilov@mail.ru
Matmusayev Abdumutalib Kahhorjon o‘g‘li
Qo‘qon davlat universiteti, tayanch doktorant,
O‘zbekiston, Qo‘qon shahri, e-mail: Abdumutalib07091997@gmail.com
Eshmetov Izzat Dusimbatovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti,
texnika fanlari doktori, professor,
O‘zbekiston, Toshkent shahri, e-mail: izzat.dusimbatovich@gmail.com
Buxorov Shuxrat Buriyevich
Toshkent kimyo-texnologiya instituti,
texnika fanlari doktori, professor,
O‘zbekiston, Toshkent shahri

Annotatsiya. *Metall modifikatorining tabiati va sarfining yog‘och chiqindilaridan olingan uglerodli materiallarning tarkibi va tuzilishiga ta’siri o‘rganildi. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ yoki $ZnCl_2$ ning karbonizatga massa nisbati 0,5:1, 1:1 va 2:1 bo‘lgan sharoitlarda olingan seriyalar*

solishtirildi. O‘rtacha tarkibli namunalar uchun rentgen difraksiyasi, infraqizil spektroskopiya, energiya-dispersiyali elementar tahlil, elektron mikroskopiya va azot adsorbsiyasi bajarildi. Tuz sarfining ortishi qattiq mahsulot chiqishining kamayishi hamda kullilik va metall miqdorining oshishi bilan kechdi. 1:1 nisbatda chiqish 66,1–71,2 % ni, metall miqdori esa 2,55–3,25 % ni tashkil etdi. Difraksion reflekslar to‘plamlari shpinel tipidagi temir oksidi fazasi, CuO va geksagonal ZnO ga mos keladi. Uch modifikatsiyalangan namuna orasida eng katta yuza Zn-1,0 namunasida qayd etildi va 1186,4 m²/g ni tashkil etdi; umumiy hajmdagi mikrog‘ovaklar ulushi 62,8 % ga teng bo‘ldi. Metallning massa bo‘yicha miqdorini va mahalliy elementar tahlil natijalarini farqlash, shuningdek boshlang‘ich tuzlardagi metall ulushining bir xil emasligini hisobga olish zarurligi ko‘rsatildi.

Kalit so‘zlar: *yog‘och karbonizati, metall xloridlari, uglerodli kompozit, rentgen difraksiyasi, IQ-spektroskopiya, elementar tarkib.*

Введение

Обработка углеродного материала соединениями металлов изменяет одновременно неорганическую составляющую и доступное поровое пространство. При этом высокая массовая доля введённого элемента не обязательно означает наиболее развитую поверхность. Для характеристики полученного продукта необходимо отдельно рассматривать выход, остаточное содержание металла, фазовую принадлежность кристаллических включений и текстуру углеродной матрицы.

Пример комплексного исследования CuO-содержащего активированного угля представлен Farooq и соавторами [1], использовавшими рентгеновскую дифракцию, электронную микроскопию, EDX и ИК-спектроскопию. Совместное применение методов существенно, поскольку они отвечают на разные вопросы: элементный анализ выявляет присутствие металла, дифракция — кристаллические фазы, а спектроскопия характеризует колебательные состояния химических групп.

Особенно осторожного рассмотрения требуют железооксидные системы. В исследовании Robinson и соавторов [2] различение магнетита и маггемита уточняли методами рамановской и мёссбауэровской спектроскопии. Kim и соавторы [3] предложили способ их количественного различения с использованием обычной рентгеновской дифракции.

Цель настоящей работы — сопоставить состав и структуру древесных углеродных материалов после обработки тремя хлоридами металлов и установить, какие выводы подтверждаются совокупностью доступных характеристик.

Материалы и методы

Исходным материалом служил древесный карбонизат, полученный при 500 °C из отходов мебельного производства. Карбонизат измельчали, разделяли на однородную фракцию и пропитывали водными растворами $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ или $ZnCl_2$. Массовое отношение соли к сухому карбонизату составляло 0,5:1, 1:1 или 2:1. Отношения относятся к указанным химическим формам, включая кристаллизационную воду гидратов, и не являются одинаковыми дозами элементарного металла.

После 12 ч пропитки при комнатной температуре образцы сушили при 105±2 °C до постоянной массы. Нагревание проводили в аргоне со скоростью 10 °C/мин до 600 °C с выдержкой 60 мин. Продукты охлаждали в инертной среде ниже 90 °C и промывали дистиллированной водой до отсутствия обнаруживаемых хлорид-ионов в фильтрате (контроль раствором $AgNO_3$), затем повторно сушили при 105±2 °C. Обозначение Fe-1,0 соответствует использованию $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ при отношении 1:1, и аналогично для остальных образцов.

Рентгеновские измерения выполняли на дифрактометре Rigaku MiniFlex 600 с Cu Kα-излучением (λ = 1,5406 Å). ИК-спектры регистрировали на спектрометре Spectrum Two 75 OR. Морфологию поверхности и элементный состав изучали на растровом электронном микроскопе серии JEOL JSM-IT200 с приставкой энергодисперсионного анализа.

Текстурные параметры определяли методом низкотемпературной адсорбции азота с расчётом по BET и BJH. Доли микропор рассчитывали делением Vмикро на Vобщ.

Результаты и обсуждение

Влияние количества соли на выход и состав

Во всех трёх сериях выход уменьшался с увеличением расхода соли (табл. 1). Для Fe-серии снижение между крайними отношениями составляло 14,9 процентного пункта, для Cu-серии — 13,1, для Zn-серии — 11,1. При одинаковом массовом отношении соли наибольший выход наблюдался в Zn-серии.

Таблица 1

Выход продукта и состав при различных расходах модификатора

Образец	Соль : карбонизат	Выход, %	Зола, %	Металл, %
Fe-0,5	0,5:1	72,8	2,9	1,35
Fe-1,0	1:1	66,1	4,4	2,55
Fe-2,0	2:1	57,9	6,6	4,15
Cu-0,5	0,5:1	74,1	3,1	1,55
Cu-1,0	1:1	68,3	4,9	2,85
Cu-2,0	2:1	61,0	7,0	4,60
Zn-0,5	0,5:1	76,5	3,5	1,80
Zn-1,0	1:1	71,2	5,5	3,25
Zn-2,0	2:1	65,4	7,9	5,10

«Металл» означает соответствующий элемент каждой серии.

Увеличение расхода соли в четыре раза сопровождалось ростом массовой доли металла примерно в 3,07 раза для Fe, 2,97 раза для Cu и 2,83 раза для Zn. Следовательно, в материале закрепляется лишь часть введённого металла, а несвязанная или слабо связанная его доля удаляется при промывке.

Дифракционные и спектральные признаки

Для образцов с отношением 1:1 на фоне широкого углеродного максимума выявлены наборы сравнительно узких рефлексов (рис. 1, табл. 2). Их положение согласуется с образованием кристаллических металлсодержащих фаз при сохранении разупорядоченной углеродной составляющей.

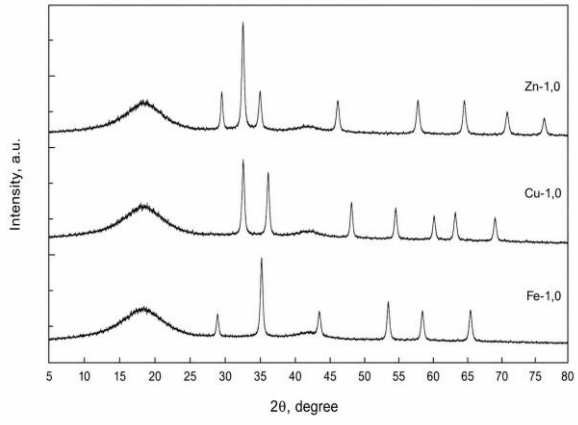


Рис. 1. Рентгенодифрактограммы активированных углей, модифицированных соединениями Fe, Cu и Zn

Таблица 2

Положения рефлексов и их фазовое отнесение

Образец	Характерные 2θ, градусы	Согласующееся отнесение
Fe-1,0	30,2; 35,5; 43,2; 53,6; 57,1; 62,7	железооксидная шпинельная фаза, включая Fe_3O_4
Cu-1,0	35,5; 38,7; 48,7; области 53–54 и 58–62	CuO
Zn-1,0	31,8; 34,4; 36,3; 47,5; 56,6; 62,9; 67,9	гексагональная фаза ZnO

Литературное сопоставление: [2–4].

В ИК-спектрах модифицированных образцов (рис. 2) полосы в области O–H отмечены при 3424, 3386 и 3348 $см^{-1}$ соответственно для Fe-, Cu- и Zn-содержащего материала. Положения полос, отнесённых к карбонильным группам, составляли 1706, 1692 и 1683 $см^{-1}$. Низкочастотные особенности наблюдались при 623, 612 и 598 $см^{-1}$ и совместимы с участием металл–кислородных колебаний. Эти различия указывают на неодинаковое колебательное окружение функциональных групп, однако не задают однозначной схемы связи металла с углеродом.

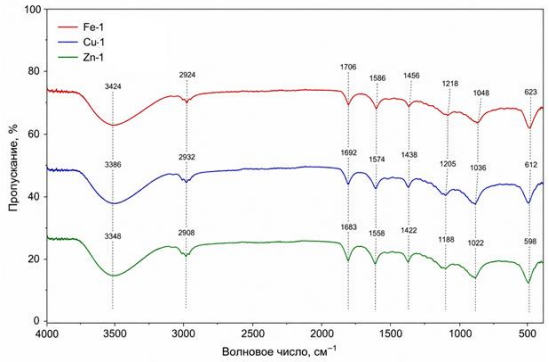
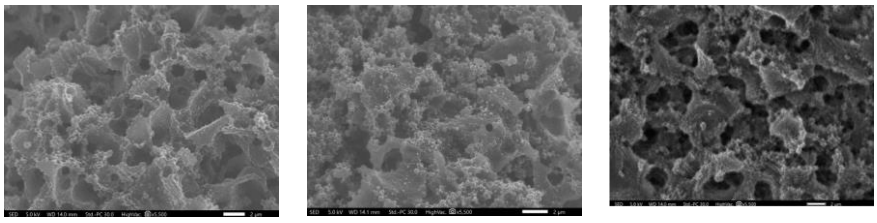


Рис. 2. ИК-спектры активированных углей, модифицированных соединениями Fe, Cu и Zn

Морфология, элементный состав и поровое пространство

По данным электронной микроскопии (рис. 3) во всех трёх образцах сохраняется система сообщающихся пор, сформированная на стадии термической обработки. Основные различия проявляются в шероховатости поровых стенок и в распределении мелких частиц и агрегатов на их поверхности. Наиболее выраженное осаждение дисперсных частиц наблюдается для Cu-содержащего материала. По одним лишь морфологическим признакам эти частицы нельзя однозначно отнести к Fe-, Cu- или Zn-содержащим фазам.



1 2 3

Рис. 3. СЭМ-изображения активированных углей, модифицированных соединениями Fe (1), Cu (2) и Zn (3) (×5500, 2 мкм)

Результаты EDS приведены в табл. 3. Углерод составляет основную массовую долю во всех образцах. В каждой пробе обнаружен соответствующий введённый металл; одновременно присутствуют кислород и небольшое количество хлора.

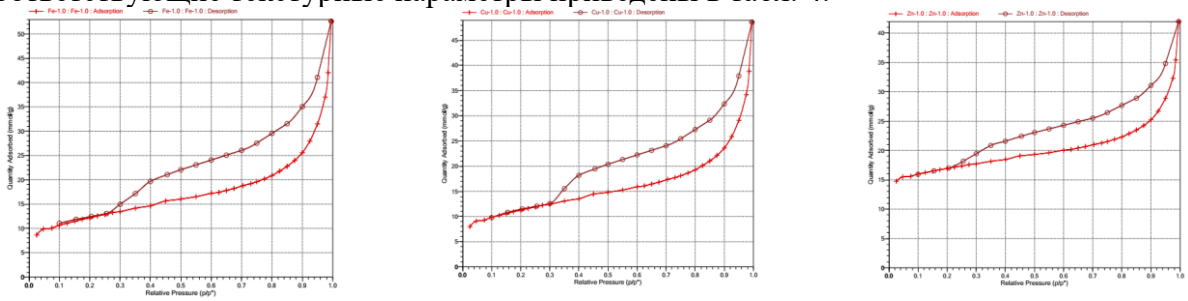
Таблица 3

Элементные массовые доли по данным EDS

Образец	C, %	O, %	Металл, %	Cl, %	Прочие, %
Fe-1,0	86,028	9,733	3,215	0,084	0,940
Cu-1,0	85,556	10,077	3,386	0,093	0,888
Zn-1,0	84,823	10,304	3,932	0,078	0,863

Низкое остаточное содержание хлора (0,078–0,093 %) показывает, что основная часть исходных солей удалена при промывке, а металл сохраняется в материале в других, относительно устойчивых формах. Численно EDS даёт более высокое содержание металла, чем данные валового определения: для Fe различие составляет 0,665 процентного пункта, для Cu — 0,536, для Zn — 0,682. Это согласуется с локальным характером энергодисперсионного анализа, охватывающего преимущественно приповерхностный слой.

Изотермы адсорбции–десорбции азота модифицированных образцов (рис. 4) относятся к IV типу с петлёй гистерезиса H3–H4, что отвечает сочетанию микро- и мезопор. Соответствующие текстурные параметры приведены в табл. 4.



1 2 3

Рис. 4. Изотермы адсорбции–десорбции азота на образцах Fe-1,0, Cu-1,0 и Zn-1,0

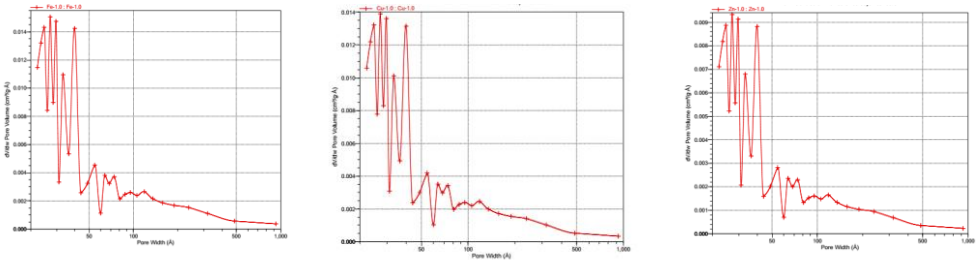
Таблица 4

Текстура металлсодержащих углеродных материалов

Образец	S_{BET}, м²/г	$V_{общ}$, см³/г	$V_{микро}$, см³/г	$V_{мезо}$, см³/г	$f_{микро}$, %
Fe-1,0	932,7	0,638	0,365	0,273	57,2
Cu-1,0	861,3	0,601	0,311	0,290	51,7
Zn-1,0	1186,4	0,752	0,472	0,280	62,8

$f_{микро}$ рассчитана по приведённым объёмам.

Поверхность Zn-1,0 превышает показатель Fe-1,0 на 27,2 %, а Cu-1,0 — на 37,8 %. По объёму мезопор порядок иной: Cu-1,0 > Zn-1,0 > Fe-1,0. Следовательно, преимущество Zn-1,0 по поверхности связано прежде всего с более высоким объёмом микропор, что подтверждается и распределением пор по размерам (рис. 5).



1 2 3

Рис. 5. Распределение объёма пор по размерам, рассчитанное методом BJH, для образцов Fe-1,0 (1), Cu-1,0 (2) и Zn-1,0 (3)

Обсуждение

Сравнение солей по одинаковой массе требует учёта их состава. В $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ доля Fe составляет приблизительно 20,7 %, в $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ доля Cu — 37,3 %, в $ZnCl_2$ доля Zn — 48,0 %. Поэтому более высокое остаточное содержание Zn не доказывает более эффективного закрепления металла относительно внесённого количества: массовая серия одновременно изменяет природу катиона, количество металла и количество воды, связанной в кристаллогидрате.

Дифракционное отнесение CuO и ZnO согласуется с опубликованными положениями характерных рефлексов этих оксидов [4]. Однако часть металла может присутствовать в слабокристаллических или дисперсных состояниях, не выделяющихся в виде отдельных максимумов, поэтому расчёт доли оксида из одного лишь перечня углов невозможен.

Для железосодержащего продукта корректно сохранять отнесение к шпинельному оксиду без утверждения фазовой чистоты Fe_3O_4; различение близких фаз требует специальной процедуры анализа [2, 3]. Аналогично низкочастотные ИК-полосы можно считать совместимыми с участием металл–кислородных колебаний, но нельзя использовать как самостоятельное доказательство строго определённого оксида или связи металл–O–C.

Текстурное сравнение выявляет зависимость результата обработки от природы модификатора, однако не разделяет влияние термических превращений, промывки, неорганического остатка и доступности пор. Согласно рекомендациям IUPAC [5], интерпретация узких пор требует подходящего метода анализа; в частности, высота отдельных максимумов BJH не заменяет интегральные объёмы при ранжировании микропористости.

Отношение соли к карбонизату 1:1 удобно для сопоставления трёх модификаторов, но не может считаться универсальным оптимумом. Развитая поверхность сама по себе не гарантирует высокую селективность или устойчивость композита в воде; эти свойства требуют отдельной экспериментальной проверки.

Заключение

Увеличение расхода $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, $CuCl_2 \cdot 2H_2O$ и $ZnCl_2$ сопровождалось снижением выхода углеродного продукта и увеличением долей металла и золы. Образцы при отношении 1:1 различаются элементным составом, положениями ИК-полос и наборами дифракционных рефлексов, согласующимися с оксидными фазами на фоне разупорядоченного углерода.

Zn-1,0 имеет наибольшие поверхность и объём микропор среди трёх структурно охарактеризованных композитов; Cu-1,0 отличается наибольшим абсолютным объёмом мезопор. Остаточное содержание металла, фазовую принадлежность и пористость следует использовать как взаимодополняющие характеристики материала при выборе адсорбента под конкретную задачу разделения.

Список литературы

1. Farooq S., Al Maani A. H., Naureen Z., Hussain J., Siddiqa A., Al Harrasi A. Synthesis and characterization of copper oxide-loaded activated carbon nanocomposite: Adsorption of methylene blue, kinetic, isotherm, and thermodynamic study // Journal of Water Process Engineering. 2022. Vol. 47. Article 102692. DOI: 10.1016/j.jwpe.2022.102692.
2. Robinson R. M., Abdelmoula M., Mallet M., Coustel R. Starch functionalized magnetite nanoparticles: New insight into the structural and magnetic properties // Journal of Solid State Chemistry. 2019. Vol. 277. P. 587–593. DOI: 10.1016/j.jssc.2019.06.033.
3. Kim W., Suh C.-Y., Cho S.-W. et al. A new method for the identification and quantification of magnetite–maghemite mixture using conventional X-ray diffraction technique // Talanta. 2012. Vol. 94. P. 348–352. DOI: 10.1016/j.talanta.2012.03.001.
4. Siddiqui V. U., Ansari A., Ansari M. T. et al. Optimization of Facile Synthesized ZnO/CuO Nanophotocatalyst for Organic Dye Degradation by Visible Light Irradiation Using Response Surface Methodology // Catalysts. 2021. Vol. 11, № 12. Article 1509. DOI: 10.3390/catal11121509.
5. Thommes M., Kaneko K., Neimark A. V. et al. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report) // Pure and Applied Chemistry. 2015. Vol. 87, № 9–10. P. 1051–1069. DOI: 10.1515/pac-2014-1117.

NON ISHLAB CHIQARISHDA QO‘LLANILADIGAN NOVVOYLIK YAXSHILOVCHILARINING TASNIFI VA FUNKSIONAL XUSUSIYATLARI

КЛАССИФИКАЦИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ХЛЕБОПЕКАРНЫХ УЛУЧШИТЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБА

CLASSIFICATION AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF BAKERY IMPROVERS USED IN BREAD PRODUCTION

Vafoyeva Nazira Ismoil qizi
Assistent o‘qituvchi
Qarshi davlat texnika universiteti
E-mail: vafoyevanazira350@gmail.com
Sadullayev Sirojiddin Xudoyberdi o‘g‘li
t.f.f.d. dotsent
Qarshi davlat texnika universiteti
E-mail: sirojiddinsadullayev434@gmail.com

Annotatsiya: *Ushbu maqolada non ishlab chiqarish texnologiyasida qo‘llaniladigan novvoylik yaxshilovchilarining turlari, tasnifi va funksional xususiyatlari tahlil qilingan. Tadqiqotlarda novvoylik yaxshilovchilarining xamirning fizik-kimyoviy va texnologik xususiyatlariga, jumladan, kislotalilik dinamikasi, namlikni bog‘lash qobiliyati, kleykovina strukturasining shakllanishi hamda tayyor non mahsulotlari sifat ko‘rsatkichlariga ta’siri o‘rganilgan. Ferment preparatlari, emulsifikatorlar, gidrokolloidlar va kompleks yaxshilovchilardan foydalanish xamirning yetilish jarayonini jadallashtirishi, non hajmi va g‘ovakligini oshirishi, mahsulotning yumshoqligi hamda saqlanish muddatini yaxshilashi aniqlangan. Olingan natijalar novvoylik yaxshilovchilaridan samarali foydalanish non ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatdi.*

Kalit so‘zlar: *non ishlab chiqarish, novvoylik yaxshilovchilari, ferment preparatlari, emulsifikatorlar, gidrokolloidlar, kleykovina, xamir kislotaliligi, xamir namligi, non sifati, saqlanish muddati.*

Аннотация: *В данной статье проведен анализ видов, классификации и функциональных свойств хлебопекарных улучшителей, применяемых в технологии производства хлеба. Изучено влияние хлебопекарных улучшителей на физико-химические и технологические свойства теста, включая динамику кислотности, влагоудерживающую способность, формирование структуры клейковины и показатели качества готовых хлебобулочных изделий. Установлено, что применение ферментных препаратов, эмульгаторов, гидроколлоидов и комплексных улучшителей способствует ускорению процесса созревания теста, улучшению объема и пористости хлеба, сохранению мягкости мякиша и увеличению срока хранения продукции. Полученные результаты показывают, что эффективное использование хлебопекарных улучшителей является важным направлением совершенствования технологии производства хлеба.*

Ключевые слова: *производство хлеба, хлебопекарные улучшители, ферментные препараты, эмульгаторы, гидроколлоиды, клейковина, кислотность теста, влажность теста, качество хлеба, срок хранения.*

Abstract: *This article analyzes the types, classification, and functional properties of bakery improvers used in bread production technology. The effects of bakery improvers on the physicochemical and technological properties of dough, including acidity dynamics, water-binding capacity, gluten structure formation, and quality indicators of finished bread products, were studied. The use of enzyme preparations, emulsifiers, hydrocolloids, and complex improvers*

accelerates dough maturation, improves bread volume and porosity, enhances softness, and increases shelf life. The obtained results demonstrate that the effective application of bakery improvers plays an important role in improving bread production technology.

Keywords: *bread production, bakery improvers, enzyme preparations, emulsifiers, hydrocolloids, gluten, dough acidity, dough moisture, bread quality, shelf life.*

KIRISH Non va non mahsulotlari inson oziq-ovqat ratsionida muhim o‘rin egallaydigan asosiy mahsulotlardan biri hisoblanadi. Zamonaviy nonvoylik sanoatida aholining sifatli, xavfsiz va yuqori iste’mol xususiyatlariga ega bo‘lgan mahsulotlarga bo‘lgan talabining ortishi ishlab chiqarish texnologiyalarini takomillashtirishni talab etmoqda. Ayniqsa, un sifatining o‘zgaruvchanligi, ishlab chiqarish jarayonlarini jadallashtirish va tayyor mahsulot sifatini barqarorlashtirish masalalari dolzarb hisoblanadi.

Non ishlab chiqarishda tayyor mahsulot sifatiga unning kimyoviy tarkibi, oqsil va kleykovina miqdori, fermentativ faolligi, suv yutish qobiliyati hamda xamir tayyorlash jarayonlari katta ta’sir ko‘rsatadi. Ushbu omillarning o‘zgarishi xamirning strukturaviy-mexanik xususiyatlari, bijg‘itish jarayoni, non hajmi, g‘ovakligi va saqlanish muddatiga bevosita ta’sir qiladi.

So‘nggi yillarda non ishlab chiqarish texnologiyasida novvoylik yaxshilovchilaridan foydalanish keng tarqalmoqda. Novvoylik yaxshilovchilari xamirning texnologik xususiyatlarini yaxshilash, kleykovina strukturasini mustahkamlash, fermentativ jarayonlarni boshqarish, nonning hajmi va g‘ovakligini oshirish hamda mahsulot sifatini barqarorlashtirish imkonini beradi.

Novvoylik yaxshilovchilari tarkibiga ferment preparatlari, emulsifikatorlar, oksidlovchi moddalar, gidrokolloidlar va kompleks funksional qo‘shimchalar kiradi. Ularning har biri xamir tarkibidagi jarayonlarga turlicha ta’sir ko‘rsatadi. Jumladan, ferment preparatlari kraxmal va oqsil almashinuv jarayonlarini boshqarsa, emulsifikatorlar xamir strukturasining barqarorligini oshiradi, gidrokolloidlar esa namlikni ushlab turish xususiyati orqali mahsulotning yangiligini saqlashga yordam beradi.

Shu sababli novvoylik yaxshilovchilarining xamirning fizik-kimyoviy va texnologik xususiyatlariga ta’sirini o‘rganish, ularning optimal qo‘llash sharoitlarini aniqlash non ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega.

ASOSIY QISM Novvoylik yaxshilovchilarining tasnifi va funksional xususiyatlari

Novvoylik yaxshilovchilari non ishlab chiqarish jarayonida qo‘llaniladigan va xamir hamda tayyor mahsulot sifatini yaxshilashga xizmat qiluvchi texnologik vositalardir. Ular ta’sir mexanizmi va tarkibiy xususiyatlariga ko‘ra bir necha guruhlarga bo‘linadi.

Oksidlovchi yaxshilovchilar, xususan askorbin kislotasi, un tarkibidagi oqsil moddalari bilan o‘zaro ta’sirlashib, kleykovina strukturasining mustahkamlanishiga yordam beradi. Natijada xamirning elastikligi va gazni ushlab qolish qobiliyati oshadi. Bu esa non hajmining ortishi va mag‘iz strukturasining yaxshilanishiga olib keladi.

Ferment preparatlari novvoylik sanoatida keng qo‘llaniladigan biologik faol yaxshilovchilar hisoblanadi. α-amilaza fermenti kraxmalning gidrolizlanish jarayonini tezlashtirib, achitqi mikroorganizmlari uchun zarur bo‘lgan qand moddalarining hosil bo‘lishini ta’minlaydi. Natijada bijg‘itish jarayoni faollashadi, gaz hosil bo‘lish darajasi oshadi va nonning hajm ko‘rsatkichlari yaxshilanadi. Ksilanaza fermentlari esa un tarkibidagi polisaxaridlarga ta’sir qilib, xamirning suv bog‘lash qobiliyatini va elastikligini oshiradi.

Emulsifikatorlar xamir tarkibidagi suv va yog‘ fazalarining barqarorligini ta’minlaydi. Ular xamir strukturasining shakllanishida ishtirok etib, gaz pufakchalarining saqlanishiga yordam beradi. Natijada nonning g‘ovakligi yaxshilanadi, mag‘iz yumshoqligi oshadi va mahsulotning qotish jarayoni sekinlashadi.

Gidrokolloidlar yuqori suv bog‘lash qobiliyatiga ega bo‘lgan moddalar bo‘lib, non mahsulotlarining namligini saqlashda muhim rol o‘ynaydi. Ularning qo‘llanilishi natijasida xamirning texnologik xususiyatlari yaxshilanadi, tayyor mahsulotning teksturasi barqarorlashadi va saqlanish muddati uzayadi.

Tadqiqot natijalari va muhokama

Novvoylik yaxshilovchilarining xamirning texnologik xususiyatlariga ta’sirini baholash maqsadida bijg‘itish jarayonida kislotalilik dinamikasi va xamir namligi o‘rganildi. Tajribalar nazorat namunasi hamda turli tarkibdagi yaxshilovchilar qo‘shilgan namunalar asosida olib borildi.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, barcha namunalarida bijg‘itish jarayoni davomida kislotalilikning ortishi kuzatildi. Bu holat xamirdagi spirtli va sut kislotali bijg‘itish jarayonlarining faol kechishi bilan izohlanadi. Nazorat namunasida (yaxshilovchisiz) kislotalilikning ortishi eng past bo‘lib, boshlang‘ich 2,2 gradusdan 60 daqiqadan so‘ng 2,8 gradusgacha oshgan. Bu holat unning kleykovina sifati va fermentativ faolligining nisbatan pastligi bilan bog‘liq.

Yaxshilovchilar qo‘shilgan namunalar esa yuqori kislotalilik ko‘rsatkichlarini namoyon etdi. Jumladan, “Super non”, “Likvid bazis” va “Premium + Likvid” namunalarida 60 daqiqalik bijg‘itishdan so‘ng kislotalilik mos ravishda 3,4; 3,0 va 3,2 gradusni tashkil etdi. Bu yaxshilovchilar tarkibidagi faol komponentlar achitqi mikroflorasining faolligini oshirib, gaz hosil bo‘lish jarayonini jadallashtirganligini ko‘rsatadi.

Eng yuqori natija “Mikrosoft” (yumshoqlik) yaxshilovchisi qo‘llanilgan namunada kuzatildi. Ushbu namunada 60 daqiqadan keyin kislotalilik 4,0 gradusga yetdi. Bu esa xamirning tezroq yetilishi va ishlab chiqarish jarayonini jadallashtirish imkonini beradi. Biroq yuqori kislotalilik mahsulot sifatiga salbiy ta’sir ko‘rsatmasligi uchun texnologik jarayonni nazorat qilish talab etiladi.

1-jadval

Novvoylik yaxshilovchilarining xamir kislotaliligiga ta’siri

Namuna	Boshlang‘ich kislotalilik, grad	30 daqiqadan keyin	60 daqiqadan keyin
Nazorat namunasi	2,2	2,6	2,8
Super non	2,4	2,8	3,4
Likvid bazis	2,0	2,4	3,0
Premium + Likvid	2,2	2,6	3,2
Yumshoqlik	2,8	3,4	4,0

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida novvoylik yaxshilovchilaridan foydalanish non ishlab chiqarish jarayonining texnologik samaradorligini oshirishi aniqlandi. Yaxshilovchilar xamirning strukturaviy-mexanik xususiyatlarini yaxshilash, bijg‘itish jarayonini faollashtirish, kleykovina strukturasini mustahkamlash hamda tayyor mahsulot sifat ko‘rsatkichlarini barqarorlashtirishda muhim ahamiyatga ega.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, yaxshilovchilar qo‘shilgan namunalarda xamir kislotaliligining oshishi kuzatildi. Bu holat yaxshilovchilar tarkibidagi faol komponentlar achitqi mikroflorasi faoliyatini kuchaytirib, bijg‘itish jarayonini jadallashtirganini ko‘rsatdi. Eng yuqori kislotalilik “Mikrosoft (yumshoqlik)” namunasi uchun qayd etilib, 60 daqiqalik bijg‘itishdan so‘ng 4,0 gradusni tashkil etdi.

Shuningdek, novvoylik yaxshilovchilaridan foydalanish xamirning namlikni bog‘lash qobiliyatini oshirdi. Nazorat namunasida xamir namligi 36,0 % bo‘lgan bo‘lsa, yaxshilovchilar qo‘llanilganda ushbu ko‘rsatkich 39,0–40,2 % oralig‘ida qayd etildi. Eng maqbul natija “Likvid bazis + Premium” namunasi uchun aniqlanib, xamir namligi 40,2 % ni tashkil etdi. Bu ko‘rsatkich non chiqishini oshirish va mahsulotning yumshoqligini uzoqroq saqlash imkonini beradi.

Umuman olganda, ferment preparatlari, emulsifikatorlar, gidrokolloidlar va kompleks yaxshilovchilardan oqilona foydalanish non ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirishning samarali yo‘nalishlaridan biridir. Ushbu qo‘shimchalar xamirning texnologik xususiyatlarini yaxshilaydi, nonning hajmi va g‘ovakligini oshiradi, namlikni saqlash qobiliyatini yaxshilaydi hamda tayyor mahsulotning sifat va saqlanish ko‘rsatkichlarini oshirish imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Ауэрман, Л. Я. Технология хлебопекарного производства / Л. Я. Ауэрман. – 9-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: Профессия, 2017. – 568 с.
2. Пучкова, Л. И., Поландова, Р. Д., Матвеева, И. В. Технология хлеба, кондитерских и макаронных изделий. Часть 1. Технология хлеба. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2005. – 557 с.
3. Чеботарев, О. Н., Мелешкина, Е. И. Современные хлебопекарные улучшители. – Санкт-Петербург: ГИОРД, 2010. – 328 с.
4. Goesaert, H., Brijs, K., Veraverbeke, W. S., Courtin, C. M., Gebruers, K., Delcour, J. A. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality // Trends in Food Science & Technology. – 2005. – Vol. 16, №1–3. – P. 12–30.
5. Smith, J. P., Hui, Y. H. Bakery Products: Science and Technology. – 2nd ed. – Wiley-Blackwell, 2014. – 744 p.
6. Saha, D., Bhattacharya, S. Hydrocolloids in breadmaking: a review // Food Hydrocolloids. – 2017. – Vol. 68. – P. 15–22.
7. Xolmurodov B.B., Ibragimov A.K., Mirzayev J.D., Raxmonov E.K., Sadullayev S.X., Umarov O.T. Non mahsulotlari ishlab chiqarish texnologiyasi. Darslik. – Qarshi: “Ilm-fan-ma’naviyat” nashriyoti, 2026. – 222.
8. Sadullayev S. Comparative evaluation of the physical and chemical properties of local triticale grain with other cereal varieties. – 2025.
9. Кретович, В. Л. Биохимия хлебопечения. – Москва: Наука, 2019. – 312 с.

UO‘K 621.315.592: 004.942

KREMNIYLI p^+-n-n^+ VA p^+-p-n^+ TUZILMALARINING CHEGARAVIY EKVIVALENTLIGINI TAQIQLANGAN ZONA TORAYISHI VA LEGIRLASHGA BOG‘LIQ TASHISH JARAYONLARI BELGILAYDI

Xayrullayeva Guljahon
Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti, Toshkent
tyutor-o‘qituvchi
Email: guljahonkhayrullaeva@gmail.com
Eshburiyeva Mavjuda Umbarovna
O‘zR FA U.A.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalar instituti
stajyor tadqiqotchi
ORCID: https://orcid.org/0009-0002-7535-1350
Email: eshburiyevamavjuda@gmail.com
Telefon: +998 97 747 32 67

Annotatsiya: *Bir o‘lchamli kremniyli p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ ko‘p qatlamli tuzilmalari ikkita mustaqil ochiq manbali drift-diffuziya yechuvchisi — DEVSIM va Sesame — yordamida, ikkala kod bir xil fizik modelni qo‘llashini ta’minlaydigan yagona umumiy parametrlar moduli asosida tahlil qilindi. Har ikkala qurilma 1 mkm p^+ qatlam, 4 mkm kuchsiz legirlangan baza va 1 mkm n^+ qatlamdan iborat bo‘lib, chekka legirlash 10^{19} sm^{-3} ni, baza legirlash esa ikkala tuzilmada qarama-qarshi tipdagi 10^{15} sm^{-3} ni tashkil etadi. Model taqiqlangan zonaning ko‘rinma torayishini, Masetti legirlashga bog‘liq harakatchanlikni, Sharfetter vaqt davomiyligini hamda Auger va nurlanish rekombinatsiyasini o‘z ichiga olagan va $n_i = 1{,}0740\times10^{10}$ sm^{-3} hisoblab chiqariladi. Kodlararo mos kelish o‘rtacha 0,067% (p^+-n-n^+) va 0,119% (p^+-p-n^+) ni tashkil etadi. Doimiy parametrli asosiy modeldan farqli o‘laroq, ikkala tuzilma chegaraviy jihatdan ekvivalent emas: to‘g‘ridan-to‘g‘ri tok zichliklari 0,48 V atrofida 41,3% gacha, 0,60 V da esa 10,8% gacha farqlanadi, ikkala yechuvchi bu farq bo‘yicha 0,03 foiz punktigacha mos keladi. Boshlang‘ich taqiqlangan zona torayishisiz model bilan takrorlash tuzilmaviy farqni 0,127% gacha kamaytiradi — bu oldingi ekvivalentlik xulosasining e'tiborga olinmagan fizika artefakti ekanini ko‘rsatadi. Ideallik koeffitsientlari 0,24 V dan past sohada 1,71-1,76 dan, 0,60 V dan yuqori sohada 1,06-1,09 gacha kamayadi. DEVSIM tokni 10^{-16} darajasigacha saqlaydi va qoldiq kodlararo farq esa kontakt chegara shartiga bog‘liq bo‘lib, Sesame kontakt rekombinatsiya tezligini DEVSIM ning ideal omik chegarasiga yaqinlashtirish 0,60 V dagi farqni 0,099% dan 0,006% gacha kamaytiradi.*

Kalit so‘zlar: *kremniy; p^+-n-n^+; p^+-p-n^+; drift-diffuziya; TCAD; kodlararo tekshirish; DEVSIM; Sesame; taqiqlangan zona torayishi; Auger rekombinatsiyasi; yuqori in'yeksiya.*

СУЖЕНИЕ ЗАПРЕЩЁННОЙ ЗОНЫ И ЗАВИСЯЩИЙ ОТ ЛЕГИРОВАНИЯ ПЕРЕНОС ОПРЕДЕЛЯЮТ ТЕРМИНАЛЬНУЮ ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ КРЕМНИЕВЫХ СТРУКТУР p^+-n-n^+ И p^+-p-n^+

Аннотация: Одномерные многослойные кремниевые структуры p^+-n-n^+ и p^+-p-n^+ были проанализированы с помощью двух независимых дрейфово-диффузионных решателей с открытым исходным кодом — DEVSIM и Sesame, использующих единый общий модуль параметров. Обе структуры состоят из слоя p^+ толщиной 1 мкм, слаболегированной базы толщиной 4 мкм и слоя n^+ толщиной 1 мкм; легирование на торцах — 10^{19} $см^{-3}$, базовое — 10^{15} $см^{-3}$ противоположного типа проводимости в двух структурах. Модель включает кажущееся сужение запрещённой зоны, подвижность Мазетти, времена жизни Шокли-Рида-Холла по модели Шарфеттера, а также оже- и излучательную рекомбинацию; $n_i = 1{,}0740\times10^{10}$ $см^{-3}$ вычисляется, а не задаётся извне. Среднее расхождение между решателями

составляет 0,067% (p^+-n-n^+) и 0,119% (p^+-p-n^+). В отличие от базовой модели с постоянными параметрами, две структуры не эквивалентны на клеммах: плотности прямого тока различаются до 41,3% вблизи 0,48 В и на 10,8% при 0,60 В, оба решателя согласуются в этом различии с точностью до 0,03 процентного пункта. Расчёт с прежней моделью без сужения запрещённой зоны снижает структурное различие до 0,127%, что указывает на артефакт неучтённой физики в ранее полученном результате. Коэффициенты идеальности снижаются с 1,71-1,76 ниже 0,24 В до 1,06-1,09 выше 0,60 В. DEVSIM сохраняет ток на уровне 10^{-16}; остаточное расхождение связано с граничным условием на контакте — приближение скорости контактной рекомбинации Sesame к идеальному омическому пределу DEVSIM снижает расхождение при 0,60 В с 0,099% до 0,006%.

Ключевые слова: *кремний; p^+-n-n^+; p^+-p-n^+; дрейфово-диффузионная модель; TCAD; межпрограммная проверка; DEVSIM; Sesame; сужение запрещённой зоны; оже-рекомбинация; высокий уровень инжекции.*

BAND-GAP NARROWING AND DOPING-DEPENDENT TRANSPORT CONTROL THE TERMINAL EQUIVALENCE OF SILICON p^+-n-n^+ AND p^+-p-n^+ STRUCTURES

Abstract: *One-dimensional silicon p^+-n-n^+ and p^+-p-n^+ multilayer structures were analysed with two independent open-source drift-diffusion solvers, DEVSIM and Sesame, driven from a single shared parameter module so that both codes solve the same physical model by construction. Both devices consist of a 1 µm p^+ layer, a 4 µm lightly doped base, and a 1 µm n^+ layer, with 10^{19} cm^{-3} terminal doping and a base magnitude of 10^{15} cm^{-3} of opposite conductivity type in the two structures. The model includes apparent band-gap narrowing, Masetti doping-dependent mobility, Scharfetter doping-dependent Shockley-Read-Hall lifetimes, and Auger and radiative recombination; $n_i = 1.0740 \times 10^{10}$ cm^{-3} follows from the effective densities of states rather than being imposed. Cross-solver agreement is 0.067 % (p^+-n-n^+) and 0.119 % (p^+-p-n^+) in mean absolute current difference. Contrary to a constant-parameter baseline, the two structures are not terminally equivalent: the forward current densities differ by up to 41.3 % near 0.48 V and by 10.8 % at 0.60 V, and the two solvers agree on this difference to within 0.03 percentage points. Repeating the calculation with the legacy constant-parameter model reduces the structural difference to 0.127 %, identifying the earlier near-equivalence as an artifact of omitted physics. Extracted ideality factors fall from about 1.71-1.76 below 0.24 V to 1.06-1.09 above 0.60 V. DEVSIM conserves current to the 10^{-16} level; the residual cross-solver difference traces to the contact boundary condition, and raising Sesame's contact recombination velocity towards DEVSIM's ideal ohmic limit reduces the difference at 0.60 V from 0.099 % to 0.006 %.*

Keywords: *silicon; p^+-n-n^+; p^+-p-n^+; drift-diffusion; TCAD; cross-validation; DEVSIM; Sesame; band-gap narrowing; Auger recombination; high injection.*

Kirish

Kuchli legirlangan chekka qatlamlar kuchsiz legirlangan oraliq qatlamni o‘rab turgan ko‘p qatlamli kremniy tuzilmalari to‘g‘irlagich, quvvat elektronikasi, detektor va optoelektronika qurilmalarining asosiy qurilish bloklari hisoblanadi. Ularning chegaraviy tok-kuchlanish xarakteristikasi nafaqat nominal p-n o‘tish, balki elektrostatik potensial, elektr maydon, asosiy va nomunosib tashuvchilarning fazoviy taqsimoti, hajmiy rekombinatsiya hamda elektron va kovak tok tarkibiy qismlarining nisbati bilan ham belgilanadi. p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ konfiguratsiyalari ushbu ta’sirlarni o‘rganish uchun nazorat qilinadigan juftlikni tashkil etadi: p^+-n-n^+ da asosiy p-n o‘tish p^+/n chegarasida joylashgan bo‘lib, undan keyin n/n^+ izotip o‘tish keladi, p^+-p-n^+ da esa p^+/p chegarasi izotip bo‘lib, asosiy o‘tish p/n^+ chegarasiga siljigan. Ikkala qurilma ham bir xil chekka legirlash darajasi va geometriyaga ega bo‘lib, faqat shu ikki elektrostatik hissaning ichki tartibi bilan farqlanadi.

Amaliy ahamiyatga ega savol-ushbu ichki farq chegaralarda saqlanib qoladimi degan masaladir. Oldingi doimiy parametrli hisoblash ushbu juftlikning to‘g‘ridan-to‘g‘ri xarakteristikalari deyarli mos kelishini, taxminan 0,13% farq borligini aniqlagan edi; bu natija doimiy past maydonli harakatchanliklar, har bir qatlam uchun yagona tashuvchi yashash vaqti davomiyligi, taqiqlangan zona torayishisiz va Auger rekombinatsiyasisiz olingan. Emitterlarning 10^{19} sm^{-3} legirlash darajasida esa bu taxminlarning birortasi ham asosli emas: Masetti harakatchanligi past legirlash qiymatidan bir tartib past, ko‘rinma taqiqlangan zona kengligi taxminan 60 meV ga toraygan, Shockley-Rid-Xoll yashash vaqti davomiyligi bazadagiga nisbatan uch tartib qisqaroq, Auger rekombinatsiyasi esa e'tiborga olmasa bo‘lmaydigan darajada. Shu sababli ushbu ishda taqqoslash fizik jihatdan izchil model bilan takrorlanadi va oldingi xulosaning to‘g‘riligi tekshiriladi.

Ikkinchi metodologik masala — yechuvchiga bog‘liqlik masalasidir: drift-diffuziya hisoblashlari nochiziqli bo‘lib, diskretlashtirish, chegara shartlari, to‘r zichligi va yaqinlashish strategiyasiga sezgir, shu sababli ikkinchi mustaqil yechuvchi bilan takrorlash kuchli tekshiruv hisoblanadi. Oldingi versiyada ikki kod Sesame ning qattiq belgilangan $n_i = 10^{10}$ sm^{-3} qiymatini takrorlashi uchun moslashtirilgan 1,099 eV effektiv taqiqlangan zona kengligi bilan kelishtirilgan edi; bu qadam mazkur ishda olib tashlangan — ikkala yechuvchi ham yagona umumiy parametrlar modulidan boshqariladi, n_i esa effektiv holatlar zichligi va taqiqlangan zona kengligidan hisoblab chiqariladi. Tadqiqotning maqsadi uch jihatdan iborat: ikki tuzilmaning ichki elektrostatik va tashish holatini izchil yuqori legirlash modeli asosida taqqoslash; butun hisoblashni ikkita mustaqil dasturda takrorlab qolgan nomuvofiqlikni miqdoriy baholash; hamda har bir fizik omilning hissasini oldingi doimiy parametrli model bilan taqqoslab ajratib olish.

Adabiyotlar tahlili

Ko‘p qatlamli yarim o‘tkazgich tuzilmalarni TCAD dasturiy vositalari yordamida modellashtirish sohasida so‘nggi yillarda sezilarli yutuqlarga erishildi. DEVSIM — chekli hajmlar usuliga asoslangan, foydalanuvchi tomonidan aniqlanadigan yarim o‘tkazgich tenglamalariga ega ochiq manbali TCAD dasturi bo‘lib, chekka elementlar asosidagi diskretlashtirish yordamida murakkab qurilma geometriyalarini modellashtirish imkonini beradi [1-3]. Sesame esa klassik drift-diffuziya-Puasson tizimini yechuvchi mustaqil ochiq manbali dastur bo‘lib, quyosh elementlari kabi fotoelektrik qurilmalarni modellashtirish uchun ishlab chiqilgan [2].

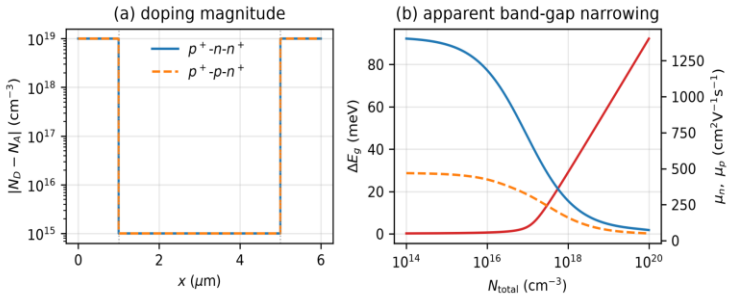
Kuchli legirlangan yarim o‘tkazgichlarda taqiqlangan zonaning ko‘rinma torayishi tashish xususiyatlariga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Yan va Kuevas n^+ va p^+ kremniyda taqiqlangan zona torayishining empirik qiymatlarini aniqlagan [4,5], bu qiymatlar hozirgi ishda foydalanilgan Slotboom/del Alamo parametrizatsiyasining asosini tashkil etadi. Fell va boshqalar nurlanish rekombinatsiyasining tashuvchilar kontsentratsiyasiga bog‘liqligini modellashtirgan [6], Blek va Makdonald kristall kremniyda Auger rekombinatsiyasini miqdoriy baholagan [7], Nyuvelt va boshqalar esa ichki hajmiy rekombinatsiyani qayta baholagan [8]. Legirlashga bog‘liq harakatchanlik borasida Leveille va boshqalar ionlashgan aralashma sochilishini hisobga olgan holda harakatchanlikni birinchi prinsiplar asosida hisoblagan [9], Rod va Setnar ko‘p martali sochilishni hisobga oluvchi elektron harakatchanligi modelini taklif qilgan [10]. Bushik va Kioupakis fononlar yordamida amalga oshadigan Auger-Meytner rekombinatsiyasini o‘rgangan [11], Kostilyov va boshqalar esa lovushka yordamidagi Auger ekssiton rekombinatsiyasining quyosh elementlari samaradorligiga ta’sirini tahlil qilgan [12].

Ushbu tadqiqotlarning aksariyati alohida fizik mexanizmlarni yoki bitta dastur doirasidagi hisoblashlarni qamrab oladi. Biroq p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ kabi, bir xil chekka legirlash va geometriyaga ega, faqat baza o‘tkazuvchanlik tipi bilan farqlanuvchi ikkita qurilmaning to‘g‘ridan-to‘g‘ri xarakteristikalari barcha yuqoridagi fizik effektlar bir vaqtda va ikkita mustaqil dastur bilan tekshirilgan holda deyarli o‘rganilmagan. Mazkur tadqiqot aynan ushbu bo‘shliqni to‘ldirishga qaratilgan bo‘lib, fizik jihatdan izchil model asosida ikki tuzilmani taqqoslaydi va bu taqqoslashni ikkita mustaqil yechuvchi — DEVSIM va Sesame — yordamida tekshiradi.

Tadqiqot metodologiyasi

Qurilma geometriyasi va legirlash. Ikkala tuzilma L = 6 mkm umumiy qalinlikka ega bir o‘lchamli kremniy plastinka bo‘lib, quyidagi qatlamlardan tashkil topgan: 0 < x < 1 mkm — kuchli legirlangan p^+ hudud ($N_A = 1{,}0\times10^{19}$ sm^{-3}); 1 < x < 5 mkm — kuchsiz legirlangan baza ($|N_{baza}| = 1{,}0\times10^{15}$ sm^{-3}, p^+-n-n^+ uchun donor tipida, p^+-p-n^+ uchun aktseptor tipida); 5 < x < 6 mkm — kuchli legirlangan n^+ hudud ($N_D = 1{,}0\times10^{19}$ sm^{-3}).

Har ikkala strukturada 1 μm qalinlikdagi p^+ qatlam, 4 μm qalinlikdagi kuchsiz legirlangan baza va 1 μm qalinlikdagi n^+ qatlam mavjud.



1-rasm. p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ tuzilmalarida net legirlash profili, taqiqlangan zona kengligining torayishi va tashuvchilar harakatchanligining legirlash konsentratsiyasiga bog‘liqligi.

1-rasmda ikkita asosiy fizik bog‘liqlik ko‘rsatilgan. Birinchi qismda p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ tuzilmalarining net legirlash profili, ikkinchi qismida esa legirlash konsentratsiyasiga bog‘liq taqiqlangan zona kengligining qisqarishi va elektron hamda kovaklar harakatchanligining o‘zgarishi tasvirlangan.

Yuqori legirlash konsentratsiyasi 10^{19} cm^{-3} ga yetganda taqiqlangan zona qisqarishi 60,5 meV ga yetadi. Shu bilan birga, tashuvchilar harakatchanligi keskin kamayadi. Bu holat yuqori legirlangan emitter sohalarida tok hosil bo‘lish mexanizmini oddiy, o‘zgarmas material parametrlari yordamida tavsiflash yetarli emasligini ko‘rsatadi.

Modelda taqiqlangan zona qisqarishi Slotboom/del Alamo parametrizatsiyasi orqali aniqlangan. Shuningdek, harakatchanlik Masetti modeli asosida legirlash konsentratsiyasining lokal qiymatiga bog‘langan.

Fizik model. Barcha material parametrlari ikkala dastur tomonidan import qilinadigan yagona umumiy modulda bir marta aniqlangan, bunda hech bir dasturga n_i, dielektrik singdiruvchanlik, harakatchanlik, yashash vaqti davomiyligi yoki taqiqlangan zona kengligining o‘z qiymatini belgilashga ruxsat berilmagan. Zona parametrlari sifatida Grinning qiymatlari qabul qilingan: $N_C = 2{,}86\times10^{19}$ sm^{-3}, $N_V = 3{,}10\times10^{19}$ sm^{-3} va $E_{g0} = 1{,}1242$ eV (300 K da), bulardan $n_i = \sqrt{(N_C N_V)}\cdot\exp(-E_{g0}/2kT) = 1{,}0740\times10^{10}$ sm^{-3} kelib chiqadi. Taqiqlangan zonaning ko‘rinma torayishi Slotboom/del Alamo parametrizatsiyasiga ($E_{ref} = 6{,}92$ meV, $N_{ref} = 1{,}3\times10^{17}$ sm^{-3}) bo‘ysinadi va o‘tkazuvchanlik hamda valent zona chetlariga simmetrik ravishda taqsimlanadi. Past maydonli harakatchanliklar mahalliy umumiy legirlash darajasida baholangan Masetti modeliga bo‘ysinadi, bunda Klaassen kabi tashuvchi kontsentratsiyasiga bog‘liq model o‘rniga aynan legirlashga bog‘liq model tanlangan, chunki faqat shu model bo‘lakli doimiy material xususiyatlarini qabul qiluvchi yechuvchida aniq takrorlanishi mumkin. Shockley-Rid-Xoll yashash vaqti davomiyligi Sharfetter munosabatiga ($\tau_{n,maks} = 10$ mks, $\tau_{p,maks} = 3$ mks, $N_{ref} = 10^{16}$ sm^{-3}) bo‘ysinadi, Auger rekombinatsiyasi uchun Dziewior-Schmid koeffitsientlari, nurlanish rekombinatsiyasi uchun Trupke koeffitsienti qo‘llanilgan (1- va 2-jadvallar).

1-jadval. Simulyatsiyada qo‘llanilgan asosiy fizik parametrlar.

Parametr	Belgi	Qiymat
Harorat	T	300 K
Termal kuchlanish	V_T	25.852 mV

Nisbiy dielektrik singdiruvchanlik	ε_r	11.7
O‘tkazuvchanlik / valent zona holatlar zichligi	N_C / N_V	$2{,}86\times10^{19}$ / $3{,}10\times10^{19}$ sm^{-3}
Toraymagan taqiqlangan zona kengligi	E_{g0}	1,1242 eV
Ichki kontsentratsiya (hisoblangan)	n_i	$1{,}0740\times10^{10}$ sm^{-3}
SRH yashash vaqti davomiyligi prefaktorlari	$\tau_{n,maks}/\tau_{p,maks}$	10/3 mks
Auger koeffitsientlari	C_n/C_p	$2{,}8\times10^{-31}$ / $0{,}99\times10^{-31}$ sm^6/s
Nurlanish koeffitsienti	B	$4{,}73\times10^{-15}$ sm^3/s

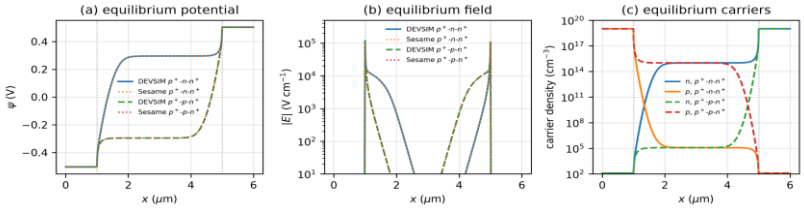
Legirlashdan kelib chiqadigan qatlam qiymatlari (ikkala yechuvchi uchun bir xil) quyidagicha: ΔE_g emitterlarda 60,50 meV, bazada esa atigi 0,354 meV ni tashkil etadi; n_{ie} emitterlarda $3{,}4608\times10^{10}$ sm^{-3}, bazada $1{,}0814\times10^{10}$ sm^{-3} ga teng. Masetti harakatchanligi emitterlarda μ_n = 114,78 va μ_p = 73,17 $sm^2/(V\cdot s)$ gacha, bazada esa μ_n = 1362,06 va μ_p = 461,05 $sm^2/(V\cdot s)$ gacha yetadi; Sharfetter yashash vaqti davomiyligi mos ravishda emitterlarda nanosoniya, bazada esa mikrosoniya tartibida (τ_n = $9{,}99\times10^{-9}$ / $9{,}09\times10^{-6}$ s, τ_p = $3{,}00\times10^{-9}$ / $2{,}73\times10^{-6}$ s) o‘zgaradi.

Boshqaruvchi tenglamalar. Elektrostatik potensial Puasson tenglamasiga bo‘ysinadi: $d/dx\,(\varepsilon_{Si}\, d\psi/dx) = -q\,[p - n + N_D - N_A]$, $E = -d\psi/dx$, tashuvchi oqimlari esa $D = \mu V_T$ Eynshteyn munosabati bilan bog‘langan drift-diffuziya toklaridir, bular statsionar holatda $J_{tot} = J_n + J_p$ fazoviy jihatdan doimiy qoladi. n_{ie} fazoda o‘zgargani sababli, Sharfetter-Gummel diskretlashtirilishida tashuvchi zona potensiallari ψ_n va ψ_p qo‘llaniladi — bu Sesameda ichki qo‘llaniladigan model bilan sonli jihatdan bir xildir. Muvozanat holatida zaryad neytralligi n^+/p^+ qatlamlarda $\psi = \pm0{,}503642$ V, bazada $\pm0{,}295610$ V ni beradi; umumiy potensial oralig‘i 1,007285 V bo‘lib, taqiqlangan zona torayishi uni $n_{ie} = n_i$ bilan olingan natijaga nisbatan 64 mV ga kamaytiradi.

DEVSIM va Sesame amalga oshirilishi hamda taqqoslash mezonlari. Qurilma chekli hajmlar usulida diskretlashtirilib, hajmiy oraliq 0,02 mkm, o‘tish nuqtalarida 0,002 mkm gacha aniqlashtirilgan (2257 tugun); kontaktlar ideal omik deb qabul qilingan, kuchlanish 0 dan 0,80 V gacha 59 nuqtali to‘rda qo‘llangan. Bir xil qurilma Sesame'da mustaqil ravishda 700 tugunli boshqa to‘rda qayta qurilgan, taqiqlangan zona torayishi $E_g = E_{g0} - \Delta E_g$ va $\Delta E_g/2$ ga oshirilgan elektromoyillik orqali kiritilgan; kontaktlar $S_n = S_p = 10^7$ sm/s rekombinatsiya tezligiga ega. Ikkala yechuvchi bir xil kuchlanish to‘ridan foydalangani sababli barcha taqqoslashlar nuqtama-nuqta amalga oshirilgan; kodlararo farq $\delta_J(V)$, tuzilmaviy farq $\Delta_{struct}(V)$ va mahalliy ideallik koeffitsienti $n_{id}(V) = (1/V_T)(d\ln J/dV)^{-1}$ shu tarzda baholangan. Fizik va sonli ta’sirni ajratish uchun har bir hisoblash taqiqlangan zona torayishi, Auger va nurlanish rekombinatsiyasi o‘chirilgan, harakatchanliklar 1350/480 $sm^2/(V\cdot s)$ da qat'iy belgilangan, yashash vaqti davomiyligi barcha qatlamlarda 1 mks qilib olingan eski (legacy) model bilan ham takrorlangan.

Natijalar va ularning tahlili

Muvozanat elektrostatikasi va tashuvchilar. Muvozanat holatida p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ tuzilmalarida elektrostatik potensial, elektr maydon kuchlanganligi va tashuvchilar konsentratsiyasi hisoblandi.



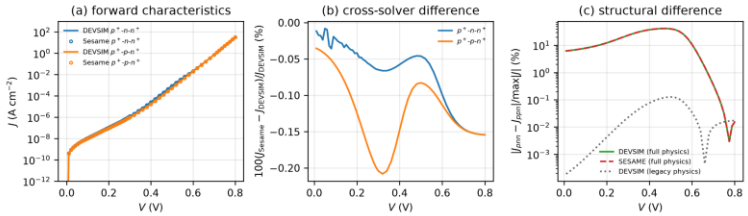
2-rasm. p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ tuzilmalarida muvozanat holatidagi elektrostatik potensial, elektr maydon va tashuvchilar konsentratsiyasining fazoviy taqsimoti.

2-rasmdagi natijalar har ikkala hisoblash usulida umumiy potensial farqning 1,007285 V ekanligini ko‘rsatadi. Biroq baza o‘tkazuvchanlik turining o‘zgarishi asosiy potensial tushuvi va fazoviy zaryad sohasining joylashuviga ta’sir qiladi. p^+-n-n^+ tuzilmasida baza potensiali musbat, p^+-p-n^+ tuzilmasida esa manfiy qiymatga ega bo‘ladi. p^+-n-n^+ tuzilmasi bazasining markazida elektronlar konsentratsiyasi $9{,}998 \times 10^{14}$ cm^{-3}, kovaklar konsentratsiyasi esa $1{,}170 \times 10^{5}$ cm^{-3} ni tashkil qiladi. p^+-p-n^+ tuzilmasida esa ushbu qiymatlar o‘zaro almashadi. Bu natija baza o‘tkazuvchanlik turining o‘zgarishi asosiy tashuvchi turini to‘liq almashtirishini ko‘rsatadi.

Baza platosi p^+-n-n^+ da +0,295606 V da, p^+-p-n^+ da esa −0,295605 V da joylashgan bo‘lib, baza tipi teskari bo‘lganda potensial tushishi p^+/n dan p/n^+ chegarasiga ko‘chadi. Baza markazida p^+-n-n^+ $n = 9{,}998\times10^{14}$ sm^{-3} va $p = 1{,}170\times10^{5}$ sm^{-3} ni beradi, p^+-p-n^+ esa almashtirilgan populyatsiyalarni. Emitterlardagi n_{ie} bazadagiga qaraganda 3,22 marta yuqori bo‘lib, n_{ie}^2 da 10,4 martalik oshishga mos keladi — bu emitterning qorong‘i tokka qo‘shgan hissasi katta bo‘lishining asosiy sababidir.

To‘g‘ridan-to‘g‘ri xarakteristikalar va tuzilmaviy farq. O‘rtacha absolyut kodlararo farq p^+-n-n^+ uchun 0,067%, p^+-p-n^+ uchun 0,119% ni tashkil etadi (2-jadval) — bu oldingi doimiy parametrli tekshiruvning 0,94% o‘rtacha farqidan sezilarli yaxshi.

To‘g‘ri yo‘nalishdagi kuchlanish oshirilganda p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ tuzilmalarining terminal toklarida sezilarli farq kuzatiladi.



3-rasm. p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ tuzilmalarining to‘g‘ri yo‘nalishdagi tok-kuchlanish xarakteristikalari.

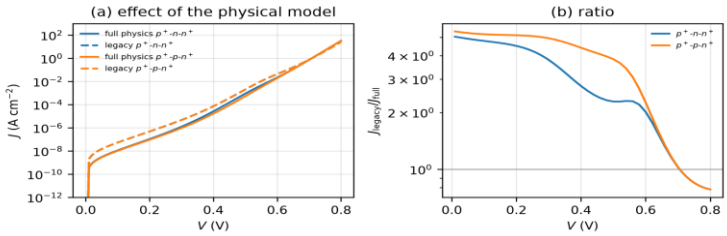
3-rasmdan ko‘rinadiki, tuzilmalar orasidagi eng katta tok farqi 0,48 V atrofida kuzatiladi va 41,3 % ga yetadi. 0,60 V kuchlanishda farq 10,8 % ni tashkil etadi. Kuchlanish 0,80 V ga yetganda esa farq 0,015 % gacha kamayadi.

Bunday farqning asosiy sababi bazadagi minoritar tashuvchilarning transport xususiyatlari bilan bog‘liq. p^+-n-n^+ tuzilmasida minoritar tashuvchilar kovaklar, p^+-p-n^+ tuzilmasida esa elektronlar hisoblanadi. Ularning harakatchanligi va diffuziya koeffitsiyentlari farqli bo‘lgani sababli terminal toklar ham bir xil bo‘lmaydi.

2-jadval. Ikkala yechuvchidan olingan to‘g‘ridan-to‘g‘ri tok zichliklari (A/sm^2), umumiy kuchlanish to‘rida.

V (V)	DEVSIM p^+-n-n^+	Sesame p^+-n-n^+	δ (%)	DEVSIM p^+-p-n^+	Sesame p^+-p-n^+	δ (%)
0.10	1.1242×10^{-8}	1.1239×10^{-8}	−0.022	1.0361×10^{-8}	1.0355×10^{-8}	−0.059
0.20	1.0711×10^{-7}	1.0706×10^{-7}	−0.042	9.4044×10^{-7}	9.3927×10^{-8}	−0.124
0.30	1.2418×10^{-6}	1.2410×10^{-6}	−0.065	9.5422×10^{-7}	9.5227×10^{-7}	−0.204
0.40	2.6351×10^{-5}	2.6335×10^{-5}	−0.058	1.6544×10^{-5}	1.6520×10^{-5}	−0.148
0.50	8.9302×10^{-4}	8.9261×10^{-4}	−0.046	5.3366×10^{-4}	5.3322×10^{-4}	−0.083
0.60	2.1606×10^{-2}	2.1584×10^{-2}	−0.099	1.9272×10^{-2}	1.9251×10^{-2}	−0.113
0.70	7.3532×10^{-1}	7.3425×10^{-1}	−0.146	7.3274×10^{-1}	7.3166×10^{-1}	−0.147
0.80	3.2266×10^{1}	3.2216×10^{1}	−0.154	3.2271×10^{1}	3.2221×10^{1}	−0.154

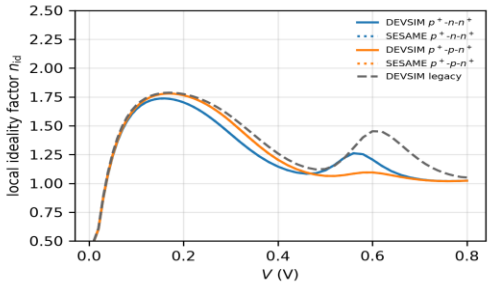
Alohida fizik omillarning hissasi. Natijalarni soddalashtirilgan, material parametrlari doimiy deb qabul qilingan model bilan taqqoslash muhimdir.



4-rasm. To‘liq fizik model va doimiy parametrli soddalashtirilgan model uchun p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ tuzilmalarining tok-kuchlanish xarakteristikalari.

4-rasm natijalari soddalashtirilgan modelda p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ tuzilmalari deyarli ekvivalent ko‘rinishini ko‘rsatadi. Strukturaviy farq atigi 0,127–0,128 % gacha kamayadi. Biroq bu natija haqiqiy fizik ekvivalentlikni emas, balki , taqiqlangan zona kengligining torayishi, Auger rekombinatsiyasi, legirlashga bog‘liq harakatchanlik va tashuvchilar yashash vaqtining hisobga olinmaganligini aks ettiradi.

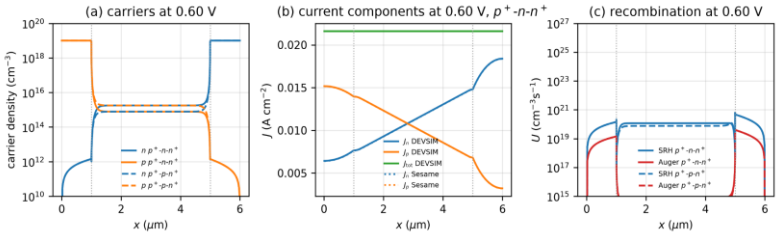
Ideallik koeffitsienti va ichki holat. Tok-kuchlanish xarakteristikasining mexanizmini chuqurroq aniqlash uchun lokal ideallik koeffitsiyentining kuchlanishga bog‘liqligi tahlil qilindi.



5-rasm. p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ tuzilmalarida lokal ideallik koeffitsiyentining to‘g‘ri kuchlanishga bog‘liqligi.

5-rasmdan ko‘rinadiki, ideallik koeffitsiyenti kuchlanishning butun oralig‘ida doimiy emas. 0,10–0,24 V oralig‘ida uning qiymati p^+-n-n^+ uchun 1,7119, p^+-p-n^+ uchun esa 1,7593 atrofida bo‘ladi. 0,60–0,70 V oralig‘ida esa koeffitsiyent mos ravishda 1,0948 va 1,0632 gacha kamayadi.

Yuqori kuchlanishlarda injeksiya darajasi ortishi bilan baza sohasidagi tashuvchilar konsentratsiyasi sezilarli darajada o‘zgaradi.



6-rasm. p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ tuzilmalarining 0,60 V kuchlanishdagi tashuvchilar konsentratsiyasi, tok komponentlari va rekombinatsiya tezliklarining fazoviy taqsimoti.

6-rasm 0,57–0,60 V oralig‘ida kuzatiladigan ikkilamchi maksimum yuqori injeksiya rejimining boshlanishi bilan bog‘liq. Bu maksimum p^+-n-n^+ tuzilmasida taxminan 1,26, p^+-p-n^+ tuzilmasida esa 1,10 qiymatga yetadi. Mahalliy ideallik koeffitsienti 0,16 V atrofida 1,74 gacha ko‘tariladi va 0,57-0,60 V atrofida bazada yuqori in'yeksiya boshlanishini bildiruvchi ikkinchi maksimumni namoyon etadi: p^+-n-n^+ uchun 1,26, p^+-p-n^+ uchun 1,10 (eski model esa 1,45 gacha oshirib ko‘rsatadi). 0,60 V da p^+-n-n^+ bazasida $n = 1{,}785\times10^{15}$ va $p = 7{,}853\times10^{14}$ sm^{-3} bo‘lib, 0,80 V da ikkala zichlik ham $5{,}5\times10^{16}$ sm^{-3} ga yetadi va baza kuchli o‘tkazuvchanlik modulyatsiyasiga uchraydi; Auger rekombinatsiyasi 0,60 V da rekombinatsiya tokining 3,3%, 0,80 V da 7,9% ini

tashkil etadi. $V \geq 0{,}30$ V uchun DEVSIM yechimi tokni yumaloqlash darajasigacha saqlaydi; qoldiq kodlararo farq kontakt chegara shartiga bog‘liq — Sesamening kontakt rekombinatsiya tezligini DEVSIMning ideal omik chegarasiga yaqinlashtirish 0,60 V dagi farqni 0,006% gacha kamaytiradi.

Asosiy natija shundan iboratki, ilgari qayd etilgan chegaraviy ekvivalentlik kuchli legirlangan hududlarning izchil tavsifiga bardosh bermaydi: doimiy parametrli modelda farq 0,13% dan oshmasa, to‘liq model bilan 41% gacha yetadi. Sabab — baza to‘g‘ridan-to‘g‘ri kuchlanishda qarama-qarshi tipdagi nomunosib tashuvchilarni olib yuradi, baza tashish koeffitsientlari esa simmetrik emas (10^{15} sm^{-3} da Masetti harakatchanliklari 1362 va 461 $sm^2/(V \cdot s)$); doimiy parametrli modelda bu assimetriya juda uzun yashash vaqti davomiyligi orqasida yashiringan. Farq baza past-o‘rta in'yeksiyada bo‘lgan 0,48 V rejimida maksimal bo‘lib, 0,7 V dan yuqorida yo‘qoladi; qolgan taxminan 0,1% kodlararo farq esa kontakt chegara shartidagi haqiqiy farqqa bog‘liq. Boltsman statistikasi, tashuvchi-tashuvchi sochilishi va tezlik to‘yinishi kabi effektlar hisobga olinmagan; keyingi davomlar sifatida gradientli legirlash profillari va chekli sirt rekombinatsiya tezliklarini kiritish ko‘rsatilishi mumkin.

Xulosalar

Ushbu tadqiqot shuni ko‘rsatadiki, kuchli legirlangan kremniyning tashish fizikasi izchil tarzda hisobga olinganda, kremniyli p^+-n-n^+ va p^+-p-n^+ ko‘p qatlamli tuzilmalari chegaraviy jihatdan ekvivalent emas. Taqiqlangan zonaning ko‘rinma torayishi, legirlashga bog‘liq harakatchanlik va tashuvchi yashash vaqti davomiyligi hamda Auger va nurlanish rekombinatsiyasini kiritish to‘g‘ridan-to‘g‘ri tokning 0,48 V yaqinida maksimal 41,3% va 0,60 V da 10,8% farqiga olib keladi; bu farq ikkala qurilma ham yuqori in'yeksiya rejimiga kirgan 0,7 V dan yuqorida kamayadi. Farqning asosiy manbai kuchsiz legirlangan bazadagi assimetrik nomunosib tashuvchi tashishidir: baza o‘tkazuvchanlik tipini teskari qilish elektronlar yoki kovaklarning in'yeksiya qilingan nomunosib tashuvchi sifatida ishtirok etishini, demak effektiv diffuziya va rekombinatsiya tashishini o‘zgartiradi. Buning aksicha, soddalashtirilgan doimiy parametrli model maksimal tuzilmaviy farqni atigi 0,127% gacha kamaytiradi, bu esa ilgari kuzatilgan deyarli ekvivalentlik ikki tuzilmaning ichki simmetriyasidan emas, balki e'tiborga olinmagan material fizikasidan kelib chiqqanligini ko‘rsatadi.

DEVSIM va Sesame bilan mustaqil hisoblashlar bu natijani tasdiqlaydi: ikki yechuvchi o‘rtasidagi o‘rtacha absolyut farq p^+-n-n^+ uchun atigi 0,067%, p^+-p-n^+ uchun 0,119% ni tashkil etadi. Qoldiq kichik nomuvofiqlik asosan sonli diskretlashtirish emas, balki turli kontakt chegara shartlari bilan bog‘liq. Hozirgi kodlararo tekshirilgan model shu tariqa Fermi-Dirak statistikasi, gradientli legirlash profillari va eksperimental taqqoslashni o‘z ichiga oluvchi keyingi tadqiqotlar uchun ishonchli asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. J J. E. Sanchez, “DEVSIM: A TCAD Semiconductor Device Simulator,” Journal of Open Source Software, vol. 7, no. 70, 3898, 2022. doi: 10.21105/joss.03898.

2. B. Gaury, Y. Sun, P. Bermel, and P. M. Haney, “Sesame: A 2-dimensional solar cell modeling tool,” Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 198, pp. 53–62, 2019. doi: 10.1016/j.solmat.2019.03.037.

3. J. E. Sanchez and Q. Chen, “Element Edge Based Discretization for TCAD Device Simulation,” IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 68, no. 11, pp. 5414–5420, 2021. doi: 10.1109/TED.2021.3094776.

4. D. Yan and A. Cuevas, “Empirical determination of the energy band gap narrowing in highly doped n^+)silicon,” Journal of Applied Physics, vol. 114, no. 4, 044508, 2013. doi: 10.1063/1.4816694.

5. D. Yan and A. Cuevas, “Empirical determination of the energy band gap narrowing in p^+ silicon heavily doped with boron,” Journal of Applied Physics, vol. 116, no. 19, 194505, 2014. doi: 10.1063/1.4902066.

6. A. Fell, T. Niewelt, B. Steinhauser, F. D. Heinz, M. C. Schubert, and S. W. Glunz, “Radiative recombination in silicon photovoltaics: Modeling the influence of charge carrier densities and photon recycling,” Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 230, 111198, 2021. doi: 10.1016/j.solmat.2021.111198.

7. L. E. Black and D. H. Macdonald, “On the quantification of Auger recombination in crystalline silicon,” Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 234, 111428, 2022. doi: 10.1016/j.solmat.2021.111428.

8. T. Niewelt, B. Steinhauser, A. Richter, B. A. Veith-Wolf, A. Fell, B. Hammann, N. E. Grant, L. Black, J. Tan, A. Youssef, J. D. Murphy, J. Schmidt, M. C. Schubert, and S. W. Glunz, “Reassessment of the intrinsic bulk recombination in crystalline silicon,” Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 235, 111467, 2022. doi: 10.1016/j.solmat.2021.111467.

9. J. Leveillee, X. Zhang, E. Kioupakis, and F. Giustino, “Ab initio calculation of carrier mobility in semiconductors including ionized-impurity scattering,” Physical Review B, vol. 107, 125207, 2023. doi: 10.1103/PhysRevB.107.125207.

10. D. L. Rode and J. S. Cetnar, “Electron mobility of heavily doped semiconductors including multiple scattering by ionized impurities,” Journal of Applied Physics, vol. 134, 075701, 2023. doi: 10.1063/5.0165201.

11. K. Bushick and E. Kioupakis, “Phonon-Assisted Auger–Meitner Recombination in Silicon from First Principles,” Physical Review Letters, vol. 131, 076902, 2023. doi: 10.1103/PhysRevLett.131.076902.

12. V. P. Kostylyov, A. V. Sachenko, M. Evstigneev, I. O. Sokolovskyi, and A. I. Shkrebtii, “Characterization and optimization of high-efficiency crystalline silicon solar cells: Impact of recombination in the space charge region and trap-assisted Auger exciton recombination,” Journal of Applied Physics, vol. 137, 023101, 2025. doi: 10.1063/5.0239369.

Synthesis and Characterization of Organomineral Fertilizers Based on Local Raw Materials and Agroores: Cattle Manure, Poultry Litter, Bentonite, and Phosphorite Flour

Zuhriddin Vokkosov
t.f.f.d., PhD,
Namangan State Technical University,
Republic of Uzbekistan, Namangan
E-mail: mr.vzk3001@gmail.com

ABSTRACT

Background and Aim. *The increasing demand for phosphorus- and nitrogen-containing fertilizers, combined with limited reserves of processed phosphate concentrates, necessitates the development of alternative fertilizer technologies based on locally available raw materials. This study aimed to develop and investigate the production of organomineral fertilizers (OMFs) from cattle manure (CM), poultry litter (PL), bentonite (B), and phosphorite flour (PF), with and without mineral additives (H_3PO_4, KCl, and urea), evaluate their agrochemical properties, and assess the technical-economic feasibility of their production.*

Methods. *Laboratory-scale composting experiments were conducted for 1–35 days at 35–40 °C with moisture maintained at 70%. Four formulation variants were investigated: CM:PL:B:PF = 100:25:10:10; CM:B:PF:H_3PO_4 = 100:5:5:4; CM:B:PF:KCl = 100:5:5:0.4; and CM:B:PF:urea = 100:5:5:0.4. Total and available P_2O_5, total nitrogen, organic matter (OM), humic acids (HA), fulvic acids (FA), and water-soluble organic matter (WSOM) were determined. Physical properties (hygroscopic point, bulk density, angle of repose, flowability) and elemental composition (EDX/SEM) were measured. Material balance and techno-economic calculations were performed for 1000 kg of finished product.*

Results. *After 35 days of composting, the CM:PL:B:PF variant yielded OMF with total P_2O_5 of 1.13%, available P_2O_5 of 50.08%, N of 0.78%, OM of 31.63%, and a humification degree of 63.18%. The H_3PO_4-treated variant (CM:B:PF:H_3PO_4 = 100:5:5:4) showed the highest available P_2O_5 (75.55%) and N (1.565%), with organic matter loss reduced to 12.12% and humification degree reaching 64.67%. Urea addition (CM:B:PF:urea = 100:5:5:0.4) provided the highest nitrogen content (1.940%) owing to urease-mediated ammonium transformation. Hygroscopic points of 79–83% classify all products as practically non-hygroscopic. Profitability ranged from 63.5% to 72.8%, with production costs 1.7–2.7 times lower than commercial mineral fertilizers.*

Conclusions. *Local agricultural wastes and agroores can be efficiently converted into high-quality organomineral fertilizers with competitive agrochemical and economic characteristics. The developed technology is scalable, low-cost, and environmentally sustainable, providing a promising pathway for reducing dependence on imported mineral fertilizers in Uzbekistan and similar agricultural regions.*

Keywords: *organomineral fertilizer; composting; cattle manure; bentonite; phosphorite flour; humic acids; phosphorus availability; techno-economic analysis; Uzbekistan*

Синтез и характеристика органоминеральных удобрений на основе местного сырья и агропродукции: коровий навоз, птичий помет, бентонит и фосфоритовая мука

Воккосов Зухриддин
т.ф.п.н., PhD,
Наманганский государственный технический университет,
Республика Узбекистан, г. Наманган

АННОТАЦИЯ

Предпосылки и цель. *Растущий спрос на фосфорсодержащие и азотсодержащие удобрения в сочетании с ограниченными запасами переработанных фосфатных*

концентратов обуславливает необходимость разработки альтернативных технологий производства удобрений на основе местного сырья. Целью данного исследования было разработать и изучить производство органоминеральных удобрений (ОМУ) из коровьего навоза (КН), птичьего помета (ПП), бентонита (Б) и фосфоритовой муки (ФМ) с минеральными добавками (H_3PO_4, KCl и мочевина) и без них, оценить их агрохимические свойства и оценить технико-экономическую целесообразность их производства.

Методы. *Лабораторные эксперименты по компостированию проводились в течение 1–35 дней при температуре 35–40 °C с поддержанием влажности на уровне 70%. Были исследованы четыре варианта состава: КН:ПП:Б:ФМ = 100:25:10:10; КН:Б:ФМ:H_3PO_4 = 100:5:5:4; КН:Б:ФМ:KCl = 100:5:5:0,4; и КН:Б:ФМ:мочевина = 100:5:5:0,4. Были определены общее и доступное содержание P_2O_5, общий азот, органическое вещество (ОВ), гуминовые кислоты (ГК), фульвокислоты (ФК) и водорастворимое органическое вещество (ВРО). Измерены физические свойства (точка гигроскопичности, насыпная плотность, угол естественного откоса, текучесть) и элементный состав (EDX/SEM). Для 1000 кг готового продукта были выполнены материальный баланс и технико-экономические расчеты.*

Результаты. *После 35 дней компостирования вариант КН:ПП:Б:ФМ дал органическое вещество с общим содержанием P_2O_5 1,13%, доступным P_2O_5 50,08%, азотом 0,78%, органическим веществом 31,63% и степенью гумификации 63,18%. Вариант, обработанный H_3PO_4 (КН:Б:ФМ:H_3PO_4 = 100:5:5:4), показал самое высокое содержание доступного P_2O_5 (75,55%) и N (1,565%), при этом потери органического вещества снизились до 12,12%, а степень гумификации достигла 64,67%. Добавление мочевины (КН:Б:ФМ:мочевина = 100:5:5:0,4) обеспечило самое высокое содержание азота (1,940%) благодаря опосредованной уреазой трансформации аммония. Гигроскопичность 79–83% позволяет отнести все продукты к практически негигроскопичным. Рентабельность варьировалась от 63,5% до 72,8%, а себестоимость производства была в 1,7–2,7 раза ниже, чем у коммерческих минеральных удобрений.*

Выводы. Местные сельскохозяйственные отходы и агропродукция могут быть эффективно переработаны в высококачественные органоминеральные удобрения с конкурентоспособными агрохимическими и экономическими характеристиками. Разработанная технология масштабируема, недорога и экологически устойчива, открывая перспективный путь для снижения зависимости от импортных минеральных удобрений в Узбекистане и аналогичных сельскохозяйственных регионах.

Ключевые слова: *органоминеральные удобрения; компостирование; коровий навоз; бентонит; фосфоритовая мука; гуминовые кислоты; доступность фосфора; технико-экономический анализ; Узбекистан*

INTRODUCTION

Global agricultural productivity is critically dependent on the continuous supply of macronutrients — nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) — which are predominantly provided through synthetic mineral fertilizers. However, extensive use of mineral fertilizers is associated with significant environmental concerns, including soil acidification, groundwater contamination, and greenhouse gas emissions [1,2]. In Uzbekistan, as in many developing agricultural economies, the dual challenge of limited domestic phosphate concentrate reserves and high import costs of mineral fertilizers has intensified the search for locally available, cost-effective alternatives [3].

Organomineral fertilizers (OMFs) represent a promising approach that combines the slow-release, soil-conditioning benefits of organic matter with the immediate nutrient supply of mineral components [4,5]. Composting of livestock and poultry wastes with mineral carriers such as bentonite and phosphorite flour has been shown to enhance phosphorus solubilization through organic acid production, promote humus formation, and support nitrogen-fixing microorganisms [6,7]. Bentonite, a natural smectite-group clay mineral, serves as an adsorbent and structural binder in such composites, improving granule formation and reducing nutrient leaching [8].

Phosphorite flour (PF), a low-grade phosphate rock that cannot be directly used in conventional fertilizer production, represents an abundant and underutilized domestic resource in Uzbekistan. Its activation through co-composting with organic materials has been reported to substantially increase P_2O_5 bioavailability [9,10]. Furthermore, the incorporation of nitrogen-fixing bacteria (Azotobacter spp.) and mineral additives (H_3PO_4, KCl, urea) during composting offers additional pathways to enrich the final product with essential plant nutrients [11,12].

Despite growing interest in organomineral fertilizers, systematic studies integrating agrochemical characterization, physical-mechanical property assessment, and techno-economic evaluation for formulations based on local Central Asian raw materials remain scarce in peer-reviewed literature. The present work addresses this gap by conducting a comprehensive laboratory investigation of four OMF formulations derived from cattle manure (CM), poultry litter (PL), bentonite (B), phosphorite flour (PF), and selected mineral additives, followed by techno-economic feasibility analysis at the 1000-kg production scale.

MATERIALS AND METHODS

Raw Materials

Cattle manure (CM) was collected from local livestock farms (Namangan region, Uzbekistan). Its composition (wt.%): organic matter (OM) — 26.53; humic acids (HA) — 7.10; fulvic acids (FA) — 3.67; water-soluble organic matter (WSOM) — 2.52; P_2O_5 — 0.28; CaO — 0.59; N — 0.51; K_2O — 0.58; moisture — 55.40. Poultry litter (PL) contained 66.0% organic mass; N — 2.06%, P_2O_5 — 1.80%, K_2O — 1.10% (air-dry basis).

Bentonite (B) was sourced from the Navbahor deposit (Navoi region, Uzbekistan). Chemical composition (wt.%): SiO_2 — 57.9; Al_2O_3 — 13.69; Fe_2O_3 — 5.10; CaO — 0.48; Na_2O — 1.53; K_2O — 1.75; P_2O_5 — 0.43; TiO_2 — 0.35. XRD analysis confirmed the presence of kaolinite (d = 7.14–7.25 Å), palygorskite (d = 10.48–3.20 Å), and chlorite (d = 14.0–3.53 Å) as principal mineral phases. Phosphorite flour (PF) contained (wt.%): P_2O_5 — 17.76; CaO — 47.51; SiO_2 — 17.02; SO_3 — 3.27; MgO — 1.79; Al_2O_3 — 0.95; Fe_2O_3 — 0.73; with CaO:P_2O_5 molar ratio of 2.68.

Mineral additives — 75% orthophosphoric acid (H_3PO_4), potassium chloride (KCl, ≥99%), and urea [$(NH_2)_2CO$, ≥98%] — were of technical grade. Nitrogen-fixing bacterial inoculant (Azotobacter chroococcum) was prepared as a liquid suspension (10^8 CFU/mL) in the laboratory.

Composting Procedure

Four formulation variants were investigated (mass ratios): V1 — CM:PL:B:PF = 100:25:10:10; V2 — CM:B:PF:H_3PO_4 = 100:5:5:4; V3 — CM:B:PF:KCl = 100:5:5:0.4; V4 — CM:B:PF:urea = 100:5:5:0.4. All components were thoroughly mixed and placed in 1-litre composting vessels. Moisture was adjusted to 70% by adding deionized water. Composting was carried out at 35–40 °C. Samples were withdrawn at days 1, 10 (or 17), 20 (or 30), and 35 and immediately analyzed. Each experiment was performed in triplicate.

Analytical Methods

Total P_2O_5 was determined by molybdenum-blue spectrophotometry after acid digestion (HNO_3:$HClO_4$ = 3:1). Available P_2O_5 was extracted with Trilon-B (EDTA) solution following the standard method for phosphate characterization [13]. Total nitrogen was determined by the Kjeldahl method. Organic matter content was measured by loss-on-ignition at 550 °C. Humic and fulvic acids were extracted with 0.1 M NaOH and fractionated by acidification to pH 1.0. Water-soluble organic matter was determined gravimetrically after aqueous extraction. Moisture was determined by drying at 105 °C to constant mass. The humification degree was calculated as: HD (%) = (HA content / OM content) × 100. Elemental composition was determined by energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) coupled with scanning electron microscopy (SEM). XRD patterns were recorded on a Bruker D8 Advance diffractometer. Free amino acids were quantified by HPLC (Agilent 1200, Discovery HS C18 column, 75 × 4.6 mm, UV detection at 269 nm) using PTC-amino acid derivatization [14].

Physical-Mechanical Characterization

Hygroscopic point was determined by equilibrating samples over saturated salt solutions at controlled relative humidity [15]. Flowability was assessed using the Mering funnel method and scored on a 10-point scale. Angle of natural repose was measured by the fixed funnel method. Bulk density was determined in a calibrated cylinder. Granule compressive strength was measured using a tablet hardness tester.

Material Balance and Techno-Economic Analysis

Material balances were calculated for 1000 kg of finished OMF per batch, accounting for initial moisture of each feedstock, water addition to reach 70% composting moisture, gas-phase losses (CO_2, NH_3; estimated at 6.8% of total input mass based on experimental monitoring), and evaporation losses during the 35-day process. Production costs were calculated as the sum of raw material costs (C_rm), depreciation of equipment (C_dep = 10% of C_rm), and labour and overhead costs (C_lab = 23.3% of C_rm). Profitability (R) was calculated as R (%) = (Net profit / Production cost) × 100.

RESULTS AND DISCUSSION

Agrochemical Composition During Composting

Table 1 summarizes the key agrochemical parameters of all four OMF formulations at selected composting intervals. In all variants, both total and available P_2O_5, total nitrogen, and humic fraction contents increased progressively with composting time, while moisture decreased.

Table 1.

Agrochemical composition of OMF formulations at selected composting intervals (mean ± SD, n = 3)

Formulation (mass ratio)	Curing time, d	P_2O_5total, %	P_2O_5avail., %	N total, %	OM, %	HA, %	Humification degree, %
CM:PL:B:PF 100:25:10:10	1	0,66	20,33	0,45	23,53	2,80	—
	17	0,90	38,56	0,55	26,84	2,90	—
	35	1,13	50,08	0,78	31,63	4,30	63,18
CM:B:PF:H_3PO_4 100:5:5:4	0	0,668	24,03	0,400	19,07	2,52	—
	20	0,821	48,93	1,104	20,31	3,53	—
	35	1,250	75,55	1,565	22,17	4,38	64,67
CM:B:PF:KCl 100:5:5:0,4	1	0,925	22,05	0,604	18,68	2,37	—
	17	1,011	47,84	1,171	19,74	3,82	—
	35	1,220	73,50	1,880	21,45	5,07	—
CM:B:PF:$(NH_2)_2CO$ 100:5:5:0,4	1	0,937	24,15	0,605	18,68	2,37	—
	17	1,048	50,50	1,171	20,20	3,82	—
	35	1,189	75,40	1,940	21,35	5,09	—

In V1 (CM:PL:B:PF = 100:25:10:10), the available P_2O_5 increased from 20.33% on day 1 to 50.08% on day 35 — a 2.47-fold enhancement. This increase is attributed to the production of low-molecular-weight organic acids (acetic, lactic, citric) during organic matter decomposition, which dissolve sparingly soluble calcium phosphates in PF [7,10]. The high organic matter content of V1 (31.63%) and superior humification degree (63.18%) make this formulation particularly suitable for long-term soil fertility improvement.

V2 (CM:B:PF:H_3PO_4 = 100:5:5:4) achieved the highest available P_2O_5 (75.55%) and a substantial nitrogen content (1.565%) after 35 days. The addition of H_3PO_4 promoted partial solubilization of calcium carbonate in PF, forming monocalcium phosphate [$Ca(H_2PO_4)_2$], thereby enhancing phosphate bioavailability [9]. Concurrently, H_3PO_4 decreased organic matter losses from 14.83% (V1 baseline) to 12.12%, and increased the humification degree to 64.67%, suggesting that phosphoric acid accelerates the condensation of humic precursors.

V3 (CM:B:PF:KCl = 100:5:5:0.4) and V4 (CM:B:PF:urea = 100:5:5:0.4) yielded available P_2O_5 of 73.50% and 75.40%, and nitrogen contents of 1.880% and 1.940%, respectively, after 35 days. The superiority of urea over KCl in nitrogen enrichment (3.20 vs. 3.11-fold increase relative to day-1 values) is explained by urease-catalysed hydrolysis of urea to ammonium (NH_4^+), which is preferentially adsorbed by the bentonite interlayer [11,16]. This mechanism simultaneously provides a slow-release nitrogen source and stabilizes the compost pH within the optimal range for microbial activity.

Role of Bentonite in Structural and Sorption Properties

Bentonite served a dual function in all formulations. First, its high cation exchange capacity (CEC) and interlayer swelling capacity facilitated adsorption of NH_4^+, K^+, and phosphate ions, reducing nutrient leaching during composting. Second, bentonite's natural cohesive properties promoted granule formation without additional binders, a critical advantage for simplifying the production process. SEM imaging confirmed that bentonite particles formed a continuous matrix linking organic aggregates, while XRD analysis showed that the principal mineral phases (kaolinite, palygorskite, chlorite) remained stable throughout composting, confirming bentonite's structural integrity under the experimental conditions.

EDX analysis revealed that OMF formation was accompanied by a significant redistribution of elements: P increased from 6.37% (raw bentonite) to 9.99% in the finished OMF, while Ca decreased from 40.01% to 30.61%. This shift reflects the transformation of sparingly soluble $Ca_3(PO_4)_2$ to more plant-available $Ca(H_2PO_4)_2$ and $CaHPO_4$ phases [9], consistent with the observed increase in Trilon-B-extractable P_2O_5.

Physical-Mechanical Properties

Table 2 presents the physical-mechanical characteristics of the three principal OMF formulations after 35-day composting.

Table 2.

Physical-mechanical properties of OMF granules (35-day composting)

Formulation	Moisture, %	Hygroscopic point, %	Bulk density, g/cm³	Angle of repose, °	Flowability, points	Compressive strength, MPa
CM:PL:B:PF = 100:25:10:10	49,85	83	0,612	40,4	5,2	1,63
CM:B:PF:H_3PO_4 = 100:5:5:4	55,89	80	0,615	42,1	5,6	0,65
CM:B:PF:KCl = 100:5:5:0,4	48,35	80	0,641	38,3	5,4	2,54

All hygroscopic point values are within the 79–83% RH range, classifying all products as practically non-hygroscopic according to the Pestov scale [15].

Hygroscopic points of 79–83% classify all three OMFs as practically non-hygroscopic (Pestov scale: 80–85% RH) [15], indicating acceptable storage stability under typical Central Asian climatic conditions (annual mean RH: 60%; maximum: 74%). However, polypropylene packaging

is recommended to mitigate moisture absorption during autumn–spring storage. Flowability scores of 5.2–5.6 (10-point scale) indicate medium flow characteristics, sufficient for gravity-fed granulator feeding systems. Angles of repose (38.3°–42.1°) are consistent with cohesive granular materials typical of organic-mineral composites [17]. Bulk densities (0.612–0.641 g/cm³) fall within the industrially accepted range for granular fertilizers, facilitating standard pneumatic and conveyor transport systems.

Material Balance

Material balance calculations for 1000 kg of finished OMF revealed that V1 required a total input of 1949 kg (CM: 896 kg, PL: 144 kg, B: 44 kg, PF: 42 kg, water: 823 kg), with 133 kg lost as gas-phase emissions and 816 kg as evaporation. V2 required 1673 kg total input — the lowest among all variants — reflecting reduced water input due to lower initial organic mass. V3 required 1973 kg. In all cases, approximately 51–60% of total input mass was converted to finished OMF, confirming reasonable conversion efficiency for an atmospheric-pressure composting process. Gas-phase losses (6.8%) are consistent with reported CO_2 and NH_3 emissions from aerobic composting [18].

Techno-Economic Analysis

Table 3 summarizes the techno-economic indicators for the three principal OMF variants at 1000-kg production scale.

Table 3.

Techno-economic indicators of OMF production (1000-kg batch scale, UZS = Uzbek soum)

Indicator	V-1 CM:PL:B:PF	V-2 CM:B:PF:H_3PO_4	V-3 CM:B:PF:KCl
Production capacity, t/year	1	1	1
Production cost, UZS/t	562 392	554 126	607 469
Selling price, UZS/kg	920	950	1 050
Gross revenue, UZS/t	920 000	950 000	1 050 000
Net profit, UZS/t	357 608	395 874	442 531
Profitability, %	63,5	71,4	72,8
Payback period, years	1,6	1,4	1,4

Production costs and revenues are expressed per tonne of finished OMF. Net profit = Gross revenue − Production cost.

Production costs ranged from 554 126 UZS/t (V2) to 607 469 UZS/t (V3), corresponding to 920–1 050 UZS/kg selling prices, which are 1.7–2.7 times lower than domestic market prices for commercial mineral fertilizers (1 800–2 500 UZS/kg). Profitability indices of 63.5–72.8% compare favourably with reported margins of 15–40% for conventional phosphate fertilizer production [19]. The payback period of 1.4–1.6 years further supports the investment attractiveness of the proposed technology. The economic advantage stems primarily from the use of low-cost or zero-cost organic feedstocks (livestock wastes), elimination of high-temperature processing steps, and relatively simple granulation equipment.

CONCLUSIONS

This study demonstrated that high-quality organomineral fertilizers with competitive agrochemical, physical, and economic characteristics can be produced by composting local agricultural wastes with bentonite and phosphorite flour. The principal findings are:

(1) After 35 days of composting at 35–40 °C, all formulations achieved substantial P_2O_5 availability enhancement (50–76%), total nitrogen enrichment (0.78–1.94%), and high humification degrees (63–65%). The urea-amended variant (V4) provided the highest nitrogen content (1.940%),

while H_3PO_4 treatment (V2) yielded the highest phosphorus availability (75.55%) and lowest organic matter losses (12.12%).

(2) Bentonite functioned as a structural binder and nutrient adsorbent, stabilizing nitrogen and phosphorus within the compost matrix and promoting granule formation without additional binders. Its mineral structure remained intact throughout composting, as confirmed by XRD analysis.

(3) All OMF products exhibited practically non-hygroscopic behaviour (hygroscopic point: 79–83% RH), medium flowability (5.2–5.6/10), and appropriate bulk density (0.612–0.641 g/cm³) for industrial handling and application.

(4) Techno-economic analysis demonstrated profitability of 63.5–72.8% and payback periods of 1.4–1.6 years, with production costs 1.7–2.7 times lower than commercial mineral fertilizers, establishing a strong economic basis for scale-up.

These results provide a scientific and technological foundation for the development of sustainable, locally adapted OMF production technologies in Uzbekistan and analogous agro-industrial contexts. Future work should evaluate crop response and soil health indicators under field conditions to quantify the agronomic benefits relative to standard mineral fertilizer regimes.

REFERENCES

1. Tilman, D.; Cassman, K.G.; Matson, P.A.; Naylor, R.; Polasky, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 2002, 418, 671–677.

2. Foley, J.A.; Ramankutty, N.; Brauman, K.A.; et al. Solutions for a cultivated planet. Nature 2011, 478, 337–342.

3. Mirzaev, B.S.; Yusupov, A.A. Phosphate resources of Uzbekistan and prospects for their utilization in agriculture. Uzbek Chem. J. 2018, 3, 45–52.

4. Nardi, S.; Pizzeghello, D.; Muscolo, A.; Vianello, A. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biol. Biochem. 2002, 34, 1527–1536.

5. Adesemoye, A.O.; Kloepper, J.W. Plant–microbes interactions in enhanced fertilizer-use efficiency. Appl. Microbiol. Biotechnol. 2009, 85, 1–12.

6. Huang, G.F.; Wu, Q.T.; Wong, J.W.C.; Nagar, B.B. Transformation of organic matter during co-composting of pig manure with sawdust. Bioresour. Technol. 2006, 97, 1834–1842.

7. Vassilev, N.; Vassileva, M.; Fenice, M.; Federici, F. Immobilized cell technology applied in solubilization of insoluble inorganic phosphates and preparation of phytase-enriched animal feed. Bioresour. Technol. 2001, 79, 263–271.

8. Lagaly, G. Bentonites: Occurrences, properties, markets and uses. Appl. Clay Sci. 2006, 34, 1–5.

9. Chien, S.H.; Prochnow, L.I.; Cantarella, H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts. Adv. Agron. 2009, 102, 267–322.

10. Rajan, S.S.S.; Watkinson, J.H.; Sinclair, A.G. Phosphate rocks for direct application to soils. Adv. Agron. 1996, 57, 77–159.

11. Dobbelaere, S.; Vanderleyden, J.; Okon, Y. Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Crit. Rev. Plant Sci. 2003, 22, 107–149.

12. Cantarella, H.; Otto, R.; Soares, J.R.; de Brito Silva, A.G. Agronomic efficiency of NBPT as a urease inhibitor: A review. J. Adv. Res. 2018, 13, 19–27.

13. Murphy, J.; Riley, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta 1962, 27, 31–36.

14. Cohen, S.A.; Meys, M.; Tarvin, T.L. The PicoTag Method: A Manual of Advanced Techniques for Amino Acid Analysis; Waters Corporation: Milford, MA, USA, 1989.

15. Pestov, N.E. Physical and Chemical Properties of Granular and Powdery Chemical Products; USSR Academy of Sciences Press: Moscow, Russia, 1947.

16. Sposito, G. The Chemistry of Soils, 2nd ed.; Oxford University Press: New York, NY, USA, 2008.

17. Barletta, M.; Poletto, M. (Eds.) Woodhead Publishing Series in Chemical Engineering: Relative Humidity and Flow Characteristics; Woodhead Publishing: Cambridge, UK, 2016.

18. Sánchez, A.; Artola, A.; Font, X.; Gea, T.; Barrena, R.; Gabriel, D.; González-Sánchez, A.; Secundino-González, R.; Roigé, M. Greenhouse gas from organic waste composting. In Environmental Chemistry for a Sustainable World; Springer: Dordrecht, Netherlands, 2015; Vol. 4, pp. 33–70.

19. Jasinski, S.M. Phosphate Rock. In Mineral Commodity Summaries 2023; U.S. Geological Survey: Reston, VA, USA, 2023; pp. 124–125.

ЎСИМЛИК МОЙЛАРИДА 2- ВА 3-МОНОХЛОРПРОПАНДИОЛЛАР ВА ГЛИЦИДОЛЛАР МУАММОСИ ВА УНИНГ ПАЙДО БЎЛИШ АСОСЛАРИ

Робия БАЗАРОВА[1] *(bazarova.r@gmail.com),*
Мадина ХАМИДОВА[1] *(m.khamidova@mail.ru),*
Қамар СЕРКАЕВ[1] *(serkayev@mail.ru)*
[1]*Тошкент кимё-технология институти, Тошкент, Ўзбекистон*

Аннотация: *Сўнги йилларда ўсимлик мойларини қайта ишлаш жараёнида яқин вақтларгача маълум бўлмаган ўзгаришлар, жумладан диол моддаларнинг пайдо бўлиши ва уни бартараф этиш бўйича тадқиқотлар кўпаймоқда. Натижалари ушбу мақолада баён қилинган тадқиқотларда ўсимлик мойларини оксидланиш шароитларини ўрганиш билан бирга, рафинациялаш жараёнида диолларнинг пайдо бўлиш динамикаси, уларни бартараф этиш бўйича илмий ва амалий тадқиқотлар олиб борилган. Натижада, диол моддаларни камайтириш мақсадида, дезодорация жараёнида юқори ҳарорат давомийлигини пасайтириш ва жараённи икки босқичли ташкил қилиш тавсия этилган. Бунда, пахта ва пальма ёғлари учун дастлабки 30 мин да 240℃ ҳарорат, кейинги 120 мин оралиғида эса ҳароратни 210℃ гача пасайтириб, қолдик босимни 1 мм гача тушириш кераклиги аниқланган. Кунгабоқар ва махсар каби тўйинмаган ёғ кислоталари кўп бўлган мойларни дезодорациялашда дастлабки 30 мин да жараён ҳароратини 210℃, кейинги 120 мин да эса 180℃ ҳароратда олиб бориш тавсия этилади*

Калит сўзлар: *ўсимлик мойлари, оксидланиш, диоллар, хлорли бирикмалар, кантаминантлар, монохлорпропандиоллар.*

ПРОБЛЕМА 2 - И 3-МОНОХЛОРПРОПАНДИОЛОВ И ГЛИЦИДОЛОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЛАХ И ОСНОВЫ ЕЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Робия БАЗАРОВА[1] *(bazarova.r@gmail.com),*
Мадина ХАМИДОВА[1] *(m.khamidova@mail.ru),*
Қамар СЕРКАЕВ[1] *(serkayev@mail.ru)*
[1]*Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан*

Аннотация: *В последние годы наблюдается рост исследований по изменению растительных масел в том числе, о которых до недавнего времени ничего не было известно, включая появление и устранение диольных веществ. В исследованиях, результаты которых описаны в данной статье, наряду с изучением условий окисления растительных масел, были проведены научные и прикладные исследования динамики появления диолов в процессе рафинации, и их устранения. В результате, для снижения содержания диольных веществ рекомендовано сократить продолжительность высокотемпературной обработки в процессе дезодорации и организовать процесс в два этапа. При этом установлено, что для хлопкового и пальмового масел необходимо снизить остаточное давление до 240℃ в течение первых 30 мин и снизить температуру до 210℃ в течение следующих 120 мин. При дезодорации масел с высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот, таких как подсолнечное и сафлоровое масла, рекомендуется поддерживать температуру процесса 210℃ в течение первых 30 мин и 180℃ в течение следующих 120 мин*

Ключевые слова: *растительные масла, окисление, диолы, соединения хлора, кантаминанты, монохлорпропандиолы.*

Кириш.

Ўсимлик мойлари табиий ҳолда кўпгина ҳамроҳ моддалар билан тўйинган бўлади. Бу моддаларнинг асосий қисми инсон организми учун фойдали бўлсада, бир қисми мойни қайта ишлаш ва кейинчалик сақлаш даврида ўзгаришларга олиб келишини инобатга олган ҳолда тозалаш талаб этилади. Тозалаш даражасига қараб рафинация жараёнининг маълум бир схемалари қўлланади. Лекин, қайта ишлаш жараёнларида бериладиган таъсирлар, жумладан, ҳарорат таъсирида баъзи техноген ўзгаришлар ҳам содир бўладики, бу ўзгаришлар мойларнинг озиқ овқат хавфсизлигига жиддий таъсир кўрсатади.

Кўпгина тадқиқотлар натижаларига эътибор қаратсак рафинацияланган мойлар ва уларни қўшиб тайёрланган маҳсулотларда 3-МХПД ва 2-МХПД кўпроқ ёғ кислоталари билан этирификацияланган симметрик ва ассиметрик моно- ва диэфирлар кўринишида аниқланган. Бундай бирикмаларда асосий ёғ кислоталари пальмитин ва олеин ҳисоблансада, мой турига мансуб бўлган бошқа кислотлар ҳам учраши мумкин. Меъёрлар бўйича ишлаб чиқарилган рафинацияланмаган мойларда бу моддалар учрамайди, лекин, уларни келтириб чиқарувчи ҳосилалар барибир мавжд бўлади. Уларни келиб чиқиш шароитларини ўрганиш ўз навбатида пайдо бўлишини олдини олиш имкониятини яратади.

Адабиётлар таҳлили.

Озиқ-овқат маҳсулотлари, жумладан, болалар овқатларида нохуш таъсирга эга контаминантларнинг пайдо бўлиши уларнинг мураккаб таркиби билан боғлиқ ҳисобланади. Бундай контаминантларга 3-монохлорпропан-1,2-диол (3-МХПД), 2-монохлорпропан-1,3-диол (2-МХПД), глицидол ва уларнинг мураккаб ёғ кислоталари билан ҳосил қилган моно- ва диэфирлари ҳам киради. Биринчи марта 3-МХПД 1970 йилларда турли озиқ-овқат маҳсулотлари ишлаб чиқаришда қўлланадиган хушбуйлаштирувчи қўшимчалар, концентратлар сифатида қўлланадиган гидролизланган оқсиллар таркибида аниқланган [1]. Кейинчалик, 3-МХПД ни 2-МХПД ва глицидоллар билан бир қаторда эркин ва боғланган шаклларда аниқланган [2]. Уларнинг мавжудлигидан хавф улар тўғрисидаги токискологик маълумотлар пайдо бўлиши билан аниқланган.

Ҳайвонларда ўтказилган тажрибаларда 3-МХПД бепуштлик, саратон ва заҳарланишни келтириб чиқариши аниқланган. Шунинг учун Халқаро саратонни ўрганиш агентлиги (IARC) 3-МХПД ни 2013 йилда “Инсон учун канцероген хавфи мавжуд” бўлган 2B гуруҳ моддалар туркумига қўшган [3].

Глицидол ўзининг тўқималарда, буйрак ва мияда турли шикастланишни [4, 5], шунингдек, саратон келтириб чиқариши, ҳамда турли мутаген ва генотоксик хусусиятлари билан маълум [6-9]. Тадқиқотлар кўрсатишича глицидол эфирларининг генотоксик даражаси пастроқ [10]. Шунинг учун уларни Халқаро саратонни ўрганиш агентлиги (IARC) 2000 йилда “Инсон учун канцероген хавфи мавжуд” бўлган 2A гуруҳ моддалар туркумига қўшган [3].

2-МХПД нинг таъсири тўғрисида маълумотлар етарли бўлмагани учун у ҳақида аниқ тўхтамга келинмаган [11]. 3-Монохлорпропан-1,2-диол (3-МХПД) ва 2-монохлорпропан-1,3-диол (2-МХПД) лар глицериннинг 1 ва 2 позицияларда хлор атомларини тутувчи аналоглари ҳисобланади. Ишлаб чикариш жараёнида юқори ҳарорат таъсирига учрайдиган ёки кислотали гидролизга учрайдиган [12], мой сақлами юқори бўлган маҳсулотларда улар кўпроқ эркин ҳолатда (суюқ зираворлар, нон-макарон маҳсулотлари, оқсилларнинг гидролизатлари ва б.) учрайди.

Рафинацияланган мойлар ва уларни қўшиб тайёрланган маҳсулотларда 3-МХПД ва 2-МХПД кўпроқ ёғ кислоталари билан этирификацияланган шаклда – симметрик ва ассиметрик моно- ва диэфирлар кўринишида учрайди [12]. Бундай бирикмаларда асосий ёғ кислоталари пальмитин ва олеин [13] ҳисоблансада, мой турига мансуб бўлган бошқа кислотлар ҳам учрайди [2]. Бундай моддаларда глицидол моноэфир ҳолида мавжудлиги аниқланган [11].

Глицидол эфирларини дастлабки ўрганишлар 3-МХПД эфирларини тадқиқотлари билан боғланган [14]. Меъёрлар бўйича ишлаб чиқарилган рафинацияланмаган мойлар бу моддаларни сақламайди [15, 16], лекин, уларни келтириб чиқарувчиларни сақлайди [17].

Ўсимлик мойларини 120°C атрофидаги ҳароратда кимёвий ишловлар ва 265°C ҳароратгача бўлган ҳароратда олиб бориладиган дезодорация жараёнида ёғ кислоталарининг ди ва моноэфирлари пайдо бўлади ва тўпланади [12, 16, 18].

Хлорпропанолларнинг пайдо бўлиши учун хлорид ионлари иштирок этиши керак [18]. Тадқиқотлар натижасида пальма мойидаги хлорпропанолларнинг пайдо бўлиши учун ўсимликнинг шўрланган ерларда етиштирилиши, хлор сақловчи ўғитлардан фойдаланиш ва ҳаттоки сувдаги темир хлорид (III) таъсир этиши мумкинлиги аниқланган [19]. Рафинацияланган ўсимлик мойларида эса фойдаланилган реагентлар, сув ва оқловчи тупроқ сабаб бўлиши мумкин [20, 21]. Аниқланишича $ZnCl_2$ каби бирикмалар таркибида хлор ионларини тутмайдиган глицидолларни ҳам пайдо бўлишига сабаб бўлиши мумкин [22].

Монохлорпропандиолларнинг пайдо бўлиши три-, ди- ва моноглицеридлар ҳамда эркин глицерингa боғлиқ бўлиши мумкин [11, 23, 24]. Бунда ДАГ ва МАГ табиий [28] ва юқори ҳароратли технологик ишлов таъсирида [21] пайдо бўлади ва таъсир давомийлигига боғлиқ [21, 25]. Ўрта ҳисобда болалар қуруқ аралашмаларида 3-МХПД миқдори 480 мг/кг, глицидол 376 мг/кг гача мавжуд. 2-МХПД ўртача 171 мг/кг ни ташкил этиши аниқланган.

Тадқиқот усуллари.

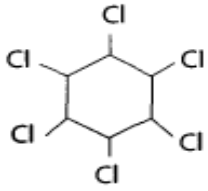
Мойларни оксидланишга турғунлигини аниқлаш. Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг Ўсимлик моддалари кимёси институтининг «Липидлар кимёси» илмий-тадқиқот лабораториясида аниқланди. **Мойларнинг ранг кўрсатгичларини аниқлаш.** Мойларнинг ранг кўрсатгичини Ловибонд ускунасида ГОСТ 54-72 ва O'zDSt 1199:2009 бўйича аниқланди. Бу усул мойнинг аниқ бир қатлам қалинлигида яъни оч рангли мойлар учун 133,35 мм ва тўқ рангли мойлар учун 25,4 мм ҳажмдаги куветаларда мой рангини аниқлашга асосланган. Бу усул рафинацияланган ва рафинацияланмаган пахта мойини рангини аниқлаш учун қўлланилади. Ушбу қурилма ёрдамида мой рангини аниқлаш жуда содда бўлиб, ускуна программасига намуна солинган кювета (25,4 ёки 133,35 мм) ҳажми киритилиб, "РЕАД" тугмаси босилади ва 15-20 сонияда қурилма экранида ранг бўйича мойнинг 3 кўрсаткичлари (қизил, сариқ, кўк бирлик) акс эттирилади. Фойдаланилган ёғларнинг кислота сони ГОСТ 54-76 ва O'zDSt 1203 бўйича аниқланди. Бунда 250 мл ҳажмдаги тиқинли конуссимон колбага 20 г мой солинади. Устига 50-60 мл 15 % ли нейтрал натрий хлор эритмаси ва 0,5 мл фенолфталеин қуйилади. Колба тиқин билан беркитилади ва чайқатилади, сўнгра 0,1 Н КОН эритмаси билан титрланади (юқори кислота сонида 0,25 Н КОН эритмасини ишлатиш мумкин). Титрлашда ҳар гал 4-5 томчи ишқор қўшилгандан кейин суюқлик қуйи қатламининг ранги йўқолгунча чайқатилади.

Мой таркибидаги ёғ кислотлари кўрсатгичларини аниқлаш газли хромотографда амалга оширилди. Бунинг учун мойлар намуналарини Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг Биоорганик кимё институтининг Экспериментал технологик лабораториясига берилди ва тажриба натижаларини жадвал кўринишида олинди. Тажрибалар биз томонимиздан бажарилмагани учун ишда ёғ кислоталар сақламини аниқлаш услубларини келтирилмади.

Натижалар ва муҳокама.

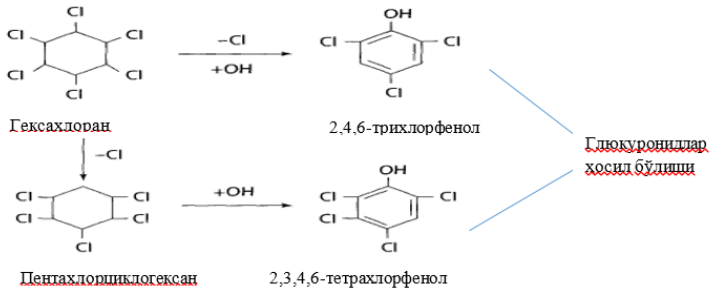
Хлорорганик бирикмалар таркибига инсектицид сифатида қўлланадиган перхлорланган углеводородлар киради. Хлор сақловчи химикатларнинг ўзига хос хусусиятларидан бири, бу уларнинг тупроқда узоқ муддат сақланиб қолиши ҳисобланади. Масалан ДДТ кам миқдорда ишлатилган вақтда ҳам тупроқда 10-12 йил даомида сақланиб қолади.

Гексахлорциклогексан (ГХЦГ)

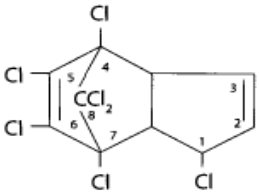


1,2,3,4,5,6-гексахлорциклогексан (гексахлоран)

ГХЦГ нинг заҳарли таъсири унинг тери тагига сингиши, кўз шиллиқпардасида сўрилиши билан кечади. Гексахлораннинг организмдаги метоболизми дехлорланиш, гидроксихлорланиш ва метоболизмнинг икинчи фазасида глюкуронидлар ҳосил бўлиши билан кечади:



Шунингдек, улар ишқорлар таъсирида спиртли муҳитда трихлорбензолга айланади.
Гептахлор



1,4,5,6,7,8,8-гептахлор-4,7-эндометилен тетрагидроинден

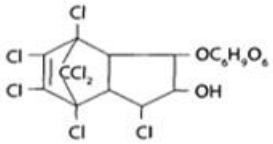
Гептахлор, кристалл кўринишдаги оқ рангли модда бўлиб, кучсиз камфора ҳидига эга, сувда эримайди органик эритувчилар, Гептахлор ишлаб чиқаришда 25% ли концентрат ҳолида



инсектицид сифатида қўлланади. Гептахлорнинг метоболизми:



Глюкуронидлар хосил бўлиши



1-жадвал

Хлорорганик бирикмаларга меъёрлар [10]

Меъёр	ГХЦГ	Линдан	Альдрин	Гептахлор	ДДТ
Ҳавода					
ПДК, мг/м3	0,03	0,03	0,001	0,001	0,001
ўртача суткалик	0,03	0,03	-	0,0002	0,0005
Сувда					
ПДК, мг/л	0,02	0,02	0,002	0,05	0,1
ПТупроқда					
ПДК, мг/кг	0,1	0,1	-	0,05	0,1
Озуқа-емлар таркибида					
ОДК, мг/кг	0,05	0,05	Рухсат этилмайди	Рухсат этилмайди	0,05
Озиқ-овқат маҳсулотларида					
ОДК, мг/кг Мева-сабзавот ва донларда	0,5	0,5	Рухсат этилмайди	Рухсат этилмайди	0,1
Мойлар ва ёғларда	0,2	0,2	Рухсат этилмайди	Рухсат этилмайди	1 25***

Хлор табиатда кўп тарқалган кимёвий элементлардан бири ҳисобланади. Шунинг учун озиқ-овқат маҳсулотларида хлор ионлари пайдо бўлишининг кўплаб механизмлари мавжуд. Бу манбалар органик, ноорганик келиб чиқишга эга бўлиши ва табиий ҳамда техноген сабаблар билан маҳсулот таркибига ўтиши мумкин. Уларнинг ҳар бири ёғ-мой маҳсулотларида монохлорпропандиолларнинг мураккаб эфирлари (МХПД эфирлари) пайдо бўлишида асос ҳисобланиши мумкин. Ёғ ва мойларнинг липидлар туркумидаги ацилглицеринлар, фосфолипидлар ва гликолипидларнинг рафинация жараёнида хлор сақловчи моддалар билан бирикишида монохлорпропандиолларнинг мураккаб эфирлари (МХПД эфирлари) пайдо бўлиши мумкин. Албатта бу жараёнда мойнинг табиати, келиб чиқиши, ажратиш технологияси, технологик режимлар катта аҳамиятга эга.

Изланишларда МХПД ҳосил бўлишида хлор ионларининг келиб чиқиш табиатини ўрганилганда энг кўп миқдор палъма ёғида кузатилган [26]. Нима учун айнан пальма ёғида МХПД ларнинг миқдори кўплиги хаммани қизиқтирадиган савол бўлиб, унинг жавоби сифатида изланишларда [27] рафинацияланмаган палъма ёғида миллиондан бир улушларда (мг/кг) хлорнинг ковалент боғланган манбалари – $FeCl_3$, $FeCl_2$, MgCl, CaCl мавжудлиги

аниқланган. Кўриниб турганидек, жуда кичик миқдордаги хлор ионларининг мой таркибида мавжудлиги технологик жараёнларда ҳарорат ва намлик таъсирида МХПД ва уларнинг эфирлари ҳосил бўлишида аҳамиятга эга.

Юқоридагилардан келиб чиқиб, биз саноатда хлор ионларининг манбаси нима эканлигини аниқлашга ва уларнинг ножуя таъсирини камайтириш устида ишлашга қарор қилдик. Ўсимлик мойларини қайта ишлаш жараёнларида қатор сифат ва миқдор ўзгаришлари содир бўлади. Бу ўзгаришларнинг баъзилари инсон организмига салбий таъсир қилмайди, баъзилари эса қандайдир даражада таъсирга эга.

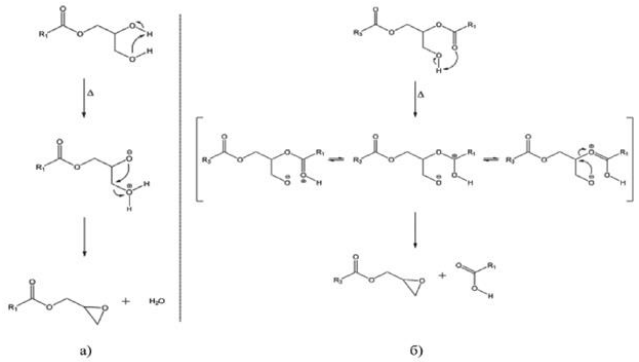
Ўсимлик хом ашёсида МХПД лар мавжуд бўлмасада, уларни келтириб чиқарувчи унсурлар мавжуд. Уруғлар етилиш даврида фермнтатив жараёнлар давом этади, жумладан липаза ферменти ёғ кислоталарининг учглицеридларини (ТАГ) парчалайди ва мойли қисм таркибида кейинчалик мой таркибига ўтадиган диацилглицеридлар (ДАГ) ва моноацилглицеридлар (МАГ) пайдо бўлади. ДАГ ва ТАГ лар кейинчалик, технологик ишловлар жараёнида юқори ҳарорат (>230℃) таъсирида глицидол эфирлари (ГЭ), монохлорпропандиоллар (МХПД) ҳосил бўлишида иштирок этади. Ўсимлик мойларида ДАГ ва МАГ ларнинг турли миқдори аниқланган бўлиб, ўртачаси 2-жадвалда келтирилган.

2-жадвал.

Турли хил мойларда ацилглециридлар сақлами

Мой тури	Моноглицеридлар сақлами, %	Диглицеридлар сақлами, %	Триглицеридлар сақлами, %
Соя мойи	0,4	1,7	97,9
Пахта мойи	1,7	3,3	95,0
Пальма ёғи	1,1	5,8	93,1
Жўхори мойи	1,9	2,3	95,8
Кунгабоқар мойи	0,8	3,6	95,6
Махсар мойи	1,4	2,6	96,0
Зайтун мойи	0,2	5,5	93,3
Рапс мойи	1,3	1,9	96,8

Жадвалдан кўриниб турганидек, ҳамма ўсимлик мойларида ТАГ лар билан бир



қаторда маълум миқдорда ДАГ ва МАГ лар мавжуд [90].

1-расм. Юқори ҳароратларда МАГ (а) ва ДАГ (б) лардан МХПД эфирларининг ҳосил бўлиш механизми

1-расмдан кўриниб турганидек, глицидол эфирлари молекула ичидаги ўрин алмашиш ва ёғ кислотаси ҳамда эпоксидни чиқиб кетиши билан ҳосил бўлади. Глицидол эфирлари ҳамма ўсимлик мойларини рафинациялаш жараёнида ҳосил бўлиши аниқланган.

Таҳлилий тадқиқотларимизда МХПД ҳосил бўлишида хлор ионларини сақловчи моддалар катта аҳамиятга эга деган хулосага келган эдик. Республикамизда етиштирилган мойли уруғларга хлор ионлари қандай ўтиши мумкин? Бунинг бир қатор йўллари мавжуд:

1) Пахта чигитини қайта ишлашда хлор ионлари дефолиантлар орқали ўсимлик мойига ўтиши мумкин.

1990 йилларгача ғўзани вегетациядан тўхтатиш учун Бутефос ишлатилган. Бугунги кунда бир гектар майдонга 14 кг гача Магний хлорат ёки 25 кг гача Кальций хлорат ишлатилиб дефоляция қилиш одатий ҳол ҳисобланади.

2) Рафинация жараёнида соапстокни сувлаш жараёнида юқори зичлашган соапсток олишда ҳамда нордон совунланиш жараёни кетганда муҳитни бузиш учун натрий хлорид, яъни ош тузининг турли эритмалари фойдаланилади.

3) Янчилмани намлаш учун иссиқ сув ёки буғ конденсати ишлатилади ва сув кўпгина ҳолатларда хлорланган шаҳар тармоғидан олинади.

Республикамиз ичимлик сув хавфсизлигини таъминлаш учун 11 мингдан ортиқ сув олиш ва сув тақсимлаш иншоатида зарарсизлантириш ускуналари ўрнатилган. Ичимлик сувини сув иншоотларидан тармоқларга тарқатишдан олдин сувни зарарсизлантириш учун 1 литр сувда 0,3-0,5 миллиграмм хлор миқдори бўлиши махсус ускуналар ёрдамида таъминланади. Баъзи ҳолларда 1 литр сувда 1,2 миллиграмгача рухсат этилади.

Санитария-эпидемиологик осойишталик агентлигин ихудудий ташкилотларини рухсати билан очиқ сув хавзаларидан олинган ичимлик сувлар учун 1 литр сувда бу кўрсатгич 0,7 миллграммгача оширилган.

Хлорлаш-сувни бактериялардан зарасизлантиришнинг ишончли усулидир. Хлор таъсирида кўпгина бактериялар ҳужайра протоплазмасидаги моддаларнинг оксидланиши натижасида ўлади.

Сувга хлор аралаштирилганда гипохлорид HClO ва хлорид кислота HCl ҳосил бўлади.

$Cl_2 = H_2O = HClO = HCl$

Гипохлорид кислота HClO парчаланиб туради, у бекарор модда:

$HClO = HCl = O$

Гипохлорид иони OCl^- билан гипохлорит кислота HClO бактерияларни ўлдириш хусусиятига эга. Демак, технологик жараёнларда ишлатиладиган сув хлор ионларининг манбаи бўлиб хизмат қилиши мумкин.

Юқоридаги фикрларимизни амалда синаб кўриш учун биз амалий изланишлар олиб бордик. Изланишларимизда 3-жадвал келтирилган кўрсатгичларга эга рафинацияланмаган мойлардан фойдаланилди.

3-жадвал.

Лаборатория тажрибаларида фойдаланилган рафинацияланмаган мойларнинг физик-кимёвий кўрсатгичлари

№	Кўрсатгичлари	Пахта мойи	Пальма ёғи	Кунгабоқар мойи	Махсар мойи
1	Ранги, мг J*	46	23	18	29
2	Кислота сони, мг КОН/г	2,91	1,98	2,14	1,98
3	Намлиги, %	0,3	0,2	0,24	0,17
4	Госсипол сақлами, %	0,38	-	-	-
5	Фосфатидлар сақлами, %	1,87	2,11	3,11	2,39

*-пахта мойи ранги, Ловибонд бўйича 1 см кюветада, доимий 70 сариқ бирл.да, қизил бирл.

Юқорида айтиб ўтганимиздек, МХПД ларни аниқлаш нисбатан узоқ вақтни ва махсус ускуналарни талаб этувчи жараён ҳисобланади. Адабиётлардаги маълумотлардан келиб чиқиб, биз изланишларимизда МХПД ни келиб чиқарувчи асосий модда, Cl^- ионларини муҳитда бор ёки йўқлигини сифат реакцияси орқали аниқладик. Бунда кумуш нитрат

($AgNO_3$) билан Cl^- ионлари бирикишида $Ag^+ + Cl^- = AgCl\downarrow$ творогсимон чўкма чўкиши кузатилади.

Дастлаб изланишларимизда рафинацияланган, дезодорацияланмаган ўсимлик мойлари таркибида хлор ионлари мавжуд ёки йўқлигини аниқлаш учун сифат реакцияларини ўтказиб кўрдик. Тажрибаларда 4 хил ўсимлик мойларидан (импорт қилинган пальма мойи, маҳаллий пахта, кунгабоқар ва махсар мойларидан) 3 тадан, жами 12 та намунадаги ўсимлик мойларидан фойдаланилди. Олинган натижалар 4-жадвалда келтирилган.

4-жадвал.

Рафинацияланган ўсимлик мойлари намуналарида хлоридлар (ёки хлор ионлари) мавжудлигига сифат реакциялари натижалари

Намуналар	Кўрсатгичлар			
	Кислота сони, мг КОН/г	Ранги, мг J*	Намлик ва учувчан моддалр, %	Хлор ионларига сифат реакцияси (+ мусбат, -манфий)
№1 (пальма ёғи)	0,1	8	0,11	-
№2 (пальма ёғи)	0,1	12	0,13	+
№ 3 (пальма ёғи)	0,1	10	0,09	-
№4 (пахта мойи)	0,17	8	0,10	+
№5 (пахта мойи)	0,19	7	0,11	-
№6 (пахта мойи)	0,21	7	0,11	-
№7 (кунгабоқар мойи)	0,31	12	0,09	+
№8 (кунгабоқар мойи)	0,27	7	0,10	-
№9 (кунгабоқар мойи)	0,38	7	0,10	-
№10 (махсар мойи)	0,21	11	0,08	-
№11 (махсар мойи)	0,19	9	0,09	+
№ 12 (махсар мойи)	0,19	7	0,09	+

*- пахта мойининг ранг кўрсатгичи Ловибонд бўйича доимий 35 сариқ бирликда, қизил бирл.

Тажрибаларда фойдаланилган мойлар рафинацияланган, лекин ҳали дезодорация қилинмаган бўлиб, №1 намунадаги пальма ёғи сифат реакциясида манфий натижа берди.

№2 намуна эса мусбат натижа кўрсатди. Демак унинг таркибида МХПД ҳосил бўлишида асосий воситачи ҳисобланган Cl^- ионлари мавжуд.

№3 намуна манфий натижага эга.

Кўриниб турганидек, пальма ёғи, адабиётларда келтирилганидан фарқли равишда ҳар доим ҳам хлорли бирикмаларни тутавермайди.

№4 намунадаги мойни рафинациялашда соапстокни чўктириш учун мой массасига нисбатан 3% миқдорида ош тузининг 30% ли эритмасидан фойдаланилган. Соапстокни чўктириб, ажратилгандан сўнг уни 2 марта 95ºС ҳароратдаги сув билан ювилган ва қуритилган. Жадвалдан кўриниб турганидек, мой таркибида хлор ионлари аниқланди.

№5 намунани рафинациялашда эмульсияли усулда, фақат соапстокни намлаш учун буғ конденсатидан фойдаланилган. Сифат реакцияси манфий.

№6 намунани рафинациялаш узлуксиз усулда, мойни аввал ортофосфор кислотаси билан ишлов бериш ва сўнг ишқорий рафинациялаш йўли билан олинган. Сифат реакцияси салбий.

№7 намунадаги кунгабоқар мойини рафинациялашда тузли сув эритмасидан фойдаланилган. Натижа мусбат.

№8 ва №9 намунадаги мойларни рафинациялашда дистилланган сувдан фойдаланилган. Натижа манфий.

№10 намунадаги махсар мойи маҳаллий шароитда лалими ерда етиштирилган махсардан олинган бўлиб, уни рафинациялашда дистилланган сув ишлатилди. Сифат реакцияси салбий.

№11 ва №12 намуналарни рафинациялашда ош тузи эритмасидан фойдаланилди. Натижа иккала ҳолда ҳам мусбат.

Рафинация жараёнида ош тузини фойдаланиш диоллар пайдо бўлишига қандай таъсир ўтказишини аниқлаш учун қатор изланишлар олиб бордик.

Диолларни аниқлаш мураккаб таҳлилларни талаб қилгани учун уни ўзимиз аниқлаш иконiятига эга эмасмиз. Бунинг учун биз таҳлилларни Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг Биоорганик кимё институти экспериментал-технологик лабораторияси имкониятларидан ва ХХР нинг “Henan Huatai machinery” Co.LTD компанияси ёрдамидан фойдаландик.

Кейинги тажрибаларимизда биз танлаб олинган намуналаримиздаги мойларнинг таркибида дезодорация жараёнида МХПД ларнинг пайдо бўлган ёки йўқлигини таҳлил қилдик. Бунинг учун биз ҳар бир намунадан 500 мл миқдорида ХХР нинг “Henan Huatai machinery” Co.LTD компаниясига жўнатдик. Компания томонидан берилган маълумотларга кўра 3-МХПД, 2-МХПД ва уларнинг эфирларини аниқлашда газли хромато-масс-спектрометр «Маэстро-αMS» қурилмаси таҳлиллардан фойдаланилди:

Хромато-масс-спектрометрни фойдланиш йўриқномасига кўра аниқлашда 5-жадвалда келтирилган параметрлар ростланади.

5-жадвал.

Хромато-масс-спектрометр фаолиятининг асосий кўрсатгичлари

Ҳарорат режими	Бошланғич ҳарорат 60 °C, 5 °C/мин дан 190 °C, 20 °C/мин да 280 °C гача, оралиқ 5 мин, тугугандан кейин 300 °C 5 мин
Инжекторнинг ишлаш режими	Оқимни ажратмасдан
Инжектор ҳарорати	250 °C
Намунанинг киритиладиган ҳажми	1 мм^3
Лайнер тури	Қатлам ажратилмайдиган, стекловатали режимда бир қаватли конуссимон
Ташувчи газ	Гелий
Ташувчи газнинг оқим тезлиги	1,2 см^3/мин
Оқим режими	Доимий оқим
Интерфейс ҳарорати	280 °C
Манбаа ҳарорати	230 °C
Квадрупол ҳарорати	150 °C

1. Намунани камида 5 марта гексан билан ювилади;
2. Шприцни икки марта киритиладиган намуна билан ювилади;
3. Ҳаво пуфаклари олиб ташланади;
4. храмотографга 1 мм^3 намуна қуйилади ва таҳлил амалга оширилади;
5. Шприцни камида 5 марта ювилади.

Таҳлилни 3.5 жадвалда келтирилган ўтказиш режимлари орқали мониторинг қилинади. Бунда биринчи ион фрагмент ҳисоб-китоб учун иккинчиси эса тасдиқловчи сифатида фойдаланилади.

6-жадвал.

Реакцияларни мониторинг қилиш кўрсатгичлари

Аналит	Ион-манба, m/z	Ион-фрагмент, m/z	Урилиш энергияси, eB	Вақт сегменти
3-МХПД	196	147	10	1(15,0 - 18,4 мин.)
	196	91	25	
3-МХПД-d5	201	150	10	
	201	93	25	
2-МХПД	196	104	25	2(18,4 - 19,5 мин.)
	196	91	15	
2-МХПД-d5	201	107	10	
	201	104	20	
3-МБПД	242	147	10	3 (19,5-23,0 мин.)
	242	91	25	
3-МБПД-d5	247	150	10	
	247	93	25	

Аналитдаги моддалар сақламини аниқлаш қуйидагича олиб борилади:

$$C_{3-\text{МХПД(а)}} = \frac{G_1 \times 0{,}6}{m}; \quad (1)$$

$$C_{\text{глицидола(а)}} = \frac{G_2 \times 0{,}6}{m} \quad (2)$$

$$C_{3-\text{МХПД(б)}} = \frac{G_3 \times 0{,}6}{m}; \quad (3)$$

$$C_{2-\text{МХПД(б)}} = \frac{G_4 \times 0{,}6}{m};$$

$$\text{С глицидол (б)} = \frac{G_{3-\text{МХПД (б)}}}{C_{3-\text{МХПД (а)}}} = C \text{ глицидол (а)} \quad (4)$$

Бу ерда: $C_{3\text{-МХПД(а)}}$ – А намунадаги 3-МХПД сақлами, мкг/г;

$C_{\text{глицидола(а)}}$ – А намунадаги глицидол сақлами, мкг/г;

$C_{3\text{-МХПД(б)}}$ – Б намунадаги 3-МХПД сақлами, мкг/г;

$C_{2\text{-МХПД(б)}}$ – Б намунадаги 2-МХПД сақлами, мкг/г;

$C_{\text{глицидола(б)}}$ – Б намунадаги глицидол сақлами, мкг/г;

G_1 – хромато-масс-спектрометрга киритилган А намунадаги градуировкада ҳисобланган 3-МХПД массаси, мкг;

G_2 - хромато-масс-спектрометрга киритилган А намунадаги градуировкада ҳисобланган глицидол массаси, мкг;

G_3 - хромато-масс-спектрометрга киритилган Б намунадаги градуировкада ҳисобланган 3-МХПД массаси, мкг;

G_4 - хромато-масс-спектрометрга киритилган Б намунадаги градуировкада ҳисобланган глицидол массаси, мкг;

m – намуна массаси, г.

7-жадвал.

МХПД ни аниқлашда оғишлар, аниқликлар, қайтарилишларнинг кўрсатгичлари

Аниқланадиган концентрациялар, мг/кг	Аниқлик даражаси, (нисбий хатолик чегараси P = 0,95), ±δ, %	Қайтарилиш даражаси (қайтарилишнинг ўртача квадрат оғиши), σ_r, %	Таъсирчанлик кўрсатгичи (таъсирчанликнинг ўртача квадрат оғиши), σ_R, %	Қайтарилиш чегараси (иккита ўлчаш ўртасидаги рухсат этилган оғишлар), r, %	Таъсирчанлик чегараси (иккита лабораторияда олинган натижалар ўртасидаги рухсат этилган фарқ), R, %, (P = 0,95)	Моддани ажратишнинг ўртача тўлиқлиги, %
3-МХПД						
0,3 - 30,0	50	9,4	10,7	26	30	113,6
2-МХПД						
0,3 - 30,0	35	9,2	8,3	26	23	107,9
Глицидол						
0,3 - 30,0	69	9,2	16,5	26	46	87,5

Тажриба натижалари 8-жадвалда келтирилган.

8-жадвал.

Рафинацияланган ва дезодорацияланган ўсимлик мойлари намуналарида МХПД ва уларнинг эфирларини таҳлил натижалари

Намуналар	Хлор ионларига сифат реакцияси (+ мусбат, -манфий)	3-МХПД, мг/кг	2-МХПД мг/кг	Глицидол (ГЭ) мг/кг
№1 (пальма ёғи)	-	0,014	0,092	-
№2 (пальма ёғи)	+	2,390	0,951	1,44
№ 3 (пальма ёғи)	-	0,011	0,009	-
№4 (пахта мойи)	+	1,144	0,576	0,96
№5 (пахта мойи)	-	0,019	-	-
№6 (пахта мойи)	-	0,067	0,014	0,007
№7 (кунгабоқар мойи)	+	1,578	2,144	0,631
№8 (кунгабоқар мойи)	-	0,019	0,211	0,056
№9 (кунгабоқар мойи)	-	0,142	0,011	0,010
№10 (махсар мойи)	-	0,024	0,009	0,140
№11 (махсар мойи)	+	2,145	0,365	1,143
№ 12 (махсар мойи)	+	2,096	0,543	0,956

8-жадвалдан кўриниб турганидек, МХПД ларнинг манбалари мавжуд бўлган мойларни 240ºС ҳароратда 150 мин давомида 4 мм қолдиқ босимда дезодорация қилинганда 3-МХПД, 2-МХПД ва глицидоллар сезиларли даражада пайдо бўлиши аниқланди. Жумладан, 3-МХПД, 2-МХПД ва ГЭнинг энг кўп миқдорлари мос равишда рафинация жараёнида тузли эритма билан ишлов берилган пальма ёғида (2,39, 0,951, 1,44 мг/кг), пахта мойида (1,144, 0,576, 0,96 мг/кг), кунгабоқар мойида (1,578, 2,144, 0,631 мг/кг) ва махсар мойида (2,145, 0,365, 1,143 мг/кг) аниқланди. Аниқланган кичик миқдорлар мой таркибига ўсимликнинг ўсиш табиий шароитига ва қўлланган гербицидларга мос равишда ўтган хлор ионлари билан боғлиқ деган тахминга келинди.

Айтиб ўтиш керакки, мойларни рафинациялашда ош тузи қўлланганда меъёрларга нисбатан анча юқори миқдорда диол моддалар аниқланди. Ўсимлик мойлари учун бу меъёр 1,0 мг/кг дан кичик бўлиши керак.

Хулоса.

Ўсимлик мойларини ишлаб чиқариш, жумладан рафинациялаш жараёнида хлоридлар, хлор ионлари ўтиши мумкин бўлган моддаларни ишлатмаслик тавсия этилади. Жумладан, соапстокни сувлаш учун бериладиган ош тузи эритмасини қўллашни чеклаш керак. Тажрибаларда соапстокни тузли сув билан сувлаш жараёнида МХПД ни ҳосил бўлишида асосий аҳамиятга эга хлор ионлари мой таркибига ўтиши ва кейинчалик ҳарорат таъсирида айнан шу мойларда МХПД ва глициолларнинг юқори миқдори ҳосил бўлиши аниқланди.

Рафинацияланган мойларни юқори ҳарорат таъсиридан сақлаш мақсадида ўсимлик мойларини дезодорацияламасдан қадоқлаш тавсия этилади. Бунда, мойларни юқори ҳароратдан сақланиши ҳисобига таркиби камроқ ўзгариши ва сақланиш муддати ошиши таъминланади. Рафинацияланган мойларни дезодорациялашдан олдин хлорид кислота (HCl) ишлатмасдан ёки фақатгина термик усулда фаоллаштирилган оқловчи тупроқлар билан мой массасига нисбатан 0,5% гача сарфлаб оқлаш тавсия этилади. Бу жараён мой таркибидаги Cl^- ионларини бартараф этишда самарали таъсирга эга ва оқлашдан кейин дезодорация амалга оширилганда рухсат этилган меъёрларга нисбатан 2-3 марта кам МХПД сақламига эга мойлар олишга эришилади.

Дезодорация жараёнида юқори ҳарорат давомийлигини пасайтириш ва жараённи икки босқичли ташкил қилиш тавсия этилади. Бунда, пахта ва пальма ёғлари учун дастлабки 30 мин да 240°С ҳарорат, кейинги 120 мин оралиғида эса ҳароратни 210°С гача пасайтириб, қолдик босимни 1 мм гача тушириш керак. Кунгабоқар ва махсар каби тўйинмаган ёғ кислоталари кўп бўлган мойларни дезодорациялашда дастлабки 30 мин да жараён ҳароратини 210°С, кейинги 120 мин да эса 180°С ҳароратда олиб бориш тавсия этилади. Гербицидлар ва дефолянтларни қўллашда уларнинг таркибига қатъий эътибор қаратиш, уларнинг ишлатилиш миқдорларини минимал даражага пасайтириш тавсия этилади. Бунда, мой таркибига хом ашё орқали ўтадиган кантаминатларни бартарая этиш имконияти пайдо бўлади.

Адабиётлар:

1. Velisek J, Davidek J, Kubelka V, Janicek G, Svobodova Z, Simicova Z. New chlorine-containing organic compounds in protein hydrolysates. Agric. Food Chem. 1980;28(6):1142–4.

2. Crews C, Chiodini A, Granvogl M, Hamlet C, Hrnčiřík K, Kuhlmann J, et. al. Analytical approaches for MCPD esters and glycidyl esters in food and biological samples: a review and future perspectives. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess. 2013;30(1):11-45.

3. Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–123. [cited 2018 Nov 05] Available from: https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/09/List_of_Classifications.pdf.

4. National Toxicology Program (NTP) technical report on the toxicology and carcinogenesis studies of glycidol (CAS no. 556-52-5) in F344/N rats and B6C3F1 mice (gavage studies). Research Triangle Park (NC): National Toxicology Program; 1990 (NTP Technical Report 374).

5. National Toxicology Program. Toxicology and carcinogenesis study of glycidol (CAS No. 556-52-5) in genetically modified haploinsufficient p16Ink4a/p19Arf mice (gavage study). Natl Toxicol Program Genet Modif Model Rep. 2007;13:1–81

6. Glycidol. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2000 (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 77).

7. El Ramy R, Ould Elhkim M, Lezmi S, Poul JM. Evaluation of the genotoxic potential of 3-monochloropropane-1,2-diol (3- MCPD) and its metabolites, glycidol and beta-chlorolactic acid, using the single cell gel/comet assay. Food Chem Toxicol. 2007;45:41–8.

8. Aasa J, Vare D, Motwani HV, Jenssen D, Tornqvist M. Quantification of the mutagenic potency and repair of glycidol-induced DNA lesions. Mutat Res Genet Toxicol Environ Mutagen. 2016;805:38–45.

9. Ozcagli E, Alpertunga B, Fenga C, Berktas M, Tsitsimpikou C, Wilks MF et al. Effects of 3-monochloropropane-1,2-diol (3-MCPD) and its metabolites on DNA damage and repair under in vitro conditions. Food Chem Toxicol. 2016;89:1–7.

10. Ikeda N, Fujii K, Sarada M, Saito H, Kawabata M, Naruse K et al. Genotoxicity studies of glycidol fatty acid ester (glycidol linoleate) and glycidol. Food Chem Toxicol. 2012. 50:3927–33.

11. Risks for human health related to the presence of 3- and 2-monochloropropanediol (MCPD), and their fatty acid esters, and glycidyl fatty acid esters in food. EFSA Journal 2016;14(5):4426.

12. Leigh J, MacMahon S. Occurrence of 3- monochloropropanediol esters and glycidyl esters in commercial infant formulas in the United States. Food Addit Contam: Part A. 2017;34(3):356-70.

13. Weisshaar R. Fatty acid esters of 3-MCPD: overview of occurrence and exposure estimates. Eur J Lipid Sci Technol. 2011. 113:304–8.

14. WHO Technical Report Series 1002. Evaluation of certain contaminants in food Eighty-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. [cited 2018 Nov 05] Available from: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254893/9789241210027-eng.pdf.

15. Becalski A, Feng S, Lau BP-Y, Zhao T. A pilot survey of 2- and 3-monochloropropanediol and glycidol fatty acid esters in foods on the Canadian market 2011 -2013. Food Comp Anal. 2015;37:58-66.

16. www.bfr.bund.de [Internet]. Background information: Chemical food safety A/2011, 26.01.2011 [cited 2018 Nov 05]. Available from: https://www.bfr.bund.de/en/presseinformation/2011/A/chemical_food_safety-59770.html.

17. Pudel F, Benecke P, Fehling P, Freudenstein A, Matthäus B, Schwaf A. On the necessity of edible oil refining and possible sources of 3-MCPD and glycidyl esters. Eur J Lipid Sci Technol. 2011;113:368–73.

18. Ibrahim N, Razak AA, Ramli R, Ramli M, Kuntom A. 3-MCPD Esters: A new challenge for the palm oil industry. Conference Paper November 2016. Available from: file:///C:/Users/HP/Downloads/3-MCPDE-Anewchallenge forpalmoilindustry.pdf.

19. Goodrich P, O'HARA E, Atkins MP, HAMER CK, inventors; Green Lizard Technologies Ltd, Evonik Industries Ag, assignee. Process for removing chloropropanols and/or glycidol, or their fatty acid esters, from glyceride oil, and an improved glyceride oil refining process comprising the same. World Intellectual Property Organization patent WO2016189328A1. 2015 May 27.

20. Matthäus B, Pudel F. Mitigation of MCPD and Glycidyl Esters in Edible Oils. In: Processing Contaminants in Edible Oils: MCPD and Glycidyl Esters. Academic Press and AOCS Press; 2014;23-55.

21. Goodrich P, O'HARA E, Atkins MP, HAMER CK, inventors; Green Lizard Technologies Ltd, Evonik Industries Ag, assignee. A process for refining glyceride oil comprising a basic ionic liquid treatment. World Intellectual Property Organization patent WO2016189333A1. 2015 May 27.

22. Zhao Y, Zhang Y, Zhang Z, Liu J, Wang Y-L, Gao B, et.al. Formation of 3-MCPD Fatty Acid Esters from Monostearoyl Glycerol and the Thermal Stability of 3-MCPD Monoesters. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2016;64(46):8918–26.

23. Bakhiya N, Abraham K, Gurtler R, Appel KE, Lampen A. Toxicological assessment of 3-chloropropane-1,2-diol and glicydol fatty acid esters in food. Mol. Nutr. Food Res. 2011;55:1–13.

24. Weisshaar R, Perz R. Fatty acid esters of glycidol in refined fats and oils. Eur J Lipid SciTechnol. 2010; 112:158-65

25. Destaillats F, Craft BD, Dubois M, Nagy K. Glycidyl esters in refined palm (*Elaeis guineensis*) oil and related fractions. Part I: Formation mechanism. Food Chem. 2012;131:1391–8.

26. Weibhar R. Fatty acid esters of 3-MPCD: Overview of occurrence and exposure Estimates //Eur.J.Lipid Sci. Texnol, -2011. -Vol.113. iss.3. -P.304-308.

27. Nagy K. Mass-defect fitering of isotope signatures to reveal the source of chlorinated palm oil contamenants. //Food Addit. Contam. -2011. Vol. 28. Iss 11. -P1492-1500.

28. Миронова А.Н., Морозова Т.Б. Труды. Всес. науч. иссл. инст. жиров. Вып. 25, -Л., ВНИИЖ, 1965, - С. 238-250.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОРНЕЙ КУКУРУЗЫ.

Д.т.н. проф. Исмаилов Ойбек Юлибоевич,
Институт общей и неорганической химии АНРУз. г. Ташкент.
докторант Жураев Тўлқинжон Эрмахамадович.
Институт общей и неорганической химии АНРУз. г. Ташкент.
E-mail: tolqinjonjorayev15@gmail.com
Хаджибаев Акбаржон Шавкатович,
ст.преп. кафедры Основы инженерии и механики,
Ташкентского химико-технологического института,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: akbarjonshavkatovich@gmail.com
Шарипов Козимжон Комилжонович,
доц. кафедры Основы инженерии и механики,
Ташкентского химико-технологического института,
Республика Узбекистан, г. Ташкент
E-mail: k.sharipov@tkti.uz

Аннотация: *В статье представлены результаты исследования свойств карбонизированного углерода, полученного на основе корней кукурузы сорта «Пионер 1921». Установлено, что его масса уменьшается на 81,7% при нагревании до 800 °C. Для создания активных углеродных поверхностей проводилась активация с использованием растворов гидроксида калия (KOH) концентрацией 30% и 50% в соотношениях с углеродом 1:1, 2:1 и 3:1 при температуре 700 °C. Оценка сорбционных характеристик активированного угля выполнялась с использованием раствора метиленового синего. Результаты показали, что сорбционная способность активированного угля, обработанного 30% раствором KOH в соотношении 2:1, значительно превосходит аналогичные показатели для соотношения 1:1. Разница составила в среднем 0,78 мг при концентрации метиленового синего 10 мг/л, 0,85 мг при концентрации 50 мг/л и 0,93 мг при концентрации 100 мг/л. Для угля, активированного 50% раствором KOH, величины сорбции составили соответственно 0,2, 0,4 и 0,7 мг/л. Сорбционная емкость активированного угля, обработанного в соотношении 3:1, составила для 30% KOH — 3,0; 1,48; 1,8 мг/г и для 50% KOH — 1,7; 1,5; 2,1 мг/г, в сравнении с соотношением 1:1. При использовании угля без KOH (0%) с соотношениями пропитки 1:1, 1:2 и 1:3 количество сорбированного метиленового синего увеличилось с 10,45 до 13,1 мг. Площадь поверхности образцов массой 0,05 г и 1 г возросла с 23,61 до 29,59 м², а по методу БЭТ — с 472,2 до 723 м². Дополнительно установлено, что при пропитке угля без добавления KOH (0%) с соотношениями 1:1, 2:1 и 3:1 сорбция метиленового синего на угле массой 0,05 г увеличилась с 12,8 до 16 мг. Площадь поверхности образцов этой массы выросла с 28,93 до 36,15 м², в то время как площадь поверхности одного грамма угля увеличилась с 578,6 до 723 м² в зависимости от повышения количества сорбированного метиленового синего.*

Результаты проведенных исследований, основанных на использовании инфракрасной спектроскопии и рентгенохроматографического анализа, подтвердили, что процесс активации способствует формированию пористого углерода, характерного для углей, полученных методом химической активации. В экспериментах с образцом адсорбента K50:1, активированным 50%-ным раствором KOH, было получено значение pH 5,1. Для адсорбента K50:2 pH составил 6,45, а для K50:3 — 7,15. Анализ экспериментальных данных позволяет заключить, что адсорбенты активированного угля K30:3, K50:2 и K50:3, рекомендованные для работы в кислых средах, демонстрируют более высокую эффективность по сравнению с другими образцами. Это свидетельствует о высокой

результативности разработанных адсорбентов при очистке сточных вод, загрязненных неорганическими веществами.

Ключевые слова: *корней кукурузы, карбонизация, активированный уголь, ИК-спектроскопия, СЭМ, рентгеновская дифрактометрия, пиролиз, КОН.*

STUDY OF THE EFFICIENCY OF WASTEWATER TREATMENT FROM ORGANIC ACIDS USING ACTIVATED CARBONS BASED ON CORN ROOTS

D.Sc., Prof. Ismailov Oybek Yuliboevich,
Institute of General and Inorganic Chemistry, AS RUz, Tashkent.
Doctoral student Juraev Tulkinjon Ermakhamadovich,
Institute of General and Inorganic Chemistry, AS RUz, Tashkent.
E-mail: tolqinjonjorayev15@gmail.com
Khadjibaev Akbarjon Shavkatovich
Senior teacher of the Department of
Fundamentals of Engineering Graphics and Mechanics,
Tashkent Institute of Chemical Technology,
Republic of Uzbekistan, Tashkent
E-mail: akbarjonshavkatovich@gmail.com
Sharipov Kozimjon Komiljonovich
Ph.D., Assoc of the Department of
Fundamentals of Engineering Graphics and Mechanics,
Tashkent Institute of Chemical Technology,
Republic of Uzbekistan, Tashkent
E-mail: k.sharipov@tkti.uz

Abstract: *This article presents the results of a study on the properties of carbonized material obtained from the roots of the corn variety "Pioneer 1921." It was established that its mass decreases by 81.7% when heated to 800 °C. To create active carbon surfaces, activation was carried out using potassium hydroxide (KOH) solutions with concentrations of 30% and 50% in ratios with carbon of 1:1, 2:1, and 3:1 at a temperature of 700 °C. The adsorption characteristics of the activated carbon were evaluated using a methylene blue solution. The results showed that the adsorption capacity of activated carbon treated with a 30% KOH solution at a ratio of 2:1 significantly exceeds that of the 1:1 ratio. The difference averaged 0.78 mg at a methylene blue concentration of 10 mg/L, 0.85 mg at 50 mg/L, and 0.93 mg at 100 mg/L.*

For carbon activated with a 50% KOH solution, the adsorption values were 0.2, 0.4, and 0.7 mg/L, respectively. The adsorption capacity of activated carbon treated at a ratio of 3:1 was 3.0, 1.48, and 1.8 mg/g for 30% KOH, and 1.7, 1.5, and 2.1 mg/g for 50% KOH, compared with the 1:1 ratio.

When using carbon without KOH (0%) at impregnation ratios of 1:1, 1:2, and 1:3, the amount of adsorbed methylene blue increased from 10.45 to 13.1 mg. The surface area of samples weighing 0.05 g and 1 g increased from 23.61 to 29.59 m², and according to the BET method, from 472.2 to 723 m².

Additionally, it was found that when impregnating carbon without KOH (0%) at ratios of 1:1, 2:1, and 3:1, the adsorption of methylene blue on 0.05 g samples increased from 12.8 to 16 mg. The surface area of these samples increased from 28.93 to 36.15 m², while the surface area per gram of carbon increased from 578.6 to 723 m² depending on the increase in the amount of adsorbed methylene blue.

The results of the conducted studies, based on infrared spectroscopy and X-ray diffraction analysis, confirmed that the activation process promotes the formation of porous carbon typical of chemically activated carbons. In experiments with the adsorbent sample K50:1 activated with a

50% KOH solution, a pH value of 5.1 was obtained. For adsorbent K50:2, the pH was 6.45, and for K50:3 — 7.15.

Analysis of the experimental data allows us to conclude that activated carbon adsorbents K30:3, K50:2, and K50:3, recommended for operation in acidic environments, demonstrate higher efficiency compared to other samples. This indicates the high effectiveness of the developed adsorbents in the treatment of wastewater contaminated with inorganic substances.

Keywords: *corn roots, carbonization, activated carbon, IR spectroscopy, SEM, X-ray diffraction, pyrolysis, KOH.*

1. Введение

Увеличение производственных мощностей промышленных предприятий способствует повышению уровня потребности в очистке сточных вод. В этом контексте, как развитие методов эффективного применения активированных углей в системе водоочистки, так и способность регулировать их пористость и поверхностную активность становятся ключевыми факторами, которые стимулируют дальнейший рост спроса на данный материал [1-4].

Активированный уголь характеризуется высокой степенью пористости и выдающимися адсорбционными свойствами, что делает его эффективным для удаления большинства загрязнений, как в жидкой, так и в газовой среде. Несмотря на возможность получения активированного угля из различных видов сырья и с использованием множества технологических методов [5-7], объемы производства качественного адсорбента остаются ограниченными. Подбор подходящего сырья и оптимизация методов активации, обеспечивающих необходимые характеристики углеродного адсорбента, позволяют добиться его максимальной производительности в широком спектре промышленного применения.

В литературе представлены многочисленные исследования [8-11], подробно описывающие физико-химические и морфологические изменения, происходящие при синтезе активированного угля с применением различных активирующих агентов, таких как H_3PO_4, KOH, H_2SO_4, NaOH и водяной пар. Особый интерес привлекает использование растительных отходов в качестве исходного материала для производства активированного угля, особенно в сфере сельского хозяйства [12-14]. Эти материалы обладают рядом преимуществ, обусловленных следующими факторами:

- они являются возобновляемым ресурсом, непрерывно накапливающимся в течение всего сезона, что позволяет решить проблему их экологически безопасной переработки;

- растительные остатки больше не воспринимаются как актуальный источник топлива и энергии. Каждая разновидность сельскохозяйственных растительных остатков отличается от других своей клеточной структурой, составом биополимеров, плотностью, жесткостью и уровнем содержания углерода.

Корни кукурузы представляют собой качественный лигноцеллюлозный материал и считаются недорогой заменой более дорогостоящему и менее экологичному сырью, например, углю. Дополнительным значимым аспектом является возможность восстановления KOH, что имеет важное значение как с экологической, так и с экономической точки зрения [15].

Основная часть активированных углей применяется для удаления различных органических соединений из сточных вод [16]. К тому же, активированные угли с кислотной обработкой доказали свою эффективность при извлечении катионов тяжелых металлов из водных сред [17]. Щелочные активированные угли, полученные с использованием KOH, применялись для сорбции органических кислот из водных растворов [18-19]. Учитывая эти аспекты, настоящее исследование направлено на изучение возможностей выбранного материала для производства активированного угля. В рамках данной работы планируется получить активированный уголь из корней кукурузы с использованием KOH в качестве активирующего агента, а также рассмотреть вероятные механизмы активации.

2. Методы и материалы.

Для выполнения работы были применены ИК-спектрометрия (ИК-спектральный анализ), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), рентгеновский дифрактометр, а также разнообразные подходы к описанию и анализу полученных данных.

Объектом исследования являлось корни кукурузы сорта «Пионер 1921», выращиваемой в восточном регионе Узбекистана.

В ходе исследования использовались муфельная печь, низкопроцентный раствор KOH и HCl, ИК-спектрометр фирмы «Perkin Elemer», рентгеновский дифрактометр фирмы «Rigaku» (Япония) и СЭМ (JSM-IT210LA) фирмы «JEOL» (Япония), для определения pH использовались приборы «ph-1500» фирмы «Измерительная техника» (Россия).

2.1. Методика получения активированного угля на основе корней кукурузы

Корней кукурузы очищаются от механических примесей и высушивается в сушильном шкафу при температуре 90–105 °C на протяжении 180 минут, чтобы уменьшить их влажность.

Высушенное корней кукурузы нарезали на фрагменты размером 0,5–1 см. Полученный материал подвергали пиролизу при температуре 500–800 °C с выдержкой 60-180 мин в среде, лишенной кислорода, после чего охлаждали в инертной атмосфере на протяжении заданного времени. После пиролиза остаточный уголь подвергали подготовке для пропитки аналитическим раствором KOH производства компании «Мосреактив». Для этого гидроксид калия растворяли в дистиллированной воде до получения раствора концентрацией 30–50%. Затем полученную щелочную смесь соединяли с пиролизованным углеродом в соотношениях 1:1, 2:1 и 3:1 и проводили процесс пропитки. Пропитанный материал накрывали и оставляли при комнатной температуре на 24 часа. По истечении суток уголь извлекали и измеряли его pH, который составлял 11,2. Для понижения щелочности уголь промывали раствором уксусной кислоты концентрацией 8–10% до достижения уровня pH в пределах 6–7, завершив этап нейтрализации. Для последующей активации образцы нейтрализованного угля размещали в муфельную печь «SNOL», где подвергали термической обработке при температуре 700 °C в течение одного часа в условиях, исключающих доступ кислорода, а затем оставляли в печи для постепенного охлаждения на протяжении 8 часов. После активации значение pH угля повышалось до 9–10, что связано с присутствием остаточных калийсодержащих соединений и формированием щелочных поверхностных функциональных групп в ходе химической активации. Для доведения pH до нейтральных значений активированный уголь промывали дистиллированной водой. На завершающем этапе материал высушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °C в течение 6 ч.

Названия образцов активированного угля, которые были получены в результате процесса пропитки исходного угля гидроксидом калия (KOH) на последующем этапе термического разложения или пиролиза, приведены ниже.

Углерод + KOH 30% соотношение 1:1 = K30:1
Углерод + KOH 30% соотношение 1:2 = K30:2
Углерод + KOH 30% соотношение 1:3 = K30:3
Углерод + KOH 50% соотношение 1:1 = K50:1
Углерод + KOH 50% соотношение 1:2 = K50:2
Углерод + KOH 50% соотношение 1:3 = K50:3

2.2. Методика изучения сорбционные свойства высушенного активированного угля

Сорбционные свойства высушенного активированного угля по отношению к метиленовому синему изучались в лабораторных условиях. Для проведения эксперимента предварительно готовили рабочий раствор метиленового синего путём растворения 5 мг вещества в 1000 мл дистиллированной воды. Затем 0,05 г активированного угля добавляли к 50 мл полученного раствора и перемешивали на магнитной мешалке при температуре 25–30

°C и скорости 80 мин$^{-1}$ в течение 30 мин. После этого суспензию фильтровали через фильтровальную бумагу, а прозрачный фильтрат анализировали на спектрофотометре при длине волны 664 нм. Значение адсорбции определяли по соответствующей расчётной формуле.

$$q_t = \frac{(C_o - C_t) \times V}{m} \quad (1)$$

где, Co - начальная концентрация (мг/л); C_t - концентрация в заданный момент времени t (мг/л); V - объем раствора в литрах (0,05 л); m - масса адсорбента в граммах (0,05 г).

Согласно приведённой формуле (1), установлено, что при внесении 0,05 г КОН на образец активированного угля в пропорции 3:1 происходит поглощение 16 мг метиленового синего. Исходя из количества сорбированного метиленового синего, была рассчитана площадь поверхности активированного угля методом БЭТ на 1 грамм материала.

Расчёт производился следующим образом:

Масса адсорбированного метиленового синего составляет 16 мг, что соответствует 0,0016 г для 1000 мл раствора. Масса адсорбента равна 0,05 г. Молярная масса метиленового синего составляет 319,85 г/моль. Площадь молекулярного покрытия одной молекулы метиленового синего, согласно данным, приведённым в работах [20] составляет 120Å^2, что соответствует $1{,}2\times10^{-18}$ м².

Молярное число МС можно найти:

$n = m/Mr = 0{,}016$ г/(319,85 г/моль) $\approx 5{,}0023\times10^{-5}$ моль

Количество молекул

$N=n\cdot NA\approx 3{,}0125\times10^{19}$ молекул

Общее покрытие поверхности МС (мономолекулярное покрытие согласно):

$S_{общ}= N\cdot A \approx 3{,}0125 \times 10^{19} \times 1{,}2\times10^{-18}$ м^2 $\approx$ 36,15 м^2

Площадь поверхности по БЭТ (м²/г)

$S_{BET} = S_{общ}/m_{ads} = 36{,}15/0{,}05 \approx 723$ м^2/г

Поверхности, активированные с использованием КОН при различных концентрациях, были рассчитаны с применением предложенного метода вычислений на основе модели БЭТ.

Для проверки эффективности использования данного образца активированного угля в лабораторных условиях была проведена процедура адсорбции органической кислоты (уксусной кислоты) из водного раствора. Эксперимент осуществлялся с использованием стеклянной колонки или бюретки, внутреннее пространство которой последовательно заполняли слоем ватного тампона толщиной 2–3 см и слоем активированного угля толщиной 10 см. Для предварительного увлажнения материала в бюретку добавляли 15 мл дистиллированной воды. Затем готовили 100 мл 2%-ного раствора уксусной кислоты, который полностью заливали в колонку с углем. Образец оставляли в состоянии покоя на протяжении 20 минут для достижения равновесия адсорбции. После истечения заданного времени открывали нижний клапан бюретки, сливали образовавшийся адсорбат в отдельную емкость и измеряли показатель его кислотности (pH). Уровень эффективности сорбционного процесса оценивался на основе изменения значения pH исходного раствора.

3. Результаты и обсуждение.

Пиролиз представляет собой одну из разновидностей карбонизации, в рамках которой происходят следующие процессы: дегидратация, или удаление физически и химически связанной воды из исходного сырья, а также термическое разложение компонентов, таких как целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин, что сопровождается образованием смол и газов (CO_2, CH_2, CO). Этот процесс является важным этапом при производстве активированного угля. На начальной стадии получения активированного угля карбонизацию корней кукурузы проводили при температурном диапазоне 500–800 °C с продолжительностью обжига от 1 до 3 часов. При этом определялась общая потеря массы сырья в зависимости от времени обработки и температуры (см. рис. 1)

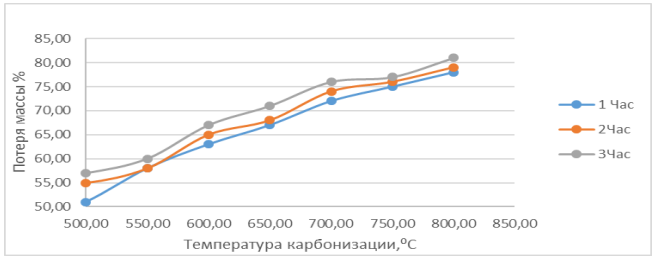


Рис. 1. Зависимость потери массы от температуры карбонизации.

Карбонизацию корней кукурузы проводили при температурном диапазоне от 500 до 800 °C с продолжительностью процесса от 1 до 3 часов. Установлено, что потери массы увеличиваются от 50% до 82% по мере повышения температуры в указанном интервале. При 800 °C потеря массы составила 76% за 1 час, 77,5% через 2 часа и достигла 81,7% при длительности процесса 3 часа.

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показывает, что оптимальная температура для процесса карбонизации находится в пределах 550–600 °C. Данный диапазон обусловлен морфологическими характеристиками материала. Превышение указанного температурного интервала приводит к снижению структурных параметров углеродного материала, что указывает на отрицательное воздействие повышенных температур на формирование углеродной матрицы. В рамках следующего этапа работы, с целью создания активных углеродных поверхностей, была проведена активация смеси, состоящей из 30% и 50% раствора KOH и углерода, взятых в соотношениях 1:1, 2:1 и 3:1 при температуре 600 °C. Результаты эксперимента, направленного на определение сорбционных характеристик активированного угля с использованием раствора метиленового синего, приведены в табл.1.

Таблица 1

Изменение сорбционных свойств активированного угля с течением времени

Раствор метиленового синего в воде C_0, mg/l	Изменение массовой доли (мг) сорбированного метиленового синего во время перемешивания					
	τ =15 мин		τ = 30 мин		τ = 60 мин	
	30% KOH	50% KOH	30% KOH	50% KOH	30% KOH	50% KOH
В соотношении 1:1						
10	3.1	5.4	4.8	7.7	6.75	9.2
50	3.2	5.9	6.45	8.3	10.2	12.2
100	3.5	6.7	6.6	8.5	10.45	12.8
В соотношении 2:1						
10	3.85	6.8	5.25	8.2	7.55	9.4
50	4.5	5.8	6.75	8.8	10.7	12.6
100	4.8	6.8	7.5	9.7	11.2	13.5
В соотношении 3:1						
10	5.4	8.2	7.8	9.5	8	9.9
50	5.5	8.5	7.9	9.8	12	15.2
100	6.6	8.75	8.4	10.6	13.1	16

Примечание: C0, мг/л = концентрация метиленового синего, растворенного в 1000 мл раствора.

Анализ данных, представленных в таблице 1, показывает, что увеличение соотношения KOH:уголь до 2:1 приводит к росту сорбции метиленового синего по сравнению с соотношением 1:1. При τ = 60 мин и использовании 30%-ного раствора KOH прирост сорбции составляет 0,80 мг при C_0 = 10 мг/л, 0,50 мг при C_0 = 50 мг/л и 0,75 мг при C_0 = 100 мг/л.

Для образцов, активированных 50%-ным раствором KOH в соотношении 2:1, увеличение сорбции составляет 0,2; 0,4 и 0,7 мг при концентрациях метиленового синего 10, 50 и 100 мг/л соответственно.

Дальнейшее увеличение соотношения KOH:уголь до 3:1 приводит к более выраженному росту сорбционных характеристик. Так, при использовании 30%-ного раствора KOH и τ = 60 мин сорбция увеличивается на 1,25 мг (C_0 = 10 мг/л), 1,8 мг (C_0 = 50 мг/л) и 2,65 мг (C_0 = 100 мг/л) по сравнению с соотношением 1:1. Аналогичная тенденция наблюдается и для 50%-ного раствора KOH.

Таким образом, эффективность адсорбции метиленового синего активированным углем возрастает с увеличением концентрации раствора, соотношения KOH:уголь и времени перемешивания.

В ходе экспериментов с метиленовым синим произведён расчёт поверхностей БЭТ для активированных углей, обладающих наивысшими адсорбционными свойствами. Расчёты выполнены в соответствии с методикой, описанной в разделе 2.2. Результаты исследования представлены в табл.2.

Таблица 2. Площадь поверхности активированного угля, определённая по данным сорбции метиленового синего (МС) и методом БЭТ при различных условиях активации KOH

Образец	МС	$S_{общ}$, м^2, 0,05 гр	S_{BET}, м^2, 1,0 гр
К30:1	10,45	23,61	472,20
К30:2	11,20	25,30	506,10
К30:3	13,10	29,59	591,80
К50:1	12,80	28,93	578,60
К50:2	13,50	30,50	610,00
К50:3	16,00	36,15	723,00

Согласно данным, представленным в табл.2., количество метиленового синего, адсорбированного активированным углём, обработанным 30%-ным раствором гидроксида калия (KOH) при соотношениях KOH:уголь 1:1, 2:1 и 3:1, возрастает с 10,45 до 13,10 мг. Одновременно с увеличением количества адсорбированного красителя наблюдается рост площади поверхности активированного угля. Так, площадь поверхности образцов массой 0,05 г увеличивается с 23,61 до 29,59 м², тогда как удельная площадь поверхности, рассчитанная по методу БЭТ для образцов массой 1 г, возрастает с 472,2 до 591,8 м².

Анализ данных табл.2. также показывает, что пропитка угля 50%-ным раствором KOH при соотношениях KOH:уголь 1:1, 2:1 и 3:1 способствует более выраженному увеличению сорбционных характеристик. Количество адсорбированного метиленового синего на 0,05 г активированного угля возрастает с 12,8 до 16,0 мг. При этом площадь поверхности образцов массой 0,05 г увеличивается с 28,93 до 36,15 м², а удельная поверхность по методу БЭТ — с 578,6 до 723,0 м². Полученные результаты свидетельствуют о прямой зависимости площади поверхности и сорбционной способности активированного угля от концентрации раствора KOH и соотношения KOH:уголь, что указывает на эффективность химической активации в формировании развитой пористой структуры материала. Полученные в настоящей работе результаты хорошо согласуются с данными, представленными в литературе для активированных углеродных материалов, полученных с использованием гидроксида калия [21]. В частности, в работе R. Acosta et al. (2016) показано, что химическая активация углеродных материалов растворами KOH при температурах 600–800 °C приводит к

интенсивному развитию микропористой и мезопористой структуры, сопровождающемуся существенным ростом удельной поверхности — до 700 м²/г [21]. Аналогичная тенденция наблюдается и в настоящем исследовании, где увеличение концентрации KOH и соотношения активирующего агента способствует росту площади поверхности активированного угля, рассчитанной как по данным сорбции метиленового синего, так и по методу БЭТ. Следует отметить, что, как и в работе Acosta et al., увеличение удельной поверхности сопровождается ростом адсорбционной способности углеродных материалов по отношению к органическим соединениям в водной фазе. Авторы отмечают линейную зависимость между величиной BET-поверхности и сорбционной ёмкостью, а также подчёркивают ключевую роль мезопористости в обеспечении доступности активных центров адсорбции для молекул сравнительно большого размера [21]. Это полностью согласуется с результатами настоящего исследования, где максимальные значения сорбции метиленового синего и нейтрализации кислой среды были зафиксированы для образцов K30:3, K50:2 и K50:3, характеризующихся наибольшей площадью поверхности. Кроме того, в упомянутой работе показано, что KOH-активация приводит не только к развитию пористой структуры, но и к изменению химии поверхности углерода, включая образование кислородсодержащих функциональных групп и остаточных неорганических соединений калия. Эти факторы оказывают существенное влияние на кислотно-основные свойства поверхности и адсорбционное поведение материалов. Аналогичный эффект наблюдается и в данном исследовании, что подтверждается изменением pH среды после контакта с активированным углем и результатами ИК-спектроскопического анализа.

Для изучения физико-химических свойств активированного угля, обработанным 50%-ным раствором гидроксида калия (KOH) при соотношениях KOH:уголь 3:1, были выполнены ИК-спектроскопический, рентгеноструктурный и сканирующий электронный анализы (см. рисунки 2–4).

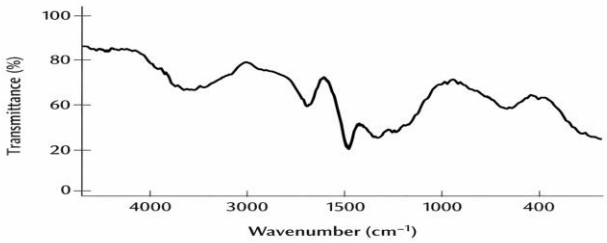


Рис. 2. ИК-спектр активированного угля обработанным 50%-ным раствором гидроксида калия (KOH) при соотношениях KOH:уголь 3:1.

ИК-спектр углерода, полученного из корней кукурузы, был проанализирован. В спектре наблюдается широкая полоса поглощения в области 3400 см⁻¹, соответствующая валентным колебаниям O–H и указывающая на выраженную гидрофильность поверхности. Полосы в диапазоне 2950–2850 см⁻¹ относятся к колебаниям C–H и свидетельствуют о наличии остаточных органических фрагментов. Поглощение около 3000 см⁻¹, соответствующее ароматическим C–H, подтверждает формирование sp^2-гибридизированной структуры углерода. Низкая интенсивность полос C–H указывает на высокую эффективность процесса пиролиза. Активация KOH способствует образованию кислородсодержащих функциональных групп на поверхности углерода, что повышает его способность к адсорбции полярных соединений. Анализ спектра свидетельствует о перспективности полученного материала для извлечения тяжёлых металлов и органических соединений из водных сред.

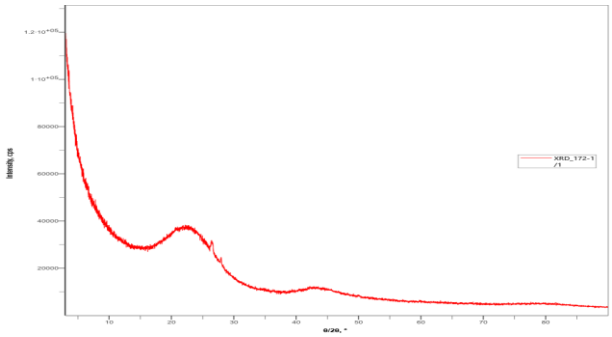


Рис. 3. Рентгенохроматографический анализ активированного угля обработанным 50%-ным раствором гидроксида калия (KOH) при соотношениях KOH:уголь 3:1.

На рисунке 3 показан рентгеноструктурный анализ активированного угля, обработанного 50% раствором гидроксида калия (KOH) при соотношениях KOH:уголь 1:3. Анализ выявил, что структура угля в основном аморфная. Это подтверждается наличием двух широких пиков на дифрактограмме, расположенных примерно при 22° (соответствует плоскости графита 002) и 43° (соответствует плоскости 100). Отсутствие узких, четко выраженных пиков указывает на низкую степень упорядоченности углеродной структуры, то есть на слабую графитизацию. Полученные данные свидетельствуют о формировании пористого углерода с турбостратной структурой в процессе активации, что характерно для химически активированных углей.

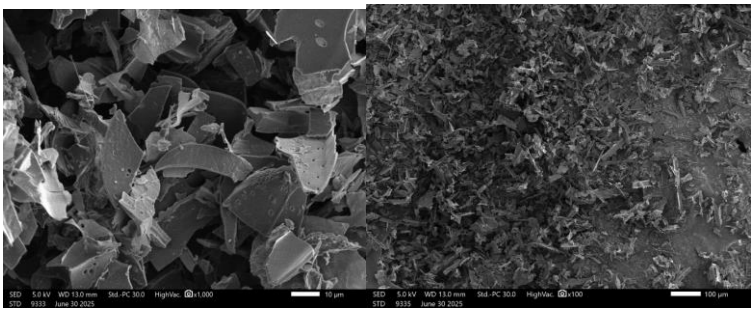


Рис. 4. Снимки активированного угля, обработанного 50% раствором гидроксида калия (KOH) при соотношениях KOH:уголь 3:1 полученные с помощью электронного микроскопа.

Таблица 3. Элементный анализ активированного угля, обработанного 50% раствором гидроксида калия (KOH) при соотношениях KOH:уголь 3:1, полученный с помощью СЭМ

Элемент	**Линия**	**Атом %**
C	K	88.47±0.15
O	K	10.82±0.16
Mg	K	0.19±0.01
Al	K	0.06±0.00
Si	K	0.23±0.01
S	K	0.07±0.00
Cl	K	0.06±0.00
K	K	0.04±0.00
Ca	K	0.06±0.00
Сумма		**100**

В работе также исследовалась адсорбционная способность активированного угля, полученного из кукурузных корней, по отношению к уксусной кислоте. В лабораторных условиях установлено, что при контакте активированного угля с 2%-ным водным раствором кислоты в процессе адсорбции наблюдается изменение pH раствора, динамика которого представлена на рис. 5.



Рис. 5. Динамика изменения pH 2%-ного водного раствора кислоты в процессе адсорбции на активированным угле пи разных соотношениях.

На рисунке 5 показано изменение показателя pH растворов с содержанием 2% уксусной кислоты (CH_3COOH) после воздействия адсорбентов, изготовленных из активированного угля, полученного из корней кукурузы. Изначальный уровень pH 2% раствора CH_3COOH составлял 3,12. Использование адсорбента K30:1 увеличило показатель pH до 4,6, адсорбент K30:2 повысил его до 5,30, а применение адсорбента K30:3 привело к росту pH до 5,80. Представленные результаты демонстрируют влияние адсорбентов на кислотность исследуемого раствора.

В ходе экспериментов с адсорбентом K50:1, обработанным 50% раствором K50:3, были получены следующие значения: 5,1; 6,45 и 7,15. Анализ этих данных позволяет заключить, что образцы адсорбентов на основе активированного угля, обозначенные как K30:3, K50:2 и K50:3, показали лучшие результаты по сравнению с другими образцами. Эти образцы, рекомендованные для нейтрализации кислых сред, продемонстрировали высокую эффективность в очистке сточных вод от неорганических загрязнений.

Заключение

В настоящей работе исследована возможность получения высокоэффективных углеродных адсорбентов на основе корней кукурузы сорта «Пионер 1921» методом химической активации с использованием гидроксида калия. Установлено, что карбонизация исходного растительного сырья в диапазоне температур 500–800 °C в течение 1–3 ч приводит к глубокой термической деструкции лигноцеллюлозной матрицы и сопровождается потерей массы до 81,7%, что свидетельствует о формировании углеродного каркаса, пригодного для последующей активации.

Показано, что химическая активация карбонизированных образцов растворами KOH концентрацией 30 и 50% при соотношениях KOH:уголь 1:1, 2:1 и 3:1 существенно влияет на развитие пористой структуры и сорбционные характеристики активированного угля. Увеличение концентрации активирующего агента и его соотношения с углеродом приводит к росту сорбционной способности по отношению к метиленовому синему и сопровождается увеличением площади поверхности, рассчитанной как по данным мономолекулярной сорбции, так и по методу БЭТ. Максимальное значение удельной поверхности в рамках проведённого исследования достигало 723 м²/г для образца K50:3, что указывает на формирование развитой микропористо-мезопористой структуры.

Результаты ИК-спектроскопического и рентгеноструктурного анализа подтвердили, что активация KOH приводит к образованию преимущественно аморфного углерода с турбостратной структурой и наличием кислородсодержащих функциональных групп, а также

остаточных калийсодержащих соединений, оказывающих влияние на кислотно-основные свойства поверхности. Эти структурные и химические особенности обусловливают высокую адсорбционную активность полученных материалов.

Экспериментальные исследования адсорбции уксусной кислоты из водных растворов показали, что активированные угли на основе корней кукурузы эффективно повышают pH кислых сред. Наиболее выраженный эффект нейтрализации был зафиксирован для образцов K30:3, K50:2 и K50:3, для которых значение pH раствора возрастало с исходного 3,12 до 5,80–7,15. Это свидетельствует о высокой эффективности данных адсорбентов при очистке сточных вод от органических кислот и неорганических загрязнителей.

Таким образом, полученные результаты демонстрируют, что активированные угли, синтезированные из корней кукурузы с использованием KOH, обладают сорбционными и структурными характеристиками, сопоставимыми с промышленными активированными углями, при одновременном использовании возобновляемого и экологически безопасного растительного сырья. Это подтверждает перспективность разработанных адсорбентов для практического применения в технологиях очистки сточных вод и расширяет возможности утилизации сельскохозяйственных отходов с получением функциональных углеродных материалов.

Работа была выполнена в рамках бюджетной тематики лаборатории ПиАХТ.

Литература

1.Juraev T.E., Ismailov O.Y., Khurmamatov A.M., Auesbaev A.U., Isamatova D.N., Muminov J.A. Comparative analysis of used engine oil recycling technologies. Processes of Petrochemistryand Oil Refining, 2025, Vol.26, Is.1, pp. 31-40. DOİ:10.62972/1726-4685.2025.1.31

2. Gerogova K., Petrov N., Eser S. Effect of activation method on the pore structure of activated carbons from apricot stones. Carbon, 1996, Vol.34, pp.879–888.

3.Ahmadpour A., Do D.D. The preparation of activated carbon from macadamia nutshell by chemical activation. Carbon, 1997, Vol.35, pp.1723–1732.

4. Carvalho A.P., Cardoso B., Pires J., De Carvalho M.B. Preparation of activate carbons from cork waste by chemical activation with KOH. Carbon, 2003, Vol.41, pp.2873–2884.

5. Suuberg E.M., Aarna I. Porosity development in carbons derived from scarp automobile tires. Carbon, 2007, Vol.45, pp.1719–1726.

6. El-Hendawy A.A., Alexander A.J., Andrews R.J., Forrest G. Effects of activation schemes on porous, surface and thermal properties of activated carbons prepared from cotton stalks. J. Anal. Pyrol. 2008, Vol.82. pp. 272–278.

7. Yang T., Chong Lua A. Characteristics of activated carbons prepared from pistachio-nut shells by potassium hydroxide activation. Micropor. Mesopor. Mater. 2003, Vol.63, pp.113–124.

8. Juraev T.E., Ismailov O.Y., Yakubov Y.Y., Auesbaev A.U., Isamatova D.N., Radjiboev D.P., Boltaboeva M.J. Investigation of the physicochemical properties of recovered oil by determining the optimal amounts of acids and adsorbents in the used oil recycling process. Chemical problems, 2025, Vol.23, Is.4, pp. 483-492, DOI: 10.32737/2221-8688-2025-4-483-492

9. Abdelnaeim M.Y., El Sherif I.Y., Attia A.A. et al. Impact of chemical activation on the adsorption performance of common reed towards Cu (II) and Cd (II). Int. J. Miner Process, 2016, Vol.157, pp. 80–88. https ://doi.org/10.1016/j.minpr o.2016.09.013

10. Acosta R., Fierro V., De Yuso A.M. et al. Tetracycline adsorption onto activated carbons produced by KOH activation of tyre pyrolysis char. Chemosphere, 2016, Vol.149, pp.168–176. https ://doi.org/10.1016/j. chemo spher e.2016.01.093

11. Adinata D., Daud W.M.A.W., Aroua M.K. Preparation and characterization of activated carbon from palm shell by chemical activation with K_2CO_3. Bioresour Technol., 2007, Vol.98, pp.145–149. https ://doi.org/10.1016/j.biort ech.2005.11.006

12. Ahmad M.A., Puad N.A.A., Bello O.S. Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies of synthetic dye removal using pomegranate peel activated carbon prepared by microwave-induced

KOH activation. Water Resour. Ind., 2014, Vol.6, pp.18-35. https ://doi. org/10.1016/j.wri.2014.06.002
13. Al Bahri M., Calvo L., Gilarranz M.A., Rodríguez J.J. Activated carbon from grape seeds upon chemical activation with phosphoric acid: application to the adsorption of diuron from water. Chem. Eng. J., 2012, Vol.203, pp.348–356. https ://doi.org/10.1016/j. cej.2012.07.053
14. Alothman Z., Habila M., Ali R. Preparation of activated carbon using the copyrolysis of agricultural and municipal solid wastes at a low carbonization temperature. Carbon, 2011, Vol.24, pp.67–72.
15. Altenor S., Carene B., Emmanuel E et al. Adsorption studies of methylene blue and phenol onto vetiver roots activated carbon prepared by chemical activation. J.Hazard. Mater., 2009, Vol.165, pp.1029–1039. https ://doi.org/10.1016/j.jhazm at.2008.10.133
16. Angin D. Production and characterization of activated carbon from sour cherry stones by zinc chloride. Fuel, 2014, Vol.115, pp. 804–811. https ://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.04.060
17. Yusupov S. K., Mirzaev Z.A., Yusupov F. M., Yodgorov N., Ruziev N.R., Temirov G.B., Begzhanova G.B. The use of import-substituting foaming agents in the process of ore beneficiation. Processes of petrochemistry and oil refining, 2025, Vol.26, Is.4, pp.1234-1241. https://doi.org/10.62972/1726-4685.2025.4.1234
18. Adizov B.Z., Makhmudov M. J., Khujakulov A. F., Saloydinov A. A., Adizova N. Z., Muratov M. M., Begjanova G. B. Preparation of anti-detonation additives based on ethanol, oxygen and nitrogen compounds and research of their influence on automobile gasoline. Processes of petrochemistry and oil refining, 2025, Vol.26, Is.3, pp. 832-841.doi: https://doi.org/10.62972/1726-4685.2025.3.832
19. Budinova T., Petrov N., Parra J., Baloutzov V. Use of an activated carbon from antibiotic waste for the removal of Hg(II) from aqueous solution. J. Environ. Manage. 2008, Vol.8, pp. 165–172. https ://doi.org/10.1016/j.jenvm an.2007.02.005
20. Attia A.A., Girgis B. S., Fathy N. A. Removal of methylene blue by carbons derived from peach stones by H_3PO_4 activation: Batch and column studies. Dyes and Pigments, 2008. Vol.76, pp. 282-289. doi:10.1016/j.dyepig.2006.08.039
21. Acosta, R., Fierro, V., Martinez de Yuso, A., Nabarlatz, D., & Celzard, A. Tetracycline adsorption onto activated carbons produced by KOH activation of tyre pyrolysis char. Chemosphere, 2016, Vol.149, pp. 168–176. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.093

УДК 621.573:621.57.9

ANALYSIS OF THE HEAT RELEASE IN THE EVAPORATOR OF HEAT PUMPS OPERATING WITH ENVIRONMENTALLY FRIENDLY REFRIGERANTS

Йўллиев Шукурали[1], Каримов Кудрат[2].
[1]Tashkent State Technical University
Address: 2 Universitetskaya st., 100095, Tashkent city, Republic of Uzbekistan.
E-mail: yolliyevshukurali239@gmail.com, Phone: +998944659441.
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-6878-1189
[2]Tashkent State Technical University
Address: 2 Universitetskaya st., 100095, Tashkent city, Republic of Uzbekistan.
E-mail: kudrat_kf@list.ru, Phone: +998903251473.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1016-5621

Abstract: *In this article, a theoretical analysis of the condensers of heat pumps operating with environmentally safe refrigerants is presented. Heat pumps, which play an important role in mitigating climate change, are expected to be increasingly used in the residential sector. However, the GWP of R134a, a refrigerant widely used in these systems, is 1530, which highlights the need for more environmentally friendly alternatives. In recent years, hydrofluoroolefins (HFO) and natural working fluids, particularly hydrocarbons (HC), are being considered as promising alternatives for fourth-generation refrigerants due to their near-zero ozone depletion potential (ODP≈0) and very low global warming potential. The study selected refrigerants with low global warming potential – R1234yf, R1270, R600a, and R290 – and compared the efficiency of the heat transfer process in the condenser.*

During the study, differences in the condenser's heat load, coefficient of performance, and refrigerant efficiency were identified. The obtained results provide a scientific basis for selecting environmentally safe refrigerants, optimizing the efficiency of heat pumps, and increasing their energy efficiency.

Keywords: *heat pump, condenser, eco-friendly refrigerant, GWP, COP, heat flux.*

Аннотатсия: *Ушбу мақолада экологик жиҳатдан хавфсиз совутиш агентларида ишлайдиган иссиқлик насослари конденсаторларининг назарий таҳлили амалга оширилган. Иқлим ўзгаришини юмшатишда муҳим рол ўйнайдиган иссиқлик насослари турар-жой секторида тобора кенг қўлланилиши кутилмоқда. Бироқ ушбу тизимларда кенг қўлланиладиган R134a совутиш агентининг GWP (GWP – Global Warming Potential) кўрсаткичи 1530 га тенг бўлиб, бу эса янада экологик хавфсиз муқобил вариантларни излаш заруратини кўрсатади. Сўнгги йилларда гидрофторолефинлар (ҲФО) ва табиий ишчи жисмлар, хусусан углеводородлар (ҲС), озон қатламини емириш салоҳияти деярли нолга тенг (ODP≈0) ва глобал исиш салоҳияти жуда паст бўлгани сабабли тўртинчи авлод совутиш агентлари сифатида истиқболли вариантлар сифатида қаралмоқда.Тадқиқотда глобал исиш салоҳияти паст бўлган совутиш агентлари – R1234yf R1270 R600a ва R290 танлаб олиниб, конденсатордаги иссиқлик узатиш жараёнининг самарадорлиги таққослаб ўрганилди.*

Тадқиқот давомида конденсаторнинг иссиқлик юкламаси, совутиш коефитсенти ҳамда совутиш агентларининг самарадорлигидаги фарқлар аниқланди. Олинган натижалар экологик жиҳатдан хавфсиз совутиш агентларини танлаш, иссиқлик насосларининг самарадорлигини оптималлаштириш ҳамда уларнинг энергия самарадорлигини ошириш учун илмий асос яратади.

Таянч сўзлар: *иссиқлик насоси, конденсатор, экологик совутиш агенти, GWP, COP, иссиқлик оқими.*

Аннотация: *В данной статье проведен теоретический анализ конденсаторов тепловых насосов, работающих на экологически безопасных хладагентах. Ожидается, что тепловые насосы, играющие важную роль в смягчении последствий изменения климата, будут все шире использоваться в жилищном секторе. Однако ПГП хладагента R134a, широко используемого в этих системах, составляет 1530, что подчеркивает необходимость поиска более экологически безопасных альтернатив. В последние годы гидрофторолефины (ГФО) и природные рабочие жидкости, в частности углеводороды (УВ), рассматриваются в качестве перспективных альтернатив для хладагентов четвертого поколения благодаря их практически нулевому потенциалу разрушения озонового слоя (ODP≈0) и очень низкому потенциалу глобального потепления. В рамках исследования были отобраны хладагенты с низким потенциалом глобального потепления — R1234yf, R1270, R600a и R290 — и проведено сравнение эффективности процесса теплообмена в конденсаторе.*

В ходе исследования были выявлены различия в тепловой нагрузке конденсатора, коэффициенте производительности и эффективности хладагентов. Полученные результаты обеспечивают научную основу для выбора экологически безопасных хладагентов, оптимизации работы тепловых насосов и повышения их энергоэффективности.

Ключевые слова: *тепловой насос, конденсатор, экологически безопасный хладагент, GWP, COP, тепловой поток*

Introduction

In recent years, the need to fundamentally improve cooling and heating systems has been driven by global climate change, the need for rational use of energy resources, and the necessity of reducing greenhouse gas emissions. In particular, vapor-compression heat pumps are widely used as energy-efficient devices in industrial and residential sectors. However, the use of traditional hydrofluorocarbon (HFC) refrigerants with high global warming potential (GWP) in these systems is creating the need for their phasedown.

For example, the refrigerant R134a has long been widely used in heat pumps and cooling equipment, but its high GWP rating does not fully meet environmental safety requirements. Therefore, detailed research into the efficiency of using next-generation refrigerants with low GWP—R1234yf, R1270, R600a, and R290—in heat pumps is a pressing scientific task.

R1270, R600a, and R290 are natural hydrocarbons. Due to their low cost, wide availability, very low GWP values, and high energy efficiency, hydrocarbons are regarded as promising representatives of fourth-generation refrigerants. However, there are also issues related to their high flammability and certain regulatory restrictions [3].

The overall efficiency of a heat pump primarily depends on the performance of its main heat-exchange components—the evaporator and the condenser. The condenser is particularly important, as it is the heat pump's useful heat-discharging component. In this process, a large amount of heat is released as the compressed and heated refrigerant vapor condenses. The amount of this heat determines the system's heat load, its coefficient of performance (COP), and its economic efficiency.

The thermodynamic and thermophysical properties of environmentally friendly refrigerants (critical temperature, critical pressure, latent heat of vaporization, thermal conductivity coefficient, etc.) directly affect the amount of heat released in the condenser. For example, the refrigerant R290 has a high latent heat of vaporization, which helps increase the intensity of the heat exchange process. [4]

From this perspective, it is of great scientific and practical importance to theoretically analyze the heat release in the condenser of heat pumps operating with environmentally friendly refrigerants, compare their energy efficiency, and determine the optimal operating regimes.

The purpose of this study is to determine the amount of heat released in the condenser of heat pumps operating with low-GWP refrigerants, the comparative analysis of the condenser's performance based on thermodynamic parameters, and conducting a comparative evaluation for different refrigerants.

Table 1.

Environmental and safety features [6]

Refrigerant	GWP	ODP	ASHRAE safety class
R1234yf	4	0	A2L
R600a	3	0	A3
R290	3	0	A3
R1270	3	0	A3

Table 2.

Thermophysical properties [5]

Property	**T (K)**	**State**	**R1234yf**	**R600a**	**R290**	**R1270**
MM (kg/kmol)	–	–	114.04	58.12	44.10	30.07
NBP (K)	–	–	243.67	261.40	231.1	184.6
Tc (K)	–	–	367.85	407.81	369.8	305.3
Pc (MPa)	–	–	3.38	3.63	4.25	4.88
Latent heat of vaporization (kJ·kg−1)	–	–	162.64	364.25	356.0	510.0
Psat (MPa)	283.15	Liquid	0.44	0.22	0.86	0.28
	328.15	Vapor	1.46	0.77	2.10	0.77
Density (kg·m−3)	283.15	Liquid	1144	569	493	424
	328.15	Vapor	86.96	19.89	44.5	25.0
Viscosity (mPa·s)	283.15	Liquid	0.18	0.18	0.20	0.12
	328.15	Vapor	0.01	0.01	0.01	0.01
Thermal conductivity (W·m−1·K−1)	283.15	Liquid	0.07	0.09	0.10	0.12
	328.15	Vapor	0.02	0.02	0.02	0.02
Specific heat (kJ·kg−1·K−1)	283.15	Liquid	1.33	2.34	2.44	2.08
	328.15	Vapor	1.35	2.07	2.32	1.97

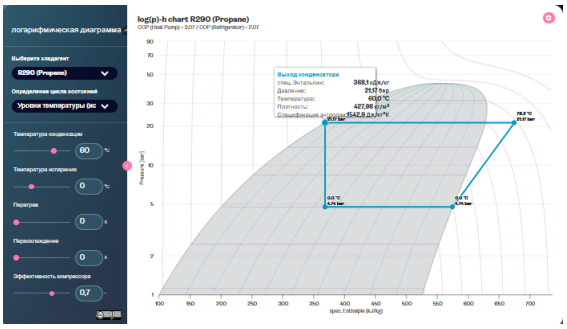


Fig. 1. ***shows the vapor-compression cycle processes for the refrigerant on the log(p)–h working diagram.***

The diagram shows the four basic thermodynamic processes: evaporation, compression, condensation, and expansion. The lower horizontal line represents the evaporation process. At this stage, the refrigerant absorbs heat at low pressure and transitions completely from a liquid-vapor mixture to vapor. During this process, enthalpy increases, and it is precisely this difference that determines the cooling efficiency (q_0).

The vertical line represents the compression process in the compressor. Here, the pressure and temperature increase sharply, and the enthalpy also rises. Ideally, the compression process should be isentropic, but the diagram shows the actual process, which takes into account the compressor's efficiency.

The upper horizontal line corresponds to the condensation process. At this stage, the refrigerant releases heat at high pressure and changes from a vapor to a liquid. The amount of heat released during the condensation process determines the heat pump's useful heat load (Figure 1).
The downward vertical line indicates the expansion (throttling) process. In this process, the pressure drops sharply, the enthalpy remains almost constant (h = const), and as a result the refrigerant enters a low-temperature two-phase state.

Overall, the diagram shows that R1234yf, R1270, R600a, and R290 have a wide enthalpy range and absorb a large amount of heat during the evaporation process. This confirms its high cooling efficiency and that it is an energy-efficient refrigerant.

Calculation results

In this study, the vapor–compression cycle was analyzed using a *log p–h* diagram. The evaporation temperature was assumed to be constant.

$T_0 = 0°C$

The condensation temperature was increased in 5°C increments from 15°C to 60°C:

$T_k = 15,20,25\ldots\ldots 60°C$

Selected as refrigerant agents
R1234yf
R1270
R600a
R290
Specific heat released in the condenser

$$q_k = (h_2 - h_3) \quad [9]$$

q_k — *specific heat load on the condenser, kJ/kg.*
h_2 — *enthalpy at the condenser inlet, kJ/kg.*

h_3 — *enthalpy at the condenser outlet, kJ/kg.*

Coefficient of Performance

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad [7]$$

h_1 — *enthalpy at the compressor inlet, kJ/kg;*

h_4 — *enthalpy at the outlet of the throttle or capillary tube, kJ/kg.*

Here, the enthalpy values h_1, h_2, h_3, and h_4 were taken from the *log p–h* diagram (Fig 1).

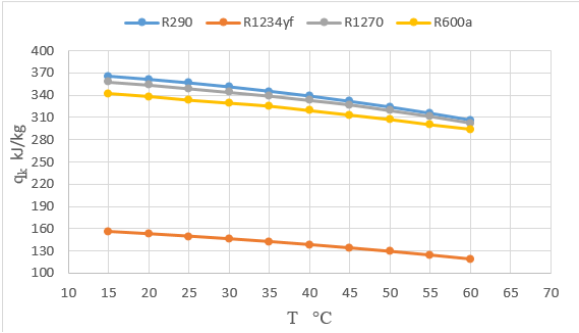


Fig. 2. ***shows the temperature dependence of the specific heat released in the condenser for R1234yf, R170, R600a, and R290 refrigerants.***

According to the graphical results, as the temperature increases, the q_k value gradually decreases for all refrigerants.

For example, at around 20 °C the q_k value for the refrigerants R290, R1270, and R600a is approximately 360–370 kJ/kg. When the temperature rises to 60 °C, this value decreases to 300–310 kJ/kg. This is explained by the change in the working substance's thermodynamic state during the condensation process. As the temperature increases, the intensity of the heat transfer process in the cooling cycle increases, and as a result, the amount of heat released in the condenser decreases.

However, for the refrigerant R1234yf, the value of q_k is significantly lower, ranging from 120–160 kJ/kg. This indicates that its specific heat transfer capacity is considerably lower compared to hydrocarbon refrigerants. Nevertheless, this refrigerant is widely used in modern refrigeration systems due to its environmental safety and low global warming potential.

Overall, the graphical results show that an increase in the condensation temperature leads to a decrease in the amount of heat released in the system. Additionally, natural refrigerants are distinguished by their high heat transfer capabilities.

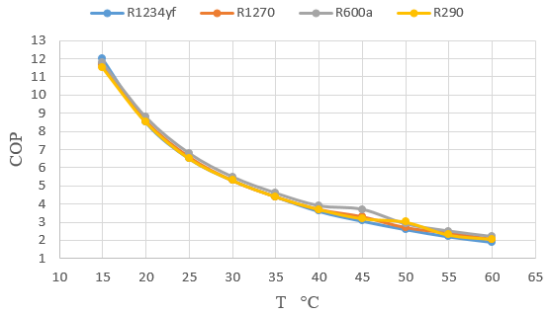


Fig. 2. ***Temperature dependence of the COP (Coefficient of Performance) for R1234yf, R170, R600a, and R290 refrigerants.***

As the graph shows, the COP value for all refrigerants tends to decrease as the temperature increases. For example, at approximately 20 °C the COP value is in the range of 10–12, but when the temperature reaches 60 °C this figure drops to around 2–3. This occurs due to the influence of

the thermodynamic characteristics of the vapor-compression refrigeration cycle. As the condensing temperature increases, the compressor's compression ratio increases, and the work performed by the compressor increases. As a result, the overall energy efficiency of the system decreases.

Significant differences are also observed among refrigerants. R290 and R1270 often exhibit relatively higher COP values. This is due to their favorable thermophysical properties, particularly their high boiling point and good heat transfer characteristics. R600a shows results that are very close to theirs. The COP value for R1234yf is slightly lower compared to other refrigerants, which is explained by its thermodynamic properties.

Overall, the graphical results show that natural hydrocarbon refrigerants have high energy efficiency and can be used effectively in modern refrigeration and heat pump systems.

Conclusion

Thermodynamic analysis for various refrigerants (R290, R1270, R600a, and R1234yf) for various refrigerants—based on thermodynamic analysis, calculations using the *log p–h* diagram, and plotted graphs—shows that as temperature increases, the amount of heat released in the condenser decreases. This is explained by the reduction in the enthalpy difference between these phases and the changes in the compression process. COP and energy efficiency decrease with rising temperature. This is due to the increased compressor workload resulting from the higher condensation temperature and the resulting reduction in the system's overall energy efficiency. Differences between the refrigerants: natural hydrocarbons (R290, R1270, R600a) have a higher COP and heat transfer capability, while R1234yf has lower values for COP, q_k, and q_k, but is environmentally safe.

The comparative analysis shows that the refrigerants R290, R1270, and R600a exhibit higher heat release capacity and energy efficiency compared to R1234yf across the entire operating range.

Overall, natural hydrocarbon refrigerants allow for high efficiency in modern refrigeration and heat pump systems, with the condensing temperature being the main factor affecting the system's efficiency.

References

1. Li, X., Chen, Z., & Zhou, H. (2020). Experimental study on R32 and R1234yf heat pump condensers. *International Journal of Refrigeration, 112*, 30–41
2. Oruç, V. (2025). *Energy performance analysis of low-GWP R32/R1234yf refrigerants in indoor unit heat pumps*. *Journal of Mechanical Science and Technology, 39*(2), 997–1007
3. B.K. Sovacool, S. Griffiths, J. Kim, M. Bazilian, Climate change and industrial F-gases: a criticaland systematic review of developments, sociotechnical systems and policy options for reducing synthetic greenhouse gas emissions. Renew. Sustain. Energy Rev. 141, 110759 (2021). https:// doi. org/10. 1016/j. rser. 2021. 110759
4. Chen, X. et. al. Experimental study on R-22, R-427A, R-161 and R-290 in air-source heat pump for space heating at low ambient temperatures / Chen X, Liu C, Yang J, Chen J. // Int. J. Refrig. – 2018. – 96. – P. 147–154. – 2018.08.21.
5. G. Lombardo,· D. Menegazzo, · L. Vallese, · F. Poletto, · S. Bobbo, Exploring Low-GWP Alternatives for Heat Pumps: A Drop-in Comparative Study of R1234yf/R600a and R134a International Journal of Thermophysics (2025) 46:16
6. ASHRAE Standing Standard Project Committee 34 Cognizant TC: 3.1, Refrigerants and Secondary Coolants SPLS Liaison: Charles S. Barnaby Staff Liaison: Brian C. Cox ANSI/ASHRAE Standard 34-2019.
7. Esam Muhe Mohammed. *Fundamentals of Air Conditioning and Refrigeration: Liquid Subcooling and Vapour Superheating.* Lecture notes, Mechanical Power Engineering Department, College of Engineering and Technology, Al-Mustaqbal University, 2nd term, Lecture 10. 2025.

8. Refrigeration Equipment and Fundamentals of Refrigeration System Service [Text] / D. Azizov, F. Saidiev. - Tashkent: Baktria press, 2017. – 176 p.
9. Manual for Using Propane as a Replacement for R-22 in Refrigeration Equipment and Air Conditioners [Text] / Muminov, A., M. Salmanova. - Tashkent : Baktria press, 2017. - 84 p.
10. Yavnel, B. K. Course and Thesis Projects in Refrigeration and Air Conditioning Systems. – Moscow: Food Industry, 1975. – 272 pp.
11. Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2020). Thermodynamics: An Engineering Approach (9th Edition). McGraw-Hill Education.
12. ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment. (2016). Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
13. Dossat, R. J., & Horan, T. J. (2012). Principles of Refrigeration (5th Edition). Pearson Education.
14. Stoecker, W. F., & Jones, J. W. (1982). Refrigeration and Air Conditioning. McGraw-Hill.
15. Klein, S. A., & Alvarado, F. L. (2005). Engineering Equation Solver (EES) Reference Manual. F-Chart Software.

ҚОБИҚ ҚУВУРЛИ ҚУРИЛМАДА ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ЖАРАЁНИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ

Юсупов Р.А.
Тошкент кимё-технология институти мустақил тадқиқотчи (PhD)
Исмаилов О.Ю.
ЎзР ФА Умумий ва ноорганик кимё институти бош илмий ходими профессор
Хаджибаев А.Ш.
Тошкент кимё-технология институти катта ўқтувчи
Шарипов К.К.
Тошкент кимё-технология институти доценти (PhD)

Аннотация. *Ушбу мақолада стержен ўрнатилган қобиқ-қувурли иссиқлик алмашиниш қурилмасида нефт ва газ конденсати оқимларининг иссиқлик алмашинуви жараёни экспериментал тадқиқ этилган. Тадқиқотларда оддий ва стержень ўрнатилган қувурларда иссиқлик ташувчининг ҳажмий сарфи ўзгаришининг иссиқлик узатиш коэффициентига таъсири ўрганилди. Олинган натижалар стержен ўрнатилган қувурда иссиқлик узатиш коэффициенти оддий қувурга нисбатан юқори қийматларда, нефт учун К қиймати оддий қувурда 160–750 Вт/(м²·К), стержен ўрнатилган қувурда 310–1190 Вт/(м²·К) оралиғида, газ конденсати учун эса мос равишда 380–1250 ва 900–2080 Вт/(м²·К) оралиғида ўзгарди. Шу билан бирга, стержен ўрнатилган қувурдаги максимал К қиймати оддий қувурга нисбатан нефт учун 1,6 марта, газ конденсати учун эса 1,66 марта юқори бўлиб, танланган констуктив ечим оқимнинг турбулентлигини таъминлаши натижасида иссиқлик алмашинувини самарадорлигини ортишига олиб келади.*

Калит сўзлар: *нефт, газ конденсати, стержень, қобиқ-қувурли иссиқлик алмашиниш қурилмаси, ҳажмий сарф, оқим тезлиги. иссиқлик узатиш коэффициенти.*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА В КОЖУХО-ТРУБЧАТОМ ТЕПЛООБМЕННОМ УСТРОЙСТВЕ

Аннотация. *В данной статье экспериментально исследуется процесс теплообмена потоков нефти и газового конденсата в оболочечно-трубчатом теплообменнике со стержнем. В исследованиях изучено влияние изменения объемного расхода теплоносителя на коэффициент теплопередачи в обычных и стержневых трубах. Полученные результаты показывают, что коэффициент теплопередачи в трубе со стержнем изменяется при более высоких значениях, чем в обычной трубе, для нефти значение К в обычной трубе составляет 160–750 Вт/(м^2·К), в трубе со стержнем - в пределах 310–1190 Вт/(м^2·К), а для газового конденсата - в пределах 380–1250 и 900–2080 Вт/(м^2·К) соответственно. При этом максимальное значение К в трубопроводе со стержнем в 1,6 раза выше для нефти и в 1,66 раза выше для газового конденсата по сравнению с обычным трубопроводом, а выбранное конструктивное решение приводит к повышению эффективности теплообмена в результате обеспечения турбулентности потока.*

Ключевые слова: *нефть, газовый конденсат, стержень, кожухо-трубчатое теплообменное устройство, объемный расход, скорость потока. коэффициент теплопередачи.*

INVESTIGATION OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS IN A CASING-PIPE HEAT EXCHANGE DEVICE

Abstract. *This article provides an experimental study of the heat exchange process of oil and gas condensate flows in a shell-pipe heat exchange unit with a rod installed. In the studies, the influence of changes in the volumetric flow rate of the heat carrier in conventional and rod-mounted pipes on the heat transfer coefficient was studied. The results obtained show that the heat transfer coefficient in a rod-mounted pipe is higher than in a conventional pipe; for oil, the K value varies between 160–750 W/(m^2·K) in a conventional pipe, 310–1190 W/(m^2·K) in a rod-mounted pipe, and 380–1250 and 900–2080 W/(m^2·K) respectively for gas condensate. At the same time, the maximum K value in the rod-mounted pipe is 1.6 times higher for oil and 1.66 times higher for gas condensate compared to a conventional pipe; the selected structural solution ensures flow turbulence, leading to an increase in heat exchange efficiency.*

Keywords: *oil, gas condensate, rod, shell-pipe heat exchange device, volumetric flow rate, flow velocity, heat transfer coefficient.*

Кириш. Нефт ва газни қайта ишлаш корхоналарида асосий жараёнлар иссиқлик алмашиниш билан кечадиган жараёнлар ҳисобланиб, ушбу жараёнларни амалага ошириш учун турли конструкциядаги иссиқлик алмашиниш қурилмаларидан кенг фойдаланилади. Углеводородларга иссиқлик ишлови беришда бу турдаги иссиқлик алмашиниш қурилмалари умумий технологик қурилмаларни 30-40 % қисмини ташкил қилишини инобатга олсак, умумий технологик тизимининг иш самарадорлиги айнан ушбу қурилмаларни рационал ишлашига боғлиқ ҳисобланади [1, 2].

Нефт ва газни қайта ишлаш корхоналарида ишлатилаётган иссиқлик алмашиниш қурилмалари рекуператив яъни, кирувчи оқимларни иситиш учун тутун газлари, буғ ёки сув ва иссиқ технологик оқимлар иссиқлигидан фойдаланиш бўлиб, ишлаб чиқаришнинг фойдали иш коэффициентини оширади [3-5].

Жараёнда иштирок этаётган технологик (совуқ ва иссиқ) оқимлар гидродинамик режимларни қурилмаларга конструктив ўзгартириш киритиш орқали бошқариш иссиқлик қурилмаларни самарадорлигини ошириш ҳизмат қилади.

Иссиқлик алмашиниш қурилмалири ички қувурида оқимнинг кўндаланг кесим юзаси бўйлаб тўлиқ ҳаракати иссиқлик юзаларидан берилаётган иссиқликни максимал қабул қилишга асос бўла олади. Шу сабабдан, юзаларда оқимни тўлиқ оқишини таъминлаш қурилманинг иш самарадорлигини ортишига олиб келади [6].

Ҳозирги кунда хомашё тақчиллиги лойиҳаланган иссиқлик алмашиниш қурилмаларинг лойиҳа кўрсаткичлари бўйича ишлашини таъминлай олмаслиги асосий муаммолардан бири ҳисобланади. Бу эса қурилмаларни янги ихчамроқ конструкцияга алмаштириш заруриятини туғдирмоқда. Ушбу жараён корхонанинг молиявий ҳаражатларни ортиб кетишига олиб келиш билан бирга технологик регламентнинг тубдан ўзгаришига олиб келади.

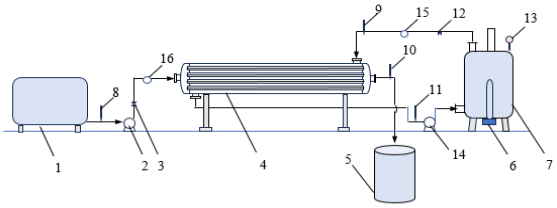
Технологик жараёнларда ишлатилаётган иссиқлик алмашиниш қурилмаларини кам оқим сарфида ички қувурларидаги иссиқлик юзаларини самарадорлигини оширишнинг асосий ечимларидан бири қувур ичига асосий қувурнинг ички диаметридан кичик бўлган стержен ўрнатиш ҳисобланади. Ушбу ечим орқали турли оқим сарфларида қувурга ўрнатилаётган стержен диаметрини танлаш орқали оптимал гидродинамик режимни белгилаш ва иссиқлик юзаларидан самарали фойдалиниш имконияти яратилади [7, 8].

Технологик ҳисоблашларда қувурдаги оқим тезлиги унинг ҳажмий сарфини қувур кўндаланг кесим юзасига нисбати билан белгиланади. Шу сабабдан оқимнинг ҳажмий сарфидан келиб чиқиб қувур юзасида контакт билан ҳаракатланаётган оқимни аниқлаш мумкин бўлади.

Оқимнинг ҳажмий сарфи ўзгармас (G = *const*) бўлганда тескари пропорционаллик қоидаси амал қилади. Қувур диаметри кичрайганида оқим тезлиги ортади, диаметр ортганида эса камаяди.

Тадқиқот объекти ва методологияси. Юқорида келтирилганлардан келиб чиқиб, махсус стерженли турбулизаторлардан фойдаланиб қобиқ қувурли иссиқлик алмашиниш қурилмасидан чиқаётган хомашёнинг ҳароратини ошириш имкониятларини тажриба синовларида ўрганиш мақсадида қобиқ қувурли иссиқлик алмашиниш қурилмасида тажриба ишлари амалга оширилди. Қурилманинг принципиал схемаси 1-расмда келтирилган.

Тажриба қурилмаси тайёрлашда агрессив бўлмаган муҳитлар фойдаланиладиган Ст.20 углеродли пўлатдан фойдаланилди. Қобиқ қувурли иссиқлик алмашиниш қурилмасининг умумий узунлиги L = 1200 мм, қобиқ диаметри D =60 мм. Ички қувурлар узунлиги l = 1000 мм, диаметри d = 20 мм, сони n = 7 дона, ўрнатилган стержен диаметри d_{cm} = 10 мм.



1-расм. Қобиқ қувурли иссиқлик алмашиниш қурилмаси принципиал схемаси: 1 - хомашё учун сиғимли идиш; 2 - марказдан қочма насос; 3 - оқим сарфини ростлаш учун жўмрак; 4 - қобиқ қувурли иссиқлик алмашиниш қурилмаси; 5 - иситилган оқим учун идиш; 6 - иситувчи элемент; 7 - иситиш қозони; 8,10 - совуқ оқим ҳароратини аниқлаш учун термометрлар; 9,11 - иссиқ оқим ҳароратинин аниқлаш учун термометрлар; 12 - иссиқ оқим сарфини ростловчи жўмрак; 13 - иссиқ оқим босимини ўлчаш учун манометр; 14 - иссиқ оқим учун насос; 15,16 - иссиқ ва совуқ оқим сарфларини ўлчаш қурилмаси.

Қобиқ қувурли иссиқлик алмашиниш қурилмасида гидродинамик режимларни ҳарорат ўзгаришига таъсирини ўрганиш мақсадида қурилма ички қувурларига “стержен” ўрнатиш орқали амалга оширилди. Ўрнатиладиган стержен учлари махсус конуссимон тайёрланган бўлиб, махсус ўрнатилган чамбаракга бориб жойлашади ва конус учи атрофидан суюқликни оқиши таъминланади. Конвектив иссиқлик алмашиниш жараёни самарадорлиги интенсивлиги иссиқлик бериш коэффициентининг α, (Вт/м^2·К) ўзгариши билан кечиб, муҳитнинг тезлиги ва ҳаракат усулига, унинг иссиқлик-физик параметрларига, қурилманинг геометрик ўлчамларига, шунингдек, суюқлик ва сирт орасидаги ҳарорат фарқига боғлиқ бўлади. Шу сабабдан, жараёндаги иссиқлик бериш ва иссиқлик узатиш аниқлаш жараённи аниқ баҳолаш имконини беради.

Тажриба ишларини олиб боришда, совуқ оқим сифатида нефть ва газ конденсати олинган бўлиб, унинг қурилма ички қувуридаги оқимнинг ҳажмий сарфи 5÷25 л/м ўзгартириб борилди. Иссиқлик ташувчи оқим сифатида эса умумий нафта олинган бўлиб, унинг қувурлараро бўшлиқдаги ҳажмий сарфи 20 л/м танланди. Ушбу чегара ишлаб чиқариш корхоналарида ишлатилаётган қобиқ қувурли қурилмалардаги оқимнинг қўндаланг кесим юзасидан оқиб ўтаётган сарфидан келиб чиқиб танланди.

Иссиқлик алмашиниш юзаси ва иссиқлик ташувчи ўртасидаги иссиқлик алмашинуви самарадорлигини тавсифловчи параметр ҳисобланган иссиқлик бериш коэффициентини ҳисоблашда аниқланадиган коэффициенти иссиқ иссиқлик ташувчидан қувур деварига узатилаётган иссиқлик α_1 ва қувур деворидан совуқ иссиқлик ташувчига узатилаётган иссиқлик α_2 орқали аниқланади ва Вт/(м²·К) ёки Вт/(м²·°С) ўлчанади.

Иссиқ оқимдан қувур юзасига иссиқлик бериш коэффициентини аниқлашда қуйидаги ифодадан фойдаланилади [2, 9-10]:

$$\alpha_1 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_э} \qquad (1)$$

бу ерда, Nu - иссиқлик алмашинуви назариясидаги асосий ўлчамсиз мезон бўлиб, у қувур юзаси ва ҳаракатланаётган иссиқлик ташувчи оқим ўртасидаги конвектив иссиқлик

алмашинуви самардорлигини тавсифлайди; λ - иссиқлик ташувчининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, Вт/мК; $d_э$ - қувурлараро бўшлиқнинг эквивалент диаметри, м.

Иссиқлик ташувчи сифатида ишлатилган умумий нафтанинг G=20 л/м ҳажмий сарфдаги ўртача ҳарорати Δt=110 °С, ташкил этишини инобатга олган ҳолда иссиқ оқимнинг ўртача ҳароратида иссиқ оқимдан ички қувурнинг ташқи деворига берилаётган иссиқлик бериш коэффициенти α_1 (Вт/м^{2}К) ҳисобланди.

Олиб борилган ҳисоблаш натижаларига кўра, иссиқлик ташувчи оқимнинг ҳажмий сарфи G = 20 л/м бўлганида оқимнинг ҳаракат режими турғун турбулент бўлиб, Re = 16609, Nu = 367,1, α_1 = 7709.1 Вт/м^{2}К га тенг бўлди.

Қувур деворидан совуқ оқимга узатилаётган иссиқлик бериш коэффициентини аниқлашда қуйидаги ифодадан фойдаланилади [2, 11-12]:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda}{d_и} \qquad (2)$$

бу ерда, $d_и$ – қобиб ичидаги қувурнинг ички диаметри, м.

Иситилаётган углеводород оқимларининг ўртача ҳароратларидан келиб чиқиб, иссиқлик ўтказиш коэффициенти ҳисобланди. Оддий қувурда ҳаракатланаётган нефт учун Δt = 32 °С, газ конденсати оқими учун Δt = 34 °С, стержен ўрнатилган қувурдаги нефтнинг ўртача ҳарорати Δt = 37 °С, газ конденсатида Δt = 40 °С га тенг.

Ушбу ҳароратлар чегарасида углеводород оқимларининг иссиқлик ўтказиш коэффицентлари (Вт/мК) нефт учун: λ_{32} = 0,022; λ_{37} = 0,031. Газ конденсати учун: λ_{34} = 0,024; λ_{40} = 0,034 га тенг.

Натижалар ва муҳокамалар. Иситилаётган совуқ оқимлар (нефт, газ конденсати) ҳаракатланаётган қувурга стержен ўрнатиш ва стержен ўрнатилмаган холида оқимнинг гидродинамик режимларининг ва конвектив иссиқлик алмашиниш жараёнидаги ўзгаришлари ҳисоблаш натижаларининг солиштирма таҳлиллари 1 ва 2 – жадвалларда келтирилган.

1-жадвал

Нефтни иситиш жараёнида иссиқлик бериш коэффициенти α_2 нинг қурилма конструкциясининг ўзгаришига боғлиқлиги

Совуқ иссиқлик ташувчининг ҳажмий сарфи G, л/м	Оддий қувур			Стержен ўрнатилган қувур		
	Re	Nu	α_2	Re	Nu	α_2
5	167	14.3	180	250	16.4	343
10	334	33.1	639	500	58.1	794
15	502	58.6	818	751	74.4	1406
20	669	64.4	893	1001	81.2	1545
25	836	77.2	971	1251	88.3	1852

Жадвал натижаларига кўра, қурилма қувурига диаметри d =10 мм стержен ўрнатилиши нефт оқимининг гидродинамик режимини жадаллаштириб, конвектив иссиқлик алмашинишни ортишига олиб келади. Ҳажмий сарф 5 л/миндан 25 л/мингача ортганида оддий қувурда иссиқлик бериш коэффициенти (α_2) 180 дан 971 Вт/м²·К гача, стержен ўрнатилган қувурда эса 343 дан 1852 Вт/м²·К гача ошди. Бу эса қувурга стержен ўрнатилиши натижасида α_2 қиймати оддий қувурга нисбатан ўртача 1,8–2,0 марта юқори бўлишини кўрсатади. Натижада оқимнинг турбулентлиги ортиб, қурилманинг иссиқлик алмашиниш самарадорлиги сезиларли ошади.

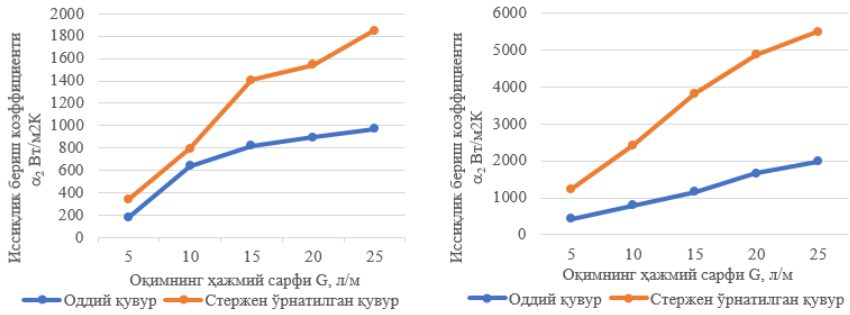
2-жадвал

Газ конденсатини иситиш жараёнида иссиқлик бериш коэффициенти α_2 нинг қурилма конструкциясининг ўзгаришига боғлиқлиги

Совуқ иссиқлик ташувчи-нингҳажмий сарфи G, л/м	Оддий қувур			Стержен ўрнатилган қувур		
	Re	Nu	α_2	Re	Nu	α_2
5	1311	28.3	439	1852	36.4	1238
10	2625	51.8	803	3706	71.5	2431
15	3937	74.6	1156	5564	112.3	3818
20	5252	107.3	1663	7416	143.2	4869
25	6564	128.1	1985	9271	161.8	5501

2-жадвал маълумотлари таҳлилига кўра, газ конденсати оқимининг ҳажмий сарфи 5–25 л/мин оралиғида оширилганда гидродинамик ва иссиқлик алмашиниш кўрсаткичлари сезиларли ортиши кузатилди. Жумладан, Рейнольдс критерийси 5 марта, Нусселт критерийси ва иссиқлик бериш коэффициенти 4,5 мартагача ошди. Қувурга стержен ўрнатилиши оддий қувурга нисбатан Рейнольдс ҳамда Нусселт критерийлари ўртача 1,4 маротаба, иссиқлик бериш коэффициентини 2,7 марта ошириши аниқланди. Бу стержен ўрнатилган қувур конструкцияси газ конденсатини иситиш жараёнида конвектив иссиқлик алмашиниш интенсивлигини сезиларли оширишини кўрсатади.

Совуқ углеводород оқимлари ҳаракатланаётган қувурга стержен ўрнатиш ва анаънавий усулда оқимнинг ҳаракати натижасида қувур деворидан совуқ оқимга иссиқлик бериш коэффициентини солиштирма тахлиллари 2 -расмда келтирилган.



2-расм. Нефт (а) ва газ конденсати (б) оқими ҳажмий сарфини иссиқлик бериш коэффициентига таъсири.

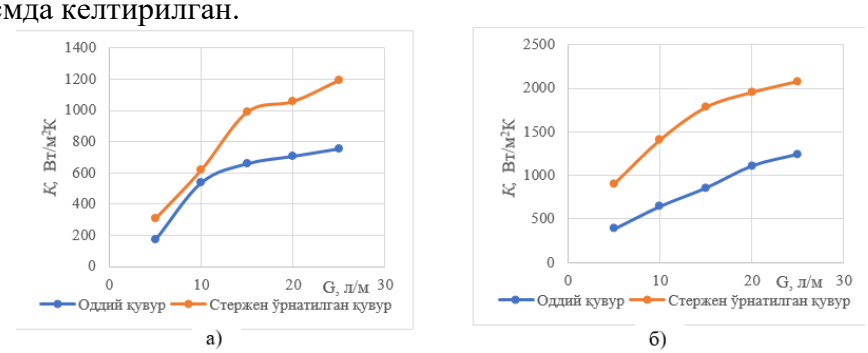
Диаграммадаги маълумотлардан, қувур деворидан иситилаётган нефт оқимига иссиқлик бериш коэффициенти (α_2, Вт/м²·К) стержен ўрнатилган қувурда оддий қувурга нисбатан ўртача 1,9 марта ошишига олиб келади. Газ конденсатини иситишда ўсиш кўрсаткичи 2.8 маротабани ташкил қилади. Иссиқлик бериш коэффициентининг ўзгариш графиги таҳлили шуни кўрсатадики, қувур ичига стержен ўрнатилиши оқимнинг гидродинамик режимини жадаллаштириб, қувурнинг ҳўлланган периметрини оширади ва конвектив иссиқлик алмашиниш жараёнини жадаллаштириш имконини беради.

Тажриба қурилмасидаги иссиқлик узатиш коэффициентининг K қиймати қуйидаги формуладан аниқланди [19; 101-109 б, 180; 269-289 б., 186; 645-657 б., 187; 379-384 б.]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\delta}{\lambda}+\frac{1}{\alpha_2}} \qquad (3)$$

бу ерда, $\lambda = 51$ Вт/м - пўлат кувурнинг иссиқлик ўтказиш коэффициенти; $\delta = 0{,}0005$ – қувур деворининг қалинлиги, м.

Анъанавий (оддий) ва стержен ўрнатилган қувурда оқим ҳаракати ва иссиқлик ташувчиларнинг ҳажмий сарфининг иссиқлик узатиш коэффициенти *K* нинг ўзгаришига боғлиқлиги 3 - расмда келтирилган.



3-расм. Нефт (а) ва газ конденсати (б) оқими ҳажмий сарфини иссиқлик узатиш коэффициентига таъсири.

Олинган натижаларга кўра, иситилаётган оқим ҳажмий сарфининг $G = 5–25$ л/мин оралиғида ортиши нефт учун К нинг оддий қувурда 160 дан 750 Вт/(м²·К) гача, стержен ўрнатилган қувурда эса 310 дан 1190 Вт/(м²·К) гача ортиши аниқланди. Газ конденсатида ушбу кўрсаткичлар мос равишда 380–1250 Вт/(м²·К) ва 900–2080 Вт/(м²·К) ни ташкил этади. Бу эса стержен таъсирида оқим аралашиши ва турбулентликнинг кучайиши ҳисобига иссиқлик алмашинуви жараёни сезиларли даражада самарали эканлигини кўрсатади.

Хулоса. Ўтказилган экспериментал тадқиқотлар натижасида нефт ва газ конденсати оқимларининг ҳажмий сарфи G=5÷25 л/мин оралиғида ортиши билан иссиқлик узатиш коэффициенти *K* нинг қиймати мунтазам равишда ошиши аниқланди. Нефт учун *K* қиймати оддий қувурда 160 дан 750 Вт/(м²·К) гача, яъни 4,7 марта, стержень ўрнатилган қувурда эса 310 дан 1190 Вт/(м²·К) гача, яъни 3,8 марта ошди. Газ конденсатида эса *K* коэффициенти оддий қувурда 380 дан 1250 Вт/(м²·К) гача, яъни 3,3 марта, стержен ўрнатилган қувурда 900 дан 2080 Вт/(м²·К) гача, яъни 2,3 марта ошган.

Шу билан бирга, стержен ўрнатилган қувурдаги максимал *K* қиймати оддий қувурга нисбатан нефт учун 1,6 марта, газ конденсати учун эса 1,66 марта юқори бўлган. Олинган натижалар стержен ўрнатилиши орқали танланган конструктив ечим оқимнинг турбулентлигини таъминлаб, иссиқлик алмашинувини самарадорлигини ортишига олиб келади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Salimov Z.S. Neft va gazni qayta ishlash jarayonlari va uskunalari. –T.: «Aloqachi», 2010, – 508 b.

2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / Под ред. П.Г. Романкова. - 10-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1987. - 576 с.

3. Барулин Е.П., Кувшинова А.С., Кириллов Д.В. и др. Лабораторный практикум по тепловым процессам. Учебное пособие. - Иваново: ИГХТУ, 2009. - 65 б.

4. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов. - Москва: ООО «ТИД Альянс», 2004. - 753 с.

5. Kakac S., Liu H., Pramuanjaroenkij A. Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design. - 4th Edition. - Boca Raton: CRC Press, 2020. - 546 p.

6. Shah R.K., Sekulić D.P. Fundamentals of Heat Exchanger Design. - Hoboken: John Wiley & Sons, 2003. - 941 p.

7. Hewitt G.F., Shires G.L., Bott T.R. Process Heat Transfer. - Boca Raton: CRC Press, 2018. - 1020 p.

8. Исмаилов О.Ю.,Хурмаматов А.М., Юсупов Р.А., Худайбердиев А.А. Балтабаева М.Ж., Муминов Ж.А. Повышение эффективности процесса конденсации углеводородных паров. Узбекский химический журнал. -2023 №3. стр 46-52.

9. Oybek Ismoilov, Fozilbek Shomansurov, Rustam Yusupov, Kumush Akhmedova,Isroiljon Abdurakhmanov, Mavluda Baltabayeva. The influence of liquid hydrocarbon flow recirculation on the efficiency of heat exchange in a shell-and-tube apparatus. Chemical Papers. Received: 14 May 2025/Accepted: 3 August 2025 The Author(s), under exclusive licence to the Institute of Chemistry, Slovak Academy of Sciences 2025 https://doi.org/10.1007/s11696-025-04374-0.

10. Abdugoffor Khurmamatov, Oybek Ismailov, Rustam Yusupov, Jamila Isamatova, Guljakhon Aminova Study of hydrodynamics of the condensation process in heat exchanger devices. Published online: 07 March 2024 DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/2024497010222 AbstractPDF (2.658 MB)References.

11. Oybek Ismailov, Alisher Auesbaev, Rustam Yusupov, Isroiljon Abdurakhmonov, Mavluda Baltabaeva Experimental investigation of heat transfer enhancement in a double-pipe heat exchanger using solid rod inserts with crude oil and gas condensate. Discover Mechanical Engineering Published: 26 November 2025 Volume 4, article number 64 (2025). https://doi.org/10.1007/s44245-025-00150-2

12. Юсупов Р.А., Балтабаева М. Ж. Исмаилов О. Ю. Исаматова Д.Н. Повышение эффективности процесса охлаждения сырья в двухтрубчатом теплообменнике за счет изменения конструктивных параметров аппарата Universum: технические науки: научный журнал. – № 12(129). Часть 2., М., Изд. «МЦНО», 2024. – 76 с. – Электрон. версия печ. публ. – стр. 41-45. http://7universum.com/ru/tech/archive/category/12129

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

MAHALLIY XOMASHYOLAR ASOSIDA OLINGAN SULFOKATIONITLARNING SORBSION XOSSALARINI TADQIQ QILISH

Usmonova Aziza Barat qizi. *ORCID ID 0009-0009-2564-1633,*
Pulatov Xayrulla Lutpullayevich. *ORCID ID 0000-0001-8054-1234,*
Igitov Farruh Baxyiyarovich. *ORCID ID 0009-0001-4067-6545*
Toshkent kimyo-texnologiya instituti
E-mail: hayrulla00796@gmail.com

Annotatsiya. *Mazkur ishda mahalliy xomashyolar asosida, p-stirolsulfokislotaning natriyli tuzi va furfurolning polikondensatsiyasi natijasida olingan sulfokationitning asosiy fizik-kimyoviy hamda sorbsion xossalari tadqiq etildi. Sulfokationitning funksional guruhlari, dissotsilanish xususiyati, statik va dinamik almashinish sig'imlari, ishqoriy va neytral muhitlarda ion almashinish qobiliyati, shuningdek, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cu^{2+} va Ni^{2+} ionlariga nisbatan sorbsion faolligi baholandi. Potensiometrik titrlash natijasida kationitning tuyilma dissotsilanish konstantasi pK_n=1,8–2,2 ekanligi aniqlanib, uning kuchli kislotali monofunksional ionitlar guruhiga mansubligi tasdiqlandi. IQ-spektroskopik tahlil orqali polimer tarkibida $–SO_3H$ funksional guruhlarining mavjudligi aniqlandi. Olingan sulfokationitning 0,1 N NaOH eritmasi bo'yicha statik almashinish sig'imi 4,2–4,5 mg-ekv/g, NaCl eritmasi bo'yicha 3,0–3,2 mg-ekv/g ni tashkil etdi. Na-shakldagi kationitning Ca^{2+} ionlari bo'yicha almashinish sig'imi 4,4–4,6 mg-ekv/g, Mg^{2+} bo'yicha 2,8–3,4 mg-ekv/g, Cu^{2+} bo'yicha 2,4–2,6 mg-ekv/g va Ni^{2+} bo'yicha 2,2–2,4 mg-ekv/g qiymatlarni ko'rsatdi. Yutilgan kationlarning 2 N H_2SO_4 eritmasi yordamida desorbsiyalanish darajasi 90–95 % gacha yetishi aniqlandi.*

Kalit so'zlar: *sulfokationit, ion almashinish, sorbsiya, p-stirolsulfokislotaning natriyli tuzi, furfurol, statik almashinish sig'imi, dinamik almashinish sig'imi, og'ir metall ionlari, desorbsiya, oqova suvlarni tozalash.*

Abstract. *In this study, the main physicochemical and sorption properties of a sulfocation exchanger obtained from local raw materials through the polycondensation of sodium p-styrenesulfonate and furfural were investigated. The functional groups, dissociation behavior, static and dynamic ion-exchange capacities, ion-exchange ability in alkaline and neutral media, as well as the sorption activity of the sulfocation exchanger toward Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cu^{2+}, and Ni^{2+} ions were evaluated. Potentiometric titration showed that the apparent dissociation constant of the cation exchanger was pK_n = 1.8–2.2, confirming its classification as a strongly acidic monofunctional ion exchanger. IR-spectroscopic analysis confirmed the presence of $–SO_3H$ functional groups in the polymer structure. The static ion-exchange capacity of the obtained sulfocation exchanger was 4.2–4.5 meq/g in 0.1 N NaOH solution and 3.0–3.2 meq/g in NaCl solution. The ion-exchange capacity of the Na-form cation exchanger was 4.4–4.6 meq/g for Ca^{2+} ions, 2.8–3.4 meq/g for Mg^{2+} ions, 2.4–2.6 meq/g for Cu^{2+} ions, and 2.2–2.4 meq/g for Ni^{2+} ions. It was established that the degree of desorption of the sorbed cations using 2 N H_2SO_4 solution reached 90–95%.*

Keywords: *sulfocation exchanger, ion exchange, sorption, sodium p-styrenesulfonate, furfural, static ion-exchange capacity, dynamic ion-exchange capacity, heavy metal ions, desorption, wastewater treatment.*

Kirish

Sanoatning jadal rivojlanishi natijasida hosil bo'layotgan oqova suvlarning og'ir metall ionlari va boshqa noorganik komponentlar bilan ifloslanishi atrof-muhitni muhofaza qilishning dolzarb muammolaridan biri hisoblanadi. Metallurgiya, kimyo, galvanika, mashinasozlik va boshqa ishlab chiqarish tarmoqlarining oqova suvlarida Cu^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+}, Cr^{3+} va boshqa metall ionlarining mavjudligi ularni samarali va chuqur tozalash texnologiyalarini ishlab chiqishni talab etadi [1].

Oqova suvlarni og‘ir metall ionlaridan tozalashda kimyoviy cho‘ktirish, membranali ajratish, adsorbsiya, elektrokimyoviy va ion-almashinish usullaridan foydalaniladi. Ushbu usullar orasida ion-almashinish jarayoni past konsentratsiyadagi ionlarni ajratib olish, sorbentni regeneratsiya qilish va suvni qayta foydalanishga yo‘naltirish imkoniyatlari bilan ajralib turadi [2].

Ion-almashinuvchi polimerlarning samaradorligi ularning funksional guruhlari tabiati, almashinish sig‘imi, mexanik va kimyoviy barqarorligi, ionlarning sorbsiya-desorbsiya xususiyatlari hamda regeneratsiyalanish darajasiga bog‘liq. Shu sababli yuqori sorbsion xususiyatlarga ega, iqtisodiy jihatdan maqbul va mahalliy xomashyo bazasiga asoslangan yangi ionitlarni yaratish katta ilmiy-amaliy ahamiyatga ega [3].

Mahalliy xomashyo resurslaridan foydalanib ion-almashinuvchi polimerlarni sintez qilish import ionitlariga bo‘lgan ehtiyojni qisqartirish, oqova suvlarni tozalash tannarxini pasaytirish va mahalliy ishlab chiqarishni rivojlantirish uchun istiqbolli yo‘nalishlardan biri hisoblanadi [4].

Tadqiqotning maqsadi — *p*-stirolsulfokislotaning natriyli tuzi va furfurol asosida olingan sulfokationitning fizik-kimyoviy, statik va dinamik ion-almashinish hamda sorbsiya-desorbsiya xususiyatlarini tadqiq etish va uning suvlarni tozalash jarayonlarida qo‘llash imkoniyatlarini baholashdan iborat.

Tadqiqot materiallari va usullari

Tadqiqot obyekti sifatida *p*-stirolsulfokislotaning natriyli tuzi va furfurol asosida polikondensatsiya usuli bilan olingan sulfokationitdan foydalanildi.

Ionitning ionogen guruhlari xususiyati va dissotsilanish darajasi potensiometrik titrlash usulida o‘rganildi. H-shakldagi kationit namunalari boshlang‘ich konsentratsiyasi C_0=0,1 N bo‘lgan NaCl va NaOH eritmalari bilan muvozanat holatiga keltirildi. Muvozanatga erishish uchun namunalar 48 soat davomida saqlandi. Eritmalarning pH qiymati pH-150MI rusumli pH-metrda aniqlandi.

Kationitning tuyilma dissotsilanish konstantasi potensiometrik titrlash egri chizig‘i asosida hisoblandi. Sulfokationit tarkibidagi $–SO_3H$ funksional guruhlarning mavjudligi IQ-spektroskopik usulda baholandi. Nazariy almashinish sig‘imi kationit elementar bo‘g‘inining molekulyar massasi asosida hisoblandi. Polimer tarkibidagi oltingugurtning nazariy va amaliy miqdorlariga ko‘ra almashinish sig‘imi aniqlanib, tajriba natijalari bilan solishtirildi. Statik almashinish sig‘imi 0,1 N NaOH va NaCl eritmalari, shuningdek $CaCl_2$, $MgCl_2$, $CuSO_4$ va $NiSO_4$ eritmalari yordamida aniqlandi. Kalsiy va magniy ionlarining miqdori trilonometriya usulida, mis ionlari yodometriya usulida, nikel ionlari esa fotokolorimetriya usulida aniqlandi.

Ion-almashinish jarayonlarining sanoat sharoitiga yaqin holatini baholash maqsadida kationitning dinamik almashinish sig‘imi 0,1 N NaOH eritmasini ionit qatlami orqali o‘tkazish yo‘li bilan aniqlanib, uning to‘liq va ishchi dinamik almashinish sig‘imlari hisoblandi. Sorbsiyalangan ionlarning desorbsiyasi uchun 2 N H_2SO_4 eritmasi qo‘llanildi. Natriy, kalsiy va magniy ionlari bilan to‘yintirilgan sulfokationit 48 soat davomida desorbsiyalovchi eritma bilan kontaktda saqlandi.

Natijalar va ularning muhokamasi

Sulfokationitning funksional guruhlari va dissotsilanish xususiyati

Ionitlarning asosiy kimyoviy xossalari orasida ion almashinish qobiliyati muhim o‘rin tutadi. Mazkur ko‘rsatkich ionitlarning ekspluatatsion xossalarini baholashda asosiy mezonlardan biri hisoblanadi. Uning qiymati, asosan, ionit tarkibidagi ionogen guruhlar miqdori, ularning dissotsilanish darajasi, shuningdek, almashinuvchi ionlarning tabiati va konsentratsiyasiga bog‘liq [5]. Olingan kationitlarning nazariy almashinish sig‘imi quyidagi formula bo‘yicha hisoblandi:

$$E_{naz} = \frac{1000}{a}$$

bu yerda,

E_{naz} — nazariy almashinish sig‘imi, mg-ekv/g;

a — olingan kationitlar elementar bo‘g‘inining molekulyar massasi.

Bundan tashqari, ionit tarkibidagi oltingugurtning nazariy foiz miqdori ham quyidagi formula bo‘yicha hisoblandi:

$$E = \frac{32}{a}, \%$$

bu yerda,

32 — oltingugurtning atom massasi;

a — olingan kationitlar elementar bo‘g‘inining molekulyar massasi.

Oltingugurtning amaldagi miqdori bo‘yicha amaliy almashinish sig‘imi quyidagi formula yordamida hisoblandi:

$$E_{amal} = \frac{S_{amal} \cdot E_{naz}}{S_{naz}}$$

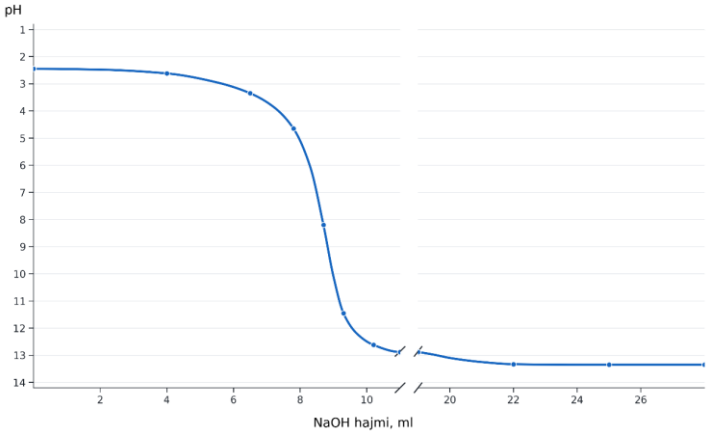
bu yerda,

E_{naz} — hisoblangan nazariy almashinish sig‘imi, mg-ekv/g;

S_{naz} — ionit tarkibidagi oltingugurtning nazariy miqdori, %;

S_{amal} — ionit tarkibidagi oltingugurtning amaliy miqdori, %.

Funksional guruhlarning xususiyati va ularning dissotsilanish darajasini aniqlash maqsadida potensiometrik titrlash egri chiziqlari olindi (1-rasm). Titrlash H-shakldagi kationitning alohida tortib olingan namunalarini natriy xlorid va natriy gidroksid eritmalari bilan muvozanatga keltirish orqali, boshlang‘ich konsentratsiya **C_0 = 0,1 N** bo‘lgan sharoitda keltirilgan uslub bo‘yicha amalga oshirildi.



1-rasm. Potensiometrik titrlash egri chizig‘i

Muvozanat holatiga erishilgandan so‘ng, ya’ni 48 soatdan keyin eritmaning pH qiymati «pH-150MI» rusumli pH-metr yordamida aniqlandi. 1-rasmdan ko‘rinib turibdiki, potensiometrik titrlash egri chizig‘i sulfokationitning neytral, kuchsiz va kuchli ishqoriy muhitlarda dissotsilanuvchi monofunksional ionit ekanini ko‘rsatadi [6]. Kationit ionogen guruhlarining potensiometrik titrlash egri chizig‘i asosida keltirilgan uslub bo‘yicha aniqlangan tuyilma dissotsilanish **konstantasi pK_n = 1,8–2,2** ga teng. Tuyilma dissotsilanish konstantasining mazkur qiymati olingan kationitning kuchli kislotali ionitlar guruhiga mansubligini ham tasdiqlaydi.

Statik almashinish sig‘imi

Olingan sulfokationit tuzilishida $–SO_3H$ guruhlari mavjudligi IQ-spektrlar yordamida tasdiqlandi. Xususan, sulfokationit spektridagi $–SO_3H$ guruhlari 1200 sm^{-1} sohadagi yutilish chizig‘i bilan tavsiflanadi, bu esa adabiyot ma’lumotlariga mos keladi [7, 8].

1-jadval

Olingan sulfokationitning asosiy tavsiflari

Ionit	Funksional guruh	Almashinish sig‘imi				pK1	pK2
		Nazariy almashinish sig‘imi, mg-ekv/g	0,1 N NaOH eritmasi bo‘yicha statik almashinish sig‘imi, mg-ekv/g	Polimer tarkibidagi oltingugurt miqdori (%) bo‘yicha hisoblangan almashinish sig‘imi, mg-ekv/g	Potensiometrik titrlash egri chiziqlari bo‘yicha hisoblangan almashinish sig‘imi, mg-ekv/g		
Stirol-furfurol polimeri asosidagi sulfokationit (KU-FS)	$-SO_3H$	3,8	3,4-3,6	3,53	3,4-3,5	1,8-2,2	-
p-stirolsulfo-kislotaning natruyli tuzi va furfurol asosidagi sulfokationit	$-SO_3H$	3,6	4,2–4,5	3,6	3,2-3,4	1,8-2,2	-

1-jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, kationitning potensiometrik titrlash egri chizig‘i asosida aniqlangan almashinish sig‘imi, polimer tarkibidagi oltingugurt miqdori bo‘yicha hisoblangan qiymat hamda nazariy almashinish sig‘imi o‘zaro yaxshi mos keladi. Ushbu ko‘rsatkichlarning statik almashinish sig‘imi qiymatlaridan sezilarli darajada farq qilmasligi sintez qilingan sulfokationit tarkibidagi funksional $–SO_3H$ guruhlarining ion almashinish jarayonida faol ishtirok etishini ko‘rsatadi. Olingan natijalarni qiyosiy baholash maqsadida stirol-furfurol polimeri asosida sintez qilingan sulfokationitning ham asosiy fizik-kimyoviy va ion-almashinish xossalari o‘rganildi. Bu esa yangi sulfokationitning funksional samaradorligini mavjud analog bilan taqqoslash imkonini berdi. Tadqiq etilgan sulfokationitlarning asosiy xossalari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Olingan sulfokationitning asosiy xossalari

Ko‘rsatkichlar		Olingan sulfokationit	Sulfokationit KU-FS	Sulfokationit KU-2×8
Sochma og‘irlik, g/ml		0,68	0,5	0,45
Solishtirma hajm, ml/g		2,4–2,8	3,4	2,8
Statik almashinish sig‘imi, mg-ekv/g:				
0,1 N NaOH eritmasi bo‘yicha		4,2–4,5	3,6	3,8
0,1 N NaCl eritmasi bo‘yicha		3,0–3,2	3,4	1,2
0,1 N $CaCl_2$ eritmasi bo‘yicha	H-shakl	4,0–4,2	4,4	4,6
	Na-shakl	4,4–4,6	4,6	5,4

0,1 N $MgCl_2$ eritmasi bo‘yicha	H-shakl	2,6–3,0	3,0	4,0
	Na-shakl	2,8–3,4	3,4	4,6
0,1 N $CuSO_4$ eritmasi bo‘yicha	H-shakl	2,0–2,2	3,8	4,0
	Na-shakl	2,4–2,6	4,2	4,6
0,1 N $NiSO_4$ eritmasi bo‘yicha	H-shakl	1,8–2,0	2,0	-
	Na-shakl	2,2–2,4	3,6	-
Mexanik mustahkamlik, %		99	99	99,9

Ma’lumki, kuchli kislotali kationitlarda muhitning pH qiymati almashinish sig‘imi miqdoriga deyarli ta’sir ko‘rsatmaydi. Olingan sulfokationitning statik almashinish sig‘imi neytral va ishqoriy muhitlarda natriy ionlarining yutilishi bo‘yicha aniqlandi [9].

Kalsiy va magniy ionlarining yutilishi trilonometriya usulida, mis ionlariniki yodometriya usulida, nikel ionlariniki esa fotokolorimetriya usulida aniqlandi. 2-jadvalda keltirilgan ma’lumotlardan ko‘rinib turibdiki, olingan sulfokationit o‘rganilgan ionlarga nisbatan yetarlicha yuqori sorbsion ko‘rsatkichlarga ega. Bundan tashqari, Na-shakldagi kationitning kalsiy va magniy ionlari bo‘yicha almashinish sig‘imi ham aniqlandi [10].

Dinamik almashinish sig‘imi

Sanoat sharoitida ion almashinish jarayonlari asosan dinamik rejimda, ya’ni eritmaning ionit qatlami orqali uzluksiz o‘tkazilishi asosida amalga oshiriladi. Shu sababli olingan sulfokationitning amaliy qo‘llanish imkoniyatlarini baholashda uning dinamik almashinish xususiyatlarini aniqlash muhim ahamiyatga ega. Tadqiqot davomida sulfokationitning dinamik almashinish sig‘imi 0,1 N NaOH eritmasini ma’lum tezlikda ionit qatlami orqali o‘tkazish yo‘li bilan o‘rganildi. Jarayon davomida chiqayotgan eritma tarkibidagi ionlar konsentratsiyasining o‘zgarishi kuzatilib, ionitning almashinish fronti va to‘yinish holati baholandi. Olingan natijalar asosida sulfokationitning ishchi hamda to‘liq dinamik almashinish sig‘imi hisoblab chiqildi. Mazkur ko‘rsatkichlar ionitning uzluksiz texnologik jarayonlarda samarali ishlash qobiliyatini tavsiflaydi. Sulfokationitning ishchi va to‘liq dinamik almashinish sig‘imi qiymatlari 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval

Olingan sulfokationitning ion almashinish qobiliyati

Ionit	0,1 N eritma bo‘yicha statik almashinish sig‘imi (SAS), mg-ekv/g:		Bo‘kkan kationitning solishtirma hajmi, ml/g		Dinamik almashinish sig‘imi, mg-ekv/l	
	NaOH	NaCl	H-shakl	Na-shakl	to‘liq	ishchi
Stirol-furfurol polimeri asosidagi sulfokationit (KU-FS)	3,6	3,4	3,5	3,8	1420	1150
Olingan sulfokationit	4,2–4,5	3,0–3,2	2,4	2,8	1480	1200

3-jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, sulfokationit ishchi va to‘liq dinamik almashinish sig‘imining yetarlicha yuqori ko‘rsatkichlariga.

Sorbsiyalangan ionlarning desorbsiyasi. Sulfokationitning qayta regeneratsiyalanish imkoniyatini baholash maqsadida uning tarkibiga sorbsiyalangan ionlarning desorbsiya jarayoni o‘rganildi. Desorbsiyalovchi agent sifatida 2 N sulfat kislota eritmasi va suvdan foydalanildi [11]. Buning uchun sulfokationit namunalari natriy, kalsiy va magniy ionlari bilan alohida-alohida to‘yintirildi. So‘ngra ionit namunalariga 2 N H_2SO_4 eritmasi quyilib, ionlarning ionit fazasidan eritmaga o‘tishi uchun 48 soat davomida saqlandi. Jarayon yakunida desorbsiyalangan Na^+, Ca^{2+} va

Mg^{2+} ionlarining miqdori aniqlanib, sulfokationitning regeneratsiyalanish darajasi baholandi. Olingan natijalar ionitni ko‘p marotaba sorbsiya–desorbsiya sikllarida qo‘llash imkoniyatini tavsiflaydi. Tadqiqot natijalari 4-jadvalda keltirilgan.

4-jadval.

Yutilgan ionlarning desorbsiyasi

Desorbsiyalanuvchi kation	Sorbsiyalangan miqdor, mg-ekv/g	Desorbsiyalovchi agent, mg-ekv/g		Desorbsiyalangan miqdor, mg-ekv/g
		H_2O	2N H_2SO_4 eritmasi	
Natriy	4,2	0,3	3,5	3,8
Kalsiy	4,0	0,1	3,6	3,7
Magniy	2,6	0,1	2,3	2,4

Umuman olganda, sulfokationit tarkibiga sorbsiyalangan ionlarning desorbsiyalanish darajasi **90–95 %** ni tashkil etdi. Bu ko‘rsatkich ionitning yuqori darajada regeneratsiyalanish xususiyatiga ega ekanligini va uni bir necha marotaba sorbsiya–desorbsiya sikllarida qayta ishlatish mumkinligini ko‘rsatadi [12]. Desorbsiya jarayonining yuqori samaradorligi sulfokationitning ion-almashinish xossalarini tiklash, uning ekspluatatsion muddatini uzaytirish hamda sorbent sarfini kamaytirishga xizmat qiladi. Shu bilan birga, ion-almashinish jarayonlarida hosil bo‘ladigan ikkilamchi chiqindilar miqdorining kamayishi texnologiyaning ekologik xavfsizligini oshiradi. Natijada sulfokationitni regeneratsiyalab qayta qo‘llash uning sanoat miqyosida ishlatilishining texnologik va iqtisodiy samaradorligini ta’minlovchi muhim omillardan biri hisoblanadi.

Sulfokationitdan qattiq suvlarni yumshatish jarayonlarida foydalanish imkoniyatlarini tadqiq etish

Ionitlar keng qo‘llaniladigan obyektlardan biri suv ta’minoti korxonalari hisoblanadi. Bular, asosan, energetika, kimyo, radiokimyo va boshqa ishlab chiqarish tarmoqlariga tegishli korxonalardir. Shu nuqtayi nazardan, ishlab chiqarilayotgan mahsulotlar sifatiga qo‘yiladigan talablarning ortib borishi tuzsizlantirilgan suvdan foydalanish sohalarining kengayishiga olib kelmoqda.

Tuzsizlantirilgan suv olishning keng tarqalgan usullaridan biri ion-almashinish xromatografiyasi usulidir. Respublikamiz sharoitida yuqorida qayd etilgan obyektlarda ekspluatatsion xossalari yuqori bo‘lgan KU-2×8 va KB-4 kabi sanoat ionitlaridan foydalaniladi. Biroq ushbu ion-almashinuvchi materiallarning narxi nisbatan yuqori bo‘lganligi sababli ulardan foydalanish imkoniyatlari cheklangan.

Suv tayyorlash sohasidagi dolzarb vazifalardan biri — olinishi va qo‘llanilishi mamlakatimiz iqtisodiyoti uchun ijobiy iqtisodiy samara beradigan yangi ion-almashinuvchi materiallardan foydalanishdir. Ma’lumki, respublikamizning ko‘plab hududlarida maishiy va ishlab chiqarish ehtiyojlari uchun foydalaniladigan suvning qattiqligi yuqori bo‘lib, ayrim hollarda 12–13 mg-ekv/l gacha yetadi. Bu ko‘rsatkich O‘zDSt 950:2011 «Ichimlik suvi. Gigiyenik talablar va sifatini nazorat qilish» standartida belgilangan 2,5–7,0 mg-ekv/l me’yordan ancha yuqoridir.

5-jadval

Olingan sulfokationit yordamida artezian suvlarini yumshatish natijalari

Olingan sulfokationit	**Surxondaryo viloyati Sho‘rchi tumani**		**Qoraqalpog‘iston Respublikasi Qo‘ng‘irot tumani**		**Qoraqalpog‘iston Respublikasi Qorao‘zak tumani**	
	Suvning qattiqligi, mg-ekv/l:					
	avval	so‘ng	avval	so‘ng	avval	so‘ng

H-shaklda	12,0	3,8	11,2	3,0	11,0	3,4
Na-shaklda		2,1		2,2		2,4

Olingan sulfokationitdan suv tayyorlash jarayonlarida foydalanish imkoniyatini baholash maqsadida uning kalsiy va magniy ionlariga nisbatan sorbsion qobiliyati o‘rganildi. Tadqiqotlar respublikamiz ayrim hududlari suvlarining tarkibiga yaqin qilib tayyorlangan model eritmalarda, shuningdek, Surxondaryo viloyati va Qoraqalpog‘iston Respublikasining ayrim tumanlaridan tadqiqot uchun olib kelingan tabiiy suv namunalarida amalga oshirildi [13-15].

Kationit H- va Na-shakllarda sinovdan o‘tkazildi. Buning uchun 1 g kationitga 200 ml tadqiq etilayotgan suv quyildi. 24 soatdan keyin suv kationitdan ajratildi va uning qattiqligi qora xromogen indikatori ishtirokida trilonometriya usuli bilan aniqlandi. Tadqiqot natijalari 5-jadvalda keltirilgan.

5-jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, tadqiq etilgan sulfokationitdan suvni yumshatish jarayonida foydalanilganda, kationit bilan kontaktdan keyingi suvning qattiqligi standart talablariga muvofiq keladi.

Xulosa

p-stirolsulfokislotaning natriyli tuzi va furfurol asosida olingan sulfokationitning fizik-kimyoviy, ion-almashinish va sorbsiya-desorbsiya xossalarini o‘rganish natijasida quyidagi xulosalarga kelindi:

1. Sulfokationitning tuyilma dissotsilanish konstantasi pK_n=1,8–2,2 bo‘lib, uning kuchli kislotali monofunksional kationit ekanligi aniqlandi.
2. IQ-spektroskopik tahlil polimer tarkibida ion almashinishni ta’minlovchi –SO_3H funksional guruhlari mavjudligini tasdiqladi.
3. Sulfokationitning 0,1 N NaOH bo‘yicha statik almashinish sig‘imi 4,2–4,5 mg-ekv/g ni tashkil etib, KU-FS va KU-2×8 kationitlariga nisbatan yuqori ko‘rsatkich namoyon etdi.
4. Kationit Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cu^{2+} va Ni^{2+} ionlariga nisbatan yuqori sorbsion faollik ko‘rsatib, Na-shaklda Ca^{2+} bo‘yicha sig‘imi 4,4–4,6 mg-ekv/g ga yetdi.
5. To‘liq va ishchi dinamik almashinish sig‘imlari mos ravishda 1480 va 1200 mg-ekv/l ni tashkil etdi.
6. 2 N H_2SO_4 yordamida sorbsiyalangan ionlarning 90–95% desorbsiyalanishi sulfokationitning samarali regeneratsiyalanishini ko‘rsatdi.
7. Yuqori almashinish sig‘imi, 99% mexanik mustahkamligi va regeneratsiyalanish xususiyati sulfokationitni oqova suvlarni og‘ir metall ionlaridan tozalash, suvni yumshatish va deminerallashtirish uchun istiqbolli ion-almashinuvchi material sifatida tavsiya etish imkonini beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Helfferich F. Ion Exchange. New York: McGraw-Hill; 1962.
2. Dixit F., Dutta R., Barbeau B., Bérubé P., Mohseni M. PFAS Removal by Ion Exchange Resins: A Review // Chemosphere. 2021. Vol. 272. Art. 129777. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.129777. .
3. Dąbrowski A., Hubicki Z., Podkościelny P., Robens E. Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. Chemosphere. 2004;56(2):91–106.
4. Lebron Y.A.R., Moreira V.R., Amaral M.C.S. Metallic Ions Recovery from Membrane Separation Processes Concentrate: A Special Look onto Ion Exchange Resins // *Chemical Engineering Journal*. 2021. Vol. 425. Art. 131812. DOI: 10.1016/j.cej.2021.131812.
5. Fu F., Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. Journal of Environmental Management. 2011;92(3):407–418.
6. Inglezakis V.J., Poulopoulos S.G. Adsorption, Ion Exchange and Catalysis: Design of

Operations and Environmental Applications. Amsterdam: Elsevier; 2006.
7. Usmonova A.B., Pulatov Kh.L. Obtaining of polycondensation type monofunctional sulfocationite//«Science and innovation» xalqaro ilmiy jurnali, 2025. Volume 4 Issue 5. https://doi.org/10.5281/zenodo.15447797.
8. I-Hsien Lee, Yu-Chung Kuan, Jia-Ming Chern, Equilibrium and kinetics of heavy metal ion exchange // Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers. – 2007. vol. 38. - p. 71 – 84.
9. Alyüz B., Veli S. Kinetics and equilibrium studies for the removal of nickel and zinc from aqueous solutions by ion exchange resins. Journal of Hazardous Materials. 2009;167(1–3):482–488.
10. Pehlivan E., Altun T. Ion-exchange of Pb^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Cd^{2+} and Ni^{2+} ions from aqueous solution by Lewatit CNP 80. Journal of Hazardous Materials. 2007;140(1–2):299–307.
11. Usmonova A.B., Pulatov X.L. Investigation of the potential use of sulfonated cation-exchange resins in hard water softening processes // International scientific journal “Science and Innovation”, 2026. Volume 5 Issue 7. – P.78-89. https://doi.org/10.67620/sai.57a0009 ((23) Scientific Journal Impact Factor).
12. Usmonova A., Nazirova R., Sharipova U., Yuldashev A., Pulatov Kh., Sattorov Sh., Ergashev Yo. Research new type of cation-exchange resin for waste water treatment // E3S Web of Conferences 497 ICECAE 2024, 02035. (2024) https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449702035.
13. Pulatov Kh.L., Igitov F.B., Usmanova A.B., Yuldashev A.A. Cation-exchange resins for waste water treatment //3rd international conference on water management and its surroudings - theoretical and practical aspects; 17th – 18th may 2023 Olsztyn, Poland.
14. Usmonova A.B., Pulatov Kh.L., Nazirova R.A., Dadaboyeva D.I., Nosirov M.U. Cation-exchange resin for waste water treatment // Web of Scientists International scientific research journal, Volume 3, Issue 5, May., 2022. P.111-120.
15. Liu Z., Haddad M., Sauvé S., Barbeau B. Alleviating the burden of ion exchange brine in water treatment: From operational strategies to brine management // Water Research. 2021. Vol. 205. Art. 117728. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117728.

РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЦУКАТОВ ИЗ ОВОЩЕЙ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНЫХ ПОДСЛАСТИТЕЛЕЙ

Гуломов Азизбек Бахтиёр угли, *преподаватель*
Атаханов Шухрат Нуриддинович, *профессор*
Мамаджанов Латифжон, *доцент*
Наманганский государственный университет, кафедра Биотехнологии
E-mail: azizgulyamov98@gmail.com

Аннотация: *В статье представлены результаты исследований по разработке рецептур и технологии производства цукатов из овощного сырья с использованием натурального виноградного концентрата в качестве осмотического раствора. В качестве объектов исследования использовали тыкву, морковь и столовую репу. Изучены параметры осмотического массопереноса и влияние ультразвуковой обработки на интенсивность удаления влаги и накопления растворимых сухих веществ в растительном сырье. Установлены оптимальные параметры концентрации виноградного концентрата, продолжительности и температуры ультразвукового воздействия. Определено, что наиболее эффективными являются концентрации 55–60° Brix, продолжительность ультразвуковой обработки 15–30 минут и температура 35–45 °C. Разработана технологическая схема получения овощных цукатов на основе виноградного концентрата, а также предложена рецептура готового продукта. Использование натурального виноградного концентрата позволяет снизить зависимость технологии от традиционного сахарного сырья и расширить ассортимент переработанной растительной продукции. Разработанная технология может быть использована при производстве овощных цукатов с пониженным содержанием добавленного сахара и повышенной долей компонентов растительного происхождения.*

Abstract: *The article presents the results of research aimed at developing formulations and a technology for producing candied products from vegetable raw materials using natural grape concentrate as an osmotic solution. Pumpkin, carrot, and turnip were used as research materials. The parameters of osmotic mass transfer and the effect of ultrasonic treatment on the intensity of moisture removal and the accumulation of soluble solids in vegetable raw materials were studied. The optimal parameters of grape concentration, ultrasonic treatment duration, and temperature were determined. The most effective conditions were found to be a grape concentrate concentration of 55–60° Brix, an ultrasonic treatment duration of 15–30 minutes, and a temperature of 35–45 °C. A technological scheme for producing candied vegetables based on grape concentrate was developed, and a formulation for the finished product was proposed. The use of natural grape concentrate makes it possible to reduce dependence on conventional sugar-based raw materials and expand the range of processed plant-based products. The developed technology can be used to produce candied vegetables with a reduced content of added sugar and a higher proportion of plant-based components.*

Ключевые слова: *цукаты, овощное сырьё, натуральные подсластители, виноградный концентрат, осмотическая дегидратация, осмотический массоперенос, ультразвуковая обработка, ультразвуковая интенсификация, овощные цукаты, технология производства, рецептура, тыква, морковь, столовая репа, Brix.*

Keywords: *candied vegetables, vegetable raw materials, natural sweeteners, grape concentrate, osmotic dehydration, osmotic mass transfer, ultrasonic treatment, ultrasonic intensification, candied products, production technology, formulation, pumpkin, carrot, turnip, Brix.*

Введение. Питание является одним из основных показателей благополучия населения. В стратегии развития Узбекистана 2026–2030 годах [1] особая роль отведена к развитию

перерабатывающий и пищевой промышленности. Современное развитие промышленности характеризуется повышенным спросом на продукты функционального питания сниженным содержанием добавленных сахаров и повышенной долей компонентов растительного происхождения. Одновременно является актуальным разработки технологии позволяющих максимально использовать местное сельскохозяйственное сырье и безотходные технологии. В группе продуктов по переработке сельскохозяйственной продукции особое место занимает цукаты. Существующая технология приготовления цукатов предусматривает обработку фруктового и овощного сырья концентрированным сахарным сиропом с удалением частичной влаги. С высоким содержанием сахарозы в цукатах обеспечивается осмотический перенос воды, формирование текстуры и повышения сохранности при хранении. Цукаты отличаются с высоким содержанием сахаров. Поэтому разработка технологии цукатов с пониженным содержанием сахаров и на основе натуральных подсластителей представляет научный и практический интерес.

Выбор овощного сырья при производстве цукатов исходило из того, что в Узбекистане выращивают достаточное количество овощей, заготовка овощей растет с каждым годом. По данным Национального Комитета Республики Узбекистан [2] по статистике общее производство овощей выросло с 11638,5 тысяч тонн в 2021 году до 13555,1 тысяч тонн в 2024 году. В 2025 году произведено около 13,7 миллионов тонн овощей, что на 1,2% больше, чем в 2024 году. Полученные данные свидетельствуют о положительной динамике развития овощеводства в республике. За 2021–24 гг. валовое производство овощей увеличилось с 11,64 до 13,56 млн тонн или примерно на 16,5%. Это создает устойчивую сырьевую базу для развития глубокой переработки овощей, в том числе цукатов. Несмотря на достаточность овощей и фруктов потребления среди населения не отвечает требованиям физиологических норм рекомендованным Министерством Республики Узбекистан. В соответствии с рекомендациями ВОЗ (всемирной организации здравохранения) потребление овощей и фруктов должно составлять не менее 400 г в сутки, тогда как ориентировочная доля овощей составляет около 250 г/сутки.

Одним из перспективных направлений расширения ассортимента переработанной растительной продукции является разработка овощных цукатов с пониженным содержанием сахара на основе натуральных пищевых компонентов. Такая технология позволяет получить продукт длительного хранения и одновременно расширить способы потребления овощей.

В настоящее время известны технологии приготовления цукатов из овощей с сахаром.

По патенту [3] приготовленное сырье насыщают сахарным сиропом с содержанием сухих веществ 50–75% при температуре ниже температуры кипения сиропа до содержания сухих веществ в сырье около 40% и сушат до достаточного влагосодержания 20–25%. Недостатками данного способа является высокое содержание сахара и влагосодержания. Это приводит к проблемам при хранении цукатов.

В работе Причко В.А. [4] разработано технология приготовления цукатов из тыквы и кабачков. Технология приготовления включает бланшировку в кипящей воде в течение 2 мин, выдержка 1% растворе хлористого кальция 0,5 часа, что позволило сохранению объема готового продукта на 2–3%, снизить потери сырья на 2–3%. Сухие вещества цукатов доводят 68–72% и обрабатывают йодокрахмальным раствором в течение 3 мин.

Недостатками данной технологии является высокое содержание сахаров в готовом продукте.

Учёными Бухарского инженерно-технологического института Алтиевым А.Т. [5–6] и другими исследователями были проведены научные изыскания в области производства цукатов, в рамках которых разработана технология приготовления цукатов из свёклы и красной моркови. Вместе с тем в данной технологии в качестве консерванта на основном этапе хранения также применялся сахар, концентрация которого составляла 78–82%, что свидетельствует о чрезмерно высоком его содержании в готовом продукте.

Ученые из России под руководством профессора Павлова [7], разработали технологию приготовления цуката из тыквы и утвердили стандарт по производству этого вида цуката. При изготовлении тыкву очищают, нарезают и подсыпают сахаром в соотношении сахар 300 г/1000 г тыквы. Выдерживают до выделения сока, чтобы оно полностью покрывало дольки тыквы, а потом варят в течение 5–7 минут, охлаждая каждый раз и доводят содержания сухих веществ до 80%. Содержание сахара составляет 70%. Цукаты, приготовленные по этой технологии, отличаются высоким содержанием сахаров, а также длительным процессом приготовления.

Ученые Наманганского инженерно-технологического института [8] разработали технологию приготовления цукатов из чеснока. При приготовлении чеснок заливали концентрированным фруктовым соком. Авторы не излагали пути устранения запаха чеснока и это является основным недостатком данной технологии.

Ученые Южно-Казахстанского государственного университета имени М. Ауэзова [9] разработали технологию цукатов из фруктов с использованием стевии. Применение стевии не заменяет технологические функции сахара. Оно также имеет специфический вкус, послевкусие, сложность дозирования, проблемы с текстурой, труднодоступности карамелизации и цветом. Поэтому многими специалистами не рекомендуется использовать одну стевию.

Проведенный анализ показывает, что основным компонентом при приготовлении цукатов остается сахароза. Его концентрированный раствор создает осмотический градиент, который является движущей силой удаления воды из растительной ткани. На интенсивность ее проникновения влияют концентрация раствора, температура, продолжительность обработки, размер кусочков, соотношения сырья и раствора и интенсивность перемешивания [10-14].

Анализ вышеуказанных технологий показываю, что при приготовлении цукатов в основном используют сахар и его раствор. Мы предлагаем виноградный концентрат с ультразвуковыми интенсификациями осмотического массопереноса.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования использовали овощное сырье: тыкву (*Cucurbita spp.)* [15], морковь *(Daucus carota* L.*)* [16], репа столовая *(Brassica rapa* L.*)* [17]. Готовили цукаты из этих овощей. Определяли концентрацию осмотическая раствора на основе виноградного концентрата и диапазоны факторов ультразвуковой обработки.

Результаты исследования и их обсуждения. Для приготовления цукатов приготовили овощное сырье. После мойки и очистки овощи нарезали на кусочки одинаковой геометрической формы. Для обеспечения сопоставимости результатов толщина и размеры образцов поддерживались постоянными, рекомендуемый размер образцов составлял приблизительно 25×25, 40×40 мм. Для каждого варианта опыта использовали одинаковую массу сырья. Перед осмотической обработкой сырье подвергали предварительному бланшированию в слабом солевом растворе. Продолжительность и температура бланширования к каждому сырью выбрали индивидуально.

Подготовили осмотический раствор на основе виноградного сока. Виноградный сок получали из нестандартных поспевших плодов, вымывали, выжимали, осветляли, концентрировали при вакууме и концентрат также осветляли и использовали следующие варианты.

1. 50° Brix
2. 55° Brix
3. 60° Brix
4. 65° Brix

Оптимальным получились варианты 55° Brix и 60° Brix. Для интенсификации осмотического массопереноса использовали ультразвуковую обработку. При ультразвуковой обработке в овощной массе образовываются микроканалы и повышается проницаемость

клеточных структур. Эксперименты проводили в ультразвуковой ванне. В качестве первоначального диапазона приняли частоту ультразвука 20-40 Гц, время воздействия 10-30 мин, температура среды 35-45°С, концентрация виноградного осмотического раствора 55-60° Brix. Ультразвуковую обработку осуществляли непосредственно в виноградном осмотическом растворе. При этом можно воздействовать одновременно на ткань овощного сырья и интенсифицировать обмен жидкой и твердой фазой.

Нарезанные кусочки овощей помещали в виноградный концентрат с заданной концентрацией сухих веществ. При постоянной температуре для каждой комбинации факторов определяли массу образца до и после обработки в установленной времени. После окончания обработки кусочки овощей отделяли от концентрата, удаляли избыток жидкости и взвешивали. Для сопоставления контрольный вариант подвергали осмотической обработке без ультразвука.

Оптимальным был принят интервал времени, при котором достигалось выраженное увеличение потери воды и прироста растворимых сухих веществ, а дальнейшее увеличение продолжительности не способствовало к существенному улучшению показателей и не вызвало ухудшение цвета, структуры и органолептических показателей. По предварительным экспериментам рекомендуемый диапазон оптимальной продолжительности ультразвукового воздействия 15-30 мин при температуре 35-45°С.

После осмотической обработки кусочков овощей отделяли их от виноградного концентрата, уделяли поверхностную влагу и подвергали конвективной сушке. Мы выбрали ступенчатую сушку I этап 50-55°С, II этап 45-50°С, .

На основании многочисленных экспериментов было разработано технологическая схема приготовления цукатов из овощей на виноградном концентрате.



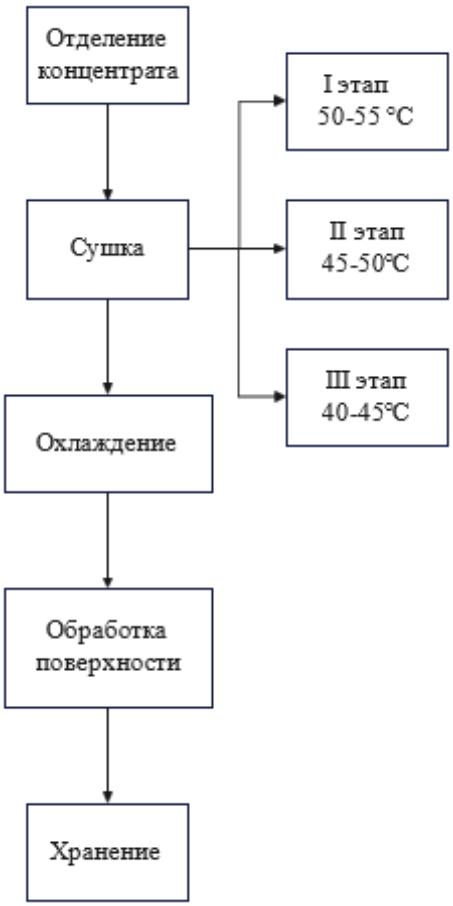


Рис.1 Технологическая схема получения цукатов из овощей на виноградном концентрате

Также была разработана рецептура цукатов из овощей на основе виноградного концентрата.

Таблица 1

Цукаты из овощей на основе концентрированного виноградного сока

Сырье	Единица измерения	Количество
Морковь	г	400
Виноградный концентрат	г	593,20
Лимонная кислота	г	0,375
Морская соль	г	0,3
Ванилин	г	0,005
Итого		1000

Выводы. На основании проведенных исследований были разработаны технологические схемы и рецептуры цукатов из овощей. Были определены оптимальные размеры 20×20 мм и 40×40 мм, определен оптимальный Brix и время ультразвукового воздействия 15-30 мин и температура 35-45°C.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 11 сентября 2023 года № УП-158 О Стратегии «Узбекистан-2030».
2. Национальный Комитет Республики Узбекистан по статистике. Официальная статистика: сельское хозяйство [электронный ресурс]-Ташкент -режим доступа: https://stat.uz
3. RU 2001126534/13A: Патент. Способ производства цукатов из овощей или семечковых плодов принято: 2001.10.02. Опубликовано: 2004.06.27
4. Причко В.А. Совершенствование технологии производства цукатов из кабачков и тыквы с использованием моделирования технологических и массообменных процессов. Дисс. канд. техн. наук
5. Алтиев А.Т., Хайдарова М.Ф., Базарова Д.Н. Перспективы технологии производства цукат. Galaxy international interdisciplinary research journal №10 2022 с. 279-284
6. Алтиев А.Т., Хайдарова М.Ф., Базарова Д.Н. Технологическая оценка производства цукатов из сортов красной свеклы и красной моркови. Сборник материалов республиканского научного журнала по теме «Достижения современного образования»-Ташкент ООО «Наука», 2022, №1 с 87–94
7. Павлов Л.В., Голубкина Н.А., Шила Л.М., Баранова Е.М., Химич Г.А. Цукаты из тыквы, технология их приготовления и стандарт. Овощи России 2017 (1): с. 39–41
8. Сарибоева Д.А., Кодиров О.Р., Абдулхаев Т.Д., Маллабаев О.Т. Технология производства цукатов из чеснока //Universum: технические науки: электронный научный журнал 2020 №8(77)
9. Рейхел Н.З., Алексеева Н.В., Джайибеков Г.З., Кайпова Ж.Н. Способ производства цукатов. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. Москва 2017 №2-с.168-171
10. Цукаты из овощей: технология их приготовления и стандарт //Universum: технические науки: электрон. научн. журн. Отаханов Ш.Ш. и др. 2022, 11(04)
11. Ramya V., Sain N.K. A Review on Osmotic Dehydration of Fruits and Vegetables: An integrated Approach // Journal of Food process Engineering 2017 Vol. 40 e 12440 DOI: 10.111/jfpe. 12440
12. Developments in osmotic dehydration techniques for the preservation of fruits and vegetables // innovative Food Science Emerging Technologies 2016 Vol 34 P. 29-43. DOI: 10.1016 / stfset 2016 01 003
13. Asghari A et all Review of osmotic dehydration: Promising Technologies for enhancing products attributes, opportunities and challenges for the food industries // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 2024 DOI: 10.1111/1541-4337 13346
14. Muniz-Becera S, Mendez-Lagunas L.L. Solute Transfer in osmotic Dehydration of vegetable foods A Review // Journal of Food Science 2017 Vol 82 № 10 P. 2251-2259 DOI: 10.1111/1750-3541.13857
15. ГОСТ 7975–2013 Тыква продовольственная светлая
16. ГОСТ 32284–2013 Морковь свежая столовая
17. ГОСТ 32791-2014 Репа столовая свежая

УДК 378.001.895:664

УНИВЕРСИТЕТИ ИННОВАЦИОН САЛОҲИЯТИ — ЎЗБЕКИСТОН ОЗИҚ-ОВҚАТ САНОАТИНИ СТРАТЕГИК РИВОЖЛАНТИРИШ ВОСИТАСИ

Ботир Шукуриллаевич Усмонов, Тошкент кимё-технология институти ректори

Аннотация. *Мақолада Тошкент кимё-технология институтининг (ТКТИ) инновацион салоҳиятини Ўзбекистон озиқ-овқат саноатини ривожлантириш вазифалари билан боғлиқ ҳолда баҳолаш модели таклиф этилган. Услубият институтнинг амалдаги тузилмаси, таълим, фан ва ишлаб чиқариш интеграцияси, рақамли мониторинг, тадқиқот натижаларини тижоратлаштириш, илмий кадрлар тайёрлаш ҳамда озиқ-овқат корхоналарининг технологик эҳтиёжларини ҳисобга олган ҳолда такомиллаштирилган. Инновацион салоҳият ресурсларнинг оддий йиғиндиси эмас, балки бўлинманинг илмий, кадрлар, инфратузилмавий ва ҳамкорлик имкониятларини текшириладиган натижаларга айлантириш қобилияти сифатида талқин қилинади. Бундай натижаларга янги технологиялар ва маҳсулотлар, илмий нашрлар, интеллектуал мулк объектлари, шартномавий тадқиқотлар, тажриба-синов асосида жорий этиш, стартаплар ва тармоқ самараси киради. Тўққиз блокдан иборат кўрсаткичлар тизими, меъёрлаштириш қоидалари, етуклик даражалари ва масъулиятни тақсимлаш схемаси ишлаб чиқилган. Модель кафедраларни бир хил хусусиятларга эга гуруҳлар доирасида қиёслаш, натижалар динамикаси, ишланмаларнинг технологик тайёрлиги, маълумотлар сифати ва тасдиқланган жорий этиш натижаларини ҳисобга олишни назарда тутади. Услубият ресурсларни тақсимлаш, лабораторияларни ривожлантириш ва фанлараро лойиҳаларни шакллантиришни озиқ-овқат маҳсулотлари сифати ва хавфсизлиги, маҳаллий хомашёни чуқур қайта ишлаш, йўқотишларни камайтириш ва тармоқ рақобатбардошлигини ошириш билан боғлашга хизмат қилади.*

Калит сўзлар: *инновацион салоҳият; озиқ-овқат саноати; ТКТИ; тадқиқот университети; тижоратлаштириш; технологиялар трансфери; маҳсулот сифати ва хавфсизлиги; илмий кадрлар; KPI; рақамли мониторинг; Ўзбекистон.*

1. Муаммонинг қўйилиши ва долзарблиги

Ўзбекистон озиқ-овқат саноатини модернизация қилиш тармоқ учун кадрлар тайёрлайдиган олий таълим муассасалари олдига янги вазифаларни қўяди. Институт нафақат мутахассис тайёрлаши, балки маҳсулот сифати ва хавфсизлигини таъминлайдиган технологик ечимларни ишлаб чиқиши, амалий тадқиқотлар ўтказиши, интеллектуал мулк яратиши, илмий кадрлар тайёрлаши ва ишланмаларни озиқ-овқат корхоналарида жорий этишни илмий жиҳатдан қўллаб-қувватлаши зарур. Бундай ёндашув таълим, фан, инновациялар ва ишлаб чиқариш интеграциясига доир миллий устуворликларга мос келади [1–4]. Озиқ-овқат билан барқарор таъминлаш, маҳсулот ишлаб чиқаришдан истеъмолчига етказишгача бўлган жараёнларни такомиллаштириш ва соҳадаги илмий-инновацион фаолият 2025 йилда қабул қилинган «Озиқ-овқат хавфсизлиги тўғрисида»ги Қонунда ҳам назарда тутилган [5].

ТКТИ учун инновацион салоҳиятни баҳолаш икки томонлама аҳамиятга эга. Биринчидан, у институт раҳбариятига ресурсларни тақсимлаш, лабораторияларни ривожлантириш, устувор лойиҳаларни танлаш ва фанлараро жамоаларни шакллантириш учун далилларга асосланган ахборот беради. Иккинчидан, озиқ-овқат корхоналарига кафедралар ва илмий бўлинмаларнинг реал компетенцияларини кўриш, ишланмаларнинг тажриба-синовга тайёрлигини баҳолаш ҳамда шартномавий тадқиқотлар учун ҳамкор танлаш имконини яратади.

Асосан кадрлар ва жиҳозлар мавжудлиги ҳамда илмий-тадқиқот ишлари сонига таянадиган ёндашувлар замонавий шароитда етарли эмас. Улар илмий нашрлар сифати, ишланмаларнинг технологик тайёрлиги, тижоратлаштириш, халқаро ҳамкорлик, рақамли компетенциялар, талабалар ва докторантлар ҳиссаси, барқарор ривожланиш ҳамда тасдиқланган ишлаб чиқариш самарасини тўлиқ акс эттирмайди. Турли профилдаги кафедраларни бевосита рейтинглаш ҳам услубий хатоларга олиб келиши мумкин: фундаментал, мутахассис тайёрловчи муҳандислик кафедраси ва факультетлараро бўлинманинг вазифалари, ресурслари ва натижа олиш даврлари бир хил эмас.

Мақоланинг мақсади — ТКТИнинг замонавий тузилмасига мос, институтнинг стратегик устуворликлари ва бўлинмалар вазифаларини озиқ-овқат саноати эҳтиёжлари, текшириладиган кўрсаткичлар ҳамда бошқарув қарорлари билан боғлайдиган баҳолаш тизимини шакллантириш. Таклиф этилаётган модель услубий асос ҳисобланади. Амалдаги рейтинг ва баллар ягона ҳисобот даврига тегишли маълумотлар хатловдан ўтказилиб, текширилгандан кейингина ҳисобланиши мумкин.

2. Университет инновацион салоҳиятининг замонавий талқини

Университетнинг инновацион салоҳиятини унинг бўлинмалари ва лойиҳа жамоаларининг ресурсларни яратиш, тўплаш, бирлаштириш ҳамда иқтисодиёт ва жамият талаб қиладиган илмий-технологик натижаларга айлантириш қобилияти сифатида қараш мақсадга мувофиқ. Бунда ресурслар зарур, аммо етарли шарт эмас: бир хил жиҳозлар ёки ходимлар сони бошқарув сифати, ҳамкорлик, тадқиқот маданияти ва ишланмани жорий этишгача етказиш қобилиятига қараб турлича натижа бериши мумкин.

Моделнинг услубий асосини миллий инновацион тизимлар, «университет — бизнес — давлат» учлик спирали, инновацияларни бошқариш ва билимларни иқтисодий-ижтимоий қийматга айлантириш концепциялари ташкил этади [8–13]. Озиқ-овқат саноатига хизмат қилувчи техника институти учун янги билим олиш билан бир қаторда натижанинг тўлиқ ҳаётий цикли муҳим: технологик муаммони аниқлаш, тадқиқот гипотезасини шакллантириш, лабораторияда текшириш, тажриба-конструкторлик ишланмаси, интеллектуал мулкни ҳимоя қилиш, тажриба-синов, стандартлаштириш, технологияни узатиш ва самарани баҳолаш.

Инновацион салоҳиятнинг ўзаро боғлиқ тўрт таркибий қатламини ажратиш таклиф этилади:

- ресурслар қатлами — илмий кадрлар, лабораториялар, жиҳозлар, рақамли инфратузилма, молиялаштириш ва маълумотлардан фойдаланиш имконияти;
- жараёнлар қатлами — лойиҳаларни бошқариш сифати, экспертиза, фанлараро ҳамкорлик, муддатларга риоя қилиш, тадқиқот ҳалоллиги ва рискларни бошқариш;
- натижалар қатлами — илмий нашрлар, диссертациялар, патентлар, дастурий маҳсулотлар, тажриба намуналари, лицензиялар, стартаплар ва бажарилган шартномалар;
- таъсир қатлами — озиқ-овқат корхоналарида жорий этиш, иқтисодий, ресурс, экологик ва ижтимоий самара, шунингдек таълим дастурлари мазмунига таъсир.

Бундай ажратиш жиҳоз харидини автоматик равишда инновацион салоҳият ўсиши деб ҳисоблаш хатосини бартараф этади. Салоҳият инфратузилмадан малакали жамоалар фойдаланган, у лойиҳалар портфелига киритилган ва ўлчанадиган натижаларга олиб келгандагина реал ривожланади.

3. ТКТИнинг ташкилий тузилмаси ва озиқ-овқат йўналиши

ТКТИнинг расмий рақамли ресурсларида таълим тузилмаси озиқ-овқат ва виночилик технологиялари, кимёвий инжиниринг, нефть ва газ технологиялари, саноат муҳандислиги ва менежменти факультетлари, шунингдек факультетлараро кафедралар орқали ифодаланган [6, 7]. Баҳолашнинг асосий тармоқ объекти — Ўзбекистон озиқ-овқат саноати. Озиқ-овқат ва виночилик технологиялари факультети ҳамда унга тегишли илмий-таълим йўналишлари баҳолашнинг тармоққа ихтисослашган таянчини ташкил этади; бошқа бўлинмалар эса озиқ-

овқат лойиҳаларидаги технологик, муҳандислик, рақамли ва иқтисодий ҳиссаси бўйича иштирок этади.

Илмий ва инновацион фаолиятни қўллаб-қувватлаш тизими тадқиқотлар, илмий кадрлар тайёрлаш ва тижоратлаштириш; илмий тадқиқотлар ва таҳлилий хизматлар; билимлар трансфери ва саноат билан алоқалар; корхоналар ва тармоқлар билан ҳамкорлик; рақамлаштириш ва ахборот ресурслари; халқаро алоқалар, инвестициялар, рейтинглар ва трансформация; иқтидорли талабалар билан ишлаш ҳамда касбий ривожланишни қўллаб-қувватлаш вазифаларини қамраб олади [6]. Ушбу функциялар алоҳида ҳисобот манбалари бўлиб қолмасдан, ягона мониторинг тизимига бирлаштирилиши лозим.

1-расм. ТКТИ инновацион салоҳиятини озиқ-овқат саноати вазифаларига йўналтиришнинг таклиф этилаётган схемаси



Тадқиқот университети моделига ўтишда бошқарув объекти фақат кафедра эмас, балки фанлараро лойиҳалар портфели ҳам бўлади. Озиқ-овқат хомашёсини чуқур қайта ишлаш, маҳсулот сифати ва хавфсизлиги, биотехнология, қадоқлаш, сақлаш, энергия ва сув тежамкорлиги ҳамда ишлаб чиқаришни автоматлаштириш вазифалари технологлар, кимёгарлар, микробиологлар, механиклар, иқтисодчилар ва рақамли технологиялар мутахассисларининг ҳамкорлигини талаб қилади.

4. Баҳолаш тизимини шакллантириш тамойиллари

Баҳолаш тизими шаффоф, қайта текшириш мумкин бўлган ва ривожланишга йўналтирилган бўлиши лозим. Шу мақсадда қуйидаги тамойиллар таклиф этилади:

1. Стратегик боғлиқлик. Ҳар бир кўрсаткич институт мақсадлари, озиқ-овқат саноатининг технологик вазифалари ва кутилаётган натижа билан боғланади.
2. Текширилувчанлик. Балл фақат рақамли ёки ҳужжатли тасдиқ мавжуд бўлганда берилади: шартнома, молиявий ҳужжат, илмий нашр, патент, синов баённомаси, жорий этиш далолатномаси ёки расмий ахборот тизимидаги қайд.
3. Гуруҳлар бўйича қиёсланувчанлик. Мутахассис тайёрловчи, фундаментал, факультетлараро ва хизмат кўрсатувчи бўлинмалар ўзига мос гуруҳ ичида қиёсланади; гуруҳлараро таққослаш фақат умумий кўрсаткичлар бўйича ўтказилади.
4. Натижалар мувозанати. Нашр фаоллиги илмий кадрлар, молиялаштириш, интеллектуал мулк, жорий этиш, халқаро ҳамкорлик ва таълим олувчилар иштирокига доир кўрсаткичлар билан тўлдирилади.
5. Динамик ёндашув. Эришилган даража билан бирга кўрсаткичларнинг уч йиллик ўзгариши ҳам ҳисобга олиниб, ривожланаётган жамоалар аниқланади.
6. Икки марта ҳисобга олишнинг олдини олиш. Ҳар бир натижа етакчи бўлинма ва ҳаммуаллиф ижрочилар ўртасида олдиндан тасдиқланган иштирок улушлари асосида тақсимланади.

7. Ривожлантирувчи хусусият. Баҳолаш натижаси фақат рейтинг тузиш учун эмас, балки қўллаб-қувватлаш, ривожланиш чораларини белгилаш ва чекловларни бартараф этиш учун қўлланилади.

5. Инновацион салоҳият кўрсаткичлари тизими

Интеграл баҳолаш тўққиз блокдан шакллантирилади. Тажриба босқичидан сўнг базавий вазн коэффициентлари Илмий кенгаш қарори билан аниқлаштирилиши мумкин. Бироқ улар ҳисобот даври бошланишидан олдин белгиланиши ва тегишли гуруҳдаги барча бўлинмалар учун бир хил қўлланилиши шарт. Озиқ-овқат саноатига ихтисослашган кўрсаткичлар умумий баҳолаш асосини алмаштирмайди, балки уни тармоқ натижалари билан боғлайди.

1-жадвал. ТКТИ бўлинмаларининг инновацион салоҳиятини озиқ-овқат саноати вазифалари асосида баҳолаш матрицаси

Блок	Вазн, %	Асосий кўрсаткичлар	Маълумот манбалари
1. Илмий кадрлар салоҳияти	15	DSc/PhD даражали ходимлар улуши; илмий раҳбарлар; ёш таркиби; малака ошириш; жалб қилинган тадқиқотчилар	Кадрлар тизими; илмий кадрлар ҳисоби
2. Илмий натижалар	15	Нашрлар сифати; фан соҳаси бўйича меъёрлаштирилган иқтибослар; монографиялар; диссертациялар; илмий мактаблар	Scopus/WoS; ORCID; репозиторий; кенгашлар
3. Тадқиқотларни молиялаштириш	12	Танлов грантлари; халқаро лойиҳалар; корхоналар билан шартномавий тадқиқотлар; бир тадқиқотчига тўғри келадиган маблағ	Шартномалар; бухгалтерия; лойиҳалар реестри
4. Интеллектуал мулк ва тижоратлаштириш	15	Талабномалар; муҳофаза ҳужжатлари; лицензиялар; ноу-хау; стартаплар ва спин-оффлар; тижоратлаштириш даромади	Патентлар реестри; шартномалар; молиявий ҳисоб
5. Озиқ-овқат саноати билан интеграция	15	Қўшма лойиҳалар; технологик буюртмалар; тажриба-синов; жорий этиш далолатномалари; корхоналарнинг мавзу танлашдаги иштироки	Тармоқ муаммолари банки; далолатномалар; корхона хулосалари
6. Ёш тадқиқотчиларни тайёрлаш	8	Лойиҳаларда докторант ва магистрантлар иштироки; талабалар тадқиқотлари; танловлар; ўз вақтида ҳимоя; кадрлар захираси	Докторантура; HEMIS; лойиҳалар реестри
7. Халқаро ҳамкорлик	8	Қўшма нашрлар ва лойиҳалар; хорижий лабораториялар билан ҳамкорлик; академик мобиллик; халқаро экспертиза	Шартномалар; нашрлар базалари; ҳисоботлар

Блок	Вазн, %	Асосий кўрсаткичлар	Маълумот манбалари
8. Инфратузилма ва рақамли етуклик	7	Жиҳозлардан фойдаланиш; метрологик кузатилувчанлик; рақамли лабораториялар; маълумотлар базаси; киберхавфсизлик	Лаборатория паспортлари; фойдаланиш журналлари; IT-аудит
9. Барқарор ривожланиш ва тармоқ самараси	5	Хомашё йўқотишлари, энергия ва сув сарфининг камайиши; маҳсулот сифати ва хавфсизлиги; экологик ва ижтимоий самара	Самара ҳисоб-китоби; синов баённомалари; экологик ҳисобот

Изоҳ: вазнлар йиғиндиси 100 % га тенг. Кўрсаткичлар рўйхати услубият паспортида аниқлаштирилади; у йиллик мақсадли қийматларнинг ўрнини босмайди.

6. Интеграл баҳони ҳисоблаш ва маълумотлар сифатини таъминлаш

Ҳар бир кўрсаткич учун ўлчов бирлиги, маълумот манбаи, масъул шахс ёки бўлинма, янгилаш даврийлиги, мақсадли қиймат ва тасдиқлаш қоидаси белгиланади. Натижа ўсишини ифодаловчи кўрсаткичлар мақсадли қийматга нисбатан меъёрлаштирилади ва уларнинг энг юқори қиймати чекланади. Риск ёки харажат кўрсаткичлари учун тескари функциялар ёхуд интервалли шкалалар қўлланилади.

$$z_{ik} = min(x_{ik} / t_k; 1), \quad 0 \le z_{ik} \le 1$$

Бу ерда x_{ik} — i бўлинманинг k кўрсаткич бўйича ҳақиқий қиймати; t_k — тасдиқланган мусбат мақсадли қиймат; z_{ik} — меъёрлаштирилган баҳо. Формула манфий бўлмаган ва ўсиши ижобий натижани ифодаловчи кўрсаткичлар учун қўлланилади.

Бўлинманинг инновацион салоҳияти интеграл индекси меъёрлаштирилган кўрсаткичларнинг вазнли йиғиндиси сифатида ҳисобланади:

$$IIP_i = 100 \times \Sigma(w_k \cdot z_{ik}), \quad \Sigma w_k = 1$$

Бу ерда w_k — кўрсаткичнинг вазн коэффициенти; IIP_i — 0–100 шкаладаги якуний баҳо. Блок даражасида ҳисобланганда z_{ik} тегишли блокнинг меъёрлаштирилган баҳосини ифодалайди; блок ичидаги вазнлар алоҳида белгиланади.

Мажбурий кўрсаткич тасдиқланмаса, уни ҳисоблаш базасидан автоматик чиқариб ташлаш мумкин эмас: акс ҳолда маълумот етишмаслиги натижани сунъий равишда яхшилайди. Бундай ҳолатда нол қиймат ёки олдиндан белгиланган маълумотлар ишончлилиги коэффициенти қўлланилади. Тасдиқланган ёзувлар улушини кўрсатувчи маълумотлар тўлиқлиги индекси алоҳида ҳисобланади.

Натижалар сонини расман кўпайтиришнинг олдини олиш учун сифат фильтрлари киритилади. Нашрлар журнал даражаси ва мавзувий мувофиқликка; патентлар амал қилиш ҳолати, лицензияланиши ёки қўлланилишига; шартномавий ишлар буюртмачи қабул қилган натижага кўра ҳисобга олинади. Озиқ-овқат корхонасида жорий этиш эса далолатнома, синов баённомаси ёки тасдиқланган самара ҳисоб-китоби билан асосланиши шарт. Маҳсулот хавфсизлиги тасдиқланмаган ишланма фақат иқтисодий самараси борлиги учун муваффақиятли жорий этилган натижа сифатида баҳоланмаслиги керак.

7. Етуклик даражалари ва бошқарув қарорлари

2-жадвал. Интеграл индексни талқин қилиш

Балл	Даража	Асосий бошқарув қарори
80–100	Юқори	Лойиҳаларни кенгайтириш; халқаро консорциумлар; илғор тадқиқот марказлари ва спин-офф корхоналар

Балл	Даража	Асосий бошқарув қарори
65–79,9	Ривожланган	Тижоратлаштириш ва халқаро ҳамкорликни кучайтириш; ишланмаларни тажриба-синов босқичига етказиш
50–64,9	Ўрта	1–2 йиллик ривожланиш режаси; кафедралараро лойиҳалар; устоз-шогирд ҳамкорлиги; инфратузилмадан фойдаланишни ошириш
35–49,9	Паст	Компетенцияларни тиклаш дастури; кадрлар таркибини кучайтириш; мавзулар ва жиҳозлар аудити
0–34,9	Критик	Вазифалар ва ишлар портфелини қайта кўриб чиқиш; ресурсларни бирлаштириш; экспертизадан сўнг самарасиз йўналишларни тўхтатиш

Муҳим: чегара қийматлари тавсиявий бўлиб, ТКТИ маълумотларида синовдан ўтказилади ва баҳолаш даври бошланишидан олдин тасдиқланади. Даража ҳисобланган балл бир ўнлик хонага яхлитлангандан кейин белгиланади.

Якуний балл алоҳида ҳолда қўлланилмаслиги лозим. Ҳар бир бўлинма учун кучли томонлар ва чекловларни акс эттирадиган тўққиз блокли профиль тузилади. Бир хил интеграл балл олган икки кафедра турли қарорларга эҳтиёж сезиши мумкин: бирига тижоратлаштиришни ривожлантириш, иккинчисига кадрлар захираси ёки лаборатория инфратузилмасини мустаҳкамлаш зарур бўлади.

Уч хил қиёслашни бирлаштириш мақсадга мувофиқ: мақсадли қийматларга нисбатан баҳолаш, бир хил хусусиятли гуруҳ ичида таққослаш ва бўлинманинг ўз уч йиллик динамикасини таҳлил қилиш. Бу ёндашув капитал сиғими юқори ёки узоқ давом этадиган тадқиқот цикларида ишлайдиган жамоаларни асоссиз паст баҳолаш хавфини камайтиради ва натижа учун масъулиятни сақлайди.

8. Масъулиятни тақсимлаш

Инновацион салоҳиятни бошқаришни жараён учун ягона масъул ва тақсимланган жавобгарлик тамойили асосида ташкил этиш таклиф этилади:

- Илмий кенгаш услубият, вазнлар, мақсадли қийматлар, қиёслаш қоидалари ва тадқиқотлар портфелининг йиллик устуворликларини тасдиқлайди;
- илмий ишлар ва инновациялар бўйича проректор мувофиқлаштириш, натижалар экспертизаси ва бошқарув қарорларини тайёрлашни таъминлайди;
- тадқиқотлар, илмий кадрлар тайёрлаш ва тижоратлаштириш учун масъул бўлинма лойиҳалар, илмий кадрлар, диссертациялар ва тасдиқловчи ҳужжатлар реестрини юритади;
- тижоратлаштириш, билимлар трансфери ва саноат билан алоқалар тузилмалари озиқ-овқат корхоналарининг технологик буюртмалари, шартномалар, лицензиялар, стартаплар ва жорий этиш натижаларини тасдиқлайди;
- озиқ-овқат ва виночилик технологиялари факультети, тегишли кафедралар ҳамда ҳамкор бўлинмалар бирламчи маълумотлар сифати, лойиҳа жамоалари, жиҳозлардан фойдаланиш ва тасдиқланган натижаларга эришиш учун жавоб беради;
- рақамлаштириш бўлинмалари ҳимояланган таҳлилий панель яратади ва уни HEMIS, кадрлар, молиявий, нашрлар ҳамда патент маълумотлари манбалари билан боғлайди;
- ҳамкор озиқ-овқат корхоналари вазифаларни белгилаш, экспертиза, тажриба-синов ва тармоқ самарасини тасдиқлашда иштирок этади.

Натижалар эълон қилинишидан олдин мустақил текшириш ва апелляция тартиби ўтказилиши керак. Манфаатлар тўқнашуви мавжуд бўлса, эксперт ўзи қўшма лойиҳа ёки маъмурий бўйсуниш муносабати орқали боғланган бўлинмани баҳолашда иштирок этмайди.

9. Озиқ-овқат саноатининг устувор вазифаларига мослаштириш

Озиқ-овқат йўналишидаги кафедралар учун асосий устуворликлар маҳсулот сифати ва хавфсизлиги, маҳаллий хомашёни чуқур қайта ишлаш, ресурс тежовчи технологиялар, функционал озиқ-овқат маҳсулотлари, биотехнология, виночилик ва бижғиш жараёнлари, қадоқлаш, сақлаш ҳамда маҳсулот ҳаракатини хомашёдан тайёр маҳсулотгача кузатиб боришдан иборат. Баҳолашда янги рецептура ёки технология яратилгани билан чекланмасдан, унинг такрорланувчанлиги, хавфсизлиги, ишлаб чиқариш шароитига мослиги ва корхона томонидан қабул қилингани ҳам ҳисобга олиниши лозим.

Дон ва нон маҳсулотлари, ёғ-мой, мева-сабзавотни қайта ишлаш, консерва, гўшт-сут, ичимликлар ва бижғиш маҳсулотлари каби йўналишлар учун технологик вазифалар маҳсулот хусусиятига қараб аниқлаштирилади. Тавсия этиладиган амалий мезонлар — қайта ишлашдаги йўқотишларни камайтириш, тайёр маҳсулот чиқишини ошириш, сифат барқарорлиги, хавфсиз сақлаш муддатини асослаш, сув ва энергиянинг солиштирма сарфини пасайтириш, иккиламчи ресурслардан фойдаланиш. Бу мезонлар ҳақиқий натижа сифатида эмас, корхона маълумотлари асосида текшириладиган баҳолаш йўналишлари сифатида таклиф этилмоқда.

Кимёвий инжиниринг бўлинмалари озиқ-овқат саноати лойиҳаларига қадоқлаш материаллари, ажратиш ва тозалаш жараёнлари, материалларнинг маҳсулот билан ўзаро таъсири ҳамда ресурс тежамкор ечимлар орқали жалб этилиши мумкин. Саноат муҳандислиги ва менежменти бўлинмаларининг ҳиссаси технологик жиҳозлар, автоматлаштириш, рақамли бошқарув, саноат экологияси, иқтисодий самарадорлик ва тижоратлаштириш бизнес-моделларида намоён бўлади. Бошқа муҳандислик йўналишлари ҳам озиқ-овқат корхонасининг аниқ эҳтиёжи мавжуд бўлганда иштирок этади. Шу тариқа институтнинг кенг компетенциялари асосий тармоқ — озиқ-овқат саноатига хизмат қилади.

Кесишувчи йўналишлар сифатида сунъий интеллект ва маълумотлар таҳлили, рақамли эгизаклар, ресурсларни айланма ишлатиш, энергия ва сув самарадорлиги, метрология ҳамда сифатни бошқаришни ривожлантириш мақсадга мувофиқ. Баҳолаш тизими бўлинмаларни фақат расмий кўрсаткичлар учун рақобатлаштириш эмас, балки озиқ-овқат саноатининг аниқ вазифалари атрофида факультетлараро жамоалар ташкил этишни рағбатлантириши керак.

Озиқ-овқат саноатининг технологик муаммолари банки алоҳида аҳамиятга эга. Ҳар бир корхона вазифасида буюртмачи, бошланғич муаммо, талаб қилинадиган натижа, қабул қилиш мезонлари, муддат, эҳтимолий молиялаштириш манбаи ва зарур технологик тайёрлик даражаси (TRL) кўрсатилади. Муаммолар банкининг илмий-тадқиқот ишлари портфели билан боғланиши лойиҳалар сонинигина эмас, балки уларнинг тармоқ эҳтиёжларига мувофиқлигини ҳам баҳолаш имконини беради.

10. Жорий этиш бўйича йўл харитаси

3-жадвал. Мониторинг тизимини босқичма-босқич жорий этиш

Давр	Босқич	Асосий ҳаракатлар	Натижа
2026/27 ўқув йили	Тайёргарлик ва синов	Тузилма ва маълумотлар хатлови; кўрсаткичлар паспорти; бир хил хусусиятли гуруҳлар; озиқ-овқат йўналиши ва ҳамкор 4–6 кафедрада синов	Тасдиқланган услубият ва синов ҳисоботи

Давр	Босқич	Асосий ҳаракатлар	Натижа
2027	Қамровни кенгайтириш	Озиқ-овқат лойиҳаларида иштирок этувчи кафедралар, марказлар ва лабораторияларни қамраб олиш; рақамли реестр; апелляция тартиби	Тармоққа йўналтирилган инновацион салоҳият профили
2028	Саноат билан интеграция	Технологик муаммолар банки, шартномалар, TRL, тажриба-синов далолатномалари ва тижоратлаштиришни боғлаш	Озиқ-овқат лойиҳалари ва ҳамкорликлар портфели
2029–2030	Таъсирни бошқариш	Иқтисодий, ресурс, экологик ва кадрлар самарасини баҳолаш; ташқи экспертиза; илғор тажрибалар билан қиёслаш	2035 йилгача стратегия учун далиллар базаси
2031–2035	Тадқиқот университети модели	Илғор тадқиқот марказлари; барқарор илмий мактаблар; халқаро консорциумлар; индустриал PhD ва спин-оффлар	Озиқ-овқат саноати билан боғланган инновацион экотизим

Муддатлар тавсиявий: улар стратегия, масъул бўлинмалар таркиби ва рақамли маълумотлар тайёрлиги тасдиқлангандан кейин аниқлаштирилади.

11. Услубиятнинг чекловлари

Услубият эксперт баҳосининг субъективлигини ва бирламчи маълумотлар сифатига боғлиқликни тўлиқ бартараф этмайди. Турли илмий соҳаларда натижа юзага чиқиш муддатлари фарқланади: нашр, патент, ишлаб чиқариш синови ва тижорат шартномаси инновацион циклнинг турли босқичларида шаклланади. Озиқ-овқат саноатида хомашё мавсумийлиги, сақлаш муддатини текшириш ва тажриба партиялари синови ҳам натижа олиш даврига таъсир қилади. Шу сабабли йиллик рейтинг сўнгги уч йилни қамраб олувчи давр ва лойиҳалар портфели таҳлили билан тўлдирилиши лозим.

Фақат нашрлар, патентлар ёки шартномалар сони учун бевосита рағбатлантириш тавсия этилмайди. Бундай амалиёт натижаларни сунъий бўлаклаш, заиф нашрларни танлаш, талаб этилмайдиган интеллектуал мулк объектларини рўйхатдан ўтказиш ва аҳамияти паст шартномалар тузиш хавфини оширади. Сифат чегаралари, ҳужжатли текшириш ва тармоққа таъсирни баҳолаш тизимнинг мажбурий қисмлари бўлиши керак.

Хулоса

ТКТИ инновацион салоҳиятини баҳолашнинг такомиллаштирилган модели алоҳида ресурслар ва расмий натижалар ҳисобидан озиқ-овқат саноати учун қиймат яратишнинг тўлиқ циклини бошқаришга ўтишни назарда тутади. У институтнинг таълим ва илмий-инновацион тузилмаси, фан ва ишлаб чиқариш интеграцияси, тижоратлаштириш, рақамлаштириш, халқаро ҳамкорлик, ёш тадқиқотчилар тайёрлаш ҳамда барқарор ривожланиш вазифаларини бирлаштиради.

Услубиятнинг амалий аҳамияти озиқ-овқат йўналишидаги лабораторияларни ривожлантириш, лойиҳаларни молиялаштириш, фанлараро жамоалар ва кадрлар захирасини шакллантириш ҳамда корхоналар билан ҳамкорликни асослаш имкониятида намоён бўлади. Интеграл индекс мустақил мақсад эмас, балки кучли ва заиф томонлар профили, динамик таҳлил ва ташқи экспертиза билан тўлдириладиган бошқарув воситасидир.

Бундай тизим ТКТИ кафедралари ва илмий марказларининг фаолиятини Ўзбекистон озиқ-овқат саноатининг технологик вазифалари билан боғлаш, маҳсулот сифати ва хавфсизлигини ошириш, хомашёдан самарали фойдаланиш, ишлаб чиқариш йўқотишларини камайтириш ва малакали кадрлар тайёрлашга йўналтириш имконини беради. Моделда озиқ-овқат саноати асосий тармоқ объекти сифатида қаралади; институтнинг бошқа йўналишлари эса унинг ривожланишини таъминловчи фанлараро ресурс сифатида қаралади. Шу асосда 2035 йилгача тадқиқот университети моделига ўтишнинг ўлчанадиган тармоқ таркибий қисми шакллантирилади.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Ўзбекистон Республикасининг 2019 йил 29 октябрдаги ЎРҚ-576-сон «Илм-фан ва илмий фаолият тўғрисида»ги Қонуни. Электрон манба
2. Ўзбекистон Республикасининг 2020 йил 24 июлдаги ЎРҚ-630-сон «Инновацион фаолият тўғрисида»ги Қонуни. Электрон манба
3. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 8 октябрдаги ПФ-5847-сон «Ўзбекистон Республикаси олий таълим тизимини 2030 йилгача ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида»ги Фармони. Электрон манба
4. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 14 июлдаги ПҚ-3855-сон «Илмий ва илмий-техникавий фаолият натижаларини тижоратлаштириш самарадорлигини ошириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида»ги қарори. Электрон манба
5. Ўзбекистон Республикасининг 2025 йил 3 февралдаги ЎРҚ-1023-сон «Озиқ-овқат хавфсизлиги тўғрисида»ги Қонуни. Электрон манба
6. Тошкент кимё-технология институти. Бўлимлар ва марказлар. Расмий веб-сайт (мурожаат санаси: 02.09.2026). Электрон манба
7. Тошкент кимё-технология институти. Факультетлар ва кафедралар: озиқ-овқат йўналиши; масофавий таълим платформаси (мурожаат санаси: 02.09.2026). Электрон манба; Таълим платформаси
8. OECD/Eurostat. Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation. 4th ed. Paris: OECD Publishing, 2018. Электрон манба
9. ISO 56002:2019. Innovation management — Innovation management system — Guidance. Geneva: International Organization for Standardization, 2019. Электрон манба
10. Etzkowitz H., Leydesdorff L. The dynamics of innovation: from National Systems and ‘Mode 2’ to a Triple Helix of university–industry–government relations // Research Policy. 2000. Vol. 29, No. 2. P. 109–123. Электрон манба
11. Perkmann M., Tartari V., McKelvey M. et al. Academic engagement and commercialisation: A review of the literature on university–industry relations // Research Policy. 2013. Vol. 42, No. 2. P. 423–442. Электрон манба
12. Secundo G., Dumay J., Schiuma G., Passiante G. Managing intellectual capital through a collective intelligence approach: An integrated framework for universities // Journal of Intellectual Capital. 2016. Vol. 17, No. 2. P. 298–319. Электрон манба
13. European Union. Council Recommendation (EU) 2022/2415 on the guiding principles for knowledge valorisation // Official Journal of the European Union. 2022. Электрон манба

MAHALLIY GIL-UGLERODLI KOMPOZITSION ADSORBENTLAR YORDAMIDA PAXTA VA KUNGABOQAR MOYLARINI ADSORBSIYALAB OQLASHNI JADALLASHTIRISH

Sadullayeva Maftuna Shavkat qizi
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch Davlat Universiteti, katta o'qituvchi, t.f.f.d., (PhD).
E-mail: smaftuna0999@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ АДСОРБЦИОННОГО ОТБЕЛИВАНИЯ ХЛОПКОВОГО И ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЕЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕСТНЫХ ГЛИНИСТО-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ АДСОРБЕНТОВ

INTENSIFICATION OF ADSORPTIVE BLEACHING OF COTTONSEED AND SUNFLOWER OILS USING LOCAL CLAY-CARBON COMPOSITE ADSORBENTS

Annotatsiya. *Ushbu tadqiqot ishida mahalliy Krantau bentonit gili hamda sanoat chiqindisi bo'lgan gilos danagidan olingan uglerodli adsorbentlar asosida kompozitsiyalar tayyorlash va ularni o'simlik moylarini (paxta va kungaboqar) adsorbtsion oqlashda qo'llash texnologiyasi takomillashtirildi. Bentonitni 15% HCl va 15% H_2SO_4 bilan kislotali faollashtirish jarayoni o'rganilib, HCl bilan ishlov berilganda eruvchan $CaCl_2$ hosil bo'lishi hisobiga solishtirma sirt yuzasi (S_{BET}) 40,27 m^2/g dan 101,6 m^2/g gacha, mezo-g'ovaklar hajmi esa 0,25 sm^3/g gacha rivojlanishi aniqlandi. Faollashtirilgan Krantau bentoniti va uglerodli adsorbentning 75:25 (BUA-2) nisbatdagi kompozitsiyasi paxta moyini rang beruvchi moddalardan selektiv ravishda yuqori darajada (gossipol bo'yicha 1,952, xlorofill bo'yicha 1,504) tozalashi va import qilinadigan «Pokiston» adsorbentidan ko'rsatkichlari ustun ekanligi tasdiqlandi. Iqtisodiy hisob-kitoblar taklif etilayotgan kompozitsiyaning tannarxi import adsorbentiga nisbatan 2 barobar arzon ekanligini ko'rsatdi.*

Kalit so'zlar*: Krantau bentoniti, gilos danagi, kislotali faollashtirish, uglerodli adsorbent, adsorbsion oqlash, paxta moyi, kungaboqar moyi, gossipol, xlorofill, kompozitsiya.*

Аннотация*. В данной исследовательской работе усовершенствована технология адсорбционного отбеливания растительных масел (хлопкового и подсолнечного) с использованием композиций на основе активированной бентонитовой глины месторождения Крантау и углеродного адсорбента, полученного из отходов пищевой промышленности (косточек черешни). Изучена кислотная активация бентонита с использованием 15% HCl и 15% H_2SO_4; установлено, что обработка соляной кислотой за счет удаления кальцита в виде растворимого $CaCl_2$ увеличивает удельную поверхность (S_BET) с 40,27 м²/г до 101,6 м²/г, а объем мезопор до 0,25 см³/г. Показано, что композиция активированного бентонита и углеродного адсорбента в соотношении 75:25 (БУА-2) селективно и глубоко очищает хлопковое масло от красящих веществ (по госсиполу 1,952, по хлорофиллу 1,504), превосходя импортный пакистанский бентонит. Экономическая оценка показала, что стоимость композиции БУА-2 более чем в 2 раза ниже импортных аналогов, обеспечивая импортозамещение на отечественных масложировых предприятиях.*

Ключевые слова: *бентонит Крантау, косточки черешни, активация, углеродный адсорбент, кинетика сорбции, подсолнечное масло, хлопковое масло, госсипол, хлорофилл, отбеливание, композиция.*

Abstract. *In this study, the technology of adsorption bleaching of vegetable oils (cottonseed and sunflower oils) was improved using composites based on activated Krantau bentonite clay and carbonaceous adsorbents derived from agricultural food waste (cherry stones). The acid activation of bentonite with 15% HCl and 15% H_2SO_4 was evaluated; HCl treatment effectively dissolved*

calcite impurities into soluble $CaCl_2$, thereby enhancing the specific surface area (S_{BET}) from 40.27 m^2/g to 101.6 m^2/g and mesopore volume to 0.25 cm^3/g. The composite adsorbent consisting of activated Krantau bentonite and carbon adsorbent in a 75:25 ratio (BUA-2) demonstrated superior selective removal of pigments from cottonseed oil (1.952 for gossypol derivatives, 1.504 for chlorophyll derivatives), outperforming the imported commercial Pakistan bentonite. Economic calculations confirmed that the proposed composite is more than two times cheaper than imported bleaching earth, serving as an effective domestic import-substituting solution.

Keywords: *Krantau bentonite, cherry stones, acid activation, carbon adsorbent, sorption kinetics, sunflower oil, cottonseed oil, gossypol, chlorophyll, bleaching, composite.*

KIRISH

Dunyo miqyosida oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlash, ekologik toza, biologik qiymati yuqori mahsulotlar ishlab chiqarish va ularning tannarxini pasaytirish muhim ustuvor vazifalardan hisoblanadi. So‘nggi yillarda inson salomatligiga salbiy ta’sir etuvchi turli allergik, onkologik hamda yurak-qon tomir kasalliklarining oldini olishda kundalik ozuqa ratsionining asosiy bo‘g‘ini bo‘lgan o‘simlik moylarining xavfsizligi va tozalanish chuqurligi hal qiluvchi ahamiyat kasb etmoqda. O‘simlik moylarini qayta ishlash bosqichlari ichida adsorbtsion oqlash jarayoni moyning ozuqaviy xavfsizligini, rang ko‘rsatkichlarini, oksidlanishga barqarorligini hamda organoleptik xususiyatlarini belgilab beruvchi asosiy texnologik bo‘g‘indir.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi «O‘zbekiston-2030» strategiyasi to‘g‘risidagi PF-158-son, 2022-yil 28-yanvardagi «2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi PF-60-son, 2023-yil 12-oktabrdagi «Sanoat va uning bazaviy tarmoqlarini jadal rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi PF-169-son Farmonlari hamda 2019-yil 4-oktabrdagi «2019-2030 yillar davrida O‘zbekiston Respublikasining «Yashil» iqtisodiyotga o‘tish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida»gi PQ-4477-son Qarorida mahalliy xomashyolarni chuqur qayta ishlash orqali sanoat korxonalarini modernizatsiya qilish, import o‘rnini bosuvchi raqobatbardosh mahsulotlar ishlab chiqarishni jadal rivojlantirish vazifalari belgilab berilgan.

Bugungi kunda Respublikamiz yog‘-moy korxonalarida o‘simlik moylarini adsorbtsion tozalashda asosan chet ellardan (jumladan, Pokistondan) valyuta hisobiga keltiriladigan qimmatbaho adsorbentlardan keng foydalanilmoqda. Mamlakatimizda keng zaxiralarga ega bentonit konlari mavjud bo‘lishiga qaramay, ularni oziq-ovqat sanoati talablariga mos ravishda chuqur kimyoviy faollashtirish va selektiv xususiyatga ega gil-ko‘mir kompozitsiyalarini olish texnologiyasi sanoat darajasida to‘liq yo‘lga qo‘yilmagan. Ushbu muammoni bartaraf etish maqsadida mahalliy Krantau bentoniti va sanoat chiqindisi hisoblangan gilos danaklaridan faollashtirilgan adsorbentlar olish hamda ularning kompozitsiyalari yordamida o‘simlik moylarini oqlash texnologiyasini takomillashtirish muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga egadir.

TADQIQOT OBYEKTI VA USULLARI

Tadqiqot obyektlari: Qoraqalpog‘iston Respublikasida joylashgan Krantau konining tabiiy bentonit gili, oziq-ovqat sanoati chiqindisi bo‘lgan gilos danaklaridan termo-kimyoviy faollashtirish (KOH) orqali olingan uglerodli adsorbent (UA-1), rafinatsiya qilinmagan kungaboqar moyi, ekstraksion paxta moyi hamda qiyosiy tahlil uchun korxonalarda keng qo‘llaniladigan «Pokiston» faollashtirilgan gil adsorbenti tadqiqot ob’ekti sifatida tanlab olindi.

Tadqiqot usullari:

Rentgenofazaviy tahlil (RFT): Dastlabki va faollashtirilgan bentonitlarning mineralogik fazalari hamda kristall tuzilishi CuKα-nurlanishli difraktometrda tahlil qilindi.

Infraqizil (IQ) spektroskopiyasi: Minerallar sirtidagi funksional guruhlar va kristall panjara tebranishlari 400–4000 sm^{-1} to‘lqin uzunligi diapazonida IQ- spektrometrida tekshirildi.

Skanerlovchi elektron mikroskopiyasi (SEM): Namunalar morfologiyasi va sirt dispersligi 20 kV tezlatuvchi kuchlanishda SEM yordamida kuzatildi.

Tekstura tahlili (past haroratli azot adsorbtsiyasi): Adsorbentlarning solishtirma sirt yuzasi (S_{BET}) BET usulida, mikrog‘ovaklar (V_a) va mezog‘ovaklar (V_b) hajmlari IUPAC tasnifiga muvofiq azot adsorbtsiya-desorbtsiya izotermalari yordamida baholandi.

Moy ko‘rsatkichlari tahlili: Moy rangi Lovibond kolorimetrida (35 sariq birlik asosida qizil va ko‘k rang birliklarida), kislota va peroksid sonlari davlat standartlari talablari bo‘yicha titrimetrik usulda aniqlandi. Rang beruvchi pigmentlar — gossipol, β-karotin va xlorofill miqdori spektrofotometrik usullarda o‘rganildi.

NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI

Krantau bentoniti tabiiy holatda asosan montmorillonit, kaltsit, kvars, dala shpati va illit minerallaridan tashkil topgan. Kimyoviy tarkib tahlili (1-jadval) uning kaltsiyli (Ca-formali) bentonitlar guruhiga mansubligini va CaO miqdori 21,25% ni tashkil etishini ko‘rsatdi.

1-jadval. Dastlabki va faollashtirilgan bentonit namunalarining kimyoviy tarkibi (mas.%) |

Namuna №	Oksid tarkibi, mas.%										K.y.%
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	P_2O_5	Na_2O	K_2O	SO_3	
Tabiiy bent.	39.24	7.45	3.37	0.32	21.25	2.22	0.19	0.93	2.25	0.10	22.04
15 % HCl bent.	65.90	11.46	4.94	0.51	1.75	2.52	0.08	0.20	2.00	0.10	9.75
15 % H_2SO_4 bent.	56.88	10.68	4.40	0.47	7.36	2.77	0.13	1.00	1.50	1.12	13.07

Bentonitni faollashtirish jarayonida 5, 10 va 15% li HCl hamda H_2SO_4 eritmalari sinovdan o‘tkazildi. IQ spektroskopiya tahlillari shuni ko‘rsatdiki, dastlabki namunada 1416 sm^{-1} sohasida kuzatilgan kaltsit mineralining tebranish chiziqlari HCl bilan ishlov berilganda vaqt va konsentratsiya ortishi bilan intensiv ravishda keskin kamayadi. 10–15% HCl ta’sirida kaltsit quyidagi reaksiya asosida to‘liq erib, suv bilan yuvilib ketadi:

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl + CO_2 \uparrow + H_2O$$

Buning natijasida namunadagi CaO miqdori 21,25% dan 1,75% gacha kamaydi, SiO_2 miqdori esa 65,90% gacha oshdi. Aksincha, H_2SO_4 bilan ishlov berilganda erimaydigan gips ($CaSO_4$) hosil bo‘lib, mineral yuzasida qolib ketadi va CaO miqdori 7,36% dan pastga tushmaydi. Bu rentgenofazaviy tahlillarda 0,759 va 0,190 nm chiziqlarida gips fazasi paydo bo‘lishi bilan tasdiqlandi.

2-jadval. Bentonit namunalarining teksturaviy xususiyatlari (past haroratli azot adsorbtsiyasi bo‘yicha)

Namunalar	**S_{BET}, $м^2/г$**	**V_a, $см^3/г$**	**V_b, $см^3/г$**	**V_Σ, $см^3/г$**	***R*, Å**
Tabiiy bentonit	40.27	0.0099	0.10	9.21	57.53
15% li H_2SO_4 kislota bilan faollantirilgan bentonit	64.22	0.011	0.20	9.082	61.39
15% ли HCl kislota bilan faollantirilgan bentonit	101.6	0.043	0.25	9.043	54.59

2-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, 15% li HCl kislotasi bilan faollashtirilgan bentonitning solishtirma sirt yuzasi tabiiy namunaga nisbatan 2,5 barobar ortib, 101,6 m^2/g ga yetdi.

Mezog‘ovaklar hajmi esa 0,10 dan 0,25 sm^3/g ga ko‘tarildi. Bu moy molekulalari va katta o‘lchamli pigment komplekslarining adsorbent g‘ovaklari ichiga erkin kirishini ta’minlaydi.

Olingan adsorbentlarning kungaboqar moyini oqlashdagi faolligi o‘rganilganda, 15% HCl bilan faollashtirilgan bentonit qizil rang birligini 1,7 dan 0,7 gacha, kislota sonini esa 1,2 dan 0,4 mg KOH/g gacha tushirishi aniqlandi. Xlorofill va β-karotin sorbtsiyasi kinetikasi 70°C haroratda eng yuqori samaradorlikka (β-karotin 95%, xlorofill 87%) erishishi, 80°C dan keyin esa sorbtsiya muvozanati deyarli o‘zgarmasligi yoki biroz pasayishi qayd etildi. Adsorbentning maqbul sarfi moy massasiga nisbatan 0,9–1,0% ni tashkil etdi.

Paxta moyini adsorbsion oqlashda faollashtirilgan Krantau bentoniti va gilos danagidan olingan uglerodli adsorbentning turli nisbatdagi kompozitsiyalari sinab ko‘rildi (3-jadval).

3-jadval. Gil va uglerodli adsorbent kompozitsiyalari yordamida paxta moyini tozalash ko‘rsatkichlari

Bentonit	**Moy ko‘rsatkichlari**				
	Moy rangi			**Kislota soni, mg KOH/g**	**Moy sig‘imi, %**
	Qizil birlik	**Sariq birlik**	**Ko‘k birlik**		
Tabiiy bentonit	1.4	4.2	0.4	1.1	35
Bent. 15 % HCl (AA HCl)	0.7	2.4	0.1	0.4	48
Bent. 15 % H_2SO_4(AA H_2SO_4)	0.9	2.1	0.4	0.6	51

3-jadval natijalari shuni ko‘rsatadiki, gil va uglerodli adsorbentlar alohida qo‘llanganda moy tarkibidagi pigmentlarni bir vaqtning o‘zida to‘liq ushlay olmaydi. Bentonit asosan gossipol va karotinoidlarni yaxshi adsorbtsiya qilsa, uglerodli adsorbent xlorofill, feofitin va uglevodorod qoldiqlarini selektiv yutish xususiyatiga ega. Ularning 75:25 nisbatidagi aralashmasi (BUA-2) sinergetik samara berib, eng yuqori tozalash darajasini ta’minladi.

4-jadval. Ekstraksion paxta moyini adsorbtsion oqlashdan keyingi sifat ko‘rsatkichlari

Ekstraksion paxta moyi ko‘rsatkichlari	**Pokiston bentoniti (nazorat)**	**BUA-2**	**BUA-3**
35 sariq birlikdagi rangi: -qizil birlik -ko‘k birlik	 8,8 2,2	 7,2 1,4	 7,5 1,6
Perekis soni, mg-ekv O_2/kg	2,35	1,75	1,84
Kislota soni, mg KOH/g	2,98	2,65	2,71
Uglevodorod qoldiqlari, %	0,031	0,007	0,009

Ekstraksion paxta moyini tozalashda tavsiya etilgan BUA-2 kompozitsiyasi import «Pokiston» adsorbenti bilan qiyoslanganda (4-jadval), moyning qizil rang birligi 8,8 dan 7,2 ga, ko‘k birligi 2,2 dan 1,4 gacha, peroksid soni 2,35 dan 1,75 mg-ekv O_2/kg gacha tushganligi kuzatildi. Shuningdek, moy tarkibidagi qoldiq uglevodorodlar miqdori 4 barobarga (0,031% dan 0,007% gacha) qisqardi.

Iqtisodiy hisob-kitoblar bo‘yicha, 1 kg tayyor faollashtirilgan bentonitning tannarxi 17 304 so‘mni, BUA-2 kompozitsiyasining 1 kg narxi esa 18 353 so‘mni tashkil etadi. Hozirda ishlab chiqarishda qo‘llanilayotgan 1 kg Pokiston adsorbenti (40 000 so‘m/kg) bilan taqqoslanganda, taklif etilgan kompozitsiya 2 barobardan ziyod arzon bo‘lib, korxona xarajatlarini sezilarli qisqartirish imkonini beradi.

XULOSA

Mahalliy Krantau bentonitining mineralogik va kimyoviy tarkibi tadqiq etilib, uni 15% li HCl eritmasi bilan 2 soat davomida faollashtirish oqlovchi adsorbentlar olishda eng maqbul sharoit ekanligi isbotlandi. Kislotali ishlov berish hisobiga adsorbentning solishtirma yuzasi 40,27 m^2/g dan 101,6 m^2/g gacha, mezog‘ovaklar hajmi esa 0,25 sm^3/g gacha rivojlandi.

O‘simlik moylarini adsorbtsion oqlashda harorat 70°C, aralashtirish tezligi 130–150 ayl/min hamda adsorbent miqdori 0,9–1,0% bo‘lganda pigmentlar maksimal darajada sorbtsiyalanishi aniqlandi.

Faollashtirilgan Krantau bentoniti va gilos danagidan olingan uglerodli adsorbentning 75:25 nisbatdagi BUA-2 kompozitsiyasi paxta moyini gossipol, karotinoid, xlorofill hamda qoldiq uglevodorodlardan tozalash bo‘yicha import «Pokiston» adsorbentidan ustun natija ko‘rsatdi.

BUA-2 kompozitsiyasining tannarxi import muqobillariga nisbatan 2 barobar arzon bo‘lib, mahalliy yog‘-moy sanoati korxonalarida import o‘rnini to‘liq bosish, mahsulot sifatini yaxshilash va tannarxini arzonlashtirish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Алванян, К.А. Закономерности изменения гранулометрического состава бентонитовой глины Зырянского месторождения, активированной давлением//К.А. Алванян, А.В. Андрианов, Ю.Н. Селезнева // Вестник Пермского университета. – Пермь. – 2020. – Т. 19. – № 4. – С. 380–387.

2. Анюхина, А.В. Изменение содержания воды в глинах при высоких давлениях / А.В. Анюхина, М.В. Федоров // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – Пермь, 2017. – С. 100–101.

3. Гальперина, М.К. Глины для производства керамических изделий / М.К. Гальперина, В.Ф. Павлов. – М.: ВНИИЭСМ, 1971. – 259 с.

4. Везенцев, А.И. Монтмориллонитовые глины как потенциальный сорбент патогенных веществ и микроорганизмов // А.И. Везенцев, М.А. Трубицын, Е.В. Кормош // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2012. – Т. 12. – № 6. –С. 998–1004.

5. Влияние обменных катионов на гидросорбционные свойства минералов /А.С. Манучаров, Н.И. Черноморченко, Л.О. Карпачевский, Т.А. Зубкова //Почвоведение. – 2004. – № 9. – С. 1126–1133.

6. Влияние термического модифицирования на адсорбционные свойства природных силикатов. / Л.И. Бельчинская, А.В. Бондаренко, М.Л. Губкина [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2006. – Т.6. – Вып. 1. – С. 80–88.

7. Влияние термической обработки глин на их адсорбцию по красителю метиленовый голубой / А.В. Анюхина, В.В. Середин, А.В. Андрианов, Т.Ю. Хлуденева // Недропользование. – 2021. – Т. 21. – № 2. – С. 52–57.

8. Долгов, С.И. О связанной и капиллярной воде в почве / С.И. Долгов // Почвоведение. 1943. – № 9–10. – С. 24–28.

9. Злочевская, Р.И. Связанная вода в глинистых грунтах / Р.И. Злочевская // М.: Изд-во Моск-го гос. ун-та, 1969. – 175 с.

10. Кормош, Е.В. Химико-минералогические аспекты возможности использования глин Белгородской области в разработке сорбентов для очистки сточных вод / Е.В. Кормош, Т.М. Алябьева, А.Г. Погорелова // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8. – С. 131–136.

11. О природе изменения состава и свойств глинистых пород в процессе литогенеза / З.А. Кривошеева, Р.И. Злочевская, В.А. Королев, Е.М. Сергеев // Вестник Моск. ун-та. Серия: Геология. – 1977. – № 4. – С. 60–73.

12. Осипов, В.И. Микроструктура глинистых пород / В.И. Осипов, В.Н. Соколов, Н.А. Румянцева. – М.: Недра, 1989. – 211 с.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

GEOGRAPHICAL VARIATION IN CAMEL MILK COMPOSITION: A CROSS-COUNTRY COMPARISON AND HPLC-BASED AMINO ACID PROFILING

Ahmedova Marhabo Sayidmurod qizi
Research Intern, Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan
E-mail: ahmedovamarxabo102@gmail.com

ABSTRACT *Camel milk is an important food resource in arid and semi-arid regions and is increasingly studied for its nutritional quality and distinctive protein profile. The chemical composition of camel milk varies with species, breed, feeding system, stage of lactation, season, and geographical origin. This paper synthesizes peer-reviewed evidence on geographical variation in camel milk composition, expands the comparison to original studies from Mongolia, Uzbekistan, Saudi Arabia, Pakistan and Kazakhstan, and presents an HPLC/UPLC-based analytical framework for amino-acid profiling. A Mongolian dataset comprising 102 Bactrian camel milk samples from five locations showed fat contents of 5.01-6.24%, protein 3.62-3.82% and lactose 5.21-5.50% [2]. In Uzbekistan, 42 raw camel milk samples averaged 4.89+/-0.26% fat, 4.04+/-0.36% protein and 4.28+/-0.34% lactose [13]. Central-Punjab samples in Pakistan averaged 3.79+/-0.13% fat, 3.66+/-0.07% protein and 5.15+/-0.09% lactose [12], while Saudi Arabian Majaheim camel milk contained 3.22% fat, 2.91% protein and 4.43% lactose [8]. A 2024 Kazakhstan study further demonstrated regional ranges of 3.85-4.64% fat and 3.61-3.70% protein in Jetisu versus 4.72-5.75% fat and 3.65-3.81% protein in Mangystou [14]. These results support a strong geographical and production-system contribution to camel milk variability, while also showing that country-level comparisons must be interpreted together with breed, season and analytical method. Acid hydrolysis followed by pre-column derivatization and reversed-phase HPLC/UPLC remains a robust approach for amino-acid profiling.*

Keywords: *camel milk; geographical origin; cross-country comparison; chemical composition; Bactrian camel; dromedary; amino acids; HPLC; UPLC.*

INTRODUCTION

Camel milk has long been consumed in North and East Africa, the Arabian Peninsula, Central Asia and other dryland regions. Beyond its role as a traditional food, it is now receiving substantial scientific and commercial attention because of its macronutrient profile, mineral and vitamin content, distinctive casein-to-whey balance, and the presence of bioactive proteins. However, camel milk should not be treated as a chemically uniform product. Its composition changes according to camel species and breed, season, stage of lactation, water availability, feeding pattern, animal age, management system and geographical origin [1–4].

The most comprehensive recent synthesis by Alhaj et al. [3] included 79 studies and 7,298 camel milk samples from 23 countries. The global pooled means were 3.17% protein, 3.47% fat, 4.28% lactose, 0.78% ash and 11.31% total solids. The same meta-analysis reported mean concentrations of 112.93 mg/100 g calcium, 116.13 mg/100 g potassium, 53.10 mg/100 g sodium, 9.65 mg/100 g magnesium and 5.38 mg/100 g vitamin C. Importantly, country, breed and season contributed to the observed heterogeneity [3].

A particularly informative regional investigation was conducted in Mongolia by He et al. [2], who analyzed 102 Bactrian camel milk samples collected from five geographically distinct locations. The study demonstrated marked differences in gross composition, fatty-acid patterns and amino-acid profiles, and showed that multivariate analysis could distinguish milk samples according to geographic origin. These findings are highly relevant for quality control, regional characterization and the development of origin-linked camel milk products.

The objective of the present paper is therefore to: (i) review geographical differences in camel milk composition using verified peer-reviewed literature; (ii) compare regional Bactrian camel data with recent global pooled estimates; and (iii) describe a scientifically grounded HPLC/UPLC methodology suitable for amino-acid profiling in camel milk.

LITERATURE REVIEW

Early compositional work established the broad nutritional range of camel milk. Sawaya et al. [6] described its proximate composition and nutritional quality, while Elamin and Wilcox [7] characterized Majaheim camel milk. Mehaia et al. [8] later demonstrated breed-associated differences among Majaheim, Wadah and Hamra camels in Saudi Arabia. These studies collectively showed that both genetic background and production environment affect the basic composition of camel milk.

Konuspayeva, Faye and Loiseau [1] performed an influential meta-analysis of published composition data and concluded that geographical area was one of the major sources of variation. Their work also highlighted a broad distinction between Bactrian and dromedary milk. Bactrian camel milk, common in Central and East Asian environments, often contains relatively high concentrations of fat and protein. The authors cautioned, however, that geography is not an isolated causal factor because it covaries with breed, feed resources, climate and husbandry practices.

He et al. [2] provided direct evidence for regional variation under Mongolian conditions. Samples were collected from Hovd, Sharga, Tseel, Bulgan and Tsogtovoo. Fat, protein and lactose contents differed numerically among locations, while amino-acid and fatty-acid profiles showed larger regional contrasts. The dominant amino acids reported in Bactrian camel milk included leucine, lysine, valine and aspartic acid, whereas cysteine was present at relatively low abundance [2].

More recently, Alhaj et al. [3] confirmed through systematic review, meta-analysis and meta-regression that composition varies across countries and is influenced by multiple moderators. A later meta-analysis of caloric value likewise showed that energy density differs by species, country and season, primarily because of variations in energy-yielding macronutrients [9]. These findings strengthen the argument that geographical origin should be explicitly documented in camel milk research and product characterization.

Country-specific original studies reinforce this geographical pattern. Pak et al. [13] collected 42 raw camel milk samples from desert and semi-desert areas of Karakalpakstan, Uzbekistan, and reported mean fat, protein, lactose, ash and dry matter contents of 4.89+/-0.26%, 4.04+/-0.36%, 4.28+/-0.34%, 0.77+/-0.09% and 13.95+/-1.12%, respectively. In Saudi Arabia, Mehaia et al. [8] demonstrated ecotype-dependent variation; Majaheim milk contained 3.22% fat, 2.91% protein and 4.43% lactose, whereas Wadah and Hamra milk showed lower fat and protein concentrations. Ahmad et al. [12] evaluated 1,137 she-camels under desert conditions in central Punjab, Pakistan, and reported mean values of 3.79+/-0.13% fat, 3.66+/-0.07% protein, 5.15+/-0.09% lactose, 0.81+/-0.02% ash and 13.42+/-0.21% total solids. More recently, Yessenova et al. [14] compared Jetisu and Mangystou regions of Kazakhstan and found clear regional differences in fat, protein and lactose, as well as essential amino-acid, fatty-acid and mineral profiles. Together, these independent datasets demonstrate that camel milk composition has been studied across several major camel-producing regions and that geographical variability is reproducible across different production systems.

From an analytical perspective, high-performance liquid chromatography is well suited to camel milk protein characterization. Salmen et al. [4] applied chromatographic analysis to amino acids in camel milk casein, while Qu et al. [5] validated a pre-column derivatization UPLC method for 18 amino acids in milk powders, including camel milk powder. Their procedure achieved separation within 22 min, correlation coefficients above 0.999, limits of detection of 1.3–2.5 mg/100 g, limits of quantification of 3.9–7.5 mg/100 g, and relative standard deviations of 2.04–3.65% [5].

.MATERIALS AND METHODS

This article uses a literature-based comparative design. Regional gross-composition data were taken from He et al. [2] for Mongolia and were supplemented with original peer-reviewed datasets from Uzbekistan [13], Saudi Arabia [8], Pakistan [12] and Kazakhstan [14]. The global context was taken from the systematic review and meta-analysis of Alhaj et al. [3]. Because the individual studies differ in camel species or ecotype, season, sample size and analytical procedure, the cross-country values are presented descriptively and are not treated as statistically equivalent national means. HPLC/UPLC methodology is discussed separately as an analytical framework for amino-acid profiling [4,5].

Table 1.

Regional gross composition of Bactrian camel milk in Mongolia [2].

Region	Fat (%)	Protein (%)	Lactose (%)	Total solids (%)	Ash (%)
Hovd	6.24 ± 1.29	3.65 ± 0.40	5.24 ± 0.59	9.62 ± 1.08	0.73 ± 0.09
Sharga	5.14 ± 0.61	3.63 ± 0.49	5.24 ± 0.73	9.60 ± 1.32	0.89 ± 0.07
Tseel	5.01 ± 0.85	3.62 ± 0.49	5.21 ± 0.71	9.52 ± 1.90	0.89 ± 0.09
Bulgan	5.40 ± 1.30	3.74 ± 0.42	5.40 ± 0.60	9.89 ± 1.11	0.92 ± 0.09
Tsogtovoo	6.01 ± 1.41	3.82 ± 0.17	5.50 ± 0.23	10.08 ± 0.45	0.84 ± 0.07

For an original experimental study, regional milk samples should be collected under harmonized conditions. A recommended design is at least 10–15 biologically independent camels per region, matched as closely as possible for species/breed, lactation stage, parity and season. Samples should be immediately cooled to approximately 4 °C during transport and stored frozen when analysis cannot be performed within 24 h. Metadata should include sampling date, geographic origin, animal age, breed, lactation stage, feeding system and water availability.

Proposed HPLC/UPLC Amino-Acid Method

Amino-acid analysis can be performed after acid hydrolysis and pre-column derivatization. Following the validated approach of Qu et al. [5], an accurately weighed milk or dried-milk aliquot is hydrolyzed with hydrochloric acid under an oxygen-reduced atmosphere for 24 h at 110 °C. After hydrolysis, the solution is cooled, neutralized or evaporated as required by the derivatization protocol, filtered, and reacted with 6-aminoquinolyl-N-hydroxysuccinimidyl carbamate (AQC). The derivatives are separated on a reversed-phase BEH C18 column (150 × 2.1 mm, 1.7 μm) at 0.4 mL/min and detected at 260 nm. The published method is capable of separating 18 amino acids within approximately 22 min [5].

For laboratories equipped with conventional HPLC rather than UPLC, an O-phthalaldehyde (OPA)-based pre-column derivatization method with reversed-phase separation and fluorescence detection is also appropriate. Salmen et al. [4] used chromatographic amino-acid analysis for camel milk casein and demonstrated its suitability for breed-level comparison. Whichever platform is selected, calibration should include at least five concentration levels, and method performance should be documented using linearity, repeatability, recovery, limit of detection and limit of quantification.

RESULTS AND DISCUSSION

The regional data summarized in Table 1 reveal substantial numerical variation in the major constituents of Bactrian camel milk. Fat ranged from 5.01% in Tseel to 6.24% in Hovd, while protein ranged from 3.62% in Tseel to 3.82% in Tsogtovoo. Lactose varied within a narrower interval of 5.21–5.50%. Total solids were highest in Tsogtovoo (10.08%) and lowest in Tseel (9.52%). Ash ranged from 0.73% in Hovd to 0.92% in Bulgan [2].

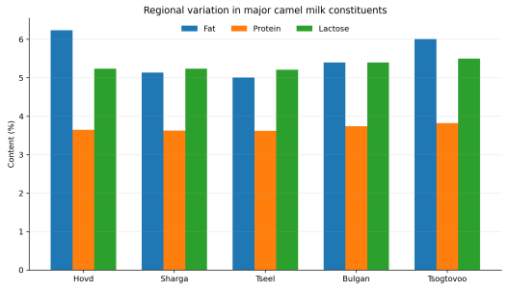


Figure 2. Regional variation in major constituents of Bactrian camel milk. Data from He et al. [2].

The pattern indicates that fat is the most visibly variable major constituent among the five regions. Protein and lactose are more stable, although their highest values were both observed in Tsogtovoo. These differences may reflect regional contrasts in grazing vegetation, energy intake, climate, water supply and animal management. Importantly, the original study did not find all gross-composition differences to be statistically significant, whereas amino-acid and fatty-acid patterns provided stronger geographical discrimination [2]. Therefore, regional characterization based only on proximate composition may be less informative than a combined compositional fingerprint.

Table 2.

Comparison of Mongolian Bactrian camel milk with global pooled camel milk composition.

Component	Mongolian range [2]	Mongolian mean*	Global pooled mean [3]
Fat	5.01–6.24	5.56	3.47
Protein	3.62–3.82	3.69	3.17
Lactose	5.21–5.50	5.32	4.28
Ash	0.73–0.92	0.85	0.78

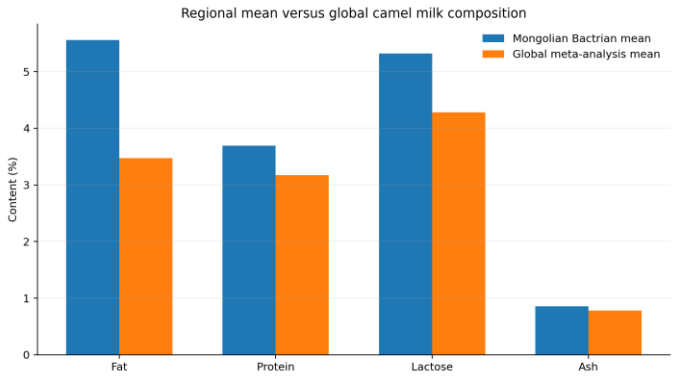


Figure 3. Mean composition of the five Mongolian Bactrian camel regions compared with global pooled estimates from Alhaj et al. [3].

The simple average of the five Mongolian regional means was approximately 5.56% fat, 3.69% protein, 5.32% lactose and 0.85% ash. In contrast, the global pooled estimates were 3.47%, 3.17%, 4.28% and 0.78%, respectively [3]. The higher values in the Mongolian dataset should not be interpreted as a direct country effect alone. The Mongolian study focused specifically on Bactrian camels, whereas the global meta-analysis integrated different species, breeds, climates, seasons and analytical methods. Species and breed composition are therefore important confounders when comparing countries.

Amino-acid profiling offers a more discriminating biochemical layer. He et al. [2] identified leucine, lysine, valine and aspartic acid among the principal amino acids in Bactrian camel milk and reported regional differences in total amino acids and individual amino-acid profiles. In nutritional terms, the presence of branched-chain amino acids such as leucine, isoleucine and valine contributes to the high biological value of milk protein. From an authenticity perspective, multivariate analysis of amino-acid patterns may also support classification by geographical origin when sufficiently standardized datasets are available.

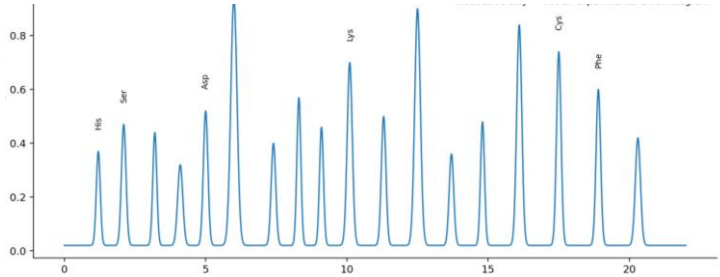


Figure 5. Schematic chromatogram illustrating the expected sequential detection of amino-acid derivatives in a pre-column derivatization HPLC/UPLC method. This is an illustrative analytical diagram, not an experimental chromatogram.

The schematic chromatogram in Figure 5 illustrates how a multi-analyte amino-acid method can generate a reproducible fingerprint. In a real experiment, peak identification must be based on retention-time matching with certified standards and, where available, spectral or mass-spectrometric confirmation. Quantification should use external calibration or an internal-standard strategy. Qu et al. [5] reported excellent linearity ($r > 0.999$), LODs of 1.3–2.5 mg/100 g, LOQs of 3.9–7.5 mg/100 g and RSDs of 2.04–3.65%, demonstrating that such chromatographic methods are sufficiently robust for comparative milk analysis.

The literature indicates that geographical origin is best regarded as an integrative environmental variable rather than an isolated determinant. Differences in pasture composition, seasonal temperature, aridity, water availability and feeding management occur together with geographical separation. Furthermore, camel breed distribution is geographically structured. Consequently, a rigorous regional study should use standardized sampling dates, comparable stages of lactation and breed-balanced designs. Statistical analysis should include one-way or mixed-model ANOVA where appropriate, followed by post-hoc testing at $p < 0.05$, and multivariate tools such as principal component analysis for chemical fingerprinting.

Cross-Country Comparison of Published Camel Milk Composition

To broaden the geographical interpretation beyond Mongolia, results from four additional original peer-reviewed studies were compared. The values in Table 3 are study-specific observations rather than national averages; they therefore provide evidence of international variability without implying that each dataset represents an entire country.

Table 3

Cross-country comparison of camel milk composition reported in original peer-reviewed studies

Study / location	Fat (%)	Protein (%)	Lactose (%)	Ash (%)	Total solids (%)	Sampling context
Mongolia [2]	5.01-6.24	3.62-3.82	5.21-5.50	0.73-0.92	9.52-10.08	102 Bactrian samples, five regions
Uzbekistan [13]	4.89 +/- 0.26	4.04 +/- 0.36	4.28 +/- 0.34	0.77 +/- 0.09	13.95 +/- 1.12	42 raw samples, Karakalpakstan; summer and winter
Saudi Arabia, Majaheim [8]	3.22	2.91	4.43	0.79	11.35	Central region; Majaheim ecotype
Pakistan, Central Punjab [12]	3.79 +/- 0.13	3.66 +/- 0.07	5.15 +/- 0.09	0.81 +/- 0.02	13.42 +/- 0.21	1,137 she-camels; desert conditions
Kazakhstan, Jetisu [14]	3.85-4.64	3.61-3.70	4.80-4.85	-	-	Regional range reported in 2024 study
Kazakhstan, Mangystou [14]	4.72-5.75	3.65-3.81	4.21-4.28	-	-	Regional range reported in 2024 study

The expanded comparison reveals several clear patterns. The Mongolian Bactrian dataset had the highest reported fat range among the datasets summarized here, consistent with the tendency for Bactrian milk to contain more fat and protein than many dromedary datasets [1,2]. Uzbekistan also showed relatively high fat (4.89%) and protein (4.04%) concentrations [13], whereas Saudi Majaheim milk contained lower values of 3.22% fat and 2.91% protein [8]. Pakistan showed an intermediate fat concentration but comparatively high lactose (5.15%) [12]. These differences are large enough to be nutritionally and technologically relevant, but they should not be interpreted as pure country effects because breed, season, lactation stage, feeding and water availability vary between studies.

The Kazakhstan data are especially informative because two regions were compared within one national study. Jetisu milk contained 3.85-4.64% fat, 3.61-3.70% protein and 4.80-4.85% lactose, while Mangystou samples contained 4.72-5.75% fat, 3.65-3.81% protein and 4.21-4.28% lactose [14]. The same study reported higher essential amino-acid content in Mangystou than in Jetisu (41.29 versus 38.20 g/100 g protein) and higher calcium and zinc in Mangystou samples, providing additional evidence that geographical origin can affect both gross composition and micronutrient quality.

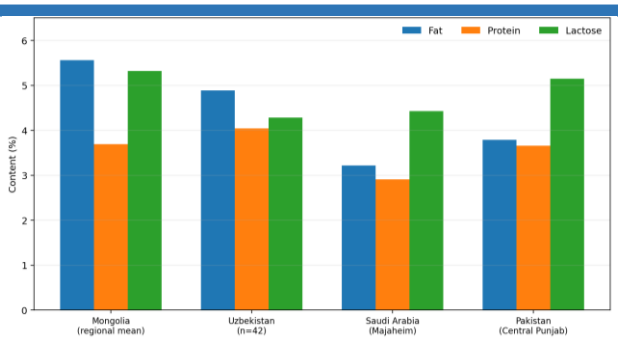


Figure 4. Cross-country comparison of fat, protein and lactose in selected original studies. Mongolia is shown as the arithmetic mean of the five regional means reported by He et al. [2]. The other bars are the study means reported for Uzbekistan [13], Saudi Majaheim camels [8] and central Punjab, Pakistan [12]. These values are study-specific and should not be interpreted as national population means.

Overall, the evidence now spans Central Asia, South Asia and the Arabian Peninsula, in addition to the global 23-country meta-analysis [3]. The agreement among these independent studies strengthens the conclusion that geographical location is a reproducible source of variation in camel milk composition, while the within-country Kazakhstan comparison demonstrates that substantial differences can also occur between regions of the same country.

CONCLUSION

Peer-reviewed evidence from Mongolia, Uzbekistan, Saudi Arabia, Pakistan and Kazakhstan confirms that camel milk composition varies substantially across regions and production systems. The added original studies show fat values from about 3.22% in Saudi Majaheim milk to more than 6% in some Mongolian Bactrian regions, while protein and lactose also vary appreciably. Uzbekistan displayed relatively high mean protein and fat contents, Pakistan showed high mean lactose, and Kazakhstan demonstrated marked within-country differences between Jetisu and Mangystou [2,8,12-14]. These observations are consistent with the 23-country global meta-analysis [3] and support geographical origin as an important integrative factor rather than an isolated causal variable.

For detailed regional characterization, proximate analysis should be combined with targeted chromatographic profiling. Acid hydrolysis followed by pre-column derivatization and reversed-phase HPLC/UPLC provides a reliable strategy for determining amino-acid composition. A standardized analytical framework, together with controlled sampling and appropriate multivariate statistics, would be particularly valuable for future studies of camel milk from Central Asian regions, including Uzbekistan. Such work could support nutritional evaluation, product standardization, authenticity testing and the development of region-specific camel milk products.

REFERENCES

1. Konuspayeva G., Faye B., Loiseau G. The composition of camel milk: A meta-analysis of the literature data. Journal of Food Composition and Analysis. 2009;22(2):95–101. doi:10.1016/j.jfca.2008.09.008.

2. He J., Xiao Y., Orgoldol K., Ming L., Yi L., Ji R. Effects of geographic region on the composition of Bactrian camel milk in Mongolia. Animals. 2019;9(11):890. doi:10.3390/ani9110890.

3. Alhaj O.A., Altooq N.J., Alenezi A.F., Janahi A.I., Janahi M.I., Humood A.M., AlRasheed M.M., Bragazzi N.L., Jahrami H.A., Faye B. Camel milk composition by breed, season, publication

year, and country: A global systematic review, meta-analysis, and meta-regression. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2022;21(3):2520–2559. doi:10.1111/1541-4337.12943.

4. Salmen S.H., Abu-Tarboush H.M., Al-Saleh A.A., Metwalli A.A. Amino acids content and electrophoretic profile of camel milk casein from different camel breeds in Saudi Arabia. Saudi Journal of Biological Sciences. 2012;19(2):177–183. doi:10.1016/j.sjbs.2011.12.002.

5. Qu L., Gu S., Zhang J., Zhao C., Deng X. Determination of 18 amino acids in three different kinds of milk powder by ultra performance liquid chromatography coupled with pre-column derivatization. Chinese Journal of Chromatography. 2021;39(5):472–477. doi:10.3724/SP.J.1123.2020.07008.

6. Sawaya W.N., Khalil J.K., Al-Shalhat A., Al-Mohammad H. Chemical composition and nutritional quality of camel milk. Journal of Food Science. 1984;49(3):744–747. doi:10.1111/j.1365-2621.1984.tb13200.x.

7. Elamin F.M., Wilcox C.J. Milk composition of Majaheim camels. Journal of Dairy Science. 1992;75(11):3155–3157. doi:10.3168/jds.S0022-0302(92)78079-5.

8. Mehaia M.A., Hablas M.A., Abdel-Rahman K.M., El-Mougy S.A. Milk composition of Majaheim, Wadah and Hamra camels in Saudi Arabia. Food Chemistry. 1995;52(2):115–122. doi:10.1016/0308-8146(94)P4189-M.

9. Alhaj O.A., Ahmad L., Alenezi A.F., et al. Does total caloric count of camel milk differ by species, country, season and year of publication: A systematic review, meta-analysis and meta-regression. International Journal of Dairy Technology. 2024;77. doi:10.1111/1471-0307.13017.

10. Ho T.M., Zou Z., Bansal N. Camel milk: A review of its nutritional value, heat stability, and potential food products. Food Research International. 2022;153:110870. doi:10.1016/j.foodres.2021.110870.

11. Swelum A.A., El-Saadony M.T., Abdo M., et al. Nutritional, antimicrobial and medicinal properties of camel's milk: A review. Saudi Journal of Biological Sciences. 2021;28(5):3126–3136. doi:10.1016/j.sjbs.2021.02.057.

12. Ahmad S., Yaqoob M., Bilal M.Q., Khan M.K., Muhammad G., Yang L.G., Tariq M. Factors affecting yield and composition of camel milk kept under desert conditions of central Punjab, Pakistan. Tropical Animal Health and Production. 2012;44(7):1403–1410. doi:10.1007/s11250-012-0079-3.

13. Pak V.V., Khojimatov O.K., Abdiniyazova G.J., Magay E.B. Composition of camel milk and evaluation of food supply for camels in Uzbekistan. Journal of Ethnic Foods. 2019;6:20. doi:10.1186/s42779-019-0031-5.

14. Yessenova A., Dikhanbayeva F., Assembayeva E., Nurmukhanbetova D., Zhaxybayeva E. Regional features of camel milk composition and properties in the Republic of Kazakhstan. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2024;18:425-438. doi:10.5219/1952.

AMARANT DONINING QAYTA ISHLASH MUHIMLIGI TO‘G‘RISIDA ADABIYOTLAR TAHLILI

AHROR MEYLIYEV SHODIYONOVICH*, FARMONOV JASUR BOYQARAYEVICH**
** Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston.*
*** Iqtisodiyot va pedagogika universiteti, Qarshi sh., O‘zbekiston.*
**Mas’ul muallif: ahrormeyliyev013@gmail.com*

Annotatsiya. *Ushbu maqolada amarant (Amaranthus spp.) donining oziq-ovqat xomashyosi sifatidagi ahamiyati, uning kimyoviy va biologik faol tarkibiy qismlari hamda qayta ishlashning istiqbolli yo‘nalishlari bo‘yicha ilmiy adabiyotlar tahlil qilindi. Manbalarda amarant donida oqsil, kraxmal, yog‘, oziq tolasi, mineral moddalar va biofaol birikmalar mavjudligi, oqsil fraksiyasining muhim xususiyati esa lizinga nisbatan boyligi qayd etilgan. Amarant doni tabiiy ravishda kleykovina hosil qiluvchi bug‘doy, javdar va arpa oqsillarini saqlamasligi sababli glyutensiz mahsulotlar ishlab chiqarishda istiqbolli xomashyo hisoblanadi. Don yog‘ining o‘ziga xos komponentlaridan biri skvalen bo‘lib, uning miqdori tur, genotip va ajratib olish usuliga qarab o‘zgaradi. Adabiyotlar, shuningdek, maydalash, poping, pishirish, ekstrudatsiya va boshqa texnologik ishlovlar amarantning fizik-kimyoviy va funksional xususiyatlarini o‘zgartirishini ko‘rsatadi. Tahlil natijalari amarant donini un, glyutensiz non va boshqa funksional oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarishda kompleks qayta ishlash uchun ilmiy asos mavjudligini ko‘rsatdi.*

Kalit so‘zlar: *amarant, Amaranthus hypochondriacus, glyutensiz mahsulot, oqsil, lizin, skvalen, amarant moyi, qayta ishlash, funksional oziq-ovqat, biologik faol moddalar.*

Kirish.

Oziq-ovqat xavfsizligi, xomashyo bazasini diversifikatsiya qilish va iqlim o‘zgarishi sharoitida resurslardan samarali foydalanish masalalari qishloq xo‘jaligi hamda oziq-ovqat texnologiyasining muhim yo‘nalishlaridan biridir. Shu nuqtai nazardan, yuqori ozuqaviy qiymatga ega, glyutensiz va turli oziq-ovqat mahsulotlariga qayta ishlanishi mumkin bo‘lgan psevdodon ekinlarni o‘rganish alohida ahamiyat kasb etadi. Amarant (Amaranthus spp.) ana shunday xomashyolardan biri bo‘lib, ilmiy adabiyotlarda uning urug‘i oqsil, yog‘, kraxmal, oziq tolasi, mineral moddalar va biofaol komponentlarning manbai sifatida tavsiflanadi [1–4].

Amarantning oziq-ovqat sifatidagi afzalligi faqat uning kimyoviy tarkibi bilan cheklanmaydi. Turli texnologik usullar yordamida undan un, yorma, ekstrudat, glyutensiz non va qandolat mahsulotlari olish mumkin. Ayniqsa, glyutensiz mahsulotlarning ozuqaviy qiymatini oshirish masalasi amarantni boshqa kraxmalli xomashyolar bilan birgalikda qo‘llashga ilmiy qiziqishni kuchaytirmoqda [2,5]. Bunda amarantning oqsil sifati, mineral tarkibi va biofaol birikmalari mahsulotning funksional xususiyatlarini yaxshilash imkonini beradi.

Mazkur maqolaning maqsadi amarant donining kimyoviy tarkibi va biologik faol komponentlarini, uning glyutensiz xomashyo sifatidagi xususiyatlarini hamda donni qayta ishlashning oziq-ovqat texnologiyasidagi istiqbollarini ilmiy adabiyotlar asosida umumlashtirishdan iborat.

2. Tadqiqot metodikasi.

Tadqiqot adabiyotlar sharhi xarakterida olib borildi. Tahlil uchun amarant donining kimyoviy tarkibi, oqsil va aminokislota profili, yog‘ va skvalen miqdori, glyutensizligi, biofaol birikmalari, shuningdek, oziq-ovqat mahsulotlari ishlab chiqarishdagi qayta ishlash usullarini yorituvchi ilmiy maqolalar va ilmiy sharhlar tanlandi. Manbalardagi ma’lumotlar mavzu bo‘yicha qiyosiy tahlil qilinib, bir-biridan farq qiluvchi ko‘rsatkichlarning sabablarini tur, genotip, yetishtirish sharoiti va texnologik ishlov bilan bog‘lashga e’tibor qaratildi. Raqamli ma’lumotlar faqat tegishli ilmiy manbalarda qayd etilgan diapazonlarda keltirildi [1,3,6,7].

2.1. Amarant donining kimyoviy tarkibi.

Amarant donining kimyoviy tarkibi nav va turga, genotipga, yetishtirish sharoitiga hamda tahlil metodikasiga qarab sezilarli darajada o‘zgarishi mumkin. Mavjud adabiyotlarda donning oqsil miqdori odatda taxminan 12–18% atrofida qayd etiladi, ayrim genotiplar bo‘yicha undan yuqori qiymatlar ham uchraydi [1,3]. Dastlabki maqolada keltirilgan 12–17% oqsil diapazoni ham ushbu ilmiy kuzatuvlarga mos keladi. Yog‘ miqdori esa ko‘plab tadqiqotlarda taxminan 5–8% oralig‘ida qayd etilgan [1,6]. Shuning uchun bitta qat’iy son o‘rniga diapazon bilan ishlash amarant xomashyosini baholashda ilmiy jihatdan to‘g‘riroq yondashuv hisoblanadi.

1-jadval. Amarant donining asosiy oziqaviy va biofaol xususiyatlari bo‘yicha adabiyotlarda qayd etilgan ma’lumotlar.

Ko‘rsatkich	Adabiyotlarda qayd etilgan qiymat/xususiyat	Izoh
Oqsil	≈12–18%	Miqdor tur, genotip va yetishtirish sharoitiga bog‘liq [1,3].
Yog‘	≈5–8%	Ayrim genotiplarda yuqoriroq qiymatlar ham qayd etilgan [1,6].
Skvalen	≈3,6–6,1% (moy fraksiyasida)	Genotip va ekstraksiya usuliga qarab o‘zgaradi [7].
Kleykovina hosil qiluvchi oqsillar	Mavjud emas	Amarant glyutensiz psevdodon sifatida tavsiflanadi [2,4].
Mineral moddalar	Ca, Fe, Mg, P, K, Zn va boshqalar	Mineral tarkib boshqa donlar bilan taqqoslaganda oziqaviy qiziqish uyg‘otadi [3,4].
Biofaol birikmalar	Polifenollar, fitosterollar, tokoferollar, skvalen va boshqalar	Tarkib va miqdor qayta ishlash hamda genotipga bog‘liq [3,4,8].

Jadvaldan ko‘rinadiki, amarant donini qayta ishlashda uning bir vaqtning o‘zida oqsil va lipid komponentlariga boyligi muhim texnologik afzallikdir. Biroq tarkibiy ko‘rsatkichlar manbadan manbaga farq qilishi sababli ishlab chiqarish retsepturasini belgilashdan oldin mahalliy xomashyoning laboratoriya tahlilini o‘tkazish zarur.

2.1. Oqsil va aminokislota tarkibining oziqaviy ahamiyati.

Amarant oqsillarining asosiy afzalliklaridan biri ularning aminokislota tarkibidir. Sharh tadqiqotlarida amarant oqsili lizinga nisbatan boy ekani va an’anaviy don ekinlaridagi ayrim cheklovchi aminokislotalar muammosini qisman to‘ldirishi mumkinligi qayd etilgan [3,4]. Bu xususiyat amarantni o‘simlik oqsilining ozuqaviy qiymatini oshirishga yo‘naltirilgan oziq-ovqat formulalarida qo‘llash imkonini beradi.

Amarant oqsilining qiymati glyutensiz mahsulotlar texnologiyasida ayniqsa muhimdir. Oddiy glyutensiz mahsulotlarning ayrimlari oqsil, tola va mineral moddalar bo‘yicha pastroq oziqaviy ko‘rsatkichlarga ega bo‘lishi mumkin. Psevdodonlar, jumladan amarant, bunday mahsulotlarning oziqaviy profilini yaxshilash uchun qo‘llaniladigan xomashyolardan biridir [2,5]. Shu sababli amarant unini non, pechenye va boshqa mahsulotlarga ma’lum ulushda kiritish nafaqat texnologik, balki oziqaviy vazifani ham bajaradi.

2.3. Yog‘ fraksiyasi va skvalenning ahamiyati.

Amarant doni boshqa ko‘plab don ekinlariga nisbatan yog‘ fraksiyasining o‘ziga xos tarkibi bilan ajralib turadi. He va hammualliflar turli genotiplarni o‘rganib, don yog‘ miqdori 5,1–7,7% oralig‘ida, yog‘ tarkibidagi skvalen esa 3,6–6,1% oralig‘ida bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatgan [7]. Keyingi tadqiqotlarda ham skvalen miqdorining genotiplar o‘rtasida sezilarli farq qilishi tasdiqlangan [6]. Demak, skvalenning aniq miqdorini ko‘rsatishda o‘simlik turi va ekstraksiya sharoitini albatta hisobga olish kerak.

Skvalen amarant moyining asosiy qiziqarli biofaol komponentlaridan biridir. Uning mavjudligi amarant moyini oziq-ovqat va funksional ingredient sifatida o‘rganishga sabab bo‘lgan. Shu bilan birga, skvalen miqdorini oshirish yoki ajratib olish samaradorligi ekstraksiya texnologiyasiga bog‘liq. Shuning uchun amarant donini kompleks qayta ishlashda moyni alohida fraksiyaga ajratish va yog‘sizlantirilgan unni keyingi oziq-ovqat texnologiyasida qo‘llash resurslardan foydalanish samaradorligini oshirishi mumkin.

2.4. Amarantning glyutensiz xomashyo sifatidagi imkoniyatlari.

Amarant doni tabiiy ravishda gluten hosil qiluvchi oqsillarni saqlamaydigan psevdodon hisoblanadi [2,4]. Shu sababli undan glyutensiz oziq-ovqat mahsulotlarini ishlab chiqarishda foydalanish mumkin. Biroq “glyutensiz” xususiyat faqat xomashyoning biologik tarkibiga emas, balki ishlab chiqarish jarayonidagi o‘zaro kontaminatsiyani nazorat qilishga ham bog‘liq. Shuning uchun amarant unini sanoat miqyosida glyutensiz mahsulotlar uchun ishlatishda xomashyo, uskunalar va saqlash jarayonlari bo‘yicha alohida nazorat talab etiladi.

Ilmiy tajribalar amarant unining non va pechenye kabi mahsulotlarda texnologik jihatdan qo‘llanishi mumkinligini ko‘rsatgan. Xususan, Calderón de la Barca va hammualliflar xom va poping qilingan amarant unlari asosida glyutensiz non va pechenye formulalarini ishlab chiqib, amarant asosidagi mahsulotlarning texnologik va oziqaviy salohiyatini ko‘rsatgan [5]. Boshqa tadqiqotlarda ham amarantning glyutensiz non mahsulotlariga qo‘shilishi oqsil, tola va mineral moddalar bilan bog‘liq oziqaviy ko‘rsatkichlarni yaxshilashi mumkinligi qayd etilgan [2,5].

2.5. Qayta ishlash usullarining amarant doni xususiyatlariga ta’siri.

Amarant donini qayta ishlashda asosiy texnologik yo‘nalishlar tozalash, maydalash, un olish, issiqlik bilan ishlov berish, poping, ekstrudatsiya va zarur hollarda yog‘ fraksiyasini ajratishdan iborat. Zamonaviy sharhlarda qayta ishlash usullari donning fizik-kimyoviy, antioksidant, funksional va reologik xususiyatlariga ta’sir qilishi qayd etilgan [3,8]. Shuning uchun qayta ishlash jarayonini tanlash yakuniy mahsulotning maqsadiga qarab amalga oshirilishi lozim.
Issiqlik bilan ishlov berish, jumladan poping, amarantning iste’mol xususiyatlarini yaxshilashga xizmat qilishi mumkin. Shu bilan birga, issiqlik ta’sirida ayrim biofaol komponentlarning miqdori o‘zgarishi ehtimoli mavjud. Masalan, amarant moyidagi skvalen konsentratsiyasi issiqlik ishlovi va ekstraksiya usuliga qarab o‘zgarishi ko‘rsatilgan [7,8]. Demak, texnologik rejimlarni optimallashtirishda faqat mahsulotning fizik xususiyatlari emas, balki biologik faol komponentlarning saqlanishi ham mezon sifatida olinishi kerak.

Amarant donidan yog‘ni ajratib olish va qolgan yog‘sizlantirilgan fraksiyani un sifatida ishlatish kompleks qayta ishlash konsepsiyasiga mos keladi. Bunday yondashuvda bir tomondan skvalen va boshqa lipid komponentlaridan foydalanish, ikkinchi tomondan esa oqsil va kraxmalga boy qattiq fraksiyani oziq-ovqat mahsulotlariga yo‘naltirish imkoniyati paydo bo‘ladi. Biroq bu yo‘nalish uchun amarantning mahalliy navlari bo‘yicha texnologik parametrlar, ekstraksiya samaradorligi va tayyor mahsulotning sifat ko‘rsatkichlari alohida eksperimental tadqiqotlar bilan aniqlanishi kerak.



1-rasm. Amarant o‘simligi (Amaranthus spp.).



2-rasm. Amarant doni.

Xulosa.

Adabiyotlar tahlili amarant donini yuqori ozuqaviy qiymatga ega va ko‘p yo‘nalishda qayta ishlanishi mumkin bo‘lgan psevdodon xomashyosi sifatida baholashga asos beradi. Uning asosiy afzalliklari oqsil va aminokislota tarkibi, yog‘ fraksiyasining mavjudligi, skvalen kabi biofaol komponentlar, mineral moddalar hamda glyutensiz xususiyat bilan bog‘liq. Ilmiy manbalarda amarant donining tarkibiy ko‘rsatkichlari tur va genotipga qarab farqlanishi qayd etilgan; shu sababli xomashyoning texnologik qiymatini baholashda umumiy diapazonlardan foydalanish va konkret partiyaning laboratoriya tahlilini o‘tkazish muhimdir [1,3,6,7].

Amarantni qayta ishlashda un olish, issiqlik bilan ishlov berish, poping, ekstrudatsiya va moyni ajratish kabi texnologiyalar alohida yoki kompleks sxema sifatida qo‘llanishi mumkin. Glyutensiz non va boshqa mahsulotlar bo‘yicha tadqiqotlar amarant unidan funksional va oziqaviy jihatdan boyitilgan mahsulotlar yaratish imkoniyati mavjudligini ko‘rsatadi [2,5]. Shu bilan birga, ishlab chiqarishning keyingi bosqichida amarantning mahalliy xomashyo bazasi uchun optimal maydalash, issiqlik ishlovi, moy ajratish va retseptura parametrlarini eksperimental aniqlash maqsadga muvofiq.

Umuman olganda, amarant donini kompleks qayta ishlash xomashyoning turli fraksiyalaridan bir vaqtning o‘zida foydalanish, glyutensiz oziq-ovqat assortimentini kengaytirish va yuqori qiymatli biofaol komponentlarni ajratib olish imkonini beradi. Kelgusidagi tadqiqotlarda mahalliy amarant navlarining kimyoviy tarkibi, oqsilning hazm bo‘lishi, skvalenning miqdori, qayta

ishlash jarayonlarining energiya samaradorligi va tayyor mahsulotlarning iste'mol xususiyatlarini birgalikda baholash ilmiy-amaliy jihatdan muhim hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

[1]. D'Amico S., Schoenlechner R. Amaranth: Its Unique Nutritional and Health-Promoting Attributes. In: Gluten-Free Ancient Grains. Woodhead Publishing, 2017. P. 131–159. DOI: 10.1016/B978-0-08-100866-9.00006-6.

[2]. Martínez-Villaluenga C., Peñas E., Hernández-Ledesma B. Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. Food and Chemical Toxicology. 2020. Vol. 137. Article 111178. DOI: 10.1016/j.fct.2020.111178.

[3]. Borges-Martínez J.E., Moguel-Concha D.R., Cid-Gallegos M.S., Gómez-Gómez A.L., Téllez-Medina D.I., Jiménez-Martínez C. Amaranth grain: nutritional composition, bioactive compounds, processing, and applications. In: Improving Health and Nutrition through Functional Foods. Woodhead Publishing, 2025. P. 67–81. DOI: 10.1016/B978-0-443-21874-3.00007-6.

[4]. Alvarez-Jubete L., Arendt E.K., Gallagher E. Nutritive value and chemical composition of pseudocereals as gluten-free ingredients. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 2009. Vol. 60, Suppl. 4. P. 240–257. DOI: 10.1080/09637480902950597.

[5]. Calderón de la Barca A.M., Rojas-Martínez M.E., Islas-Rubio A.R., Cabrera-Chávez F. Gluten-free breads and cookies of raw and popped amaranth flours with attractive technological and nutritional qualities. Plant Foods for Human Nutrition. 2010. Vol. 65, No. 3. P. 241–246. DOI: 10.1007/s11130-010-0187-z.

[6]. Bădău D., et al. Differences in Seed Weight, Amino Acid, Fatty Acid, Oil, and Squalene Content in γ-Irradiation-Developed and Commercial Amaranth Varieties (Amaranthus spp.). Plants. 2020. Vol. 9, No. 11, 1412. DOI: 10.3390/plants9111412.

[7]. He H.P., Corke H., Cai J.G. Extraction and purification of squalene from Amaranthus grain. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002. Vol. 50, No. 2. P. 368–372. DOI: 10.1021/jf010918p.

[8]. Gamel T.H., Linssen J.P., Mesallam A.S., Damir A.A., Shekib L.A. Characterization of amaranth seed oils. Journal of Food Lipids. 2007. DOI: 10.1111/j.1745-4522.2007.00089.x.

[9]. Malik M., et al. Nutritional Composition, Functionality, and Processing Technologies for Amaranth. Journal of Food Processing and Preservation. 2023. Article 1753029. DOI: 10.1155/2023/1753029.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

УДК 637.52

FERMENTLANGAN ERUCA SATIVA BIOAKTIV BIRIKMALARINING GO‘SHT TIZIMLARIDA NITROZATSIYANI BOSHQARISH IMKONIYATLARI: MEXANIZMLAR, YETKAZIB BERISH STRATEGIYALARI VA ILMIY BO‘SHLIQLAR

AXMEDOVA OSIYA KAMILOVNA
magistr
O‘zbekiston Respublikasi
tel.: +998 91 664-84-03
e-mail: ahmedovaosiyo2@gmail.com

ANNOTATSIYA *Maqolada fermentlangan Eruca sativa L. bioaktiv birikmalarining go‘sht tizimlaridagi nitrozatsiya jarayonlari bilan bog‘liqligi zamonaviy ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilindi. Rukkola tarkibidagi fenolik birikmalar, flavonoidlar va glyukozinolatlar, sut kislotali fermentatsiya ta’sirida bioaktiv profilning o‘zgarishi hamda faol fraksiyalarni mikrokapsulalash usullari ko‘rib chiqildi. Rukkolaning nitrat to‘plash xususiyati inobatga olinib, NO_3^-, NO_2^- va bioaktiv komponentlarni o‘zaro bog‘liq holda baholashga asoslangan nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasi taklif etildi. Adabiyotlar tahlili fermentlangan rukkola fraksiyalarining individual N-nitrozaminlarga bevosita ta’siri hamda erkin va mikrokapsulalangan shakllarining qiyosiy samaradorligi yetarlicha o‘rganilmaganini ko‘rsatdi. Aniqlangan ilmiy bo‘shliq keyingi eksperimental tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishlarini belgilash imkonini beradi.*

Kalit so‘zlar: *Eruca sativa, fermentatsiya, go‘sht mahsulotlari, N-nitrozaminlar, nitrozatsiya, bioaktiv birikmalar, mikrokapsulalash.*

АННОТАЦИЯ *В статье на основе современных научных публикаций проанализирована взаимосвязь биоактивных соединений ферментированной Eruca sativa L. с процессами нитрозирования в мясных системах. Рассмотрены фенольные соединения, флавоноиды и глюкозинолаты рукколы, изменение биоактивного профиля при молочнокислой ферментации и микрокапсулирование активных фракций. С учетом способности рукколы накапливать нитраты предложена концепция нитратно-нитритно-биоактивного профиля, предусматривающая совместную оценку NO_3^-, NO_2^- и биоактивных компонентов. Анализ литературы показал ограниченность данных о непосредственном влиянии ферментированных фракций E. sativa на отдельные N-нитрозамины и о сравнительной эффективности их свободной и микрокапсулированной форм. Выявленный научный пробел определяет направления последующих экспериментальных исследований.*

Ключевые слова: *Eruca sativa, ферментация, мясные продукты, N-нитрозамины, нитрозирование, биоактивные соединения, микрокапсулирование.*

ABSTRACT

The relationship between fermented Eruca sativa L. bioactive compounds and nitrosation processes in meat systems was analysed using recent scientific literature. Phenolic compounds, flavonoids and glucosinolates of rocket, fermentation-induced changes in its bioactive profile, and microencapsulation of active fractions were considered. Given the nitrate-accumulating characteristics of rocket, a nitrate–nitrite–bioactive profile concept is proposed for the integrated assessment of NO_3^-, NO_2^- and bioactive constituents. The literature analysis revealed limited direct evidence concerning the effects of fermented E. sativa fractions on individual N-nitrosamines and insufficient comparative data on their free and microencapsulated forms. These research gaps define specific directions for subsequent experimental investigation.

Keywords: *Eruca sativa, fermentation, meat products, N-nitrosamines, nitrosation, bioactive compounds, microencapsulation.*

KIRISH

Nitrit go‘sht mahsulotlari texnologiyasida bir nechta o‘zaro bog‘liq vazifalarni bajaradi. U mahsulot rangining shakllanishida ishtirok etadi, lipid oksidlanishini sekinlashtiradi va mikrobiologik barqarorlikni ta’minlashga yordam beradi [1,2]. Shu bilan birga, nitritdan hosil bo‘ladigan reaktiv azot shakllarining amin prekursorlari bilan reaksiyaga kirishishi ayrim N-nitrozaminlarning hosil bo‘lishiga olib kelishi mumkin [2–4].

Go‘sht tizimlarida nitrozatsiya darajasi faqat qo‘shilgan nitrit miqdori bilan belgilanmaydi. Muhitning pH qiymati, amin prekursorlari, qizdirish harorati, lipidlarning oksidlanish darajasi, mahsulot tarkibi va saqlash sharoiti ham jarayonga ta’sir ko‘rsatadi [2–4]. Shu sababli nitrit miqdorini optimallashtirish bilan bir qatorda nitrozatsiya jarayonlariga ta’sir qiluvchi tabiiy bioaktiv komponentlarni o‘rganish alohida ilmiy yo‘nalish sifatida shakllanmoqda [3,5].

Eruca sativa L. tarkibida fenolik birikmalar, flavonoidlar, glyukozinolatlar va ularning transformatsiya mahsulotlari mavjud. Ushbu komponentlarning antioksidant xususiyatlari rukkola asosidagi funksional ingrediyentlarni o‘rganishga asos yaratadi.

Sut kislotali fermentatsiya o‘simlik xomashyosining kimyoviy tarkibini o‘zgartirishi mumkin. Park va Kim [6] fermentlangan E. sativa ekstraktida fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlar va bioaktiv komponentlar profilidagi o‘zgarishlarni qayd etgan. Biroq bioaktiv profil yoki antioksidant faollikdagi o‘zgarishning o‘zi N-nitrozaminlar miqdori kamayganini ko‘rsatmaydi. Bunday bog‘liqlik go‘sht matritsasida individual N-nitrozaminlarni bevosita aniqlash orqali tasdiqlanishi lozim.

Bundan tashqari, rukkola nitrat to‘plash xususiyatiga ega. Shu sababli fermentlangan rukkola asosidagi ingrediyentni faqat antioksidant ko‘rsatkichlari bo‘yicha baholash yetarli emas. Fermentatsiyadan oldin va keyin NO_3^- va NO_2^- miqdoridagi o‘zgarishlar bioaktiv komponentlar dinamikasi bilan birgalikda tahlil qilinishi zarur.

Mazkur yondashuvdan kelib chiqib, maqolada fermentlangan E. sativa uchun nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasi shakllantirildi.

TADQIQOT MAQSADI

Fermentlangan Eruca sativa bioaktiv birikmalarining go‘sht tizimlaridagi nitrozatsiya jarayonlari bilan bog‘liqligini ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilish, fermentatsiya va mikrokapsulalashning texnologik o‘rnini aniqlash, nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasini asoslash hamda keyingi eksperimental tadqiqotlar uchun aniq ilmiy bo‘shliqlarni belgilash.

MATERIAL VA USULLAR

Maqola ilmiy adabiyotlarning qiyosiy-tahliliy sharhi asosida tayyorlandi. Tahlilga asosan 2021–2025-yillarda chop etilgan, go‘sht mahsulotlarida nitrit va nitratning texnologik funksiyalari, N-nitrozaminlarning shakllanishi va ularni kamaytirish strategiyalari, tabiiy bioaktiv birikmalar, Eruca sativa fermentatsiyasi hamda mikrokapsulalash texnologiyalariga bag‘ishlangan manbalar kiritildi [1–8].

Manbalar besh yo‘nalishda tahlil qilindi: nitrit–nitrat tizimi; N-nitrozaminlarning hosil bo‘lish omillari; tabiiy bioaktiv birikmalarning nitrozatsiyaga ta’siri; E. sativa fermentatsiyasi; bioaktiv komponentlarni mikrokapsulalash.

Eksperimental tadqiqotlarda olingan natijalar nazariy mexanizmlar va keyingi tadqiqotlar uchun ilgari surilgan takliflardan ajratib talqin qilindi. Shu sababli fermentlangan rukkola bioaktivlarining N-nitrozaminlarni kamaytirishi maqolada tasdiqlangan fakt sifatida emas, bevosita eksperimental tekshiruvni talab qiladigan ilmiy yo‘nalish sifatida baholandi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Go‘sht tizimlarida N-nitrozaminlarning shakllanishi

Nitrit go‘sht mahsulotining rang, oksidlanish barqarorligi va mikrobiologik holatiga ta’sir qiladi [1,2]. Biroq nitrit va amin prekursorlari o‘rtasidagi reaksiyalar muayyan sharoitlarda N-nitrozaminlarning shakllanishiga olib keladi [3,4].

Go‘sht mahsulotlari bo‘yicha tadqiqotlarda N-nitrozodimetilamin (NDMA), N-nitrozodietilamin (NDEA), N-nitrozopirrolidin (NPYR), N-nitrozopiperidin (NPIP) va N-nitrozodibutilamin (NDBA) kabi individual birikmalar o‘rganiladi. Ularning hosil bo‘lish darajasi

qoldiq nitrit, amin prekursorlari, pH, issiqlik bilan ishlov berish va oksidlanish jarayonlariga bog‘liq [2–4].

Shu sababli tabiiy ingrediyentning antinitrozatsion samaradorligini faqat umumiy antioksidant faollik yoki qoldiq nitrit miqdori bilan baholash to‘liq natija bermaydi. Individual N-nitrozaminlarning instrumental tahlili bioaktiv ingrediyentning nitrozatsiya jarayoniga real ta’sirini aniqlash uchun zarur.

Eruca sativa ning bioaktiv tarkibi

Eruca sativa fenolik birikmalar, flavonoidlar va glyukozinolatlarni saqlaydi. Ularning tarkibi va miqdori xomashyoning yetishtirish sharoiti, qayta ishlanishi va biologik transformatsiyasiga qarab farqlanadi.

Butun rukkola ekstraktida turli kimyoviy komponentlar birgalikda mavjud bo‘lgani sababli kuzatilgan funksional ta’sirni alohida birikmaga bog‘lash murakkab. Shu nuqtai nazardan fraksiyalash kimyoviy tarkibi nisbatan aniq bo‘lgan bioaktiv qismlarni ajratish va ularning funksional ta’sirini alohida baholash imkonini beradi.

Rukkolaning nitrat to‘plash xususiyati ham alohida nazoratni talab qiladi. Go‘sht matritsasiga rukkola asosidagi ingrediyent kiritilganda uning tarkibidagi nitrat ham tizimga kiradi. Shuning uchun bioaktiv komponentlarni tahlil qilish bilan bir vaqtda NO_3^- va NO_2^- miqdorini aniqlash metodologik jihatdan zarur.

Fermentatsiyaning Eruca sativa bioaktiv profiliga ta’siri

Sut kislotali fermentatsiya o‘simlik substratidagi ayrim fenolik va boshqa bioaktiv birikmalarning miqdori hamda nisbatini o‘zgartirishi mumkin. Park va Kim [6] LAB yordamida fermentlangan E. sativa ekstraktining fizik-kimyoviy va biologik xususiyatlarini tahlil qilib, fermentatsiyadan keyin bioaktiv profil bilan bog‘liq o‘zgarishlarni qayd etgan.

Mazkur natijalar fermentatsiya rukkola kimyoviy profilini modifikatsiya qilishini ko‘rsatadi. Biroq antioksidant ko‘rsatkichlarning o‘zgarishi N-nitrozaminlarning kamayganini bevosita isbotlamaydi. Bu ikki jarayon o‘rtasidagi bog‘liqlik faqat go‘sht matritsasida individual N-nitrozaminlar aniqlangandan keyin baholanishi mumkin.

Shu sababli fermentatsiya jarayonining samaradorligi faqat umumiy fenollar yoki antioksidant testlar bilan emas, NO_3^-, NO_2^-, maqsadli bioaktiv metabolitlar va keyinchalik individual N-nitrozaminlar bilan bog‘liq holda tahlil qilinishi lozim.

Nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasi

Fermentlangan Eruca sativa ni go‘sht tizimlarida qo‘llashda uchta ko‘rsatkichlar guruhini parallel tahlil qilish taklif etiladi:

NO_3^- → NO_2^- → bioaktiv komponentlar profili.

Bioaktiv profil umumiy fenolik birikmalar, flavonoidlar, maqsadli metabolitlar va antioksidant faollik ko‘rsatkichlarini qamrab oladi.

Keyingi bosqichda ushbu ko‘rsatkichlar go‘sht matritsasida aniqlangan individual N-nitrozaminlar bilan qiyoslanadi:

NO_3^- / NO_2^- / bioaktiv profil → NDMA / NDEA / NPYR / NPIP / NDBA.

Bunday tahlil fermentatsiyadan keyingi bioaktiv o‘zgarishlarni nitrat va nitrit dinamikasidan ajratmasdan baholash imkonini beradi. Masalan, antioksidant ko‘rsatkichlarning yaxshilanishi bilan bir vaqtda nitrat yoki nitrit miqdorining qanday o‘zgarishi ham aniqlanadi.

Shu tariqa, fermentlangan rukkola ingrediyentining qiymati bitta antioksidant test natijasiga emas, bir nechta kimyoviy ko‘rsatkichlarning o‘zaro bog‘liqligiga asoslanib baholanadi.

Nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasi mazkur maqolada olingan eksperimental natija emas. U mavjud adabiyotlarni tahlil qilish asosida keyingi eksperimental tadqiqotlar uchun shakllantirilgan metodologik taklifdir.

1-jadval. Fermentlangan Eruca sativa bioaktiv fraksiyalarini baholash uchun tavsiya etiladigan ko‘rsatkichlar

Fermentlangan rukkola fraksiyalarini baholashda kimyoviy, nitrit–nitrat va individual N-nitrozamin ko‘rsatkichlarini yagona tahlil tizimida birlashtirish maqsadga muvofiq. Tavsiya etiladigan ko‘rsatkichlar 1-jadvalda jamlangan.

Tadqiqot bosqichi	**Aniqlanadigan ko‘rsatkichlar**	**Baholash maqsadi**
Fermentatsiyadan oldin va keyin	NO_3^-, NO_2^-, pH	Azotli prekursorlar dinamikasini nazorat qilish
Bioaktiv profil	Umumiy fenollar, flavonoidlar, maqsadli metabolitlar, antioksidant faollik	Fermentatsiya ta’sirida bioaktiv tarkib o‘zgarishini tavsiflash
Fraksiyalash	Kimyoviy tarkib, NO_3^-, NO_2^- va bioaktiv ko‘rsatkichlar	Tarkibi nisbatan aniq fraksiyalarni tanlash
Model go‘sht tizimi	NDMA, NDEA, NPYR, NPIP, NDBA va qoldiq nitrit	Fraksiyaning nitrozatsiya jarayoniga bevosita ta’sirini baholash
Mikrokapsulalash	Kapsulalash samaradorligi, zarracha xususiyatlari, bioaktiv moddalarning saqlanishi	Bioaktiv fraksiyaning texnologik barqarorligini baholash
Qiyosiy go‘sht sinovi	N-nitrozaminlar, qoldiq nitrit, lipid oksidlanishi, pH, rang	Erkin va mikrokapsulalangan shakllarni teng sharoitda qiyoslash

Tabiiy bioaktiv birikmalarning nitrozatsiyaga ta’siri

Zhu, Lu va He [5] oziq-ovqatlardagi N-nitrozaminlarni nazorat qilishda tabiiy bioaktiv birikmalarning rolini tahlil qilib, antioksidant ta’sir, prekursorlar bilan o‘zaro munosabat va nitrozatsiya reaksiyalariga ta’sir bilan bog‘liq mexanizmlarni umumlashtirgan.

Qayta ishlangan go‘sht mahsulotlariga bag‘ishlangan tahlillarda ham tabiiy bioaktiv komponentlardan foydalanish N-nitrozaminlarning shakllanishini kamaytirishga qaratilgan strategiyalar qatorida ko‘rib chiqiladi [3].

Biroq boshqa o‘simlik bioaktivlari bo‘yicha olingan natijalarni fermentlangan E. sativa ga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘chirish mumkin emas. Rukkola fraksiyalarining ta’siri ularning kimyoviy tarkibi aniqlangandan keyin go‘sht matritsasida alohida tekshirilishi kerak.

Fermentlangan Eruca sativa bioaktiv fraksiyalarini ajratish

Fermentlangan rukkola tarkibidagi komponentlar eruvchanligi, molekulyar xususiyatlari va biologik faolligi bo‘yicha farqlanadi. Fraksiyalash orqali tarkibi nisbatan aniq bo‘lgan qismlarni ajratish butun ekstrakt bilan ishlashdagi noaniqlikni kamaytiradi.

Ajratilgan fraksiyalar umumiy fenollar, flavonoidlar, maqsadli metabolitlar, antioksidant faollik, NO_3^- va NO_2^- miqdori bo‘yicha tavsiflanishi kerak.

Faol fraksiyani faqat DPPH, ABTS yoki umumiy fenollar miqdori asosida tanlash yetarli emas. Fraksiyaning model go‘sht tizimidagi NDMA, NDEA, NPYR, NPIP va NDBA miqdoriga ta’siri ham aniqlanishi kerak. Bu bosqich kimyoviy faollik bilan real go‘sht matritsasidagi ta’sir o‘rtasidagi bog‘liqlikni ko‘rsatadi.

Bioaktiv fraksiyalarni mikrokapsulalash

O‘simlik bioaktiv komponentlari harorat, kislorod, yorug‘lik va pH ta’sirida barqarorligini yo‘qotishi mumkin. Mikrokapsulalash bioaktiv moddalarni tashqi omillardan himoyalash va ularning oziq-ovqat matritsasida ajralishini boshqarish uchun qo‘llanadi [7,8].

Fermentlangan rukkola fraksiyasi uchun tadqiqot ketma-ketligini quyidagicha shakllantirish mumkin:

nazoratli fermentatsiya → nitrat–nitrit–bioaktiv profil → fraksiyalash → kimyoviy tavsiflash → faol fraksiyani tanlash → mikrokapsulalash → go‘sht matritsasida qiyosiy sinov.

Mikrokapsulalash samaradorligini baholashda kapsulalash darajasi, zarracha xususiyatlari va bioaktiv komponentlarning saqlanishi bilan bir qatorda yakuniy go‘sht tizimidagi natijalar ham hisobga olinishi kerak.

Erkin va mikrokapsulalangan fraksiyalar bir xil faol komponent miqdorida qiyoslanganda kapsulalashning qo‘shimcha funksional hissasini aniqroq baholash mumkin.

Go‘sht matritsasida qiyosiy baholash

Fermentlangan rukkola fraksiyasining erkin va mikrokapsulalangan shakllarini go‘sht tizimida qiyoslashda individual N-nitrozaminlar, qoldiq nitrit, lipid oksidlanishi, pH, rang va bioaktiv komponentlarning saqlanishi asosiy analitik ko‘rsatkichlar sifatida qo‘llanishi mumkin.

Bunda nazorat namunasi, nitritli nazorat, erkin fraksiya qo‘shilgan guruh va mikrokapsulalangan fraksiya qo‘shilgan guruhlarning bir xil texnologik sharoitda qiyoslanishi natijalarni aniq talqin qilishga imkon beradi.

Mikrokapsulalangan shaklning ustunligi faqat kapsulaning fizik xususiyatlari bilan emas, go‘sht matritsasida erkin fraksiyaga nisbatan ko‘rsatgan natijasi bilan aniqlanishi kerak.

Ilmiy bo‘shliqlar va keyingi tadqiqot yo‘nalishi

Tahlil qilingan manbalarda nitrit va nitratning go‘sht mahsulotlaridagi funksiyalari [1,2], N-nitrozaminlarning shakllanishi va ularni kamaytirish strategiyalari [3–5], E. sativa fermentatsiyasi [6] hamda o‘simlik bioaktivlarini mikrokapsulalash [7,8] alohida ilmiy yo‘nalishlar sifatida yoritilgan.

Biroq fermentlangan rukkola uchun quyidagi uzluksiz eksperimental zanjir bo‘yicha ma’lumotlar cheklangan:

Eruca sativa → nazoratli fermentatsiya → nitrat–nitrit–bioaktiv profil → bioaktiv fraksiya → mikrokapsula → go‘sht matritsasi → individual N-nitrozaminlar.

Mazkur ilmiy bo‘shliqni tekshirish uchun dastlab fermentlanmagan va fermentlangan rukkola namunalari NO_3^-, NO_2^- va bioaktiv profil bo‘yicha qiyoslanishi lozim. Keyingi bosqichda kimyoviy tavsiflangan fraksiyalar ajratilib, ularning NDMA, NDEA, NPYR, NPIP va NDBA ga ta’siri model go‘sht tizimida aniqlanadi. So‘ng samarali fraksiyaning erkin va mikrokapsulalangan shakllari bir xil sharoitda qiyoslanadi.

Shu ketma-ketlik fermentatsiyaning kimyoviy ta’siri, faol fraksiyaning antinitrozatsion samarasi va mikrokapsulalashning qo‘shimcha hissasini bir-biridan ajratib baholash imkonini beradi.

AMALIY TAVSIYALAR

Go‘sht mahsuloti bosqichida individual N-nitrozaminlar bilan birga qoldiq nitrit, lipid oksidlanishi, pH va rang ko‘rsatkichlari nazorat qilinishi kerak.

Mikrokapsulalashning qo‘shimcha samarasini aniqlash uchun erkin va mikrokapsulalangan fraksiyalar bir xil faol komponent miqdori hamda bir xil texnologik sharoitda qiyoslanishi lozim.

Faol fraksiyani tanlash faqat DPPH, ABTS yoki umumiy fenollar natijasiga asoslanmasligi; model go‘sht tizimida NDMA, NDEA, NPYR, NPIP va NDBA miqdoriga ta’siri bilan tasdiqlanishi kerak.

Fermentlangan Eruca sativa xomashyosi va undan ajratilgan fraksiyalarni tavsiflashda NO_3^- va NO_2^- miqdori bioaktiv ko‘rsatkichlar bilan parallel aniqlanishi kerak.

XULOSA

Tahlil qilingan adabiyotlar go‘sht mahsulotlarida N-nitrozaminlarning shakllanishi nitrit miqdori bilan bir qatorda amin prekursorlari, pH, issiqlik bilan ishlov berish, oksidlanish jarayonlari va saqlash sharoitiga bog‘liqligini ko‘rsatadi.

Eruca sativa fenolik birikmalar, flavonoidlar va glyukozinolatlarni saqlaydi. Sut kislotali fermentatsiya uning bioaktiv profilini o‘zgartirishi mumkinligi bo‘yicha eksperimental ma’lumotlar mavjud [6]. Biroq

fermentlangan rukkola fraksiyalarining individual N-nitrozaminlarga bevosita ta’siri yetarlicha aniqlanmagan.

Rukkolaning nitrat to‘plash xususiyati uning go‘sht tizimidagi funksional ta’sirini faqat antioksidant ko‘rsatkichlar orqali baholashga imkon bermaydi. Shu sababli maqolada NO_3^-, NO_2^- va bioaktiv komponentlarni parallel tahlil qilishga asoslangan nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasi taklif etildi.

Keyingi eksperimental tadqiqotlarda fermentlangan E. sativa fraksiyalarining NDMA, NDEA, NPYR, NPIP va NDBA ga ta’sirini bevosita aniqlash hamda erkin va mikrokapsulalangan shakllarni teng sharoitda qiyoslash zarur.

Shunday qilib, nazoratli fermentatsiya → nitrat–nitrit–bioaktiv profil → fraksiyalash → mikrokapsulalash → individual N-nitrozaminlarni aniqlash ketma-ketligi fermentlangan E. sativa asosidagi funksional go‘sht mahsulotlarini ishlab chiqish bo‘yicha keyingi eksperimental tadqiqotlarning metodologik asosini tashkil etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Flores M., Toldrá F. Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products. Meat Science. 2021;171:108272. DOI: 10.1016/j.meatsci.2020.108272.

2. Zhang Y., Zhang Y., Jia J., Peng H., Qian Q., Pan Z., Liu D. Nitrite and nitrate in meat processing: Functions and alternatives. Current Research in Food Science. 2023;6:100470. DOI: 10.1016/j.crfs.2023.100470.

3. Xie Y., Geng Y., Yao J., Ji J., Chen F., Xiao J., Hu X., Ma L. N-nitrosamines in processed meats: Exposure, formation and mitigation strategies. Journal of Agriculture and Food Research. 2023;13:100645. DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100645.

4. Rot T., Kovačević D., Habschied K., Mastanjević K. N-Nitrosamines in Meat Products: Formation, Detection and Regulatory Challenges. Processes. 2025;13(5):1555. DOI: 10.3390/pr13051555.

5. Zhu J., Lu Y., He Q. From detection methods to risk prevention: Control of N-nitrosamines in foods and the role of natural bioactive compounds. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2024;23(5):e70000. DOI: 10.1111/1541-4337.70000.

6. Park M.H., Kim B. Physicochemical properties and physiological activities of Eruca sativa extract fermented by lactic acid bacteria. Food Science and Biotechnology. 2025;34(14):3351–3362. DOI: 10.1007/s10068-025-01941-9.

7. Smaoui S., Ben Hlima H., Ben Braïek O., Ennouri K., Mellouli L., Mousavi Khaneghah A. Recent advancements in encapsulation of bioactive compounds as a promising technique for meat preservation. Meat Science. 2021;181:108585. DOI: 10.1016/j.meatsci.2021.108585.

8. Zhang D., Ivane N.M.A., Haruna S.A., Zekrumah M., Elysé F.K.R., Tahir H.E., Wang G., Wang C., Zou X. Recent trends in the micro-encapsulation of plant-derived compounds and their specific application in meat as antioxidants and antimicrobials. Meat Science. 2022;191:108842. DOI: 10.1016/j.meatsci.2022.108842.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

ХОМАШЁ ГАЗИНИ УЗАТИШ ТИЗИМИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ, ҚЎШИМЧА ИССИҚЛИК АЛМАШТИРГИЧНИ ҚЎЛЛАШНИНГ ТЕХНОЛОГИК ВА ИҚТИСОДИЙ САМАРАДОРЛИГИНИНГ АСОСЛАРИ

Б.М.Утемуратов[1], А.И.Тоғаев[2], Б.Ж.Сапаров[3], Т.Б.Тўраев[3]
[1]Мустақил изланувчи, "Uz-Kor Gas Chemical" ОАЖ қўшма корхонаси,
[2]Қарши давлат техника университети.
[3]Тошкент кимё-технология институти. Ўзбекистон

Аннотация. *Мақолада табиий газни паст ҳарорат ва юқори босим шароитида узатиш жараёнида газ гидратларининг ҳосил бўлиши ва уларнинг технологик тизим ишончлилигига таъсири ўрганилган. Гидрат ҳосил бўлишининг олдини олиш мақсадида хомашё гази линиясига қобиқ-қувурли иссиқлик алмаштиргич ўрнатиш таклиф этилган. Паст босимли тўйинган буғ ёрдамида газ ҳароратини гидрат ҳосил бўлиш чегарасидан юқори даражада ушлаб туриш орқали қувурлар ва фильтрларда гидрат тиқинлари пайдо бўлиш хавфини камайтириш имконияти асосланган. Таклиф этилган технологик ечим газ узатиш тизимининг барқарорлиги ва эксплуатацион ишончлилигини ошириш ҳамда аварияви тўхташлардан келиб чиқадиган иқтисодий йўқотишларни камайтиришга хизмат қилади.*

Калит сўзлар: *табиий газ, гидратлар, сув томчиси, шудринг нуқтаси, суюқ фаза, газ зичлиги, қовушқоқлиги, иқтисодий самарадорлик, матриал балланс.*

B.M. Utemuratov[1], A.I.Togayev[2],B.J.Saparov2, T.B. Turaev[2]
[1]Independent researcher, joint venture OJSC "Uz-Kor Gas Chemical" Uzbekistan
[2] Karshi State Technical University
[3]Tashkent Institute of Chemical Technology Technology

Abstract. *The article investigates the formation of gas hydrates during natural gas transportation under low-temperature and high-pressure conditions and evaluates their impact on the reliability of the technological system. To prevent hydrate formation, the installation of a shell-and-tube heat exchanger in the raw gas pipeline is proposed. The study substantiates that maintaining the gas temperature above the hydrate formation threshold by means of low-pressure saturated steam can reduce the risk of hydrate plug formation in pipelines and filters. The proposed technological solution contributes to improving the stability and operational reliability of the gas transmission system, while also reducing economic losses associated with emergency shutdowns.*

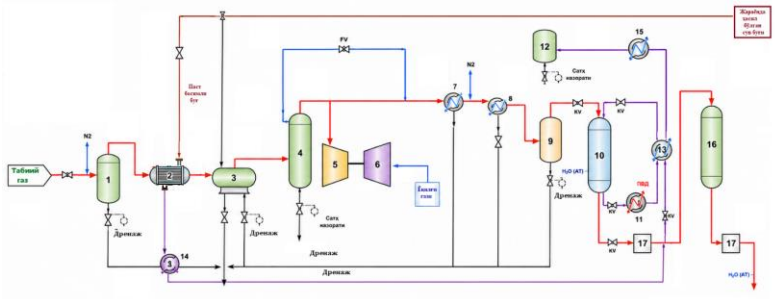
Keywords: *natural gas, gas hydrates, water droplets, dew point, liquid phase, gas density, viscosity, economic efficiency, material balance.*

Республикамизда қазиб олинадиган ва қайта ишланадиган табиий газ таркиби асосан метан, этан, пропан, бутанлар, карбонат ангидрид, азот, сув буғи ҳамда маълум миқдордаги газ конденсатидан ташкил топган. Табиий газни юқори босим ва паст ҳарорат шароитида транспортировка қилиш жараёнида унинг таркибидаги сув буғи углеводород компонентлари билан ўзаро таъсирлашиши натижасида кристалл тузилишга эга бўлган газ гидратлари ҳосил бўлади. Бундай гидратларнинг ҳосил бўлиши газни қабул қилиш, тайёрлаш ва узатиш технологик тизимларининг ишончли ҳамда барқарор ишлашига салбий таъсир кўрсатади. Хусусан, гидрат кристалларининг технологик қувурлар, фильтр-сепараторлар, сепараторлар, компрессор агрегатлари ва газни қуритиш қурилмаларида тўпланиши натижасида оқим кесими қисқаради, гидравлик қаршилик ортади ва технологик жиҳозларнинг иш унумдорлиги пасаяди. Айрим ҳолларда гидрат тиқинларининг шаклланиши газ оқимининг

қисман ёки тўлиқ тўсилишига олиб келиб, технологик жараённинг мажбурий тўхтатилиши хавфини юзага келтиради[1,2].

Табиий газда гидрат ҳосил бўлишининг олдини олишнинг самарали усулларидан бири газ оқими ҳароратини гидрат ҳосил бўлишининг мувозанат ҳароратидан юқори даражада сақлашдан иборат. Мазкур ёндашув газ таркиби, босим ва намлик миқдорини ҳисобга олган ҳолда гидратланиш учун зарур бўлган термобарик шароитларни бартараф этиш имконини беради.

Шу нуқтаи назардан, тадқиқотда Устюрт газ-кимё мажмуасида хомашё газини қабул қилиш ва узатиш тизимининг ишончлилигини ошириш ҳамда паст ҳарорат шароитида гидрат ҳосил бўлишининг олдини олиш мақсадида хомашё гази узатиш линиясига қобиқ-қувурли иссиқлик алмаштиргич (2) ўрнатиш таклиф этилди(4.2-расм). Мазкур иссиқлик алмаштиргич орқали газ оқимини белгиланган технологик ҳароратгача қиздириш ҳисобига гидрат ҳосил бўлиш эҳтимоли камайтирилади ва газни кейинги технологик босқичларга барқарор узатиш учун зарур бўлган ҳарорат режими таъминланади.



Таклиф этилаётган техник ечимнинг асосий афзаллиги шундан иборатки, газ оқимининг ҳароратини бошқариш орқали гидрат ҳосил бўлишининг термодинамик шароитлари чекланади, натижада технологик қувурлар ва жиҳозларда гидрат тиқинларининг шаклланишига йўл қўйилмайди. Бу эса газни қабул қилиш ва дастлабки тайёрлаш тизимининг эксплуатацион ишончлилигини ошириш, технологик узилишларни камайтириш ҳамда газ узатиш жараёнининг узлуксизлигини таъминлаш имконини беради[3].

Технологик схемага мувофиқ табиий газ дастлаб 1-рақамли дастлабки тозалаш сепараторига узатилади. Ушбу сепараторда эркин сув, газ конденсати ва механик аралашмалар газ оқимидан ажратилиб, дренаж тизими орқали чиқарилади. Дастлабки тозалаш кейинги қурилмаларнинг ишончли ва узлуксиз ишлашини таъминлайди.

Сепаратордан чиққан газ 2-рақамли қобиқ-қувурли иссиқлик алмаштиргичга йўналтирилади. Газ иссиқлик алмаштиргичнинг қувурлар қисми бўйлаб ҳаракатланади, қувурлараро бўшлиққа эса паст босимли тўйинган буғ узатилади. Буғ конденсацияси жараёнида ажралган яширин иссиқлик газга берилиб, унинг ҳарорати гидратлар ҳосил бўлиш ҳароратидан юқори даражагача кўтарилади. Шу билан бирга, ёзги мавсумда газни иссиқлик алмаштиргични четлаб ўтувчи байпас линияси орқали узатиш имконияти ҳам назарда тутилган.

Иситилган газ кейинги босқичда 3-рақамли горизонтал фильтр-сепараторга келади. Бу ерда газ оқимида мавжуд бўлиши мумкин бўлган конденсат томчилари ва қаттиқ механик заррачалар ажратилади. Фильтр-сепаратор компрессор қурилмасини эрозия ва намлик таъсиридан ҳимоя қилиш вазифасини бажаради[4,5].

Шундан сўнг газ 4-рақамли вертикал сепараторга узатилади. Ушбу аппарат компрессорга киришдан олдин газ таркибида қолган майда суюқлик томчилари ва механик аралашмаларни тўлиқ ажратиб, компрессорнинг ишончли ишлашини таъминлайди. Тозаланган газ 5-рақамли табиий газни узатиш компрессорига берилади. Компрессор 6-рақамли газ турбинаси ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Газнинг сиқилиши натижасида унинг босими ва ҳарорати ошади. Шу сабабли компрессордан чиққан газ кейинги босқичда совутилади.

Сиқилган газ аввало 7-рақамли юқори босимли табиий газ совутгичида белгиланган ҳароратгача совутилади. Совитиш жараёнида газ таркибидаги сув буғининг бир қисми конденсацияланади. Кейин газ 8-рақамли регенерация газининг иссиқлик алмаштиргичи орқали ўтиб, регенерация гази билан иссиқлик алмашинади. Бу жараён иссиқлик энергиясидан самарали фойдаланиш имконини беради ҳамда бутун қуритиш тизимининг энергия тежамкорлигини оширади.

Совитишдан кейин ҳосил бўлган намлик ва суюқликлар 9-рақамли намлик ушлагичда ажратилади. Бу аппарат газ таркибидаги конденсат томчилари ва эркин намликни ушлаб қолиб, кейинги қурилмаларни ҳимоя қилади.

Газ кейин 10-рақамли юқори босимли фильтр-коалесцерга узатилади. Бу ерда майда аэрозол томчилари, компрессор мойи, қаттиқ механик заррачалар ҳамда қолдиқ намлик коалесценция жараёни ҳисобига йириклаштирилиб ажратилади. Бу фильтр адсорберга фақат юқори даражада тозаланган газни узатишни таъминлайди.

Фильтр-коалесцердан чиққан газ 16-рақамли адсорбцион қуритиш аппаратига узатилади. Адсорберда молекуляр элак (цеолит) ёрдамида газ таркибидаги сув буғлари адсорбция қилиниб, газнинг намлиги технологик талаблар даражасигача — 5–7 мг/м³ гача камайтирилади. Бу кўрсаткич магистрал қувурларда гидратлар ҳосил бўлишининг олдини олиш учун етарли ҳисобланади.

Адсорбент тўйинганидан кейин унинг регенерацияси амалга оширилади. Бунинг учун қуритилган газнинг маълум қисми 11-рақамли регенерация гази иситгичида 220–280 °C ҳароратгача қиздирилиб, адсорбер орқали ўтказилади. Қиздирилган газ адсорбент ғовакларида тўпланган намликни десорбция қилиб чиқаради.

Намланган регенерация гази кейин 13-рақамли регенерация гази совутгичи ва 15-рақамли ҳаволи совутгич орқали босқичма-босқич совутилади. Совитиш натижасида ажралган конденсат 12-рақамли регенерация гази сепараторида йиғилади ва автоматик сатҳ назорати орқали тизимдан чиқарилади. Совутилган регенерация гази яна технологик циклга қайтарилади.

Қуритилган табиий газ адсорбердан чиққанидан кейин 17-рақамли симоб ушлагич орқали ўтказилади. Ушбу қурилмада газ таркибидаги симоб бирикмалари махсус адсорбент ёрдамида ушлаб қолинади. Бу алюминийли криоген иссиқлик алмаштиргичлар ва кейинги технологик қурилмаларни симоб коррозиясидан ҳимоя қилишда муҳим аҳамиятга эга.

Технологик жараёнда газ ҳарорати, босими, сарфи, регенерация газининг ҳарорати, сепараторлардаги суюқлик сатҳи ҳамда ростловчи клапанлар ҳолати автоматлаштирилган технологик жараёнларни бошқариш тизими (АСУТП/SCADA) орқали доимий назорат қилинади. Иссиқлик алмаштиргичга бериладиган паст босимли буғ сарфи чиқишдаги газ ҳароратига қараб автоматик ростланади. Бу ташқи муҳит ҳароратининг мавсумий ўзгаришларидан қатъи назар газ ҳароратини гидрат ҳосил бўлиш чегарасидан юқори даражада ушлаб туриш имконини беради[6].

Мазкур технологик ечимни жорий этиш натижасида қиш фаслида ташқи ҳаво ҳарорати **–23…–29,2 °C** гача пасайганда ҳам газ оқимининг ҳарорати гидрат ҳосил бўлиш чегарасидан юқори сақланади. Бу эса технологик қурилмаларнинг ишончли эксплуатация қилиниши, маҳсулот сифатининг барқарорлиги ва ишлаб чиқаришнинг узлуксизлигини таъминлайди.

Устюрт ГККда гидрат ҳосил бўлиши сабабли юзага келадиган технологик узилишлар ва иқтисодий зарарлар таҳлили: Табиий газ узатиш тизимида қўшимча исиқлик алмаштиргични қўлланилиши қишги мавсумда хомашё гази таркибидаги намлик ва паст ҳарорат таъсирида емкост демистеридан кейинги фильтрларда кристаллогидратлар ҳосил бўлиши кузатилади. Тизимда параллел равишда ишлайдиган ва захирада турадиган иккита фильтр ўрнатилган бўлишига қарамай, кириб келаётган газ ҳажмининг юқорилиги сабабли биринчи фильтрни регенерация қилиш жараёни якунланмасдан туриб, иккинчи (захира) фильтрнинг ҳам тиқилиб қолиш хавфи жуда юқори.

Фильтрни тўлиқ тозалаш ва қайта ишга тушириш цикли қуйидаги босқичлардан иборат:

1. Фильтр линиясини углеводородлардан тозалаш (паланеж/сдувка);
2. Механик ва гидрат блокларини тозалаш;
3. Фильтрни қайта монтаж қилиш ва азот ёрдамида инертизация қилиш (инерт муҳит ҳосил қилиш).

Ушбу технологик циклни бажариш учун ўртача $T = 5{,}5$ соат (5–6 соат) талаб этилади. Агар ушбу вақт оралиғида захира фильтр ҳам тиқилиб қолса, комплекс технологик регламентга мувофиқ авариявий ҳолатда тўлиқ тўхтатилади.

1-жадвал.

Устюрт ГККнинг 1 соатлик авариявий тўхташида йўқотилган маҳсулотлар ва иқтисодий зарар таркиби

№	Маҳсулот номи	1 соатлик йўқотиш ҳажми	Ўртача бозор нархи (USD)*	1 соатлик иқтисодий зарар (USD)
1	Полиэтилен	48 тонна	1 350 $/т	64 800
2	Полипропилен	11 тонна	1 200 $/т	13 200
3	Метан гази	70 000 м³	0,25 $/м³	17 500
4	Газ конденсати	8 тонна	650 $/т	5 200
5	Пиролиз мойи	670 кг (0,67 т)	450 $/т	300
6	Пиролиз дистилляти	5 тонна	550 $/т	2 750
7	КИПиА ва қўшимча йўқотишлар	—	—	8 450
Жами	**1 соатлик тўхташ зарари (C_{stop})**	—	—	**112 000 USD**

**Изоҳ: Нархлар жаҳон бозори ва ички биржа кўрсаткичлари асосида ҳисобланган.*

Қишги мавсумда бундай хавфли технологик вазият йилига ўртача $N = 4{,}5$ марта (4–5 марта) такрорланиши мумкин.

Комплекснинг 1 соатлик авариявий тўхташи натижасида ишлаб чиқарилмай қоладиган маҳсулотлар таркиби ва йўқотишлар ҳажми 1-жадвалда келтирилган.

Битта авариявий тўхташ жараёнида (5,5 соат) кўриладиган бевосита иқтисодий зарар (D_{single}):

$$D_{single} = T \times C_{stop} = 5{,}5 \text{ соат} \times 112000 \text{ USD} = 616000 \text{ USD}$$

Йил давомида кутиладиган эҳтимолий жами иқтисодий зарар (D_{annual}):

$$D_{annual} = N \times D_{single} = 4{,}5 \times 616000 \text{ USD} = 2772000 \text{ USD/йил}$$

Иссиқлик алмаштиргич (теплообменник) қурилмасини ўрнатиш бўйича капитал харажатлар: Таклиф этилаётган техник ечимга кўра, фильтрлар олдига янги иссиқлик алмаштиргич (теплообменник) қурилмасини ўрнатиш орқали газ ҳарорати кристаллогидрат ҳосил бўлиш нуқтасидан юқори даражада ушлаб турилади. Бунинг натижасида фильтрларда гидратланиш бутунлай бартараф этилади ва заводнинг узлуксиз ишлаши таъминланади.

Ушбу лойиҳани амалга ошириш учун талаб қилинадиган капитал харажатлар (CAPEX - Capital Expenditures) таркиби **2-жадвал**да келтирилган.

2-жадвал.

Иссиқлик алмаштиргич қурилмасини ўрнатиш бўйича капитал харажатлар (CAPEX)

№	Харажат моддаси ва тадбирлар	Сумма (USD)	Улуши (%)
1	Иссиқлик алмаштиргич хариди (полат/титан қопламали)	65 000	65%
2	Лойиҳа-конструкторлик ва экспертиза ҳужжатлари	8 000	8%
3	Етказиб бериш, логистика ва божхона тўловлари	10 000	10%
4	Қурилиш-монтаж ва қувурларни улаш ишлари	10 000	10%
5	КИПиА, автоматика ва хавфсизлик клапанлари	4 000	4%
6	Ишга тушириш ва созлаш (Пусконаладка) ишлари	3 000	3%
Жами	**Капитал маблағлар (K)**	**100 000**	**100%**

Лойиҳанинг йиллик иқтисодий самарадорлиги ва соф фойдаси қуйидаги бўлди: Иссиқлик алмаштиргич ўрнатилгандан сўнг уни эксплуатация қилиш учун йиллик операцион харажатлар (OPEX - Operational Expenditures) талаб этилади. Ушбу харажатлар амортизация, техник хизмат кўрсатиш ва иссиқлик ташувчи манба (иссиқ сув/буғ) харажатларини ўз ичига олади.

3-жадвал. Йиллик операцион харажатлар (OPEX) таркиби

№	**Операцион харажат моддаси**	**Ҳисоблаш методикаси**	**Сумма (USD/ йил)**
1	Амортизация ажратмалари (10 йил)	Капиталнинг 10% и	10 000
2	Жорий таъмирлаш ва техник хизмат	Капиталнинг 5% и	5 000
3	Иссиқлик манбаи ва энергия харажатлари	Технологик ҳисоб бўйича	12 000
4	Муҳандислик ва ходимлар меҳнати харажати	Ажратилган квота	3 000
Жами	**Йиллик операцион харажатлар (C_{opex})**	—	**30 000 USD/йил**

Соф иқтисодий самарадорликни ҳисоблаш: Йиллик соф иқтисодий самара (ΔE) кутилаётган зарарларнинг олдини олиш ва операцион харажатлар ўртасидаги фарқ сифатида аниқланади:

$$\Delta E = D_{annual} - C_{opex}$$

- Агар минимал сценарий кўриб чиқилса (йилига атиги **1 маротаба 5,5 соатлик** тўхташнинг олди олинса):

$$D_{min} = 616000 \text{ USD}$$

$$\Delta E_{min} = 616000 - 30000 = 586000 \text{ USD/йил}$$

- Агар одатий (ўртача) сценарий кўриб чиқилса (йилига **4,5 марта** тўхташнинг олди олинса):

$$\Delta E_{avg} = 2772000 - 30000 = 2742000 \text{ USD/йил}$$

Инвестицион жозибадорлик ва қопланиш муддатини баҳолаш (NPV, IRR, DPP): Лойиҳанинг дисконтланган кўрсаткичларини ҳисоблаш учун дисконт ставкаси $r = 10\%$ $(0{,}10)$ ва лойиҳанинг ҳаёт цикли $T_{life} = 5$ йил деб қабул қилинади.

1. Оддий қопланиш муддати (Simple Payback Period - PP)

$$PP = \frac{K}{\Delta E_{min}} = \frac{100000}{586000} \approx 0{,}17 \text{ йил} \quad (\approx 2 \text{ ой})$$

Хулоса: Лойиҳага киритилган 100 000 USD капитал маблағ биринчи авариявий ҳолатнинг олди олинган вақтнинг ўзидаёқ (атиги 2 ой ичида) тўлиқ қопланади.

2. Соф жорий қиймат (Net Present Value - NPV)

5 йиллик давр учун минимал сценарий бўйича NPV ҳисоби:

$$NPV = \sum_{t=1}^{5} \frac{\Delta E}{(1+r)^t} - K$$

$$NPV = \frac{586000}{1{,}1} + \frac{586000}{1{,}21} + \frac{586000}{1{,}331} + \frac{586000}{1{,}464} + \frac{586000}{1{,}610} - 100000$$

$$NPV = 532727 + 484297 + 440270 + 400273 + 363975 - 100000 = 2121542 \text{ USD}$$

$NPV > 0$ ва у $2{,}12$ млн USD ни ташкил этганлиги лойиҳанинг юқори даражадаги иқтисодий самарадорлигини кўрсатади.

3. Рентабеллик индекси (Profitability Index - PI)

$$PI = \frac{NPV + K}{K} = \frac{2121542 + 100000}{100000} = 22{,}2$$

Инвестиция қилинган ҳар 1 доллар капитал 5 йил ичида 22,2 доллар соф даромад келтиради.

ХУЛОСА: Тадқиқот натижаларидан келиб чиқиб, газ конларида хомашё газини узатиш тизимининг ишончли ва узлуксиз ишлашини таъминлашда гидрат ҳосил бўлишининг олдини олиш муҳим технологик вазифа эканлиги асосланди. Паст ҳарорат ва юқори босим шароитида гидратлар ҳосил бўлиб, фильтр-сепараторлар ва технологик қувурларда тиқилишлар ҳамда авариявий тўхташларга сабаб бўлиши мумкин анқланди.

Гидрат ҳосил бўлиш хавфини камайтириш мақсадида хомашё гази линиясига қобиқ-қувурли иссиқлик алмаштиргич ўрнатиш таклиф этилди. Паст босимли тўйинган буғдан фойдаланиш орқали газ ҳароратини гидрат ҳосил бўлиш чегарасидан юқори даражада сақлаш, байпас линияси ёрдамида эса қурилмани мавсумий шароитларга мос равишда самарали бошқариш имконияти асосланди.

Таклиф этилган технологик ечимнинг техник-иқтисодий самарадорлиги асосланди. Қўшимча иссиқлик алмаштиргични жорий этиш учун капитал харажатлар 100 000 АҚШ доллари, йиллик эксплуатация харажатлари 30 000 АҚШ долларини ташкил этиши аниқланди. 5 йиллик ҳисоблаш даврида соф жорий қиймат (NPV) 2,12 млн АҚШ доллари, йиллик иқтисодий самарадорлик эса 424 минг АҚШ долларига тенг эканлиги ҳисобланди.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. А.А.Узақов, Т.Б. Тўраев Табиий тазни тозалаш жараёнига турли и омиллар таъсирининг тадқиқот натижалари // Cafet Central Asian Food Engineering And Technology June 2025 y 59-67 betlar. https://cafet.uz/article/id/11

2. A.A.Uzoqov, T.B.To‘rayev, B.M.Utemuratov Tabiiy gazni tozalash jarayonida ishlatilayotgan gorizontal gaz separatorlarni samaradorligini oshirish // Toshkent- kimyo texnologiya instituti “muhandislik texnologiyalarida yechimlarni topishda tizimli fikrlash” xalqaro ilmiy-texnikaviy anjumani 2025y 16-17 oktyabr betlar.58-59 betlar. https://doi.org/10.5281/zenodo.

3. Шостак Н.А. Моделирование образования и диссоциации гидратов при разработке и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений: дис. … канд. техн. наук. – Краснодар, 2014. – 118 с.

4. Н.Т.Қодиров, А.А.Узоқов, А.Б.М.Утемуратов Т.Б.Тўраев// Табиий газни сепараторда тозалаш жараёнининг гидродинамик кўрсатгичларини оптималлаштириш. Development of science Ilmiy jurnal 2026/3 volume 4 ISSN 3030 -3907. https://devos.uz/article.php?id=4208

5. Семенов М.Е. Особенности образования гидратов природного газа в непроточных камерах и разработка концептуальной технологической схемы реактора. // Диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ. Якутск – 2018. 126 с.

6. Запорожец Е.П., Шостак Н.А. Адсорбционно энергетическая модель кинетики образования и диссоциации газовых гидратов // Теоретические основы химической технологии. – 2015. – Т. 49, № 3. – С. 322–328.

MOLECULAR DOCKING OF PHENYLGLYOXYLIC ACID THIOSEMICARBAZONE AND ITS NICKEL(II) BIS-CHELATE AGAINST BACTERIAL PROTEIN TARGETS

Akhatov Javokhirkhon
Termez State University, doctoral student
ORCID: 0000-0003-0006-738X
E-mail: javohirxonahatov2@gmail.com
Tel.: +998937921898
Turaev Khayit
Termez State University, professor
ORCID: 0000-0002-0627-5449
E-mail: hhturaev@rambler.ru
Ashurov Jamshid
Institute of Bioorganic Chemistry named after Academician Obid Sodikov, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, professor
ORCID: 0000-0002-4441-2803
E-mail: ashurovjamshid1@gmail.com

Abstract: *The spread of antibiotic-resistant bacteria, including the foodborne pathogens* Staphylococcus aureus *and* Escherichia coli, *calls for new candidate compounds and for inexpensive ways of ranking them before synthesis and testing. In this work phenylglyoxylic acid thiosemicarbazone (H_2PGTS) and its octahedral nickel(II) bis-chelate $[Ni(HPGTS)_2]$ were docked against seven bacterial protein targets with AutoDock Vina 1.2.5 (exhaustiveness 32, seeds 11, 22 and 33). The free ligand was docked flexibly as the neutral Z isomer and as the carboxylate anion expected at pH 7.4, and the complex as a rigid body in its X-ray geometry. Redocking of the co-crystallised ligands reproduced the native pose within 2.0 Å on all six dockable targets. The complex received more negative scores than both free-ligand forms on all six, with the largest separation at* S. aureus *gyrase B (−3.23 kcal mol⁻¹ relative to the anion). Typing the metal as Zn, Mg or Fe gave identical scores, so the nickel centre is not reached by the receptor, whereas the Vinardo function reproduced the Vina ranking on only one target. The values are predictions of an empirical function, not measured affinities.*

Keywords*: nickel(II) complex, thiosemicarbazone, molecular docking, AutoDock Vina, DNA gyrase B, FtsZ, redocking validation, foodborne pathogens*

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ДОКИНГ ТИОСЕМИКАРБАЗОНА ФЕНИЛГЛИОКСИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ЕГО БИС-ХЕЛАТА НИКЕЛЯ(II) С БАКТЕРИАЛЬНЫМИ БЕЛКОВЫМИ МИШЕНЯМИ

Аннотация*: Распространение устойчивых к антибиотикам бактерий, в том числе пищевых патогенов* Staphylococcus aureus *и* Escherichia coli, *требует поиска новых соединений и недорогих способов их отбора до синтеза и испытаний. В работе тиосемикарбазон фенилглиоксиловой кислоты (H_2PGTS) и его октаэдрический бис-хелат никеля(II) $[Ni(HPGTS)_2]$ исследованы методом молекулярного докинга в отношении семи бактериальных белковых мишеней (AutoDock Vina 1.2.5, exhaustiveness 32, сиды 11, 22 и 33). Свободный лиганд докировали гибко в виде нейтрального* Z*-изомера и карбоксилат-аниона, преобладающего при pH 7,4, комплекс – как жёсткое тело в рентгеноструктурной геометрии. Повторный докинг собственных лигандов воспроизвёл кристаллографическую позу в пределах 2,0 Å для всех шести мишеней, пригодных для докинга. Для комплекса*

получены более отрицательные оценки, чем для обеих форм лиганда, на всех шести мишенях; наибольшее различие наблюдается для гиразы B S. aureus *(−3,23 ккал/моль относительно аниона). Задание атома металла как Zn, Mg или Fe не изменило оценки, следовательно, никелевый центр недоступен для атомов рецептора, а функция Vinardo воспроизвела ранжирование Vina лишь для одной мишени. Полученные значения являются прогнозом эмпирической функции, а не измеренной аффинностью.*

Ключевые слова: *комплекс никеля(II), тиосемикарбазон, молекулярный докинг, AutoDock Vina, ДНК-гираза B, FtsZ, валидация повторным докингом, пищевые патогены*

FENILGLIOKSIL KISLOTA TIOSEMIKARBAZONI VA UNING NIKEL(II) BIS-XELATINING BAKTERIAL OQSIL NISHONLARIGA MOLEKULYAR DOKINGI

Annotatsiya: *Antibiotiklarga chidamli bakteriyalar, jumladan oziq-ovqat orqali yuqadigan* Staphylococcus aureus *va* Escherichia coli *keng tarqalgani sababli yangi nomzod moddalarni izlash va ularni sintez hamda sinovdan oldin arzon usulda saralash zarur. Ishda fenilglioksil kislota tiosemikarbazoni (H_2PGTS) va uning oktaedrik nikel(II) bis-xelati [Ni(HPGTS)$_2$] yettita bakterial oqsil nishoniga nisbatan AutoDock Vina 1.2.5 dasturida (exhaustiveness 32; 11, 22 va 33 urug'lar) molekulyar doking qilindi. Erkin ligand neytral Z-izomer va pH 7,4 da ustun bo'ladigan karboksilat anion shaklida egiluvchan, kompleks esa rentgen tuzilish geometriyasida qattiq jism sifatida olindi. Nishonlarning o'z ligandlari qayta doking qilinganda doking qilingan oltita nishonning barchasida kristallografik holat 2,0 Å chegarasida takrorlandi. Kompleks oltita nishonning hammasida ligandning ikkala shaklidan manfiyroq ball oldi; eng katta farq* S. aureus *giraza B da kuzatildi (anionga nisbatan −3,23 kkal/mol). Metall atom turi Zn, Mg yoki Fe deb berilganda ballar o'zgarmadi, demak nikel markaziga retseptor atomlari yeta olmaydi. Vinardo funksiyasi esa Vina tartibini faqat bitta nishonda takrorladi. Olingan qiymatlar o'lchangan bog'lanish energiyasi emas, balki empirik funksiya prognozidir.*

Kalit so'zlar: *nikel(II) kompleksi, tiosemikarbazon, molekulyar doking, AutoDock Vina, DNK giraza B, FtsZ, qayta doking validatsiyasi, oziq-ovqat patogenlari*

INTRODUCTION

Bacterial resistance to antibiotics is now among the leading causes of death worldwide. For 2019 alone, 1.27 million deaths were estimated to be directly attributable to resistant infections, and *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* headed the list of responsible pathogens [1]. Both organisms also reach people through food. *S. aureus* is found most often in ready-to-eat foods, meat and dairy products [2], and antibiotic and multidrug resistance has been confirmed for *E. coli* and the other major foodborne bacteria [3]. In Uzbekistan the creation of new medicinal substances is a state priority, set out in the Decree of the President No. PF-6097 of 29 October 2020 approving the Concept for the development of science until 2030 [4] and in Decree No. PF-55 of 21 January 2022 on the accelerated development of the pharmaceutical industry in 2022–2026 [5]. Computational screening serves these aims directly, because it shortens the list of compounds that have to be synthesised and tested.

Thiosemicarbazones combine a hard imine nitrogen with a soft sulfur donor. When the carbonyl precursor carries a further donor group they bind metals as tridentate chelates, and they can switch between thione and thiolate forms and between *E* and *Z* configurations about the C=N bond [6]. Their 3d-metal complexes are widely screened as antimicrobial agents [7,8]. The complex is often more active than the free ligand [9], and in some series only the complexes are active [10]; coordination thus changes the biological profile of the ligand rather than simply amplifying it.

Phenylglyoxylic acid thiosemicarbazone (H_2PGTS) belongs to the α-keto acid subclass, in which the carboxylic group completes an O,N,S donor set. The free ligand crystallises as a monohydrate with the *Z* configuration about the C7=N1 bond [11]. In the nickel(II) bis-chelate [Ni(HPGTS)₂] two singly deprotonated ligands bind the metal through the carboxylate oxygen, the imine nitrogen and the thione sulfur ($NiN_2O_2S_2$ sphere), and each ligand has isomerised to *E* to present all three donors to the metal. Shape, rigidity and charge distribution change together on coordination, so the free ligand and the complex have to be treated as two different candidate molecules.

The targets examined here are established antibacterial proteins: the ATPase domain of DNA gyrase subunit B [12]; the cell-division protein FtsZ, whose inhibitor PC190723 cured lethal *S. aureus* infection in mice [13]; staphylococcal tyrosyl-tRNA synthetase; and the quorum-sensing regulator LasR of *Pseudomonas aeruginosa*. Docking a metal complex against such targets carries a specific risk. Empirical scoring functions rank binding affinities poorly in general [14], AutoDock Vina contains no terms for metal coordination, and docking of metal complexes is regarded as reliable mainly for inert compounds whose first coordination sphere does not change on binding [15]. To our knowledge, H_2PGTS and [Ni(HPGTS)₂] have not been compared at common protein targets. The aim of this work was to make that comparison under one docking protocol fixed in advance, and to test directly whether the nickel centre is accessible to the receptor and whether the ranking survives a change of scoring function.

RESEARCH OBJECTS AND METHODS

The objects of the study were H_2PGTS, its carboxylate anion $HPGTS^-$, the complex [Ni(HPGTS)₂] and seven bacterial protein structures taken from the Protein Data Bank [16] (Table 1).

Docking protocol. Docking was performed with AutoDock Vina 1.2.5 [17,18] from the command line. For each receptor the first model was used; alternative conformations, water molecules, crystallisation additives and the co-crystallised ligand were removed, while metal ions and cofactors within 6 Å of that ligand were retained. Hydrogen atoms were added at pH 7.4 with PDBFixer/OpenMM [19] and missing side chains were completed. Unmodelled loops were not rebuilt; the residues missing near each site were recorded instead. The search box was centred on the centroid of the co-crystallised ligand with an 8 Å margin on each axis and clamped to 20–30 Å per edge. Exhaustiveness was 32, with nine output modes, an energy range of 3 kcal mol^{-1} and three seeds (11, 22, 33). All of these parameters were fixed before any score was computed and were not changed afterwards.

Ligand models. H_2PGTS was docked flexibly in two forms: the neutral *Z* isomer from the free-ligand crystal structure and the anion $HPGTS^-$. Both prepared conformers keep the crystallographic *Z* geometry (N2–N1–C7–C8 torsion +5.09° in the crystal, −4.74° and −3.02° in the neutral and anionic models), while the same torsion in the complex is −176.6° and −175.6° for the two ligand arms, consistent with *Z*→*E* isomerisation on coordination. Ligands were prepared with Open Babel [20], RDKit [21] and Meeko [22]. [Ni(HPGTS)₂] ($C_{18}H_{16}N_6NiO_4S_2$; 47 atoms, 31 of them heavy, 6 polar hydrogens) was docked as a rigid body (TORSDOF 0) in its unmodified X-ray geometry after removal of the lattice water. The coordination sphere of the prepared model matched the refined structure: Ni–S 2.4257 and 2.4024 Å, Ni–O 2.1160 and 2.0468 Å, Ni–N 2.0209 and 2.0281 Å.

Vina has no nickel atom type, so the metal was typed as zinc. This substitution is defensible only if no receptor atom can approach the metal. It was therefore tested: the identical rigid-body search was repeated with the metal typed as magnesium and as iron. Were the metal in contact with the receptor, three atom types with different radii could not give the same score.

Validation. The co-crystallised ligand of each entry was redocked under identical settings; the acceptance criterion, set in advance, was a mean heavy-atom RMSD ≤ 2.0 Å over the three

seeds. Native ligands were rebuilt with RDKit from their chemical-component definitions, so that bond orders and protonation were taken from the reference rather than perceived from geometry. Symmetry-corrected RMSD values were obtained with spyrmsd [23]. The lowest RMSD among the nine output poses and the rank of that pose were also recorded, which distinguishes a sampling failure from a ranking failure.

Interactions and rescoring. Protein–ligand contacts of the best-scoring pose of each ligand–target pair were profiled with PLIP [24]. PLIP reports the Ni–donor bonds of the chelate as an interaction of the ligand with itself; these records were excluded, so every contact counted below is a protein contact. As an independent check the same Vina poses were rescored, without a new search, with the Vinardo function [25] implemented in smina. Vina and Vinardo values are reported side by side and were never averaged.

Reproducibility. The --cpu option was left at its default, so the multithreaded search is not bit-for-bit reproducible. A complete repeat of five targets (55 runs) on the same machine reproduced every seed-matched score within 0.053 kcal mol^{-1} (mean absolute deviation 0.005 kcal mol^{-1}) and every PLIP contact set except one borderline hydrogen bond to Lys84 in 1JIL. No value at the 0.1 kcal mol^{-1} precision of the tables is affected. Software: AutoDock Vina 1.2.5, smina 2020.12.10, RDKit 2023.09.6, Open Babel 3.2.1, Meeko 0.8.0, gemmi 0.7.5, PDBFixer 1.12.0, OpenMM 8.6.1, PLIP 3.0.1, spyrmsd 0.9.0, NumPy 1.26.4, pandas 3.0.6, SciPy 1.17.1, Biopython 1.88, Matplotlib 3.11.2; binding-site images were rendered with PyMOL 3.2.0a.

RESULTS AND DISCUSSION

Target panel and validation. Six of the seven entries were docked (Table 1). 2VXY is apo *B. subtilis* FtsZ and has no ligand from which to define a box, so it is kept in Table 1 without scores; *B. subtilis* FtsZ is still represented by 2RHL. For 4DXD the automatic rule first selected the GDP cofactor, and the box was re-centred on the inhibitor PC190723 (9PC) before docking. Resolutions of the docked entries are 1.8–2.59 Å, all better than the 3.0 Å limit set in advance.

Table 1. AutoDock Vina scores (kcal mol^{-1}, mean ± SD over seeds 11, 22 and 33) of the native ligand of each entry, H_2PGTS, $HPGTS^-$ and $[Ni(HPGTS)_2]$

Target, organism	PDB ID	Res., Å	Native ligand	Native	H_2PGTS	$HPGTS^-$	$[Ni(HPGTS)_2]$	Δ
GyrB, *E. coli* O157:H7	6F86	1.9	CWW	−8.0 ± 0.0	−6.5 ± 0.0	−6.1 ± 0.0	−8.1 ± 0.0	−2.06
TyrRS, *S. aureus*	1JIL	2.2	485	−9.5 ± 0.0	−7.2 ± 0.0	−7.1 ± 0.0	−9.8 ± 0.0	−2.76
FtsZ, *S. aureus*	4DXD	2.01	9PC	−10.1 ± 0.1	−7.5 ± 0.0	−7.7 ± 0.0	−8.8 ± 0.0	−1.14
GyrB, *S. aureus*	4URO	2.59	NOV	−9.7 ± 0.0	−6.3 ± 0.0	−6.0 ± 0.0	−9.2 ± 0.0	−3.23
LasR, *P. aeruginosa*	2UV0	1.8	OHN	−8.5 ± 0.0	−7.7 ± 0.0	−8.0 ± 0.0	−8.3 ± 0.0	−0.29
FtsZ, *B. subtilis*	2VXY	1.7	–	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	–
FtsZ, *B. subtilis*	2RHL	2.45	GDP	−9.1 ± 0.0	−6.0 ± 0.0	−6.9 ± 0.0	−9.6 ± 0.0	−2.72

Δ is the score of [Ni(HPGTS)$_2$] minus that of HPGTS$^-$ (kcal mol^{-1}). n.d., not docked: 2VXY is an apo structure without a ligand to define the search box. Native ligands (RCSB codes): CWW, 4-(4-bromanylpyrazol-1-yl)-6-(ethylcarbamoylamino)-*N*-pyridin-3-yl-pyridine-3-carboxamide; 485, [2-amino-3-(4-hydroxyphenyl)propionylamino]-(3,4,5-trihydroxy-6-methyltetrahydropyran-2-yl)acetic acid; 9PC, PC190723; NOV, novobiocin; OHN, *N*-3-oxododecanoyl-L-homoserine lactone; GDP, guanosine 5′-diphosphate. Scores are predictions of an empirical function, not measured affinities.

Redocking reproduced the crystallographic pose within 2.0 Å on all six targets, with symmetry-corrected RMSD values from 0.42 Å (2RHL) to 1.85 Å (6F86) (Table 2). The near-native pose was ranked first on four targets and second on 6F86 and 1JIL, so none of them shows a ranking failure that would undermine a top-pose score. 6F86 passes by only 0.15 Å and should be regarded as borderline; every other entry clears the threshold by at least 0.74 Å.

Docking scores. The complex scored between −8.13 and −9.83 kcal mol^{-1}, HPGTS$^-$ between −6.00 and −8.01 kcal mol^{-1} and neutral H$_2$PGTS between −6.03 and −7.73 kcal mol^{-1} (Table 1, Fig. 1). For the three studied forms the standard deviation over seeds never exceeded 0.03 kcal mol^{-1}. On every target the complex received a more negative score than both free-ligand forms. The complex−HPGTS$^-$ difference averaged −2.03 kcal mol^{-1} and was largest at *S. aureus* gyrase B (4URO, −3.23 kcal mol^{-1}), followed by tyrosyl-tRNA synthetase (1JIL, −2.76 kcal mol^{-1}) and *B. subtilis* FtsZ (2RHL, −2.72 kcal mol^{-1}). At LasR (2UV0, −0.29 kcal mol^{-1}) the three forms cannot be told apart at the resolution of the method. Deprotonation changed the free-ligand score by at most 0.84 kcal mol^{-1}, so the protonation state, the least certain part of the ligand model, does not decide the outcome.

Table 2. Redocking validation of the receptors (means over three seeds)

PDB ID	Native-ligand score, kcal mol^{-1}	RMSD, plain (Å)	RMSD, symmetry-corrected (Å)	Best of 9 poses (Å)	Rank of best pose
6F86	−8.02	1.85	1.85	1.68	2
1JIL	−9.47	1.36	1.23	0.35	2
4DXD	−10.05	1.05	1.05	1.05	1
4URO	−9.71	0.69	0.58	0.58	1
2UV0	−8.54	1.21	1.21	1.21	1
2RHL	−9.12	0.89	0.42	0.42	1

The symmetry-corrected RMSD (spyrmsd) governs the verdict at the 2.0 Å threshold; all six entries passed. “Best of 9 poses” is the lowest symmetry-corrected RMSD among the nine output poses, with the rank at which it occurs.

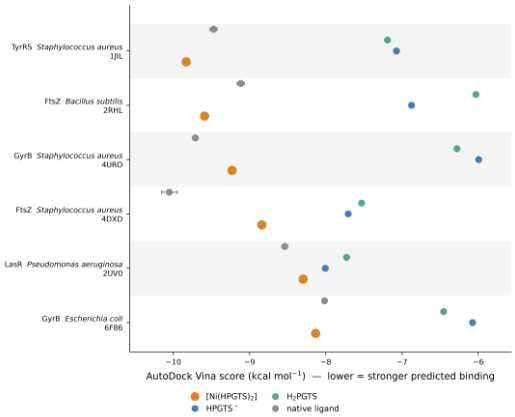


Figure 1. AutoDock Vina scores of [Ni(HPGTS)$_2$], HPGTS$^-$, H$_2$PGTS and the native ligand of each receptor. Points are means over three seeds; error bars (standard deviation) are smaller than the symbols for most combinations.

Part of the advantage of the complex is simply size. It has 31 heavy atoms against 15 in $HPGTS^-$, and the Vina function, dominated by steric and hydrophobic terms, is known to favour heavier molecules [26]. The complex-versus-ligand ranking should therefore not be read as selectivity; the more meaningful comparison is between targets for the same compound.

Binding modes. The two largest differences, at 4URO and 1JIL, were analysed in detail. In the gyrase B ATPase site (Figs. 2 and 3) the complex forms hydrogen bonds to Gly125 and Ser128, a salt bridge to Arg84, hydrophobic contacts with Glu58 and Ile86 and a π-stacking contact with Phe204 of the second chain, whereas $HPGTS^-$ reaches only Asn54 and Gly125. Asn54, Glu58, Arg84, Ile86 and Ser128 lie within 4 Å of novobiocin in the crystal structure; Gly125 and Phe204 do not. Gly125 also flanks a 19-residue unmodelled gap (Val105–Gly125) inside the search box, so the hydrogen bond assigned to it rests on an incomplete part of the model. Through Phe204 of chain D the complex bridges both subunits of the dimer, which the smaller free ligand does not do.

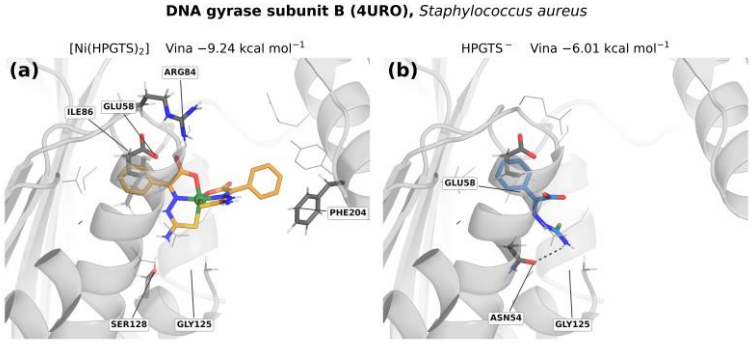


Figure 2. Best-scoring poses of $[Ni(HPGTS)_2]$ (a) and $HPGTS^-$ (b) in DNA gyrase subunit B of *S. aureus* (4URO), shown from the same viewpoint. Ligand carbons are amber (complex) or blue ($HPGTS^-$); nickel is the green sphere, and the six Ni–donor bonds are drawn explicitly. Contact residues found by PLIP are labelled.

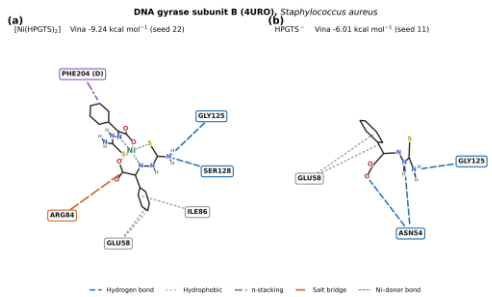


Figure 3. Two-dimensional interaction diagrams for the poses of Figure 2 (4URO), drawn from the docked geometry. Each contact corresponds to one PLIP record; the Ni–donor bonds (grey dashes) are intramolecular and are not counted as protein contacts.

In tyrosyl-tRNA synthetase (Fig. 4) the complex forms hydrogen bonds to Ser82, Asp195, Lys231 and Lys234 and salt bridges to His50 and Asp195, while $HPGTS^-$ occupies a shallower sub-site through Asp40, Asp80 and Tyr170. At both sites the rigid, larger and more polar chelate covers more of the pocket. Summed over the six targets, the complex makes 47 protein contacts and $HPGTS^-$ 44, a much smaller gap than the scores suggest. Hydrogen bonds are almost equal in number (18 and 19); the real difference is in salt bridges, six for the complex and none for the anion, as expected for a rigid scaffold carrying two carboxylate groups. The contact profile thus favours a shape-and-charge explanation of the score difference over specific recognition.

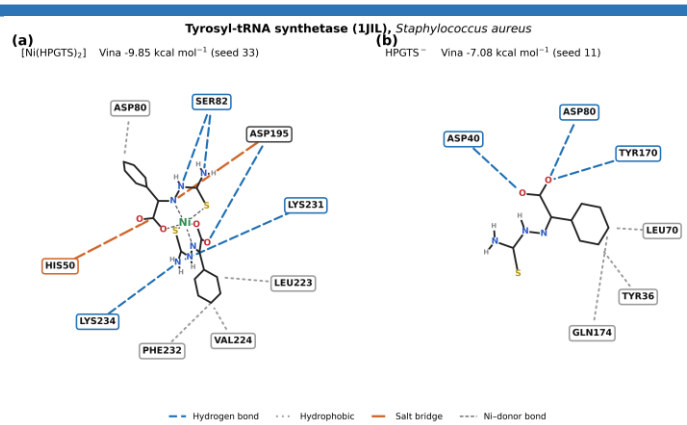


Figure 4. Two-dimensional interaction diagrams for [Ni(HPGTS)$_2$] (a) and HPGTS$^-$ (b) in tyrosyl-tRNA synthetase of *S. aureus* (1JIL); notation as in Figure 3.

Metal-type sensitivity. With the metal typed as Zn, Mg or Fe the scores coincided on every target to two decimal places (Fig. 5b; seed 11, e.g. −9.83 kcal mol^{-1} at 1JIL and −8.14 kcal mol^{-1} at 6F86 for all three types). The two tridentate ligands enclose the nickel completely, and no receptor atom comes within interaction range of it. The choice of atom type therefore has no influence on the scores, which answers the most obvious objection to docking a nickel complex with a function lacking nickel parameters. The same result also fixes the limit of the study: the calculation sees the complex only as a rigid organic scaffold of a particular shape and contains no information on nickel-specific chemistry.

Second scoring function. Rescoring the same poses with Vinardo changed the picture (Table 3, Fig. 5a). Rank agreement between the two functions over the 54 rescored poses was weak (Spearman $\rho = 0.22$, Pearson $r = 0.16$). Vina placed the complex first on all six targets; Vinardo did so only at 4URO, which is also the only target where both functions chose the same best form. The preference for the complex is thus a property of one empirical function, and it is best treated as a hypothesis rather than a consensus result.

Table 3. Form ranked first by each scoring function, with Vina and Vinardo scores (kcal mol^{-1}) of the top-ranked Vina poses

PDB ID	Best form, Vina	Best form, Vinardo	[Ni(HPGTS)$_2$], Vina	[Ni(HPGTS)$_2$], Vinardo	HPGTS$^-$, Vinardo	H$_2$PGTS, Vinardo
1JIL	[Ni(HPGTS)$_2$]	H$_2$PGTS	−9.83	−5.93	−6.05	−6.50
2RHL	[Ni(HPGTS)$_2$]	HPGTS$^-$	−9.59	−4.84	−6.09	−4.53
4URO	[Ni(HPGTS)$_2$]	[Ni(HPGTS)$_2$]	−9.23	−6.13	−4.90	−5.38
4DXD	[Ni(HPGTS)$_2$]	H$_2$PGTS	−8.84	−4.87	−5.72	−5.97
2UV0	[Ni(HPGTS)$_2$]	HPGTS$^-$	−8.30	−5.09	−6.26	−5.91
6F86	[Ni(HPGTS)$_2$]	H$_2$PGTS	−8.13	−4.78	−4.63	−5.71

Vinardo values are rescores of the same Vina poses (smina --score_only); no new search was performed, and the two functions were not averaged.

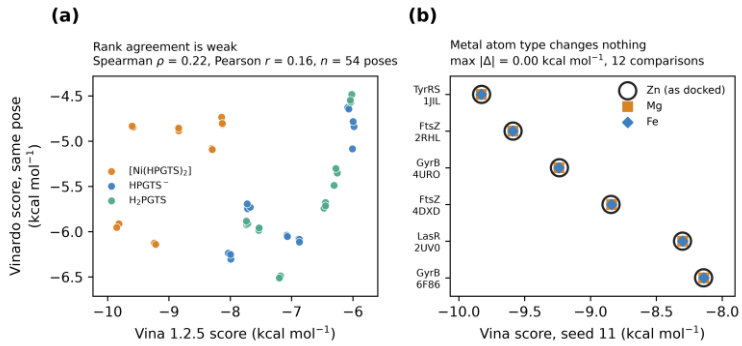


Figure 5. (a) Vinardo rescoring of the top-ranked Vina poses; only the energy function differs. (b) Scores of [Ni(HPGTS)₂] with the metal typed as Zn (as docked), Mg and Fe at seed 11; the three points coincide on every target.

Limitations. Both the complex and the receptors were rigid, so conformational adjustment on binding, changes in coordination number and ligand exchange or dissociation in water lie outside the model. An unmodelled internal loop lies within 8 Å of the box in 6F86 (18 residues, Leu98–Gly117) and 4URO (19 residues, Val105–Gly125); in 4DXD and 2UV0 only terminal truncations are nearby, and in 1JIL and 2RHL no gap lies within 8 Å. No biochemical or microbiological assay was performed, and the values reported are docking scores, not binding constants or evidence of antibacterial activity.

CONCLUSION

A fixed, fully logged docking protocol, validated on all six dockable targets, was applied to H_2PGTS in two protonation states and to [Ni(HPGTS)₂] in its X-ray geometry. With the Vina function the nickel bis-chelate received more negative scores than both free-ligand forms on every target, most clearly at *S. aureus* gyrase B (−3.23 kcal mol⁻¹) and tyrosyl-tRNA synthetase (−2.76 kcal mol⁻¹). It also formed salt bridges that the free ligand did not form.

Three results of this work limit that observation. Identical scores for three metal atom types show that the nickel centre is invisible to the scoring function, so the calculation describes a rigid organic scaffold rather than nickel chemistry. Part of the score difference follows from the heavy-atom count (31 against 15). Vinardo reproduced the ordering on only one of the six targets.

On this basis, staphylococcal gyrase B and tyrosyl-tRNA synthetase are proposed as the first targets for enzyme-inhibition tests of both compounds, followed by MIC determination against *S. aureus* and *E. coli*, including isolates from food products. For docking studies of other metal complexes we recommend reporting redocking validation, a metal-type sensitivity test and a second scoring function together with the primary scores.

REFERENCES

1. Murray C.J.L., Ikuta K.S., Sharara F., et al. Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. The Lancet, 2022, vol. 399, pp. 629–655. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0 (in English).
2. Léguillier V., Pinamonti D., Chang C.-M., et al. A review and meta-analysis of *Staphylococcus aureus* prevalence in foods. The Microbe, 2024, vol. 4, p. 100131. https://doi.org/10.1016/j.microb.2024.100131 (in English).

3. Grudlewska-Buda K., Bauza-Kaszewska J., Wiktorczyk-Kapischke N., et al. Antibiotic resistance in selected emerging bacterial foodborne pathogens — an issue of concern? Antibiotics, 2023, vol. 12, p. 880. https://doi.org/10.3390/antibiotics12050880 (in English).
4. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PF-6097 of 29.10.2020 “On approval of the Concept for the development of science until 2030”. Available at: https://lex.uz/docs/-5073447 (in Uzbek).
5. Decree of the President of the Republic of Uzbekistan No. PF-55 of 21.01.2022 “On additional measures for the accelerated development of the pharmaceutical industry of the republic in 2022–2026”. Available at: https://lex.uz/docs/-5834287 (in Uzbek).
6. Casas J.S., García-Tasende M.S., Sordo J. Main group metal complexes of semicarbazones and thiosemicarbazones. A structural review. Coordination Chemistry Reviews, 2000, vol. 209, pp. 197–261. https://doi.org/10.1016/S0010-8545(00)00363-5 (in English).
7. Rosu T., Gulea A., Nicolae A., Georgescu R. Complexes of $3d^n$ metal ions with thiosemicarbazones: synthesis and antimicrobial activity. Molecules, 2007, vol. 12, pp. 782–796. https://doi.org/10.3390/12040782 (in English).
8. Netalkar P.P., Netalkar S.P., Revankar V.K. Nickel(II) complexes of thiosemicarbazones: synthesis, characterization, X-ray crystallographic studies and in vitro antitubercular and antimicrobial studies. Transition Metal Chemistry, 2014, vol. 39, pp. 519–526. https://doi.org/10.1007/s11243-014-9827-8 (in English).
9. Gaber A., Refat M.S., Belal A.A.M., et al. New mononuclear and binuclear Cu(II), Co(II), Ni(II), and Zn(II) thiosemicarbazone complexes with potential biological activity: antimicrobial and molecular docking study. Molecules, 2021, vol. 26, p. 2288. https://doi.org/10.3390/molecules26082288 (in English).
10. Zavaroni A., Rigamonti L., Bisceglie F., et al. Antimicrobial activity of copper(II), nickel(II) and zinc(II) complexes with semicarbazone and thiosemicarbazone ligands derived from substituted salicylaldehydes. Molecules, 2025, vol. 30, p. 2329. https://doi.org/10.3390/molecules30112329 (in English).
11. Tillaeva U., Ashurov J., Tillaeva G., et al. Structural characterization of benzketozone monohydrate. Zeitschrift für Naturforschung B, 2022, vol. 77, pp. 117–123. https://doi.org/10.1515/znb-2021-0170 (in English).
12. Oblak M., Kotnik M., Solmajer T. Discovery and development of ATPase inhibitors of DNA gyrase as antibacterial agents. Current Medicinal Chemistry, 2007, vol. 14, pp. 2033–2047. https://doi.org/10.2174/092986707781368414 (in English).
13. Haydon D.J., Stokes N.R., Ure R., et al. An inhibitor of FtsZ with potent and selective anti-staphylococcal activity. Science, 2008, vol. 321, pp. 1673–1675. https://doi.org/10.1126/science.1159961 (in English).
14. Warren G.L., Andrews C.W., Capelli A.-M., et al. A critical assessment of docking programs and scoring functions. Journal of Medicinal Chemistry, 2006, vol. 49, pp. 5912–5931. https://doi.org/10.1021/jm050362n (in English).
15. Ortega-Carrasco E., Lledós A., Maréchal J.-D. Assessing protein–ligand docking for the binding of organometallic compounds to proteins. Journal of Computational Chemistry, 2014, vol. 35, pp. 192–198. https://doi.org/10.1002/jcc.23472 (in English).
16. Berman H.M., Westbrook J., Feng Z., et al. The Protein Data Bank. Nucleic Acids Research, 2000, vol. 28, pp. 235–242. https://doi.org/10.1093/nar/28.1.235 (in English).

17. Trott O., Olson A.J. AutoDock Vina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function, efficient optimization, and multithreading. Journal of Computational Chemistry, 2010, vol. 31, pp. 455–461. https://doi.org/10.1002/jcc.21334 (in English).
18. Eberhardt J., Santos-Martins D., Tillack A.F., Forli S. AutoDock Vina 1.2.0: new docking methods, expanded force field, and Python bindings. Journal of Chemical Information and Modeling, 2021, vol. 61, pp. 3891–3898. https://doi.org/10.1021/acs.jcim.1c00203 (in English).
19. Eastman P., Swails J., Chodera J.D., et al. OpenMM 7: rapid development of high performance algorithms for molecular dynamics. PLoS Computational Biology, 2017, vol. 13, p. e1005659. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005659 (in English).
20. O'Boyle N.M., Banck M., James C.A., et al. Open Babel: an open chemical toolbox. Journal of Cheminformatics, 2011, vol. 3, p. 33. https://doi.org/10.1186/1758-2946-3-33 (in English).
21. RDKit: open-source cheminformatics. Available at: https://www.rdkit.org (in English).
22. Meeko: preparation of small molecules for AutoDock. Forli Lab. Available at: https://github.com/forlilab/Meeko (in English).
23. Meli R., Biggin P.C. spyrmsd: symmetry-corrected RMSD calculations in Python. Journal of Cheminformatics, 2020, vol. 12, p. 49. https://doi.org/10.1186/s13321-020-00455-2 (in English).
24. Adasme M.F., Linnemann K.L., Bolz S.N., et al. PLIP 2021: expanding the scope of the protein–ligand interaction profiler to DNA and RNA. Nucleic Acids Research, 2021, vol. 49, pp. W530–W534. https://doi.org/10.1093/nar/gkab294 (in English).
25. Quiroga R., Villarreal M.A. Vinardo: a scoring function based on AutoDock Vina improves scoring, docking, and virtual screening. PLoS ONE, 2016, vol. 11, p. e0155183. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155183 (in English).
26. Xu M., Shen C., Yang J., Wang Q., Huang N. Systematic investigation of docking failures in large-scale structure-based virtual screening. ACS Omega, 2022, vol. 7, pp. 39417–39428. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05826 (in English).

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

FERMENTLANGAN ERUCA SATIVA BIOAKTIV BIRIKMALARINING GO‘SHT TIZIMLARIDA NITROZATSIYANI BOSHQARISH IMKONIYATLARI: MEXANIZMLAR, YETKAZIB BERISH STRATEGIYALARI VA ILMIY BO‘SHLIQLAR

AXMEDOVA OSIYA KAMILOVNA
magistr
O‘zbekiston Respublikasi
tel.: +998 91 664-84-03
e-mail: ahmedovaosiyo2@gmail.com

ANNOTATSIYA *Maqolada fermentlangan Eruca sativa L. bioaktiv birikmalarining go‘sht tizimlaridagi nitrozatsiya jarayonlari bilan bog‘liqligi zamonaviy ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilindi. Rukkola tarkibidagi fenolik birikmalar, flavonoidlar va glyukozinolatlar, sut kislotali fermentatsiya ta’sirida bioaktiv profilning o‘zgarishi hamda faol fraksiyalarni mikrokapsulalash usullari ko‘rib chiqildi. Rukkolaning nitrat to‘plash xususiyati inobatga olinib, NO_3^-, NO_2^- va bioaktiv komponentlarni o‘zaro bog‘liq holda baholashga asoslangan nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasi taklif etildi. Adabiyotlar tahlili fermentlangan rukkola fraksiyalarining individual N-nitrozaminlarga bevosita ta’siri hamda erkin va mikrokapsulalangan shakllarining qiyosiy samaradorligi yetarlicha o‘rganilmaganini ko‘rsatdi. Aniqlangan ilmiy bo‘shliq keyingi eksperimental tadqiqotlarning asosiy yo‘nalishlarini belgilash imkonini beradi.*

Kalit so‘zlar: *Eruca sativa, fermentatsiya, go‘sht mahsulotlari, N-nitrozaminlar, nitrozatsiya, bioaktiv birikmalar, mikrokapsulalash.*

АННОТАЦИЯ *В статье на основе современных научных публикаций проанализирована взаимосвязь биоактивных соединений ферментированной Eruca sativa L. с процессами нитрозирования в мясных системах. Рассмотрены фенольные соединения, флавоноиды и глюкозинолаты рукколы, изменение биоактивного профиля при молочнокислой ферментации и микрокапсулирование активных фракций. С учетом способности рукколы накапливать нитраты предложена концепция нитратно-нитритно-биоактивного профиля, предусматривающая совместную оценку NO_3^-, NO_2^- и биоактивных компонентов. Анализ литературы показал ограниченность данных о непосредственном влиянии ферментированных фракций E. sativa на отдельные N-нитрозамины и о сравнительной эффективности их свободной и микрокапсулированной форм. Выявленный научный пробел определяет направления последующих экспериментальных исследований.*

Ключевые слова: *Eruca sativa, ферментация, мясные продукты, N-нитрозамины, нитрозирование, биоактивные соединения, микрокапсулирование.*

ABSTRACT *The relationship between fermented Eruca sativa L. bioactive compounds and nitrosation processes in meat systems was analysed using recent scientific literature. Phenolic compounds, flavonoids and glucosinolates of rocket, fermentation-induced changes in its bioactive profile, and microencapsulation of active fractions were considered. Given the nitrate-accumulating characteristics of rocket, a nitrate–nitrite–bioactive profile concept is proposed for the integrated assessment of NO_3^-, NO_2^- and bioactive constituents. The literature analysis revealed limited direct evidence concerning the effects of fermented E. sativa fractions on individual N-nitrosamines and insufficient comparative data on their free and microencapsulated forms. These research gaps define specific directions for subsequent experimental investigation.*

Keywords: *Eruca sativa, fermentation, meat products, N-nitrosamines, nitrosation, bioactive compounds, microencapsulation.*

KIRISH

Nitrit go‘sht mahsulotlari texnologiyasida bir nechta o‘zaro bog‘liq vazifalarni bajaradi. U mahsulot rangining shakllanishida ishtirok etadi, lipid oksidlanishini sekinlashtiradi va mikrobiologik barqarorlikni ta’minlashga yordam beradi [1,2]. Shu bilan birga, nitritdan hosil

bo‘ladigan reaktiv azot shakllarining amin prekursorlari bilan reaksiyaga kirishishi ayrim N-nitrozaminlarning hosil bo‘lishiga olib kelishi mumkin [2–4].

Go‘sht tizimlarida nitrozatsiya darajasi faqat qo‘shilgan nitrit miqdori bilan belgilanmaydi. Muhitning pH qiymati, amin prekursorlari, qizdirish harorati, lipidlarning oksidlanish darajasi, mahsulot tarkibi va saqlash sharoiti ham jarayonga ta’sir ko‘rsatadi [2–4]. Shu sababli nitrit miqdorini optimallashtirish bilan bir qatorda nitrozatsiya jarayonlariga ta’sir qiluvchi tabiiy bioaktiv komponentlarni o‘rganish alohida ilmiy yo‘nalish sifatida shakllanmoqda [3,5].

Eruca sativa L. tarkibida fenolik birikmalar, flavonoidlar, glyukozinolatlar va ularning transformatsiya mahsulotlari mavjud. Ushbu komponentlarning antioksidant xususiyatlari rukkola asosidagi funksional ingrediyentlarni o‘rganishga asos yaratadi.

Sut kislotali fermentatsiya o‘simlik xomashyosining kimyoviy tarkibini o‘zgartirishi mumkin. Park va Kim [6] fermentlangan E. sativa ekstraktida fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlar va bioaktiv komponentlar profilidagi o‘zgarishlarni qayd etgan. Biroq bioaktiv profil yoki antioksidant faollikdagi o‘zgarishning o‘zi N-nitrozaminlar miqdori kamayganini ko‘rsatmaydi. Bunday bog‘liqlik go‘sht matritsasida individual N-nitrozaminlarni bevosita aniqlash orqali tasdiqlanishi lozim.

Bundan tashqari, rukkola nitrat to‘plash xususiyatiga ega. Shu sababli fermentlangan rukkola asosidagi ingrediyentni faqat antioksidant ko‘rsatkichlari bo‘yicha baholash yetarli emas. Fermentatsiyadan oldin va keyin NO_3^- va NO_2^- miqdoridagi o‘zgarishlar bioaktiv komponentlar dinamikasi bilan birgalikda tahlil qilinishi zarur.

Mazkur yondashuvdan kelib chiqib, maqolada fermentlangan E. sativa uchun nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasi shakllantirildi.

TADQIQOT MAQSADI

Fermentlangan Eruca sativa bioaktiv birikmalarining go‘sht tizimlaridagi nitrozatsiya jarayonlari bilan bog‘liqligini ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilish, fermentatsiya va mikrokapsulalashning texnologik o‘rnini aniqlash, nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasini asoslash hamda keyingi eksperimental tadqiqotlar uchun aniq ilmiy bo‘shliqlarni belgilash.

MATERIAL VA USULLAR

Maqola ilmiy adabiyotlarning qiyosiy-tahliliy sharhi asosida tayyorlandi. Tahlilga asosan 2021–2025-yillarda chop etilgan, go‘sht mahsulotlarida nitrit va nitratning texnologik funksiyalari, N-nitrozaminlarning shakllanishi va ularni kamaytirish strategiyalari, tabiiy bioaktiv birikmalar, Eruca sativa fermentatsiyasi hamda mikrokapsulalash texnologiyalariga bag‘ishlangan manbalar kiritildi [1–8].

Manbalar besh yo‘nalishda tahlil qilindi: nitrit–nitrat tizimi; N-nitrozaminlarning hosil bo‘lish omillari; tabiiy bioaktiv birikmalarning nitrozatsiyaga ta’siri; E. sativa fermentatsiyasi; bioaktiv komponentlarni mikrokapsulalash.

Eksperimental tadqiqotlarda olingan natijalar nazariy mexanizmlar va keyingi tadqiqotlar uchun ilgari surilgan takliflardan ajratib talqin qilindi. Shu sababli fermentlangan rukkola bioaktivlarining N-nitrozaminlarni kamaytirishi maqolada tasdiqlangan fakt sifatida emas, bevosita eksperimental tekshiruvni talab qiladigan ilmiy yo‘nalish sifatida baholandi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Go‘sht tizimlarida N-nitrozaminlarning shakllanishi

Nitrit go‘sht mahsulotining rang, oksidlanish barqarorligi va mikrobiologik holatiga ta’sir qiladi [1,2]. Biroq nitrit va amin prekursorlari o‘rtasidagi reaksiyalar muayyan sharoitlarda N-nitrozaminlarning shakllanishiga olib keladi [3,4].

Go‘sht mahsulotlari bo‘yicha tadqiqotlarda N-nitrozodimetilamin (NDMA), N-nitrozodietilamin (NDEA), N-nitrozopirrolidin (NPYR), N-nitrozopiperidin (NPIP) va N-nitrozodibutilamin (NDBA) kabi individual birikmalar o‘rganiladi. Ularning hosil bo‘lish darajasi qoldiq nitrit, amin prekursorlari, pH, issiqlik bilan ishlov berish va oksidlanish jarayonlariga bog‘liq [2–4].

Shu sababli tabiiy ingrediyentning antinitrozatsion samaradorligini faqat umumiy antioksidant faollik yoki qoldiq nitrit miqdori bilan baholash to‘liq natija bermaydi. Individual N-nitrozaminlarning instrumental tahlili bioaktiv ingrediyentning nitrozatsiya jarayoniga real ta’sirini aniqlash uchun zarur.

Eruca sativa ning bioaktiv tarkibi

Eruca sativa fenolik birikmalar, flavonoidlar va glyukozinolatlarni saqlaydi. Ularning tarkibi va miqdori xomashyoning yetishtirish sharoiti, qayta ishlanishi va biologik transformatsiyasiga qarab farqlanadi.

Butun rukkola ekstraktida turli kimyoviy komponentlar birgalikda mavjud bo‘lgani sababli kuzatilgan funksional ta’sirni alohida birikmaga bog‘lash murakkab. Shu nuqtai nazardan fraksiyalash kimyoviy tarkibi nisbatan aniq bo‘lgan bioaktiv qismlarni ajratish va ularning funksional ta’sirini alohida baholash imkonini beradi.

Rukkolaning nitrat to‘plash xususiyati ham alohida nazoratni talab qiladi. Go‘sht matritsasiga rukkola asosidagi ingrediyent kiritilganda uning tarkibidagi nitrat ham tizimga kiradi. Shuning uchun bioaktiv komponentlarni tahlil qilish bilan bir vaqtda NO_3^- va NO_2^- miqdorini aniqlash metodologik jihatdan zarur.

Fermentatsiyaning Eruca sativa bioaktiv profiliga ta’siri

Sut kislotali fermentatsiya o‘simlik substratidagi ayrim fenolik va boshqa bioaktiv birikmalarning miqdori hamda nisbatini o‘zgartirishi mumkin. Park va Kim [6] LAB yordamida fermentlangan E. sativa ekstraktining fizik-kimyoviy va biologik xususiyatlarini tahlil qilib, fermentatsiyadan keyin bioaktiv profil bilan bog‘liq o‘zgarishlarni qayd etgan.

Mazkur natijalar fermentatsiya rukkola kimyoviy profilini modifikatsiya qilishini ko‘rsatadi. Biroq antioksidant ko‘rsatkichlarning o‘zgarishi N-nitrozaminlarning kamayganini bevosita isbotlamaydi. Bu ikki jarayon o‘rtasidagi bog‘liqlik faqat go‘sht matritsasida individual N-nitrozaminlar aniqlangandan keyin baholanishi mumkin.

Shu sababli fermentatsiya jarayonining samaradorligi faqat umumiy fenollar yoki antioksidant testlar bilan emas, NO_3^-, NO_2^-, maqsadli bioaktiv metabolitlar va keyinchalik individual N-nitrozaminlar bilan bog‘liq holda tahlil qilinishi lozim.

Nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasi

Fermentlangan Eruca sativa ni go‘sht tizimlarida qo‘llashda uchta ko‘rsatkichlar guruhini parallel tahlil qilish taklif etiladi:

$$\mathbf{NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow \text{bioaktiv komponentlar profili.}}$$

Bioaktiv profil umumiy fenolik birikmalar, flavonoidlar, maqsadli metabolitlar va antioksidant faollik ko‘rsatkichlarini qamrab oladi.

Keyingi bosqichda ushbu ko‘rsatkichlar go‘sht matritsasida aniqlangan individual N-nitrozaminlar bilan qiyoslanadi:

$$\mathbf{NO_3^- / NO_2^- / \text{bioaktiv profil} \rightarrow NDMA / NDEA / NPYR / NPIP / NDBA.}$$

Bunday tahlil fermentatsiyadan keyingi bioaktiv o‘zgarishlarni nitrat va nitrit dinamikasidan ajratmasdan baholash imkonini beradi. Masalan, antioksidant ko‘rsatkichlarning yaxshilanishi bilan bir vaqtda nitrat yoki nitrit miqdorining qanday o‘zgarishi ham aniqlanadi.

Shu tariqa, fermentlangan rukkola ingrediyentining qiymati bitta antioksidant test natijasiga emas, bir nechta kimyoviy ko‘rsatkichlarning o‘zaro bog‘liqligiga asoslanib baholanadi.

Nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasi mazkur maqolada olingan eksperimental natija emas. U mavjud adabiyotlarni tahlil qilish asosida keyingi eksperimental tadqiqotlar uchun shakllantirilgan metodologik taklifdir.

1-jadval. Fermentlangan Eruca sativa bioaktiv fraksiyalarini baholash uchun tavsiya etiladigan ko‘rsatkichlar

Fermentlangan rukkola fraksiyalarini baholashda kimyoviy, nitrit–nitrat va individual N-nitrozamin ko‘rsatkichlarini yagona tahlil tizimida birlashtirish maqsadga muvofiq. Tavsiya etiladigan ko‘rsatkichlar 1-jadvalda jamlangan.

Tadqiqot bosqichi	Aniqlanadigan ko‘rsatkichlar	Baholash maqsadi
Fermentatsiyadan oldin va keyin	NO_3^-, NO_2^-, pH	Azotli prekursorlar dinamikasini nazorat qilish
Bioaktiv profil	Umumiy fenollar, flavonoidlar, maqsadli metabolitlar, antioksidant faollik	Fermentatsiya ta’sirida bioaktiv tarkib o‘zgarishini tavsiflash
Fraksiyalash	Kimyoviy tarkib, NO_3^-, NO_2^- va bioaktiv ko‘rsatkichlar	Tarkibi nisbatan aniq fraksiyalarni tanlash
Model go‘sht tizimi	NDMA, NDEA, NPYR, NPIP, NDBA va qoldiq nitrit	Fraksiyaning nitrozatsiya jarayoniga bevosita ta’sirini baholash
Mikrokapsulalash	Kapsulalash samaradorligi, zarracha xususiyatlari, bioaktiv moddalarning saqlanishi	Bioaktiv fraksiyaning texnologik barqarorligini baholash
Qiyosiy go‘sht sinovi	N-nitrozaminlar, qoldiq nitrit, lipid oksidlanishi, pH, rang	Erkin va mikrokapsulalangan shakllarni teng sharoitda qiyoslash

Tabiiy bioaktiv birikmalarning nitrozatsiyaga ta’siri

Zhu, Lu va He [5] oziq-ovqatlardagi N-nitrozaminlarni nazorat qilishda tabiiy bioaktiv birikmalarning rolini tahlil qilib, antioksidant ta’sir, prekursorlar bilan o‘zaro munosabat va nitrozatsiya reaksiyalariga ta’sir bilan bog‘liq mexanizmlarni umumlashtirgan.

Qayta ishlangan go‘sht mahsulotlariga bag‘ishlangan tahlillarda ham tabiiy bioaktiv komponentlardan foydalanish N-nitrozaminlarning shakllanishini kamaytirishga qaratilgan strategiyalar qatorida ko‘rib chiqiladi [3].

Biroq boshqa o‘simlik bioaktivlari bo‘yicha olingan natijalarni fermentlangan E. sativa ga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘chirish mumkin emas. Rukkola fraksiyalarining ta’siri ularning kimyoviy tarkibi aniqlangandan keyin go‘sht matritsasida alohida tekshirilishi kerak.

Fermentlangan Eruca sativa bioaktiv fraksiyalarini ajratish

Fermentlangan rukkola tarkibidagi komponentlar eruvchanligi, molekulyar xususiyatlari va biologik faolligi bo‘yicha farqlanadi. Fraksiyalash orqali tarkibi nisbatan aniq bo‘lgan qismlarni ajratish butun ekstrakt bilan ishlashdagi noaniqlikni kamaytiradi.

Ajratilgan fraksiyalar umumiy fenollar, flavonoidlar, maqsadli metabolitlar, antioksidant faollik, NO_3^- va NO_2^- miqdori bo‘yicha tavsiflanishi kerak.

Faol fraksiyani faqat DPPH, ABTS yoki umumiy fenollar miqdori asosida tanlash yetarli emas. Fraksiyaning model go‘sht tizimidagi NDMA, NDEA, NPYR, NPIP va NDBA miqdoriga ta’siri ham aniqlanishi kerak. Bu bosqich kimyoviy faollik bilan real go‘sht matritsasidagi ta’sir o‘rtasidagi bog‘liqlikni ko‘rsatadi.

Bioaktiv fraksiyalarni mikrokapsulalash

O‘simlik bioaktiv komponentlari harorat, kislorod, yorug‘lik va pH ta’sirida barqarorligini yo‘qotishi mumkin. Mikrokapsulalash bioaktiv moddalarni tashqi omillardan himoyalash va ularning oziq-ovqat matritsasida ajralishini boshqarish uchun qo‘llanadi [7,8].

Fermentlangan rukkola fraksiyasi uchun tadqiqot ketma-ketligini quyidagicha shakllantirish mumkin:

nazoratli fermentatsiya → nitrat–nitrit–bioaktiv profil → fraksiyalash → kimyoviy tavsiflash → faol fraksiyani tanlash → mikrokapsulalash → go‘sht matritsasida qiyosiy sinov.

Mikrokapsulalash samaradorligini baholashda kapsulalash darajasi, zarracha xususiyatlari va bioaktiv komponentlarning saqlanishi bilan bir qatorda yakuniy go‘sht tizimidagi natijalar ham hisobga olinishi kerak.

Erkin va mikrokapsulalangan fraksiyalar bir xil faol komponent miqdorida qiyoslanganda kapsulalashning qo‘shimcha funksional hissasini aniqroq baholash mumkin.

Go‘sht matritsasida qiyosiy baholash

Fermentlangan rukkola fraksiyasining erkin va mikrokapsulalangan shakllarini go‘sht tizimida qiyoslashda individual N-nitrozaminlar, qoldiq nitrit, lipid oksidlanishi, pH, rang va bioaktiv komponentlarning saqlanishi asosiy analitik ko‘rsatkichlar sifatida qo‘llanishi mumkin.

Bunda nazorat namunasi, nitritli nazorat, erkin fraksiya qo‘shilgan guruh va mikrokapsulalangan fraksiya qo‘shilgan guruhlarning bir xil texnologik sharoitda qiyoslanishi natijalarni aniq talqin qilishga imkon beradi.

Mikrokapsulalangan shaklning ustunligi faqat kapsulaning fizik xususiyatlari bilan emas, go‘sht matritsasida erkin fraksiyaga nisbatan ko‘rsatgan natijasi bilan aniqlanishi kerak.

Ilmiy bo‘shliqlar va keyingi tadqiqot yo‘nalishi

Tahlil qilingan manbalarda nitrit va nitratning go‘sht mahsulotlaridagi funksiyalari [1,2], N-nitrozaminlarning shakllanishi va ularni kamaytirish strategiyalari [3–5], E. sativa fermentatsiyasi [6] hamda o‘simlik bioaktivlarini mikrokapsulalash [7,8] alohida ilmiy yo‘nalishlar sifatida yoritilgan.

Biroq fermentlangan rukkola uchun quyidagi uzluksiz eksperimental zanjir bo‘yicha ma’lumotlar cheklangan:

Eruca sativa → nazoratli fermentatsiya → nitrat–nitrit–bioaktiv profil → bioaktiv fraksiya → mikrokapsula → go‘sht matritsasi → individual N-nitrozaminlar.

Mazkur ilmiy bo‘shliqni tekshirish uchun dastlab fermentlanmagan va fermentlangan rukkola namunalari NO_3^-, NO_2^- va bioaktiv profil bo‘yicha qiyoslanishi lozim. Keyingi bosqichda kimyoviy tavsiflangan fraksiyalar ajratilib, ularning NDMA, NDEA, NPYR, NPIP va NDBA ga ta’siri model go‘sht tizimida aniqlanadi. So‘ng samarali fraksiyaning erkin va mikrokapsulalangan shakllari bir xil sharoitda qiyoslanadi.

Shu ketma-ketlik fermentatsiyaning kimyoviy ta’siri, faol fraksiyaning antinitrozatsion samarasi va mikrokapsulalashning qo‘shimcha hissasini bir-biridan ajratib baholash imkonini beradi.

AMALIY TAVSIYALAR

Go‘sht mahsuloti bosqichida individual N-nitrozaminlar bilan birga qoldiq nitrit, lipid oksidlanishi, pH va rang ko‘rsatkichlari nazorat qilinishi kerak.

Mikrokapsulalashning qo‘shimcha samarasini aniqlash uchun erkin va mikrokapsulalangan fraksiyalar bir xil faol komponent miqdori hamda bir xil texnologik sharoitda qiyoslanishi lozim.

Faol fraksiyani tanlash faqat DPPH, ABTS yoki umumiy fenollar natijasiga asoslanmasligi; model go‘sht tizimida NDMA, NDEA, NPYR, NPIP va NDBA miqdoriga ta’siri bilan tasdiqlanishi kerak.

Fermentlangan Eruca sativa xomashyosi va undan ajratilgan fraksiyalarni tavsiflashda NO_3^- va NO_2^- miqdori bioaktiv ko‘rsatkichlar bilan parallel aniqlanishi kerak.

XULOSA

Tahlil qilingan adabiyotlar go‘sht mahsulotlarida N-nitrozaminlarning shakllanishi nitrit miqdori bilan bir qatorda amin prekursorlari, pH, issiqlik bilan ishlov berish, oksidlanish jarayonlari va saqlash sharoitiga bog‘liqligini ko‘rsatadi.

Eruca sativa fenolik birikmalar, flavonoidlar va glyukozinolatlarni saqlaydi. Sut kislotali fermentatsiya uning bioaktiv profilini o‘zgartirishi mumkinligi bo‘yicha eksperimental ma’lumotlar mavjud [6]. Biroq fermentlangan rukkola fraksiyalarining individual N-nitrozaminlarga bevosita ta’siri yetarlicha aniqlanmagan.

Rukkolaning nitrat to‘plash xususiyati uning go‘sht tizimidagi funksional ta’sirini faqat antioksidant ko‘rsatkichlar orqali baholashga imkon bermaydi. Shu sababli maqolada NO_3^-, NO_2^- va bioaktiv komponentlarni parallel tahlil qilishga asoslangan nitrat–nitrit–bioaktiv profil konsepsiyasi taklif etildi.

Keyingi eksperimental tadqiqotlarda fermentlangan E. sativa fraksiyalarining NDMA, NDEA, NPYR, NPIP va NDBA ga ta’sirini bevosita aniqlash hamda erkin va mikrokapsulalangan shakllarni teng sharoitda qiyoslash zarur.

Shunday qilib, nazoratli fermentatsiya → nitrat–nitrit–bioaktiv profil → fraksiyalash → mikrokapsulalash → individual N-nitrozaminlarni aniqlash ketma-ketligi fermentlangan E. sativa asosidagi funksional go‘sht mahsulotlarini ishlab chiqish bo‘yicha keyingi eksperimental tadqiqotlarning metodologik asosini tashkil etadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Flores M., Toldrá F. Chemistry, safety, and regulatory considerations in the use of nitrite and nitrate from natural origin in meat products. Meat Science. 2021;171:108272. DOI: 10.1016/j.meatsci.2020.108272.

2. Zhang Y., Zhang Y., Jia J., Peng H., Qian Q., Pan Z., Liu D. Nitrite and nitrate in meat processing: Functions and alternatives. Current Research in Food Science. 2023;6:100470. DOI: 10.1016/j.crfs.2023.100470.

3. Xie Y., Geng Y., Yao J., Ji J., Chen F., Xiao J., Hu X., Ma L. N-nitrosamines in processed meats: Exposure, formation and mitigation strategies. Journal of Agriculture and Food Research. 2023;13:100645. DOI: 10.1016/j.jafr.2023.100645.

4. Rot T., Kovačević D., Habschied K., Mastanjević K. N-Nitrosamines in Meat Products: Formation, Detection and Regulatory Challenges. Processes. 2025;13(5):1555. DOI: 10.3390/pr13051555.

5. Zhu J., Lu Y., He Q. From detection methods to risk prevention: Control of N-nitrosamines in foods and the role of natural bioactive compounds. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2024;23(5):e70000. DOI: 10.1111/1541-4337.70000.

6. Park M.H., Kim B. Physicochemical properties and physiological activities of Eruca sativa extract fermented by lactic acid bacteria. Food Science and Biotechnology. 2025;34(14):3351–3362. DOI: 10.1007/s10068-025-01941-9.

7. Smaoui S., Ben Hlima H., Ben Braïek O., Ennouri K., Mellouli L., Mousavi Khaneghah A. Recent advancements in encapsulation of bioactive compounds as a promising technique for meat preservation. Meat Science. 2021;181:108585. DOI: 10.1016/j.meatsci.2021.108585.

8. Zhang D., Ivane N.M.A., Haruna S.A., Zekrumah M., Elysé F.K.R., Tahir H.E., Wang G., Wang C., Zou X. Recent trends in the micro-encapsulation of plant-derived compounds and their specific application in meat as antioxidants and antimicrobials. Meat Science. 2022;191:108842. DOI: 10.1016/j.meatsci.2022.108842.

TEMIR(III) IONINI ANIQLASH UCHUN SPEKTROSKOPIK USULLARINI TANLASHNING NAZARIY ASOSLARI VA SPEKTROFOTOMETRIYA USULINING QO‘LLANILISHI

Xabibullayeva Madina Jalol qizi
O‘zbekiston Milliy universitetining kimyo fakulteti analitik kimyo kafedrasini magistranti, O’zbekiston, Toshkent sh. E-mail: xabibullayevamadina57@gmail.com
Todjiyev Jamoliddin Nasiriddinovich
O‘zbekiston Milliy universitetining kimyo fakulteti analitik kimyo kafedrasini dotsenti, k.f.d. O’zbekiston, Toshkent sh. E-mail: todjiev@mail.ru
Turayeva Gulzoda Suyunovna
Toshkent davlat agrar universitetining tabiiy fanlar kafedrasini katta o‘qituvchisi, PhD. O’zbekiston, Toshkent sh. E-mail: bexruz.tuliyev@mail.ru
Tuliyev Bexruz Alimkulovich
O‘zbekiston Milliy universitetining kimyo fakulteti analitik kimyo kafedrasini katta o‘qituvchisi, PhD. O’zbekiston, Toshkent sh. E-mail: bexruz.tuliyev@mail.ru
Turabov Nurmuxammat Turabovich
O‘zbekiston Milliy universitetining kimyo fakulteti analitik kimyo kafedrasini professori, k.f.n. O’zbekiston, Toshkent sh. E-mail: turabov2019@mail.ru

Annotatsiya. *Ushbu maqolada turli namunalar tarkibidagi Fe(III) ionini spektrofotometriya usuli yordamida aniqlashning nazariy asoslari bayon etilgan. Shuningdek, so‘nggi yillarda spektrofotometrik analiz usulining qo‘llanilish sohasiga oid tadqiqot natijalari hamda turli xil omillarning tajriba natijalariga ta’siri batafsil yoritilgan. Fe(III) ionini aniqlashda qo‘llaniladigan asosiy organik reagentlar hamda usulning sezgirligi va tanlab ta’sir etuvchanligiga ta’sir etuvchi omillar ko‘rsatib berilgan.*

Kalit so‘zlar: *Temir (III) ioni, spektrofotometriya, organik reagentlar, aniqlash chegarasi, sezuvchanlik, optimal sharoitlar, qayta takrorlanuvchanlik.*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫБОРА СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНА ЖЕЛЕЗА(III) И ПРИМЕНЕНИЕ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА

Аннотация: *В данной статье изложены теоретические основы определения ионов Fe(III) в различных образцах методом спектрофотометрии. Также представлен подробный обзор результатов недавних исследований, касающихся применения спектрофотометрического анализа и влияния различных факторов на экспериментальные данные. Кроме того, рассмотрены основные органические реагенты, используемые для определения ионов Fe(III), а также факторы, влияющие на чувствительность и селективность метода.*

Ключевые слова: *Ион железа(III), спектрофотометрия, органические реагенты, предел обнаружения, чувствительность, оптимальные условия, воспроизводимость.*

THEORETICAL FOUNDATIONS FOR THE SELECTION OF SPECTROSCOPIC METHODS FOR DETERMINING IRON(III) IONS AND THE APPLICATION OF THE SPECTROPHOTOMETRIC METHOD

Abstract. *This article outlines the theoretical principles of determining Fe(III) ions in various samples using spectrophotometry. It also provides a detailed overview of recent research findings regarding the application of spectrophotometric analysis and the influence of various factors on experimental results. The primary organic reagents used for Fe(III) ion determination are*

identified, along with the factors affecting the method's sensitivity and selectivity.

Keywords: *Iron(III) ion, spectrophotometry, organic reagents, limit of detection, sensitivity, optimal conditions, reproducibility.*

Kirish. Spektroskopik usullar zamonaviy analitik kimyoning eng muhim tarmoqlaridan birini tashkil etadi [1]. Ular sodda, qulay va turli xil ekologik hamda texnogen matritsalarni tahlil qilish uchun mos keladi. Ixcham spektrofotometrik asboblar tahlillarni an'anaviy laboratoriyalardan tashqarida o'tkazish imkonini beradi. Optik spektroskopiyaning yuqori o'ziga xosligi har bir moddaning boshqalarnikidan farq qiluvchi noyob spektral xususiyatlariga asoslanadi. Ushbu usullar ham sifat, ham miqdoriy aniqlash imkonini beradi. Zamonaviy protokollar matritsani ajratmagan holda 10^{-3} %, oddiy ajratish jarayonlari yordamida 10^{-4} % gacha va tahlil qilinuvchi moddani dastlabki konsentratsiyalash qo'llanilganda esa 10^{-7} % gacha bo'lgan past darajadagi elementlar konsentratsiyasini o'lchash imkonini beradi.

Xromogen reagentlar yordamida oraliq metallarini spektrofotometrik aniqlash usuli uzoq vaqtdan beri yaxshi yo'lga qo'yilgan va fundamental tahliliy yondashuv hisoblanadi. Bu usul o'zining yuqori sezgirligi, selektivligi va iqtisodiy jihatdan samaradorligi bilan ajralib turadi. Analitik kimyodagi sezilarli yutuqlarga qaramay, spektrofotometrik usullar sodiqlik va aniqlik uyg'unligi tufayli o'z dolzarbligini saqlab qoldi. Organik reagentlar kimyoviy reaksiya aniqlanishining asosi bo'lib xizmat qilishda davom etmoqda va butun dunyo bo'ylab kimyoviy, farmatsevtik, sanoat, sud-tibbiyot, ekologik hamda klinik tadqiqotlarda eng ko'p qo'llaniladigan miqdoriy tahlil vositalarini tashkil qiladi. Hozirgi vaqtda ushbu usullar atrof-muhit namunalarini tahlil qilishda qo'llaniladigan texnikalarning 35-50 foizini tashkil etadi. Ushbu yondashuvlarning sezgirligi 10^{-7} M (10^{-2} mkg/ml yoki mg/l) darajasiga yetadi, bu esa ularning mikro miqdordagi moddalarni aniqlashdagi ahamiyatini yaqqol ko'rsatib turibdi.

Temir donor atomlari bilan juda barqaror koordinatsion bog'lanishlar hosil qiladi. Fe^{3+} ioniga nisbatan selektiv reagentlar sifatida fenol OH-guruhini saqlovchi birikmalar keng qo'llaniladi. Sezuvchanlikni oshirish maqsadida orto yoki para holatlarga yana qo'shimcha fenol OH-guruhi kiritilishi mumkin, biroq bu holat aniqlashning selektivligini sezilarli darajada kamaytiradi. OH-guruhlar hamda azot donor atomlarini o'zida saqlovchi reagentlar Fe^{3+} ionini aniqlash uchun eng maqul va samarali hisoblanadi [2].

Ma'lumki [3], Fe, Co, Zn, Cu, Ca, Mg kabi bir qator metallar o'simliklar hamda inson organizmi uchun eng muhim elementlar sinfiga kiradi. Organizmda kechadigan ko'plab biokimyoviy jarayonlar aynan ushbu metallarning ishtirokida amalga oshadi. O'simliklardan ajratib olingan ko'plab biologik faol birikmalar metall ionlari bo'lmaganda deyarli faollik ko'rsatmaydi. Shuningdek, oqsillar va fermentlarning katta qismi faqat muayyan metall ionlari bilan kompleks hosil qilgan holdagina faol bo'ladi. TTM (toksik og'ir metallar) atamasi atrof-muhitni ifloslantiruvchi moddalarining keng guruhini ifodalab, so'nggi yillarda keng qo'llanila boshlandi. TTM(toksik og'ir metallar) xavflilik darajasi bo'yicha AES chiqindilari va qattiq maishiy chiqindilardan keyingi o'rinda turadi. Turli ifloslantiruvchi moddalar orasida TTM(toksik og'ir metallar) va ularning birikmalari keng tarqalganligi hamda yuqori toksikligi bilan ajralib turadi. Ularning aksariyati tirik organizmlarda to'planish xususiyatiga ega. Cd^{2+}, Cu^{2+}, Fe^{3+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+} va Hg^{2+} ionlari ifloslanish muammolarini o'rganishda eng muhim ionlar hisoblanadi, chunki ular dunyo bo'ylab keng tarqalgan, yuqori toksik xossalarga ega hamda bioakkumulyatsiya qobiliyatiga ega. Shu sababli ularning atrof-muhit, farmatsevtik preparatlar, tuproqlar hamda tabiiy va oqova suvlardagi miqdorini o'z vaqtida aniqlash juda muhim hisoblanadi. TTM(toksik og'ir metallar) ionlarini, jumladan Fe^{3+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+} va Hg^{2+} ionlarini aniqlash uchun ko'plab usullar mavjud. Biroq so'nggi yillarda atrof-muhit obyektlarini bevosita joyida ("asl holatida") tahlil qilish uchun yangi usul va vositalarni ishlab chiqishga katta e'tibor qaratilmoqda. Fe^{2+} va Fe^{3+} ionlari xromofor xususiyatlarga ega bo'lganligi sababli, ko'pchilik usullarda ushbu guruhlarni o'z ichiga olmaydigan reagentlardan foydalaniladi.

Mualliflar tomonidan [4] ishda Fe^{3+} ionining 1-fenil-2-[2-gidroksifenilazo]-butadion-1,3 (HR)

bilan kompleks hosil qilishi diantipirilmetan (M), diantipirilfenilmetan (F) hamda diantipirilortoooksifenilmetan (O) ishtirokida o‘rganilgan. Komplekslarning asosiy spektrofotometrik ko‘rsatkichlari aniqlangan. Optimal pH qiymatlari quyidagicha: $pH_{(Fe-R)}$=5; $pH_{(FeR-M)}$=2; $pH_{(FeR-F)}$=3; $pH_{(FeR-O)}$=3. Optimal to‘lqin uzunliklari (λ_{opt}): λ_{FeR}=425 nm; λ_{FeR-M}=455 nm; λ_{FeR-F}=434 nm; λ_{FeR-O}=448 nm bo‘lib, bunda batoxrom siljishlar kuzatilgan. Molyar yutilish koeffitsiyentlari (ε, dm^3/mol·sm): ε_{Fe-R}=17860; ε_{FeR-M}=22600; ε_{FeR-F}=26700; ε_{FeR-O}=28600 ni tashkil etadi. Komplekslarning tarkibi (Starik-Barbanel usuli bo‘yicha) quyidagicha aniqlangan: Fe-R = (1:2); FeR-M=(1:2:2); FeR-F = (1:2:1); FeR-O=(1:2:2). Buger-Lambert-Ber qonuniga bo‘ysunish oralig‘i esa quyidagicha: $C_{(Fe-R)}$=0,11-2,74 mkg/dm^3; $C_{(FeR-M)}$=0,11-3,36 mkg/sm^3; $C_{(FeR-F)}$=0,11-6,72 mkg/sm^3; $C_{(FeR-O)}$=0,11-5,60 mkg/sm^3. Shuningdek, ayrim ionlar hamda niqoblovchi moddalar ta’siri Fe^{3+} ning binar va aralash ligandli komplekslari hosil bo‘lishi nuqtai nazaridan o‘rganilgan. Ishqoriy metallar hamda ishqoriy yer metallari ning katta miqdorlari ham Fe^{3+} ni aniqlashga xalaqit bermasligi aniqlangan. Ishlab chiqilgan metodika uch xil navdagi olma namunalarida Fe^{3+} ionining mikro miqdorini aniqlash uchun qo‘llanilgan.

Quyidagi [5] manbada Fe^{3+} ionini aniqlash uchun 1-nitrozo-2-naftol-3,6-disulfonat natriy (HR) ishtirokida pH 4,0 sharoitida spektrofotometrik usul ishlab chiqilgan. Fe^{3+}-HR kompleksi yashil rangli bo‘lib, uning miqdori λ_{max} = 710 nm to‘lqin uzunligida nanotomchi (nanokapillyar) spektrofotometriya yordamida o‘lchanadi. Buger-Lambert-Ber qonuni 50-5000 mkg/sm^3 konsentratsiya oralig‘ida bajarilishi aniqlangan (R^2 = 0,986). Fe^{3+} bilan hosil bo‘lgan kompleksning molyar yutilish koeffitsiyenti (ε) $4{,}86\cdot10^5$ dm^3/(mol·sm) ga teng. Aniqlash chegarasi $17\cdot10^{-3}$ mg/dm^3, nisbiy standart og‘ish (S_r) esa ±1,3706 % ni tashkil etadi. Ushbu usul oziq-ovqat va biologik namunalarning alohida tomchilarida hamda atrof-muhit obyektlari namunalarida Fe^{3+} ionining miqdorini aniqlashda samarali qo‘llanilgan.

Mualliflar tomonidan ushbu [6] ishda egri chiziqlarni moslashtirish (egri chiziqqa moslashtirish) usuli yordamida Cr^{6+} va Fe^{3+} ionlarini birgalikda fotometrik aniqlash metodikasi ishlab chiqilgan. Cr^{6+} va Fe^{3+} ionlarini aralash reagentlar - difenilkarbazid hamda ortofenantrolin ishtirokida birgalikda spektrofotometrik aniqlash imkoniyati o‘rganilgan. Cr^{6+} va Fe^{3+} ionlarining umumiy spektral konturidan ularning alohida individual signallarini ajratib olish uchun egri chiziqlarni moslashtirish usuli qo‘llanilgan. Tadqiqotda avval Cr^{6+} ning difenilkarbazid bilan hosil qilgan kompleksi hamda Fe^{3+} ning ortofenantrolin bilan hosil qilgan kompleksi alohida holda o‘rganilgan. Taklif etilgan metodika tabiiy va oqova suvlar tarkibidagi Cr^{6+} hamda Fe^{3+} ionlari miqdorini nazorat qilishda qo‘llanilishi mumkin. Nisbiy standart og‘ish (Sr) 11 % dan oshmaydi.

Ushbu [7] manbada mualliflar Fe^{3+} ionini 3-((2-gidroksifenil)-diazenil)-pentadion-2,4 (HR) reaktivi va dianipirilmetan (D) ishtirokida spektrofotometrik usulda aniqlash metodikasini ishlab chiqqanlar. HR reaktivi pH 2,0-2,5 muhitda Fe^{3+} bilan intensiv rangli aralash ligandli Fe^{3+}-R-D kompleksini hosil qiladi. Kompleks tarkibi 1:2:1 nisbatda bo‘lib, maksimal yutilish λ_{max}= 476 nm da kuzatiladi. Fe^{3+} va Fe^{3+}-R-D komplekslari asosida temirni aniqlashda Buger-Lambert-Ber qonuni mos ravishda 0,45-4,48 va 0,34-4,48 mkg/sm^3 konsentratsiya oralig‘ida bajarilishi aniqlangan. Fe^{3+}-R hamda Fe^{3+}-R-D komplekslarining optimal spektrofotometrik sharoitlari mos ravishda λ_{max} = 434 nm va λ_{max}= 476 nm da belgilangan. Molyar yutilish koeffitsiyentlari quyidagicha: ε = $(3{,}10\pm0{,}06)\cdot10^3$ hamda ε = $(6{,}00\pm0{,}10)\cdot10^3$ dm^3/(mol·sm). Barqarorlik konstantalari esa $lg\beta_{(Fe-R)}$=5,76±0,10 va $lg\beta_{(Fe-R-D)}$=14,65±0,26 ga teng. Fe^{3+}-R-D kompleksini aniqlash jarayoniga ayrim ionlar sezilarli xalaqit bermaydi: 5000 martalik miqdorda ishqoriy metallar, ishqoriy yer metallari va noyob yer elementlari; 1000 martalik Mg^{2+}, Co^{2+}, Ni^{2+}, Mn^{2+}, Pb^{2+}, Cd^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}, Cr^{3+} ionlari; 600 martalik Al^{3+}, Ga^{3+}, In^{3+}, Ti^{4+}, Th^{4+}, V^{5+}, U^{4+} ionlari; hamda 50 martalik Zr^{4+}, Hf^{4+}, Mo^{5+} va W^{6+} ionlari.

Ushbu [8] ishda Fe^{3+} ionining suvli eritmada (pH = 3,7-6,0) sulfosalitsil kislota hamda kompleks hosil qiluvchi reagent — dietilentriaminpentaatsirka kislota bilan kompleks hosil qilish reaksiyalari spektrofotometrik usulda qiyosiy tarzda o‘rganilgan. Fe^{3+} ionining sulfosalitsilat komplekslari uchun barqarorlik konstantasi lgβ = 15,80, dietilentriaminpentaatsetat komplekslari uchun esa lgβ = 7,33 ga tengligi aniqlangan.λ_{max}= 350 nm to‘lqin uzunligida Buger-Lambert-Ber

qonuniga bo‘ysunish oralig‘i (0,1-4,0)·10^{-4} mol/sm^3 ni tashkil etadi, kalibrlash tenglamasi esa Yi = 0,001 + 1320Xi ko‘rinishida ifodalangan. Atrof-muhit obyektlarida Fe^{3+} ionini miqdoriy aniqlash uchun fotometrik metodikani optimallashtirish varianti taklif etilgan.

Ushbu [9] ishda Fe^{3+} ionini spektrofotometrik aniqlash uchun yangi organik analitik reagent - 4-metil-2,3-pentandiondioksim (HR) taklif etilgan. HR Fe^{3+} bilan reaksiyaga kirishib, sariq rangli kompleks hosil qiladi. Optimal pH qiymati 2,0 ga teng bo‘lib, HR ning maksimal yutilish to‘lqin uzunligi λ_{HR} = 235 nm da kuzatiladi. Buger-Lambert-Ber qonuniga bo‘ysunish oralig‘i 1-10 mkg/sm^3 ni tashkil etadi. Molyar yutilish koeffitsiyenti (ε) 3,03·10^3 dm^3/(mol·sm) ga teng, aniqlash sezgirligi esa 0,019 mkg/sm^2 ni tashkil qiladi. Ushbu reagent Fe^{3+} ionini mikro miqdorlarda aniqlash uchun qulay va samarali spektrofotometrik usul sifatida qo‘llaniladi.

Ushbu [10] manbada dimerkaptofenol (HR) yangi sezgir reagent sifatida taklif etilib, Fe^{2+} ionini ekstraktiv spektrofotometrik usulda aniqlashda qo‘llanilgani keltirilgan. Fe^{2+}bilan reaksiyada HR organik amin (GA) ishtirokida rangli kompleks hosil qiladi. Jarayon pH 5,3-7,2 oralig‘ida amalga oshadi. Spektral maksimum xloroform muhitida λ_{max} = 552-583 nm da kuzatiladi. Buger-Lambert-Ber qonuniga bo‘ysunish oralig‘i (lineer diapazon) 0,03-4,2 mkg/sm^3 ni tashkil etadi. Molyar yutilish koeffitsiyenti (ε) (3,08-4,33)·10^4 dm^3/(mol·sm), aniqlash sezgirligi esa 1,29-1,82 ng/sm^2 ga teng. Kompleks stexiometriyasi 1:1:2 (Fe^{2+}:HR:GA) nisbatda ekanligi aniqlangan. Aniqlash usullarida tenglik siljishi, nisbiy hosil chiqishi, Asmusning to‘g‘ri chizig‘i hamda egri chiziqlar kesishuvi yondashuvlari qo‘llanilgan. Taklif etilgan metod Fe^{2+} ionini aniqlashda samarali natijalar ko‘rsatgan.

Sintetik aralashmada Fe(III) ionini aniqlash usuli Fe(III) bilan kompleks hosil qilishga asoslangan bo‘lib, bunda N'-(2-gidroksibenziliden)-3-(4-o-tolilpiperazin-1-il) propanhidrazid reagentidan foydalanilgan. Reaksiya suvli muhitda, o‘rtacha pH 4 sharoitida va xona haroratida (27±1^{0}C) darhol sodir bo‘ladi. Hosil bo‘lgan kompleks maksimal yutilish to‘lqin uzunligini 410 nm da namoyon qiladi. Buger-Lambert-Ber qonuniga bo‘ysunish molyar kontsentratsiya oralig‘i 1,116-12,276 mkg/ml ni tashkil etadi. Molyar yutilish qobiliyati (0,3072·10^4 l/mol·sm) hamda Sandell sezgirligi (0,018 mkg/sm^2/ 0,001 absorbans birligi) aniqlangan [11].

Ushbu tadqiqotda temir arzonligi va yuqori chidamliligi sababli ajralmas metall hisoblanib, u oziq-ovqat sanoatidan tortib avtomobilsozlik, maishiy texnika va kanselyariya mahsulotlarigacha bo‘lgan ko‘plab sohalarda keng qo‘llaniladi. Shuningdek, temir har bir tirik organizmning muhim biologik tarkibiy qismlaridan biri hisoblanadi. Organizmda Fe(III) ionlarining ortiqcha yoki yetishmasligi turli xil kasalliklarning kelib chiqishiga sabab bo‘lishi mumkinligi bois ularni aniqlash muhim ahamiyatga ega. Hozirgi kungacha Fe(III) ionlarini aniqlash bo‘yicha asosiy tadqiqot usullari qatoriga voltametriya, kapillyar elektroforez, induktiv bog‘langan plazma massa spektrometriyasi (ICP-MS) hamda olovli atomik yutilish spektroskopiyasi (FAAS) kiradi. Biroq ushbu usullarning aksariyati murakkab bo‘lib, ko‘p bosqichli namuna tayyorlash jarayonlarini talab etgani sababli ko‘p vaqt sarflanadi [12].

Ushbu [13] tadqiqotda temir(III) ionini almashtirilgan triazin va katyonik sirt faol moddalar yordamida spektrofotometrik usulda selektiv aniqlash o‘rganilgan. 2,4,6-trimorfolino-1,3,5-triazin (KD) Al(III), Fe(II), Fe(III), Co(II), Ni(II), Cu(II), Zn(II), Ce(III) va Pb(II) ionlari bilan metall komplekslar hosil qilishi aniqlangan. Biroq faqat Fe(III) ishtirokidagi kompleks ultrabinafsha sohada yutilish xususiyatini namoyon etadi. Fe(III) ionini yakka holda ham, katyonik sirt faol moddalar ishtirokida ham titrlash uchun optimal sharoitlar aniqlangan. Bunda benzil dimetil tetradesil ammoniy xlorid (BDTA) va setilpiridiniy xlorid (CPC) suv-etanol aralashmasida (50:50, v/v) qo‘llanilgan. Kompleks hosil bo‘lishining optimal sharoitlari hamda Fe(III) komplekslarining tarkibi tavsiflangan. Boshqa ionlar yoki Fe(II) ning sezilarli miqdori mavjud bo‘lsa ham, oldindan ajratishsiz Fe(III) ni aniqlashning oddiy usuli taklif etilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Todjiev J., Turaeva G., Turabov N., Jumaev J., Khusanov B., Fuzaylova F., Sapaev I., Tursunqulov J., Mamatkulov N., Razzokova S., Yuldasheva U., Zokirova N., Xazratkulova S., Mukhammadieva D. Trends and developments in extractive spectrophotometric determination of Fe(III), Co(II), and Ni(II): From classical reagents to modern analytical systems, *Chem. Rev. Lett.*, 9 (2026) 877-900. https://doi.org/10.22034/crl.2026.577799.1797
2. Абдурахманова У.К., Аскарова М.Р. Аналитические свойства госсиполуксусной кислоты//Universum: химия и биология.- 2020.- № 12-1 (78). -С. 30-35
3. Марченко З., Бальцежак М.К. Методы спектрофотометрии в УФ и видимой областях в неорганическом анализе. М.: Бином. Лаборатория знаний, -2014. -С. 711.
4. Алиева Р.А., Айвазова А.В., Еспанди Ф.Е., Чырагов Ф.М. Спектрофотометрический метод определения железа (III) в разных сортах яблок//Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. -2018. -Т. 8. -№ 1 (24). -С. 42-50. doi:10.21285/2227-2925-2018-8-1-42-50.
5. Sharma A., Tapadia K., Sahin R., Shrivas K. Surfactant-assisted nanodrop spectrophotometer determination of iron(III) in a single drop of food, biological, and environmental samples//Журнал прикладной спектроскопии. -2015. -Т. 82. -№ 6. -С. 971-978. doi:10.1007/s10812-016-0230-4.
6. Ларионова Е.В., Заболотская Е.В., Булыгина К.А. Способ совместного фотометрического определения хрома(VI) и железа(III) с применением метода подгонки кривых//Вестник науки Сибири. -2015. -№ S1 (15). -С. 155-160.
7. Abiyeva A.Y., Kuliyeva F.V., Nagiyev Kh.J., Babayev A.Q., Chyragov F.M. Spectrophotometric determination of iron(III) with 3-((2-hydroxyphenyl)-diazenyl)-pentadione-2,4 and diantipyrylmethane// Azerbaijan Chemical Journal. -2019. № 2.- P. 40-43. doi: 10.32737/0005-2531-2019-2-40-43.
8. Попова Т.В., Щеглова Н.В., Софьина С.Ю. Катионы железа(III) в реакциях конкурирующего разнолигандного комплексообразования// Вестник Технологического университета. -2016. -Т. 19.- № 15. -С. 54-57
9. Гусейнова Г.А. Определение железа методом экстрактивной спектрофотометрии // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. - 2022. -№ 1-1 (62). - С. 78-86.
10. Kuliyev K.A. Verdizade N.A., Mamedova Sh.A. Development of extractive spectrophotometric methods for the determination of iron(III) with dimercaptophenole and heterocyclic diamines // J. Chem. Soc. Pak. - 2019. - Vol. 41. - № 6. - P. 993-1003.
11. Ravichandran C., Ramachandraiah C. and Chandrasekhar K.B. Spectrophotometric determination of Fe (III) in real samples by complexation // Iss. 3 2014. pp. 207-211
12. S.Çubuk, D.Aydın, M. V. Kahraman. Fe(III) İyonu Tayini İçin Fluoresans Sensör Geliştirilmesi // https://doi.org/10.7240/jeps.847802
13. N.Meddourene, T.Douadi, S.Chafaa, M.A. Khan, G. Bouet. Selective spectrophotometric determination of Fe(III) with substituted triazine and cationic surfactants// 1113-1118.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

EFFECT OF FLAME RETARDANTS ON THE FIRE SAFETY AND MECHANICAL PROPERTIES OF DECORATIVE POLYMER COMPOSITE BUILDING MATERIALS

Rovshan Khasildjanovich Tursunov[1], Ziyodullo Karimjon o'g'li Buvaraimov[2], Fayzulla Nurmuminovich Nurqulov[3]

[1] Tashkent Research Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan; Independent Researcher.
[2] Tashkent Research Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan; PhD in Technical Sciences, Senior Researcher.
[3] Tashkent Research Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan; Doctor of Technical Sciences (DSc), Professor.

Abstract. *This study investigates the effect of flame-retardant additives on the fire safety and mechanical properties of decorative polymer composite building materials based on polyester resin. Eleven polymer-mineral compositions designated FR-1–FR-11 were developed using polyester resin as a polymer matrix, $CaCO_3$ and SiO_2 as fine mineral fillers, marble granules with a particle size of 0.5–3 mm as a structural filler, and ammonium phosphate (AP) and $Al(OH)_3$ as flame-retardant components. The polyester resin content was gradually reduced from 30.0 to 23.0 wt.%, whereas the ammonium phosphate content was increased from 8.0 to 20.0 wt.%. The limiting oxygen index was evaluated according to ISO 4589-2:2017. The mechanical properties of the composites were assessed using elastic modulus, maximum load, fracture load, and deformation characteristics. The results showed that the limiting oxygen index increased as the flame-retardant fraction increased: LOI values rose from 27–29% for FR-1 and FR-2 to 36–39% for FR-11. Although higher flame-retardant loading was accompanied by a reduction in load-bearing capacity in some compositions, the obtained mechanical characteristics indicate potential for non-load-bearing decorative applications. The results demonstrate the need to optimize the ratio between the polymer matrix, mineral fillers, and flame-retardant components to balance improved fire safety with adequate mechanical performance.*

Keywords: *polyester resin, polymer-mineral composite, decorative construction material, fire safety, flame retardant, ammonium phosphate, aluminum hydroxide, limiting oxygen index, flammability, mineral filler, mechanical properties, elastic modulus, fracture strength, flame-retardant composite.*

Introduction. Fire safety of decorative materials used in buildings is an important factor determining their operational reliability. Polymer-based composites are promising for decorative construction applications because of their processability, aesthetic properties, ease of shaping, and capacity for modification with mineral fillers [1; 2]. However, the organic polymer matrix may participate in combustion when exposed to elevated temperatures and flame. Therefore, reducing the flammability of decorative polymer composites and improving their fire-safety characteristics remain important scientific and practical challenges [2].

One effective approach to controlling the fire performance of polyester-resin composites is the incorporation of mineral and phosphorus-containing flame retardants [3-6]. Flame-retardant components such as ammonium phosphate and aluminum hydroxide can affect not only the reaction of the material to fire but also the structural integrity, stiffness, deformation behavior, and load-bearing response of the polymer matrix [3-9]. Therefore, improving fire performance while retaining adequate mechanical properties is of particular importance.

In this study, FR-1-FR-11 decorative polymer-mineral composites based on polyester resin were formulated. $CaCO_3$ and SiO_2 were used as finely dispersed mineral fillers, marble granules with a particle size of 0.5-3 mm as structural and decorative fillers, and ammonium phosphate (AP) and $Al(OH)_3$ as functional flame-retardant components.

In designing the experimental series, the polyester-resin content was gradually reduced from 30.0% in FR-1 and FR-2 to 23.0% in FR-11. Conversely, the ammonium phosphate content was increased from 8.0% to 20.0%, while the $Al(OH)_3$ content was varied between 9.80% and 15.83%

depending on the formulation. This approach enabled a comparative assessment of how the ratio between the organic binder, mineral fillers, and flame-retardant phase affects the fire-safety and mechanical characteristics of the material.

The limiting oxygen index of the composites was determined in accordance with the principles of ISO 4589-2:2017 [10]. In addition, the mechanical behavior of the composites was characterized by elastic modulus, maximum load, fracture load, and deformation-related parameters; such characteristics are important for comparative evaluation of the service performance of polymer composites [11].

The aim of this study was to determine the effect of the amount of flame-retardant components on the fire-safety and mechanical properties of decorative polyester-mineral composites modified with ammonium phosphate and $Al(OH)_3$, and to scientifically evaluate an appropriate balance between flame-retardant efficiency and mechanical stability.

The main objectives were to compare the FR-1-FR-11 formulations containing different proportions of polyester resin, mineral fillers, and flame-retardant components; to evaluate the relationship between the flame-retardant phase content and the limiting oxygen index; and to determine the effect of compositional changes on the loading and deformation behavior of the composites.

Materials and Methods. Materials. The study investigated FR-1-FR-11 decorative polymer-mineral composite materials based on polyester resin. Polyester resin served as the continuous binding matrix; $CaCO_3$ and SiO_2 were used as finely dispersed mineral fillers; and 0.5-3 mm marble granules were used as coarse structural and decorative fillers. Ammonium phosphate (AP) and $Al(OH)_3$ were incorporated as flame-retardant components to control the material's reaction to fire [3-9]. An accelerator and a curing agent were used to form the crosslinked polyester matrix.

In the FR-1-FR-11 formulations, the polyester-resin content was gradually reduced from 30.0% to 23.0%, whereas the ammonium phosphate content was increased from 8.0% to 20.0%. Depending on the formulation, the $Al(OH)_3$ content ranged from 9.80% to 15.83%. The proportions of $CaCO_3$, SiO_2, and marble granules were varied to control the mineral skeleton, rheological behavior, and mechanical properties of the composites.

Table 1. Compositions of flame-retardant decorative polyester-based polymer-mineral composites FR-1-FR-11, wt.%. Source: experimental formulations developed by the authors.

No.	Component	**FR-1**	**FR-2**	**FR-3**	**FR-4**	**FR-5**	**FR-6**	**FR-7**	**FR-8**	**FR-9**	**FR-10**	**FR-11**
1	Polyester resin	30,00	30,00	29,00	29,00	28,00	28,00	27,00	27,00	26,00	26,00	23,00
2	**$CaCO_3$**	27,00	20,00	25,00	18,00	24,00	16,00	23,00	15,00	21,00	14,00	15,00
3	**SiO_2**	5,00	5,00	5,00	6,00	5,00	6,00	5,00	6,00	5,00	6,00	7,00
4	Marble granules, 0.5-3 mm	20,00	27,00	20,00	27,00	18,00	26,00	17,00	25,00	16,00	23,00	24,00
5	Ammonium phosphate (AP)	8,00	8,00	10,00	10,00	12,00	12,00	14,00	14,00	16,00	16,00	20,00
6	**$Al(OH)_3$**	9,80	9,80	10,80	9,80	12,80	11,84	13,84	12,84	15,83	14,82	10,84
7	Accelerator	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
8	Curing agent	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,14	0,14	0,14	0,15	0,16	0,15
	Total	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**

Preparation of composite samples. Before preparation, all components were weighed according to the prescribed mass fractions using a laboratory electronic balance. $CaCO_3$, SiO_2, and

marble granules were dried at 60 °C for 2-4 h and then cooled to 20-25 °C in a closed container to minimize moisture reabsorption. The thermal characteristics of ammonium phosphate and $Al(OH)_3$ were taken into account during drying; a preliminary temperature range of 50-60 °C was used for ammonium phosphate. The working temperature during composite preparation was maintained at approximately 20-22 °C.

Initially, the polyester resin was placed in a laboratory mixer and stirred at 200-300 rpm for 2-3 min. $CaCO_3$, SiO_2, $Al(OH)_3$, and ammonium phosphate were premixed separately to obtain a homogeneous dry blend. The mineral mixture was then introduced into the polyester resin in 3-5 portions. The initial mixing speed was set at 300-500 rpm and, after complete wetting of the powdered components, increased to approximately 500-800 rpm. The total dispersion time was 8-15 min. Marble granules with a particle size of 0.5-3 mm were added after the fine components had been fully wetted by the polyester matrix. To preserve the original particle-size distribution of the marble, the mixing speed was reduced to 150-300 rpm and mixing was continued for 3-5 min. In the highly filled FR-9-FR-11 formulations, the mineral components were introduced gradually.

Degassing, molding and curing. Air entrained during mixing was removed by vacuum degassing. Under laboratory conditions, stepwise vacuum treatment at a relative pressure of -0.08 to -0.095 MPa was applied for 2-5 min. The main degassing stage was performed before addition of the curing agent. The accelerator and curing agent were added in proportion to the polyester-resin content. The prepared composition was poured into preconditioned metal, glass, silicone, or polymer-coated molds. To improve distribution in the mold and remove residual air bubbles, the specimens were subjected to low-amplitude vibration for 30-120 s. Initial curing was carried out at 20-25 °C.

Determination of oxygen index. The limiting oxygen index of the FR-1-FR-11 specimens was evaluated using a GD-ISO4589-1 Limited Oxygen Index Tester. The test procedure followed the ISO 4589 series, with the determination at ambient temperature based on ISO 4589-2:2017. Each specimen was positioned vertically in the test chamber, and the oxygen concentration in the O_2/N_2 gas mixture was varied stepwise. The critical oxygen concentration at the transition between sustained burning and flame extinction was recorded as the LOI value [10].

Mechanical testing. The mechanical behavior of the FR-1-FR-11 specimens was evaluated using the elastic modulus, maximum load, fracture load, load at maximum deformation, and PrT1 parameters. The measured values were used for comparative assessment of the effect of composition on loading and deformation behavior [11]. General technical requirements for decorative slabs with polymer binders were considered with reference to GOST 24099-2013 [12]. The test principles specified in GOST 27180-2019 were considered as a comparative methodological basis for evaluating bending and failure load [13]; because this standard applies to ceramic tiles, the results were not interpreted as direct regulatory compliance for the polyester-mineral composites. Fire-safety results were considered within the general fire-safety framework of SHNQ 2.01.02-04 [14].

Results. Composition and fire-safety characteristics. In the FR-1-FR-11 formulations, the combined AP + $Al(OH)_3$ content varied from 17.80% to 31.83%, while the polyester-resin content decreased from 30% to 23%. In FR-1 and FR-2, the total AP + $Al(OH)_3$ content was 17.80%, and the LOI range was 27-29%. In FR-3 and FR-4, the flame-retardant phase amounted to 20.80% and 19.80%, respectively, with LOI values of 28-31%. The LOI was 30-33% for FR-5 and FR-6, 32-35% for FR-7 and FR-8, 34-38% for FR-9 and FR-10, and 36-39% for FR-11. Overall, the experimental series exhibited an increasing trend in LOI as the flame-retardant content increased from FR-1 to FR-11.

Table 2. Flame-retardant phase content, limiting oxygen index (LOI), and calculated density of FR-1-FR-11 polyester-mineral composites. Source: experimental results obtained by the authors.

Composition	**AP + Al(OH)₃, %**	Limiting oxygen index (LOI), %	Calculated density, g/cm³
FR-1	17,80	27–29	≈1,86
FR-2	17,80	27–29	≈1,86
FR-3	20,80	28–31	≈1,86
FR-4	19,80	28–31	≈1,86
FR-5	24,80	30–33	≈1,87
FR-6	23,80	30–33	≈1,87
FR-7	27,80	32–35	≈1,87
FR-8	26,80	32–35	≈1,87
FR-9	31,80	34–38	≈1,88
FR-10	30,80	34–38	≈1,88
FR-11	30,84	36-39	≈1,92

Mechanical properties. The mechanical test results for the FR-1-FR-11 composites are summarized in Table 3. Pronounced differences were observed among the formulations in elastic modulus, maximum load, and fracture load.

Table 3. Main mechanical parameters of FR-1-FR-11 polyester-mineral composites during loading, deformation, and fracture. Source: experimental results obtained by the authors.

Specimen	Elastic modulus (N/mm²)	Maximum load, calculated over all regions (N)	Fracture load, sensitivity: 10 (N)	Load at maximum deformation (N)	PrT1 load, 0.01% (N)
FR-1	281.667	1151.10	1151.10	694.458	67.1244
FR-2	20.6033	1250.35	1250.35	-0.09219	--
FR-3	179.703	977.154	977.154	0.28451	50.9771
FR-4	59.4562	1583.26	1583.26	0.50068	--
FR-5	33.3677	337.337	337.337	0.10014	--
FR-6	30.1435	383.215	383.215	0.40690	--
FR-7	26.5652	335.717	335.717	0.17643	--
FR-8	24.0663	376.337	376.337	0.25908	--
FR-9	50.1088	458.552	458.552	411.131	--
FR-10	78.3149	226.620	226.620	33.8809	--
FR-11	16.8860	336.005	336.005	0.32584	--

The FR-1 specimen exhibited an elastic modulus of 281.667 N/mm² and a maximum load of 1151.10 N; this was the highest elastic modulus among the investigated formulations. FR-2 reached a maximum load of 1250.35 N, whereas its elastic modulus was 20.6033 N/mm². FR-3 showed an elastic modulus of 179.703 N/mm² and a maximum load of 977.154 N. The highest maximum and fracture load was recorded for FR-4 at 1583.26 N, with an elastic modulus of 59.4562 N/mm². The maximum loads of FR-5-FR-8 were 337.337, 383.215, 335.717, and 376.337 N, respectively. FR-9 exhibited a maximum load of 458.552 N and an elastic modulus of 50.1088 N/mm². The maximum loads of FR-10 and FR-11 were 226.620 and 336.005 N, respectively. The load-deformation curves demonstrate a pronounced dependence of mechanical response on composition. In general, FR-1-FR-4 showed higher mechanical performance, whereas a decrease in maximum load was observed from FR-5 onward.

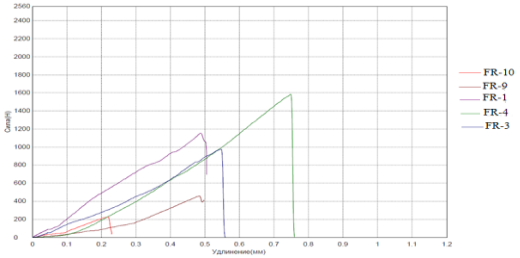


Figure 1. Load-extension (load-deformation) curves of FR-1, FR-3, FR-4, FR-9, and FR-10 polyester-mineral composite specimens. Source: experimental results obtained by the authors.

Figure 1 analysis. The load-extension curves of FR-1, FR-3, FR-4, FR-9, and FR-10 show substantial differences in deformation response among the formulations. FR-1 is characterized by high initial stiffness, whereas FR-4 demonstrates the greatest load-bearing capacity. Lower maximum loads are observed for FR-9 and FR-10. These differences indicate the influence of the polyester-to-mineral/flame-retardant phase ratio on the mechanical behavior of the composites.

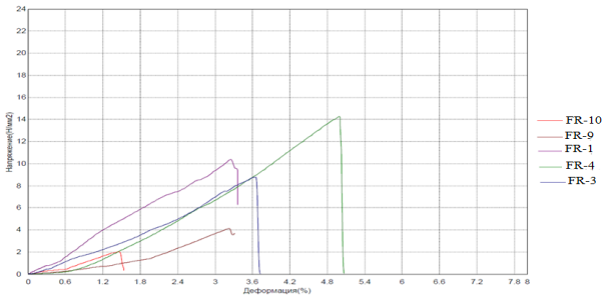


Figure 2. Stress-deformation curves of FR-1, FR-3, FR-4, FR-9, and FR-10 polyester-mineral composite specimens. Source: experimental results obtained by the authors.

Figure 2 analysis. The stress-deformation relationships indicate relatively high stiffness for FR-1 and FR-3, while FR-4 is capable of sustaining a higher load. FR-9 and FR-10 display lower deformation response and load-bearing capacity. These differences may be associated with variations in the proportions of mineral fillers and flame-retardant components.

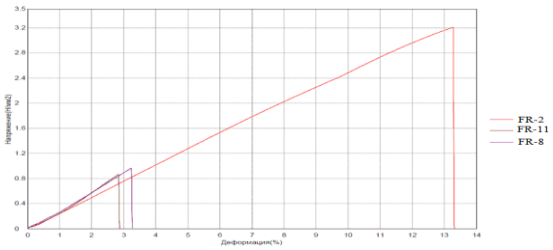


Figure 3. Stress-deformation curves of FR-2, FR-8, and FR-11 polyester-mineral composite specimens. Source: experimental results obtained by the authors.

Figure 3 analysis. The stress-deformation curves of FR-2, FR-8, and FR-11 reveal marked differences in mechanical response. FR-2 exhibits the highest load-bearing capacity, with a maximum load of 1250.35 N, whereas the corresponding values for FR-8 and FR-11 are 376.337 and 336.005 N, respectively. In addition, the elastic modulus of FR-11 is 16.8860 N/mm², one of the lowest values within this group.

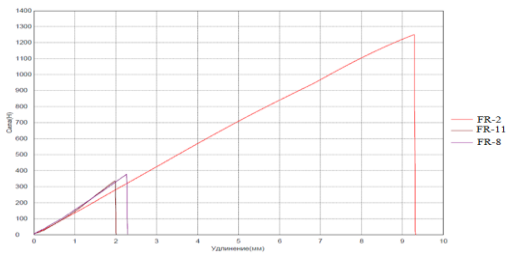


Figure 4. Load-extension curves of FR-2, FR-8, and FR-11 polyester-mineral composite specimens. Source: experimental results obtained by the authors.

Figure 4 analysis. The load-extension behavior of FR-2, FR-8, and FR-11 shows a tendency for load-bearing capacity to decrease as the polyester-binder fraction decreases and the flame-retardant phase increases. Compared with the high maximum load of FR-2, the values for FR-8 and particularly FR-11 are substantially lower. This behavior may be associated with reduced continuity of the binder matrix under conditions of high mineral and flame-retardant loading.

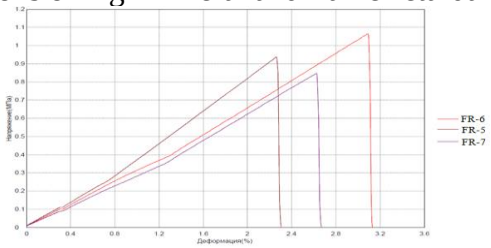


Figure 5. Stress-deformation curves of FR-5, FR-6, and FR-7 polyester-mineral composite specimens. Source: experimental results obtained by the authors.

Figure 5 analysis. The stress-deformation curves of FR-5, FR-6, and FR-7 indicate that the mechanical properties of these formulations are relatively similar. Their maximum loads range from 335.717 to 383.215 N, while their elastic moduli range from 26.5652 to 33.3677 N/mm². Compared with FR-1-FR-4, these formulations show lower mechanical strength at higher flame-retardant contents.

Figure 6 analysis. The load-extension curves of FR-5, FR-6, and FR-7 confirm that their behavior under loading is comparable. FR-6 exhibits the highest maximum load within this group at 383.215 N, whereas FR-5 and FR-7 reach 337.337 and 335.717 N, respectively. Thus, the mechanical indicators of these formulations vary within a relatively narrow range.

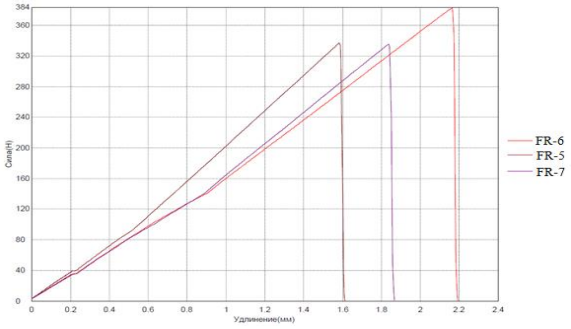


Figure 6. Load-extension curves of FR-5, FR-6, and FR-7 polyester-mineral composite specimens. Source: experimental results obtained by the authors.

Discussion. The experimental results show that the performance of polyester-mineral composites is governed by the relative proportions of the polymer matrix, mineral fillers, and flame-retardant components. From FR-1 to FR-11, the decrease in polyester-resin content from 30% to 23% reduced the combustible organic fraction, while the increase in ammonium phosphate and $Al(OH)_3$ increased the functional flame-retardant phase. The fire-retardant action of $Al(OH)_3$ can be attributed to its endothermic decomposition upon heating:

$$2Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2O\uparrow$$

During this process, heat absorption can reduce the rate of surface temperature rise. The released water vapor can dilute combustible gaseous products, while the resulting Al_2O_3 contributes to the solid mineral residue and may provide an additional barrier to heat and mass transfer. The function of ammonium phosphate is associated with a phosphorus-based flame-retardant mechanism.

From this perspective, the increase in the LOI range from 27-29% to 36-39% with increasing total AP + $Al(OH)_3$ content can be considered a compositional trend associated with an increased flame-retardant fraction and a reduced polyester fraction.

The elastic modulus of 281.667 N/mm² for FR-1 suggests that the combination of 30% polyester resin and 27% $CaCO_3$ may promote the formation of a relatively dense polymer-mineral structure. Finely dispersed $CaCO_3$ can fill interparticle voids and increase the contact area between the polymer and mineral phases.

For FR-2, the increase in maximum load to 1250.35 N, accompanied by a decrease in elastic modulus to 20.6033 N/mm², indicates greater deformability under load than in FR-1. The 27% marble-granule content may have strengthened the coarse mineral skeleton, whereas the reduction in $CaCO_3$ to 20% may have contributed to the lower initial stiffness.

FR-4 was particularly notable in terms of mechanical strength. Its maximum and fracture load of 1583.26 N suggests that the combination of 29% polyester, 27% marble granules, 18% $CaCO_3$, and 6% SiO_2 may provide a favorable structural ratio for transferring load through the mineral skeleton.

The reduction in maximum load to approximately 335-383 N for FR-5-FR-8 coincides with an increase in the flame-retardant content. Increasing AP and $Al(OH)_3$ may reduce the continuous volume fraction of the polyester matrix and promote local stress concentrations at interparticle interfaces. At the same time, the fire-retardant performance increased.

The partial recovery of maximum load to 458.552 N in FR-9 may be related to changes in the relative proportions of the mineral phases. However, the lower maximum loads of FR-10 and FR-11, 226.620 and 336.005 N respectively, may be associated with an insufficient polymer-binder fraction in highly flame-retarded formulations.

Overall, the FR-1-FR-11 series demonstrates that increasing the flame-retardant content improves fire-related characteristics, but at high loadings this improvement can be accompanied by reduced mechanical strength in some formulations. Therefore, selection of a decorative polyester-mineral composite formulation should be based not only on maximizing the oxygen index, but also on achieving a balance among fire safety, mechanical strength, and deformation stability.

Conclusions. The results confirm that flame-retardant components based on ammonium phosphate and $Al(OH)_3$ significantly influence both the fire-safety and mechanical characteristics of decorative polyester-mineral composites. Across the FR-1-FR-11 series, decreasing the polyester-resin content from 30.0% to 23.0% and increasing the flame-retardant fraction produced a consistent upward trend in the limiting oxygen index. FR-1 and FR-2, containing a total of 17.80% AP + $Al(OH)_3$, showed LOI values of 27-29%, whereas the highly flame-retarded FR-11 formulation reached 36-39%. This indicates a substantial reduction in the ability of the polyester-mineral composites to sustain combustion as the flame-retardant content increases.

Mechanical testing showed that compositional changes affected the deformation and strength characteristics of the specimens in different ways. FR-1 had the highest elastic modulus, 281.667 N/mm². The highest maximum and fracture load was obtained for FR-4 at 1583.26 N. For FR-5-FR-8, the maximum load ranged from 335.717 to 383.215 N, indicating a tendency for load-bearing capacity to decrease as the flame-retardant content increased.

Nevertheless, the reduction in mechanical indicators at higher flame-retardant contents does not necessarily preclude practical use of these materials. When considered not as structural load-bearing elements, but as relatively low-density decorative construction materials intended primarily for surface finishing, aesthetic performance, and reduction of fire hazard, the measured mechanical characteristics indicate sufficient service potential for non-load-bearing applications.

Thus, increasing the flame-retardant fraction makes it possible to obtain polyester-mineral composites with higher oxygen-index values and improved resistance to sustained burning. The results indicate that polyester-mineral composites modified with ammonium phosphate and $Al(OH)_3$ are promising for use as decorative building materials in applications where high structural loads are not required and improved fire-safety performance is a priority.

References.

1. Malik M, Choudhary V, Varma I. Current status of unsaturated polyester resins. *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*. 2000;40(2-3):139-165.

2. Bourbigot S, Duquesne S. Fire retardant polymers: Recent developments and opportunities. *Journal of Materials Chemistry*. 2007;17(22):2283-2300. doi:10.1039/B702511D.

3. Chu T, Lu Y, Hou B, et al. The application of ammonium polyphosphate in unsaturated polyester resins: A mini review. *Polymer Degradation and Stability*. 2024;225:110796. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2024.110796.

4. Reuter J, Greiner L, Kukla P, Döring M. Efficient flame retardant interplay of unsaturated polyester resin formulations based on ammonium polyphosphate. *Polymer Degradation and Stability*. 2020;178:109134. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2020.109134.

5. Chen Z, Jiang M, Zhang Q, et al. Synergistic effect of combined dimethyl methylphosphonate with aluminum hydroxide or ammonium polyphosphate retardant systems on the flame retardancy and thermal properties of unsaturated polyester resin. *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. 2017;22(6):509-518. doi:10.1080/1023666X.2017.1331393.

6. Chen Z, Jiang J, Yu Y, et al. Layer-by-layer assembled diatomite based on chitosan and ammonium polyphosphate to increase the fire safety of unsaturated polyester resins. *Powder Technology*. 2020;364:36-48. doi:10.1016/j.powtec.2020.01.037.

7. Muzaffarova N, Turaev K, Nurkulov F, et al. Development of eco-friendly flame-retardant textile materials: Global trends, bio-based flame retardants, and advanced modification technologies. *Chemical Review and Letters*. 2026;9:387-401. doi:10.22034/crl.2026.569449.1763.

8. Muzaffarova NSh, Nurkulov FN, Khaydarova ZN, et al. Synthesis of fire retardant with phosphorus and metal for preservation and reduction of flammability of textile materials. *Chemical Problems*. 2024;22(3):290-302. doi:10.32737/2221-8688-2024-3-290-302.

9. Rakhmonkulov AA, Nurkulov FN, Djalilov AT, et al. Investigation of the effect of graphite-based modifiers on the fire resistance of polymer composite materials. *Universum: tekhnicheskie nauki*. 2026;4(145). doi:10.32743/UniTech.2026.145.4.22562. (In Russ.)

10. International Organization for Standardization. ISO 4589-2:2017. Plastics - Determination of burning behaviour by oxygen index - Part 2: Ambient-temperature test. Geneva: ISO; 2017.

11. Nurkulov F, Miradullaeva G, Gadamov D, Ziyamukhamedova U, Rustamov M. Research of physical and mechanical properties of modified sulphur polymer composites. *AIP Conference Proceedings*. 2025;3256(1):030056. doi:10.1063/5.0266842.

12. GOST 24099-2013. Decorative facing slabs on basis of natural stone. Specifications. Moscow: Standartinform; 2019.

13. GOST 27180-2019. Ceramic tiles. Test methods. Moscow: Standartinform; 2020.

14. Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Republic of Uzbekistan. SHNQ 2.01.02-04. Bino va inshootlarning yong‘in xavfsizligi [Fire safety of buildings and structures]. Tashkent; 2004, with amendment

ERITMALARNI BUG'LATISHDA IKKILAMCHI BUG'LARNI KONDENSATSIYALASH JARAYONINI FAZALAR GIDRODINAMIKASINI YAXSHILASH BILAN TAKOMILLASHTIRISH

Ramazonov S.S., Xabibov F.Y., Sharipov N.Z.
Buxoro davlat texnika universiteti.

Annotatsiya. *Maqolada eritmalarni bug'latish jarayonida hosil bo'ladigan ikkilamchi bug'larni kondensatsiyalash jarayonining samaradorligini fazalar gidrodinamikasini takomillashtirish asosida oshirish masalasi tadqiq etilgan. Bug'latish qurilmalarida hosil bo'ladigan ikkilamchi bug'tarkibidagi yashirin issiqlikni qayta tiklash texnologik jarayonning energiya samaradorligini oshirishning muhim omillaridan biridir. Kondensatsiya jarayonida bug'va kondensat fazalarining tezligi, Reynolds soni, oqim rejimi, kondensat plyonkasi qalinligi, fazalararo sirt maydoni hamda gidravlik qarshiliklar issiqlik almashinuvi intensivligiga bevosita ta'sir ko'rsatadi.*

Tadqiqotda fazalar gidrodinamikasini optimallashtirishning nazariy asoslari ishlab chiqilib, bug'oqimini bir tekis taqsimlash, kondensat plyonkasini yupqalashtirish, turbulentlikni boshqarish, kondensatni tez chiqarish va bosim yo'qotishlarini kamaytirishning samaradorlikka ta'siri tahlil qilindi. Issiqlik va gidrodinamik parametrlarni kompleks optimallashtirish kondensatorning issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirish hamda yordamchi energiya sarfini kamaytirish imkonini berishi asoslandi.

Kalit so'zlar: *eritma, bug'latish, ikkilamchi bug', kondensatsiya, fazalar gidrodinamikasi, issiqlik almashinuvi, massa almashinuvi, kondensat plyonkasi, turbulentlik, Reynolds soni, Nusselt soni, gidravlik qarshilik, kondensator.*

Improving the process of condensing secondary vapors during evaporation of solutions by improving the hydrodynamics of the phases

Ramazonov S.S., Xabibov F.Y., Sharipov N.Z.
Bukhara state technical university.

Abstract. *This article investigates the issue of enhancing the efficiency of the condensation process for secondary vapors generated during solution evaporation by improving phase hydrodynamics. Recovering the latent heat contained in the secondary vapors produced in evaporation units is a key factor in increasing the energy efficiency of the technological process. During condensation, factors such as the velocities of the vapor and condensate phases, the Reynolds number, flow regime, condensate film thickness, interfacial surface area, and hydraulic resistance directly influence the intensity of heat exchange.*

The study develops theoretical foundations for optimizing phase hydrodynamics and analyzes the impact on efficiency of uniform vapor flow distribution, thinning the condensate film, turbulence control, rapid condensate removal, and the reduction of pressure losses. It is demonstrated that the integrated optimization of thermal and hydrodynamic parameters enables an increase in the condenser's heat transfer coefficient and a reduction in auxiliary energy consumption.

Keywords: *solution, evaporation, secondary vapor, condensation, phase hydrodynamics, heat exchange, mass exchange, condensate film, turbulence, Reynolds number, Nusselt number, hydraulic resistance, condenser.*

Bugungi kunda sanoat korxonalarida energiya resurslaridan samarali foydalanish, issiqlik yo'qotishlarini kamaytirish va texnologik jarayonlarning energiya samaradorligini oshirish muhim

ilmiy-texnik vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, kimyo, oziq-ovqat, farmatsevtika, neft-gaz, mineral o‘g’itlar ishlab chiqarish hamda boshqa texnologik jarayonlarda eritmalarni konsentratsiyalash uchun qo‘llaniladigan bug’latish qurilmalarida issiqlik energiyasidan qayta foydalanish alohida ahamiyatga ega. Bug’latish jarayonida erituvchining bir qismi bug’holatiga o‘tishi natijasida hosil bo‘ladigan ikkilamchi bug’tarkibida katta miqdorda yashirin issiqlik mavjud bo‘lib, undan oqilona foydalanish qurilmaning umumiy energetik samaradorligini oshirish imkonini beradi. Eritmalarni bug’latish jarayonida hosil bo‘ladigan ikkilamchi bug’larni kondensatsiyalash issiqlikni qayta tiklashning asosiy usullaridan biridir. Kondensatsiya vaqtida bug’ning fazaviy holati o‘zgarib, uning yashirin issiqligi sovituvchi muhitga uzatiladi. Mazkur issiqlikdan texnologik suvni qizdirish, boshqa bug’latish bosqichlarida foydalanish yoki yordamchi texnologik jarayonlarni ta’minlash mumkin. Shu sababli ikkilamchi bug’kondensatorining issiqlik almashinuvi samaradorligi butun bug’latish tizimining energiya sarfi va ishlab chiqarish samaradorligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Kondensatsiya jarayoni murakkab issiqlik va massa almashinuvi hodisasi bo‘lib, uning intensivligi faqat bug’va sovituvchi muhit o‘rtasidagi haroratlar farqi bilan belgilanmaydi. Bug’va kondensat fazalarining gidrodinamik holati, oqim tezligi, bosim, turbulentlik darajasi, fazalararo sirtning holati, kondensat plyonkasining qalinligi hamda kondensatning issiqlik almashinish yuzasidan chiqarilish tezligi jarayon samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Shuning uchun kondensatsiya jarayonini takomillashtirishda fazalar gidrodinamikasini boshqarish muhim ilmiy-amaliy yo‘nalish sifatida qaraladi. Kondensator ichida ikkilamchi bug’oqimining notekis taqsimlanishi issiqlik almashinish yuzasining ayrim qismlarida bug’ning ortiqcha to‘planishiga, boshqa qismlarida esa issiqlik almashinuvi intensivligining pasayishiga olib kelishi mumkin. Bundan tashqari, kondensatning issiqlik almashinish yuzasida to‘planishi natijasida kondensat plyonkasi qalinlashadi va issiqlik uzatishga qo‘shimcha termik qarshilik paydo bo‘ladi. Natijada umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyenti kamayib, kondensatorning samaradorligi pasayadi. Fazalar gidrodinamikasini yaxshilash orqali ushbu muammolarni kamaytirish mumkin.

Mazkur tadqiqotning maqsadi eritmalarni bug’latish jarayonida hosil bo‘ladigan ikkilamchi bug’larni kondensatsiyalash samaradorligini fazalar gidrodinamikasini takomillashtirish asosida oshirishning ilmiy va texnologik yechimlarini ishlab chiqishdan iborat. Tadqiqotning ilmiy yangiligi ikkilamchi bug’larni kondensatsiyalash jarayonida issiqlik almashinuvi va fazalar gidrodinamikasini o‘zaro bog’liq holda ko‘rib chiqish, bug’oqimi va kondensat plyonkasi harakatini boshqarish orqali kondensatsiya intensivligini oshirish hamda issiqlik uzatish koeffitsiyenti va gidravlik qarshiliklarni birgalikda hisobga oluvchi optimallashtirish yondashuvini taklif etishdan iborat. Tadqiqotning amaliy ahamiyati shundan iboratki, ishlab chiqilgan yondashuvlardan bug’latish qurilmalarining kondensatorlarini konstruktiv takomillashtirish, ikkilamchi bug’ning yashirin issiqligidan samaraliroq foydalanish, issiqlik almashinuvi yuzasining samaradorligini oshirish va yordamchi energiya sarfini kamaytirishda foydalanish mumkin. Kelgusida ushbu jarayonni CFD modellashtirish orqali o‘rganish kondensator ichidagi tezlik, bosim, harorat va fazalar hajmiy ulushi taqsimotlarini aniqlash hamda optimal konstruktiv-geometrik parametrlarni tanlash imkonini beradi. Shu nuqtai nazardan, eritmalarni bug’latishda ikkilamchi bug’larni kondensatsiyalash jarayonini fazalar gidrodinamikasini yaxshilash asosida takomillashtirish nafaqat issiqlik almashinuvi intensivligini oshirish, balki texnologik qurilmalarning energiya samaradorligini yaxshilash, ikkilamchi energiya resurslaridan foydalanish darajasini oshirish va ishlab chiqarishning umumiy energiya sarfini kamaytirish uchun muhim ilmiy-amaliy ahamiyat kasb etadi.

Eritmalarni bug’latish jarayonida hosil bo‘ladigan ikkilamchi bug’larni kondensatsiyalash issiqlik va massa almashinuvi jarayonlarining muhim ko‘rinishlaridan biri hisoblanadi. Kondensatsiya samaradorligini oshirish masalasi bug’latish qurilmalarining energiya samaradorligini yaxshilash, ikkilamchi issiqlik energiyasidan qayta foydalanish va issiqlik almashinish apparatlarining konstruktiv parametrlarini optimallashtirish bilan bevosita bog’liq. Zamonaviy tadqiqotlarda kondensatsiya jarayonining samaradorligi nafaqat issiqlik almashinish yuzasi va haroratlar farqi, balki bug’-suyuqlik fazalarining gidrodinamik xususiyatlari, oqim rejimi

va kondensat plyonkasining harakati bilan ham belgilanadi. Kondensatsiya nazariyasining fundamental asoslari Nusseltning plyonkali kondensatsiya modeliga borib taqaladi. Ushbu yondashuvda kondensat plyonkasining harakati asosan gravitatsiya va molekulyar impuls almashinuvi bilan bog'lanadi. Keyingi tadqiqotlarda esa kondensatsiya jarayoniga bug'ning siljish kuchi, turbulentlik, sirt geometriyasi, fazalararo sirt va ikki fazali oqim strukturasi kabi omillar ham sezilarli ta'sir ko‘rsatishi aniqlangan. Ho va Leong tomonidan amalga oshirilgan tanqidiy sharhda plyonkali tabiiy va majburiy konvektiv kondensatsiyaning kuchaytirilgan yuzalarda kechishi batafsil tahlil qilingan.

Kondensatsiya jarayonida suyuq plyonkaning harakati alohida ilmiy ahamiyatga ega. Riley va hammualliflar gorizontal minikanallarda plyonkali kondensatsiya jarayonini vizual kuzatish va suyuq plyonkani buzish orqali issiqlik almashinuvi mexanizmlarini tadqiq qilgan. Ushbu ishda ikki fazali oqim strukturasi, plyonkaning shakllanishi va uning gidrodinamik holati kondensatsiya jarayonining intensivligiga ta'sir qilishi ko‘rsatilgan [3]. Kondensatsiya jarayonini takomillashtirishning yana bir yo‘nalishi tomchili kondensatsiyadan foydalanish hisoblanadi. 2020-yilda chop etilgan keng qamrovli sharhda tomchili kondensatsiyaning nazariyasi, matematik modellashtirilishi, tajribaviy tadqiqotlari va amaliy qo‘llanilishi tahlil qilingan. Tadqiqotchilar tomchili kondensatsiyada kondensatning uzluksiz plyonka shaklida emas, balki alohida tomchilar ko‘rinishida hosil bo‘lishi natijasida issiqlik uzatish koeffitsiyenti plyonkali kondensatsiyaga nisbatan ancha yuqori bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatgan [4].

Kondensatsiya jarayonining gidrodinamik jihatlarini o‘rganishda ikki fazali oqim strukturasini hisobga olish muhim. Moreira va hammualliflar oqimdagi kondensatsiya jarayonlarini tahlil qilib, issiqlik uzatish koeffitsiyenti, bosim yo‘qotilishi, oqim strukturasi va fazalar hajmiy ulushi o‘rtasidagi bog'liqlikni ko‘rsatgan. Tadqiqot natijalari kondensatsiya jarayonining issiqlik va gidravlik ko‘rsatkichlarini alohida emas, balki o‘zaro bog'liq parametrlar sifatida baholash zarurligini ko‘rsatadi [5]. Ikkilamchi bug'larni kondensatsiyalashda kondensatsiyalanmaydigan gazlarning mavjudligi ham muhim muammo hisoblanadi. Bunday gazlar bug'-suyuqlik interfeysi yaqinida to‘planib, bug'ning kondensatsiya yuzasiga diffuziyasini qiyinlashtiradi va qo‘shimcha massa hamda issiqlik uzatish qarshiligini hosil qiladi.

Mazkur natijalar eritmalarni bug'latish qurilmalaridagi ikkilamchi bug'kondensatsiyasini tadqiq qilish uchun ham muhimdir. Chunki texnologik bug'oqimida havo yoki boshqa kondensatsiyalanmaydigan komponentlarning mavjudligi fazalararo massa almashinuvi qarshiligini oshirishi va natijada kondensatorning samaradorligini pasaytirishi mumkin [6]. Shuning uchun kondensatorning gidrodinamik rejimini optimallashtirishda nafaqat bug'tezligi va kondensat plyonkasi, balki fazalararo massa almashinuvi ham hisobga olinishi kerak. Kondensatsiya jarayonlarini sonli modellashtirishda CFD usullari tobora keng qo‘llanilmoqda. 2021-yilda chop etilgan tadqiqotda o‘zgartirilgan CFD modeli yordamida ikki fazali yopiq termosifondagi issiqlik va massa almashinuvi jarayonlari modellashtirilgan. Modelda fazaviy o‘tish haroratining mahalliy bosimga bog'liqligi hisobga olingan va hisoblash natijalari tajriba ma'lumotlari bilan tekshirilgan. Tadqiqot CFD modellaridan fazaviy o‘tish, harorat maydoni va oqim strukturasini tahlil qilishda foydalanish mumkinligini ko‘rsatadi [7].

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, hozirgi tadqiqotlarda kondensatsiya samaradorligini oshirishning bir nechta asosiy yo‘nalishlari shakllangan: kondensatsiya yuzasini modifikatsiyalash, kondensat plyonkasini boshqarish, fazalar oqimini turbulentlashtirish, ikki fazali oqim strukturasini optimallashtirish, kondensatsiyalanmaydigan gazlarning ta'sirini kamaytirish va CFD asosida jarayonni modellashtirish. Biroq mavjud tadqiqotlarning katta qismi sovitish tizimlari, energetik qurilmalar, gorizontal quvurlar, minikanallar yoki maxsus kuchaytirilgan yuzalarda kondensatsiyaga qaratilgan. Eritmalarni bug'latish jarayonida hosil bo‘ladigan ikkilamchi bug'larni kondensatsiyalashda esa bug'oqimi, kondensat plyonkasi, fazalararo massa almashinuvi, bosim yo‘qotilishi va issiqlik uzatish koeffitsiyentini yagona gidrodinamik tizim sifatida kompleks optimallashtirish masalasi yetarli darajada tizimlashtirilmagan. Shu sababli ushbu tadqiqotning ilmiy yo‘nalishi ikkilamchi bug'va kondensat fazalarining gidrodinamik parametrlarini o‘zaro

bog'liq holda o'rganish, kondensat plyonkasi qalinligini kamaytirish, bug'oqimini kondensator bo'ylab bir tekis taqsimlash hamda issiqlik uzatish va bosim yo'qotishlari o'rtasidagi optimal nisbatni aniqlashga qaratilishi mumkin.

Tadqiqot natijalari va muhokamasi. Eritmalarni bug'latish jarayonida hosil bo'ladigan ikkilamchi bug'larni kondensatsiyalash samaradorligi bug'oqimining gidrodinamik holati, kondensat plyonkasining qalinligi, fazalararo issiqlik va massa almashinuvi hamda kondensator ichidagi bosim taqsimotiga bevosita bog'liq. Tadqiqot doirasida ushbu parametrlarning o'zaro bog'liqligi nazariy va matematik jihatdan tahlil qilindi. Asosiy e'tibor issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirish bilan bir vaqtda gidravlik qarshilikning ortib ketishiga yo'l qo'ymaslikka qaratildi [8].

Ikkilamchi bug'kondensatsiyasining issiqlik samaradorligi. Kondensatsiya jarayonida ajralib chiqadigan issiqlik miqdori quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$Q = G_b r,$$

bu yerda Q— kondensatsiyada ajraladigan issiqlik miqdori, W; G_b— kondensatsiyalanayotgan bug'ning massaviy sarfi, kg/s; r— bug'ning yashirin kondensatsiya issiqligi, J/kg.

Boshqa tomondan, issiqlik almashinish apparatida uzatiladigan issiqlik miqdori:

$$Q = KA\Delta T_{lm}$$

ko'rinishida ifodalanadi. Bu yerda K— umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyenti, W/(m²·K); A— issiqlik almashinish yuzasi, m²; ΔT_{lm}— logarifmik o'rtacha haroratlar farqi.

Demak, kondensatsiya samaradorligini oshirish uchun Kkoeffitsiyentini oshirish muhim hisoblanadi. Biroq Kfaqat issiqlik almashinish yuzasiga emas, balki bug'va kondensat oqimlarining gidrodinamik holatiga ham bog'liq.

Umumiy issiqlik qarshiligi:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_g} + R_f + R_w + \frac{1}{\alpha_l}$$

orqali ifodalanadi. Bu yerda α_g— bug'tomoni issiqlik berish koeffitsiyenti, α_l— kondensat tomoni issiqlik berish koeffitsiyenti, R_f— ifloslanish yoki kondensat plyonkasi bilan bog'liq qarshilik, R_w— devorning termik qarshiligi.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, kondensat plyonkasi qalinlashgan sari $R_f$ortadi va natijada umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyenti kamayadi. Shu sababli fazalar gidrodinamikasini boshqarishning asosiy vazifalaridan biri kondensat plyonkasining haddan tashqari qalinlashishiga yo'l qo'ymaslikdan iborat.

Bug'fazasining o'rtacha tezligi:

$$u_g = \frac{G_g}{\rho_g A}$$

tenglama orqali aniqlanadi.

Bu yerda G_g— bug'ning massaviy sarfi, ρ_g— bug'zichligi, A— oqimning ko'ndalang kesim yuzasi.

Bug'tezligining oshishi dastlab fazalararo sirt bo'ylab oqimning intensivlashishiga olib keladi. Natijada bug'va kondensat o'rtasidagi issiqlik almashinuvi yaxshilanadi. Bug'oqimining dinamik ta'siri kondensat plyonkasini yupqalashtirishi va uning devor bo'ylab harakatini tezlashtirishi mumkin.

Bug'oqimi rejimini Reynolds soni yordamida baholash mumkin:

$$Re_g = \frac{\rho_g u_g d_h}{\mu_g}.$$

Re_g qiymatining oshishi oqimning inertsiya kuchlari ortishini bildiradi. Muayyan sharoitlarda bu holat turbulentlikning kuchayishiga va issiqlik uzatishning intensivlashishiga olib keladi.

Shu bilan birga, bug'tezligini cheksiz oshirish maqsadga muvofiq emas. Chunki oqim tezligining ortishi kondensatorda bosim yo'qotishlarini oshiradi:

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_{loc},$$

bu yerda ΔP_f— ishqalanish natijasidagi bosim yo'qotishi, ΔP_{loc}— mahalliy qarshiliklar sababli bosim yo'qotishi.

Shuning uchun tadqiqot natijalari bug'tezligi uchun issiqlik uzatish va gidravlik qarshilik o'rtasidagi optimal rejimni aniqlash zarurligini ko'rsatadi.

Kondensat oqimining gidrodinamik xususiyatlari. Kondensatning o'rtacha tezligi:

$$u_l = \frac{G_l}{\rho_l A}$$

ko'rinishida aniqlanadi.

Kondensat plyonkasining gidrodinamik holatini baholashda Reynolds sonining suyuqlik fazasi uchun qiymati ham muhim:

$$Re_l = \frac{\rho_l u_l d_h}{\mu_l}.$$

Kondensat oqimining tezligi past bo'lgan holatlarda devor yuzasida nisbatan qalin va barqaror plyonka shakllanishi mumkin. Ushbu plyonka issiqlik almashinuvi uchun qo'shimcha termik qarshilik hosil qiladi. Kondensat oqimining gidrodinamik boshqarilishi natijasida plyonkaning qalinligini kamaytirish va uning issiqlik almashinish yuzasidan tezroq chiqarilishini ta'minlash mumkin. Buning uchun kondensatni chiqarish kanallarining joylashuvi, quvur yoki kanalning qiyaligi hamda oqimning yo'nalishi muhim konstruktiv parametrlar hisoblanadi.

Fazalararo massa almashinuvi natijalari. Ikkilamchi bug'tarkibida kondensatsiyalanmaydigan gazlar mavjud bo'lsa, kondensatsiya jarayonida qo'shimcha massa almashinuvi qarshiligi yuzaga keladi. Fazalararo massa oqimi soddalashtirilgan holda:

$$N = k_m(C_b - C_s)$$

tenglama orqali ifodalanadi.

Bu yerda N— massa oqimi, k_m— massa berish koeffitsiyenti, C_b— asosiy oqimdagi komponent konsentratsiyasi, C_s— fazalararo sirt yaqinidagi konsentratsiya.

Kondensatsiyalanmaydigan gazlar bug'-suyuqlik interfeysi yaqinida to'planishi natijasida bug'molekulalarining kondensatsiya yuzasiga yetib borishi qiyinlashadi. Natijada fazalararo massa almashinuvi qarshiligi ortib, kondensatsiya tezligi pasayadi. Shu sababli ikkilamchi bug'kondensatorlarini takomillashtirishda bug'ni faqat issiqlik nuqtayi nazaridan emas, balki issiqlik-massa almashinuvi tizimi sifatida ko'rib chiqish zarur.

Fazalar gidrodinamikasini takomillashtirishning asosiy natijalari. Nazariy tahlil asosida fazalar gidrodinamikasini takomillashtirishning quyidagi mexanizmlari ajratildi:

Takomillashtirish yo'nalishi	**Gidrodinamik ta'sir**	**Kutiladigan issiqlik samarasi**
Bug'oqimini bir tekis taqsimlash	Mahalliy oqim nomutanosibligi kamayadi	Issiqlik almashinuvi yuzasi samaraliroq ishlaydi
Bug'tezligini optimallashtirish	Fazalararo siljish kuchi boshqariladi	Kondensatsiya intensivligi ortadi
Kondensatni tez chiqarish	Plyonka qalinligi kamayadi	Termik qarshilik kamayadi
Oqimni turbulentlashtirish	Aralashish va impuls almashinuvi kuchayadi	Issiqlik uzatish yaxshilanadi
Kuchaytirilgan sirtlardan foydalanish	Fazalararo kontakt yuzasi o'zgaradi	K ortishi mumkin
Kondensatsiyalanmaydigan	Massa almashinuvi qarshiligi	Kondensatsiya samaradorligi

gazlarni chiqarish	kamayadi	ortadi
CFD optimallashtirish	Mahalliy bosim, tezlik va harorat aniqlanadi	Optimal konstruksiya tanlanadi

Issiqlik-gidravlik optimallashtirish. Tadqiqot natijalaridan kelib chiqib, kondensatorni optimallashtirishda bir nechta parametrni bir vaqtda hisobga olish zarurligi aniqlandi. Buning uchun quyidagi maqsad funksiyasidan foydalanish mumkin:

$$J = w_1 \frac{1}{K} + w_2 \Delta P + w_3 P_e \rightarrow \min,$$

bu yerda w_1, w_2, w_3— mezonlarning ahamiyatini ifodalovchi vazn koeffitsiyentlari, P_e— yordamchi qurilmalar yoki nasoslar bilan bog'liq energiya sarfi.

Mazkur yondashuv kondensatorning faqat issiqlik uzatish koeffitsiyentini maksimal darajaga yetkazish emas, balki energiya sarfi va gidravlik qarshilikni ham hisobga olish imkonini beradi.

Shuningdek, kondensatsiya samaradorligini:

$$\eta_c = \frac{Q_{real}}{Q_{max}} \times 100\%$$

ifoda orqali baholash mumkin.

Bu yerda Q_{real}— amalda uzatilgan issiqlik miqdori, Q_{max}— nazariy maksimal issiqlik uzatish miqdori [9].

Natijalar muhokamasi. Olingan nazariy natijalar shuni ko‘rsatadiki, ikkilamchi bug’larni kondensatsiyalash samaradorligini oshirishning asosiy omili issiqlik almashinish yuzasini oddiy ravishda kattalashtirish emas, balki fazalar harakatini boshqarish hisoblanadi. Birinchidan, bug’oqimining bir tekis taqsimlanishi kondensator yuzasining to‘liqroq ishlashiga sharoit yaratadi. Oqimning ayrim zonalarda tez, boshqa zonalarda esa sust bo‘lishi issiqlik almashinish yuzasidan to‘liq foydalanilmasligiga olib kelishi mumkin. Ikkinchidan, kondensat plyonkasining qalinligi issiqlik uzatish jarayonidagi muhim cheklovchi omillardan biridir. Kondensatni issiqlik almashinish yuzasidan tez chiqarish orqali termik qarshilikni kamaytirish mumkin. Uchinchidan, bug’tezligini oshirish issiqlik uzatishni intensivlashtirishi mumkin, biroq bu bosim yo‘qotishlarining ortishi bilan birga kechadi. Demak, optimal rejim issiqlik uzatish koeffitsiyenti maksimal bo‘lgan nuqta emas, balki issiqlik samaradorligi va energiya sarfi o‘rtasidagi muvozanatni ta’minlaydigan nuqta sifatida qaralishi kerak. To‘rtinchidan, kondensatsiyalanmaydigan gazlarning mavjudligi fazalararo massa almashinuvi qarshiligini oshiradi. Shuning uchun ikkilamchi bug’ni kondensatsiyalash tizimida havoni va boshqa kondensatsiyalanmaydigan komponentlarni chiqarish uchun tegishli texnologik yechimlarni ko‘zda tutish muhim. Beshinchidan, CFD modellashtirish konstruktiv parametrlarni tajriba sinovlaridan oldin baholash imkonini beradi. Xususan, kanal geometriyasi, bug’kirish tezligi, kondensat chiqish kanali, devor harorati va bosim parametrlarini o‘zgartirish orqali optimal konfiguratsiyani aniqlash mumkin. Shunday qilib, tadqiqot natijalari eritmalarni bug’latishda hosil bo‘ladigan ikkilamchi bug’larni kondensatsiyalash jarayonida issiqlik va massa almashinuvi samaradorligini oshirish uchun fazalar gidrodinamikasini boshqarish muhim ekanligini ko‘rsatadi. Taklif etilgan yondashuv kondensatorning issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirish, kondensat plyonkasi qarshiligini kamaytirish va gidravlik yo‘qotishlarni nazorat qilishni yagona texnologik tizimda ko‘rib chiqish imkonini beradi. Mazkur natijalar keyingi bosqichda eksperimental qurilma yoki CFD modeli yordamida tekshirilishi, Reynolds, Nusselt va Prandtl mezonlari o‘rtasidagi aniq korrelyatsiyalar aniqlanishi hamda kondensatorning optimal konstruktiv va ekspluatatsion parametrlari belgilanishi uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi [10].

Eritmalarni bug’latishda hosil bo‘ladigan ikkilamchi bug’larni kondensatsiyalash jarayonini fazalar gidrodinamikasini takomillashtirish asosida boshqarish issiqlik energiyasidan samarali foydalanish, bug’latish qurilmalarining energetik samaradorligini oshirish va texnologik jarayonlarning barqarorligini ta’minlashning muhim yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Tadqiqot davomida ikkilamchi bug’ning kondensatsiyalanishi issiqlik almashinuvi bilan bir qatorda bug’va kondensat fazalarining gidrodinamik harakati, kondensat plyonkasining shakllanishi, fazalararo

massa almashinuvi va gidravlik qarshilik bilan chambarchas bog'liqligi aniqlandi. Nazariy tahlil natijasida bug'oqimining tezligi va rejimi kondensatsiya jarayonining intensivligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi ko'rsatildi. Reynolds sonining ortishi oqimning turbulentlik darajasini oshirib, ayrim sharoitlarda issiqlik uzatish koeffitsiyentining o'sishiga olib keladi. Biroq bug'tezligining haddan tashqari oshirilishi bosim yo'qotishlari va yordamchi energiya sarfining ko'payishiga sabab bo'lishi mumkin. Shu sababli kondensatorning optimal ish rejimini tanlashda issiqlik uzatish va gidravlik qarshilik o'rtasidagi muvozanatni ta'minlash zarur. Tadqiqotda kondensat plyonkasining qalinligi kondensatsiya samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biri sifatida baholandi. Kondensat plyonkasi qalinlashgan sari issiqlik almashinuvi uchun qo'shimcha termik qarshilik hosil bo'ladi va umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyenti kamayadi. Shuning uchun kondensatni issiqlik almashinish yuzasidan o'z vaqtida chiqarish, uning oqim yo'nalishini optimallashtirish va kondensator konstruksiyasini fazalar gidrodinamikasini hisobga olgan holda shakllantirish muhimdir. Shuningdek, ikkilamchi bug'tarkibida kondensatsiyalanmaydigan gazlarning mavjudligi kondensatsiya jarayoniga salbiy ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Bunday gazlar fazalararo sirt yaqinida qo'shimcha massa almashinuvi qarshiligini hosil qiladi. Shu sababli sanoat kondensatorlarida kondensatsiyalanmaydigan gazlarni chiqarish va bug'oqimining tarkibini nazorat qilish kondensatsiya samaradorligini oshirishning muhim sharti hisoblanadi. Kelgusida ushbu yondashuv asosida tajribaviy tadqiqotlar o'tkazish, turli oqim rejimlari uchun Reynolds–Nusselt korrelyatsiyalarini aniqlash, kondensat plyonkasi qalinligini eksperimental baholash va CFD natijalarini real qurilma ma'lumotlari bilan verifikatsiya qilish maqsadga muvofiqdir.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.
2. Çengel Y.A., Ghajar A.J. *Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications*. 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
3. Carey V.P. *Liquid-Vapor Phase-Change Phenomena*. 2nd ed. New York: Taylor & Francis, 2008.
4. Bird R.B., Stewart W.E., Lightfoot E.N. *Transport Phenomena*. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.
5. Bejan A. *Convection Heat Transfer*. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
6. Shah R.K., Sekulić D.P. *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.
7. Kakaç S., Liu H., Pramuanjaroenkij A. *Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.
8. Ho J.Y., Leong K.C. A critical review of filmwise natural and forced convection condensation on enhanced surfaces. *Applied Thermal Engineering*. 2021. Vol. 186. Article 116437.
9. Ivanov M.A., Petrova E.N. Hydrodynamics of liquid atomization by centrifugal nozzles in mixing heat exchangers // International Journal of Multiphase Flow. – 2025. – Vol. 172. – Art. 104715.
10. Шарипов Н.З., Исмоилов А.А., Ибрагимов Р.Р. Интенсификация процесса получения масла из ядра косточек вишни в поле сверхвысокочастотного тока // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – 2025.

Ramazonov Sobirjon Said o'g'li - Buxoro davlat texnika universiteti Texnologik mashina va jihozlar kafedrasi mustaqil tadqiqotchi. Tel.:+99894-549-34-84.Email:ramazonov01@gmail.com

Sharipov Nodirjon Zamirovich - Buxoro davlat texnika universiteti Texnologik mashina va jihozlar kafedrasi PhD. Tel.:+99897-303-22-77. E-mail: nodirzhons@bk.ru

Xabibov Faxriddin Yusupovich - Buxoro davlat texnika universiteti Texnologik mashina va jihozlar kafedrasi dotsenti PhD. Tel.:+99893-379-65-00. Email: faxriddinxabibov27@gmail.com

IKKILAMCHI BUG‘LARNI KONDENSATSIYALASH APPARATLARIDA FAZA CHEGARASIDAGI GIDRODINAMIK JARAYONLARNI INTENSIVLASH VA ISSIQLIK UZATISH SAMARADORLIGINI OSHIRISH

Ramazonov S.S., Xabibov F.Y., Sharipov N.Z.
Buxoro davlat texnika universiteti.

Annotatsiya. *Ushbu maqolada eritmalarni bug’latish jarayonida hosil bo‘ladigan ikkilamchi bug’larni kondensatsiyalash apparatlarida fazalar chegarasida kechadigan gidrodinamik jarayonlarni intensivlash va issiqlik uzatish samaradorligini oshirish masalalari tadqiq etilgan. Kondensatsiya jarayonida bug’-suyuqlik interfeysining shakllanishi, kondensat plyonkasining harakati, fazalararo siljish kuchlari, bug’ oqimining tezligi, turbulentlik va bosim yo‘qotishlarining issiqlik almashinuviga ta’siri tahlil qilingan.*

Tadqiqotda Reynolds, Prandtl va Nusselt mezonlari asosida fazalar gidrodinamikasi hamda issiqlik uzatish o‘rtasidagi bog’liqlik ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, kondensat plyonkasini yupqalashtirish, bug’ oqimini bir tekis taqsimlash, fazalararo sirtni rivojlantirish va kondensatsiyalanmaydigan gazlar ta’sirini kamaytirish orqali kondensatsiya samaradorligini oshirish imkoniyatlari asoslangan. Natijalar fazalar chegarasidagi gidrodinamik jarayonlarni boshqarish kondensatorlarning issiqlik samaradorligini oshirish va energiya sarfini kamaytirishning muhim omili ekanligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: *ikkilamchi bug’, kondensatsiya, fazalar chegarasi, gidrodinamika, issiqlik uzatish, kondensat plyonkasi, turbulentlik, Reynolds soni, Nusselt soni, kondensator.*

INTENSIFICATION OF HYDRODYNAMIC PROCESSES AT THE PHASE BOUNDARY IN SECONDARY VAPOR CONDENSATION DEVICES AND INCREASING HEAT TRANSFER EFFICIENCY

Ramazonov S.S., Xabibov F.Y., Sharipov N.Z.
Bukhara state technical university.

Abstract. *This article investigates issues related to intensifying hydrodynamic processes at the phase interface and enhancing heat transfer efficiency in apparatuses designed to condense secondary vapors generated during solution evaporation. The study analyzes the impact of vapor-liquid interface formation, condensate film dynamics, interfacial shear forces, vapor flow velocity, turbulence, and pressure losses on heat exchange.*

The relationship between phase hydrodynamics and heat transfer is examined using Reynolds, Prandtl, and Nusselt criteria. Furthermore, the study substantiates methods for improving condensation efficiency by thinning the condensate film, ensuring uniform vapor flow distribution, increasing the interfacial surface area, and mitigating the effects of non-condensable gases. The results demonstrate that controlling hydrodynamic processes at the phase interface is a crucial factor in enhancing the thermal efficiency of condensers and reducing energy consumption.

Key words: *secondary vapor, condensation, phase interface, hydrodynamics, heat transfer, condensate film, turbulence, Reynolds number, Nusselt number, condenser.*

Bugungi kunda sanoat korxonalarida energiya resurslaridan oqilona foydalanish, ikkilamchi issiqlik energiyasini qayta tiklash va texnologik jarayonlarning energiya samaradorligini oshirish muhim ilmiy-texnik vazifalardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, oziq-ovqat, kimyo, farmatsevtika, sellyuloza-qog’oz va boshqa texnologik ishlab chiqarishlarda eritmalarni bug’latish jarayonida katta miqdorda ikkilamchi bug’ hosil bo‘ladi. Ushbu bug’ tarkibida sezilarli miqdorda yashirin bug’lanish issiqligi mavjud bo‘lib, uni samarali kondensatsiyalash va issiqlik energiyasini qayta

foydalanish korxonaning umumiy energiya sarfini kamaytirish imkonini beradi. Ikkilamchi bug'ni kondensatsiyalash apparatlarida bug'ning suyuq fazaga aylanishi faqat issiqlik almashinuvi bilan chegaralanmaydi. Jarayonda bug' va kondensat fazalari orasidagi chegara qatlamida murakkab gidrodinamik hodisalar sodir bo‘ladi. Bug'ning oqim tezligi, bosimi, turbulentligi, kondensat plyonkasining qalinligi va harakat yo‘nalishi fazalar chegarasining holatiga bevosita ta'sir ko‘rsatadi. Kondensatsiya jarayonida hosil bo‘lgan suyuq plyonka issiqlik almashinish yuzasida qo‘shimcha termik qarshilik hosil qiladi. Plyonka qalinligining ortishi issiqlik oqimining kamayishiga olib keladi. Shu sababli fazalar chegarasidagi gidrodinamik jarayonlarni intensivlashtirishning muhim vazifalaridan biri kondensat plyonkasining optimal qalinligini ta'minlash va uning issiqlik almashinish yuzasidan samarali chiqarilishini tashkil etishdan iborat. Zamonaviy tadqiqotlarda kondensatsiya jarayonining samaradorligiga oqim strukturasi, sirt geometriyasi, fazalararo siljish va kondensatsiyalanmaydigan gazlarning ta'siri alohida o‘rganilmoqda. Xususan, zamonaviy sharhlarda kondensatsiyalanmaydigan gazlar bug'ning kondensatsiya yuzasiga diffuziyasini cheklovchi qarshilik qatlamini hosil qilishi va shu orqali issiqlik uzatish samaradorligini kamaytirishi qayd etilgan. Shundan kelib chiqib, ushbu tadqiqotning maqsadi ikkilamchi bug'larni kondensatsiyalash apparatlarida fazalar chegarasidagi gidrodinamik jarayonlarni tahlil qilish hamda ularni intensivlashtirish orqali issiqlik uzatish samaradorligini oshirishning nazariy va texnologik asoslarini ishlab chiqishdan iborat.

Kondensatsiya jarayonining klassik nazariyasi kondensat plyonkasining shakllanishi va uning issiqlik qarshiligini hisobga olishga asoslanadi. Zamonaviy tadqiqotlarda esa fazalar chegarasidagi gidrodinamik jarayonlarning kondensatsiya samaradorligiga ta'siri tobora ko‘proq o‘rganilmoqda.

Kondensatsiyalanmaydigan gazlar ishtirokidagi bug' kondensatsiyasi bo‘yicha 2024-yilgi keng qamrovli sharhda bug' va kondensatsiyalanmaydigan gaz aralashmasi kondensatsiya yuzasiga yaqin joyda qo‘shimcha qarshilik qatlamini hosil qilishi ko‘rsatilgan. Ushbu qatlam bug'ning fazalar chegarasiga yetib borishini qiyinlashtiradi va issiqlik hamda massa almashinuvi intensivligini pasaytiradi. Tadqiqotda CFD va mashinali o‘rganish usullaridan kondensatsiya issiqlik uzatish koeffitsiyentini bashorat qilishda foydalanish istiqbollari ham ko‘rib chiqilgan [1].

2025-yilgi sharhda kondensatsiyalanmaydigan gazlar mavjudligida issiqlik-gidravlik va geometrik parametrlarning kondensatsiya issiqlik uzatishiga ta'siri umumlashtirilgan. Unda oqim parametrlari, geometriya va o‘lchamsiz mezonlar asosida ishlab chiqilgan turli korrelyatsiyalar tahlil qilingan hamda CFD tadqiqotlari bilan bog'liqligi ko‘rsatilgan.

Avvalgi tadqiqotlar ham kondensat plyonkasining qalinligi, sirt to‘lqinlari va fazalararo siljish kuchlari kondensatsiya jarayonida muhim rol o‘ynashini ko‘rsatgan. Ayniqsa, fazalar chegarasidagi gidrodinamik sharoitning o‘zgarishi bug'ning kondensat plyonkasiga uzatilishi va issiqlik almashinuvining intensivligiga ta'sir qiladi [2].

Vertikal quvurdagi zamonaviy eksperimental tadqiqotlarda esa bug' massaviy oqim zichligi oshishi bilan kondensatsiya issiqlik uzatishining kuchayishi kuzatilgan; kondensatsiyalanmaydigan gazlar esa devor va chiqish hududlarida to‘planishga moyil bo‘lishi aniqlangan. Mazkur adabiyotlar shuni ko‘rsatadiki, fazalar chegarasidagi jarayonlarni faqat termik nuqtayi nazardan emas, balki gidrodinamik va massa almashinuvi jarayonlari bilan birgalikda o‘rganish zarur [3].

Tadqiqotda issiqlik va massa almashinuvi nazariyasi, ikki fazali oqimlar mexanikasi, o‘xshashlik nazariyasi hamda matematik modellashtirish usullaridan foydalanildi.

Kondensatsiyalanuvchi bug'ning asosiy gidrodinamik parametri uning o‘rtacha tezligi bilan aniqlanadi:

$$u_g = \frac{G_g}{\rho_g A},$$

bu yerda G_g — bug'ning massaviy sarfi, kg/s; ρ_g — bug' zichligi, kg/m³; A — oqimning ko‘ndalang kesim yuzasi, m².

Suyuqlik fazasining o‘rtacha tezligi esa:

$$u_l = \frac{G_l}{\rho_l A}$$

tenglama orqali aniqlanadi [4].

Fazalar oqimining rejimini baholash uchun Reynolds mezoni qo‘llanildi:

$$Re = \frac{\rho u d_h}{\mu}.$$

Bug’ va kondensat uchun alohida ravishda:

$$Re_g = \frac{\rho_g u_g d_h}{\mu_g},$$

$$Re_l = \frac{\rho_l u_l d_h}{\mu_l}.$$

Issiqlik uzatish jarayonining intensivligi Nusselt mezoni yordamida baholanadi:

$$Nu = \frac{\alpha d_h}{\lambda},$$

bu yerda α— issiqlik berish koeffitsiyenti, W/(m²·K); d_h— gidravlik diametr, m; λ— issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffitsiyenti, W/(m·K) [5].

Oqim rejimining issiqlik uzatishga ta’siri umumiy holda quyidagi korrelyatsiya bilan ifodalanishi mumkin:

$$Nu = CRe^m Pr^n,$$

bu yerda Pr— Prandtl mezoni:

$$Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda}.$$

Kondensatsiya jarayonida ajraladigan issiqlik miqdori:

$$Q = G_b r$$

orqali aniqlanadi. Issiqlik almashinish apparatidagi issiqlik uzatish esa:

$$Q = KA\Delta T_{lm}$$

ko‘rinishida ifodalanadi.

Ikkilamchi bug’ kondensatsiyasi vaqtida bug’ va kondensat orasida harakatlanuvchi fazalar chegarasi shakllanadi. Ushbu chegaraning holati bug’ oqimining tezligi, kondensat sarfi, sirt geometriyasi va bosimga bog’liq. Bug’ oqimining fazalar chegarasiga parallel yo‘nalishda harakatlanishi kondensat plyonkasiga siljish kuchini hosil qiladi [6]. Ushbu kuch plyonkaning harakat tezligini oshirishi va uning qalinligini kamaytirishi mumkin. Natijada kondensat plyonkasining termik qarshiligi kamayib, issiqlik uzatish yaxshilanadi.

Kondensat plyonkasining termik qarshiligi soddalashtirilgan holda:

$$R_f = \frac{\delta_f}{\lambda_f}$$

ko‘rinishida ifodalanadi.

Bu yerda δ_f— kondensat plyonkasi qalinligi, λ_f— kondensatning issiqlik o‘tkazuvchanligi.

Demak, $\delta_f$kamayishi $R_f$ning kamayishiga olib keladi. Bu esa umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyentining ortishiga sharoit yaratadi.

Bug’ tezligining fazalar chegarasiga ta’siri. Bug’ tezligining ortishi fazalar chegarasidagi impuls almashinuvini kuchaytiradi. Bu holat kondensat plyonkasiga ta’sir qiluvchi kesuvchi kuchning ortishiga olib kelishi mumkin.

Shu bilan birga, bug’ tezligining ortishi doimo ijobiy natija bermaydi. Yuqori tezliklarda gidravlik qarshilik va bosim yo‘qotishlari ortadi:

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_{loc}.$$

Shuning uchun kondensatsiya apparatini loyihalashda bug’ tezligi shunday tanlanishi kerakki, issiqlik uzatishning intensivlashuvi yordamchi energiya sarfining ortishi bilan mutanosib bo‘lsin [7].

Kondensat plyonkasini boshqarish. Kondensat plyonkasining qalinligi fazalar chegarasidagi eng muhim parametrlaridan biridir. Qalin plyonka issiqlik uzatish yo‘lida qo‘shimcha qarshilik hosil qiladi.

Plyonkaning samarali chiqarilishi quyidagi usullar bilan ta’minlanishi mumkin: apparatning optimal qiyalik burchagini tanlash, kondensatni chiqarish kanallarini takomillashtirish, bug’ oqimi yo‘nalishini boshqarish, fazalararo siljish kuchidan foydalanish, issiqlik almashinish yuzasining mikro va makrogeometriyasini optimallashtirish. Bunday konstruktiv yechimlar kondensatning apparat ichida ortiqcha to‘planishini kamaytirishi mumkin.

Turbulentlikning issiqlik uzatishga ta’siri. Fazalar chegarasidagi turbulentlikning kuchayishi impuls va energiya almashinuvini intensivlashtiradi. Bunda Reynolds sonining o‘zgarishi muhim ko‘rsatkich hisoblanadi.

Umuman:

$$Re \uparrow \Rightarrow Nu \uparrow$$

munosabati ma’lum oqim sharoitlarida kuzatilishi mumkin. Biroq bu bog’lanish universal emas va aniq qiymatlar apparat geometriyasi, fazalarning fizik xossalari va oqim rejimiga bog’liq. Turbulentlikni oshirish uchun oqimni yo‘naltiruvchi elementlar, qovurg’ali yuzalar, turbulizatorlar yoki maxsus kanal geometriyasidan foydalanish mumkin. Biroq bunday elementlar bosim yo‘qotishlarini ham oshirishi sababli issiqlik-gidravlik samaradorlik kompleks baholanishi kerak [8].

Kondensatsiyalanmaydigan gazlarning ta’siri. Ikkilamchi bug’ tarkibida havo yoki boshqa kondensatsiyalanmaydigan komponentlar mavjud bo‘lsa, ular fazalar chegarasi yaqinida to‘planishi mumkin. Natijada bug’ning kondensatsiya yuzasiga diffuziyalanishi qiyinlashadi.

Massa almashinuvi:

$$N = k_m(C_b - C_s)$$

orqali ifodalanadi.

Bu jarayonda $k_m$massa berish koeffitsiyenti kamayishi yoki fazalar chegarasidagi konsentratsiya gradientining o‘zgarishi kondensatsiya tezligiga salbiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin. 2024-yilgi sharhda aynan kondensatsiyalanmaydigan gazlar hosil qiladigan termik va diffuzion qarshilik kondensatsiya issiqlik uzatishini cheklovchi muhim mexanizmlardan biri sifatida ko‘rsatilgan. Shu sababli sanoat kondensatorlarida gazlarni chiqarish tizimining samaradorligi ham issiqlik almashinuvi bilan bir qatorda baholanishi kerak [9].

Issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirish. Kondensatorning umumiy issiqlik uzatish koeffitsiyenti:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_g} + R_f + R_w + \frac{1}{\alpha_l}$$

tenglama orqali ifodalanadi.

Ushbu tenglamadan ko‘rinadiki, umumiy issiqlik qarshiligi bir nechta tarkibiy qismlardan iborat. Faza chegarasidagi gidrodinamik jarayonlarni intensivlashtirish orqali asosan α_g, $\alpha_l$va $R_f$ga ta’sir qilish mumkin.

Masalan, kondensat plyonkasining qalinligini kamaytirish:

$$R_f \downarrow$$

ga olib keladi va natijada:

$$K \uparrow.$$

Shuningdek, bug’ oqimining samarali turbulentlashuvi $\alpha_g$ning ortishiga yordam berishi mumkin [10].

Issiqlik-gidravlik optimallashtirish. Kondensatsiya apparatini faqat maksimal issiqlik uzatish koeffitsiyenti bo‘yicha optimallashtirish yetarli emas. Chunki issiqlik almashinuvini kuchaytiruvchi ayrim konstruktiv elementlar gidravlik qarshilikni oshirishi mumkin.

Shu sababli umumiy optimallashtirish mezoni quyidagicha ifodalanishi mumkin:

$$J = w_1 \frac{1}{K} + w_2 \Delta P + w_3 P_e \rightarrow \min.$$

Bu yerda P_e— yordamchi qurilmalarning energiya sarfi, w_1, w_2, w_3— tegishli mezonlarning vazn koeffitsiyentlari.

Mazkur yondashuv orqali issiqlik uzatish koeffitsiyenti yuqori, lekin bosim yo‘qotishlari haddan tashqari katta bo‘lgan konstruksiyalar bilan issiqlik uzatishi nisbatan pastroq, biroq energiya sarfi kam bo‘lgan konstruksiyalarni birgalikda baholash mumkin [11].

Tadqiqot natijalari asosida ikkilamchi bug’ kondensatsiyalash apparati uchun quyidagi gidrodinamik konsepsiyani taklif qilish mumkin:

Ikkilamchi bug’, oqimni tekis taqsimlash, fazalar chegarasida boshqariladigan turbulentlik, kondensat plyonkasini yupqalashtirish, kondensatni tez chiqarish, kondensatsiyalanmaydigan gazlarni chiqarish, issiqlik uzatishni optimallashtirish. Mazkur tizimning asosiy maqsadi fazalar chegarasida bug’ va kondensatning o‘zaro ta’sirini boshqarish orqali issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirish va gidravlik yo‘qotishlarni maqbul darajada ushlab turishdan iborat [12].

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, ikkilamchi bug’larni kondensatsiyalash apparatlarida issiqlik uzatish samaradorligini oshirishning muhim shartlaridan biri fazalar chegarasidagi gidrodinamik jarayonlarni boshqarishdir. Bug’ oqimining tezligi, turbulentlik darajasi, fazalararo siljish kuchlari va kondensat plyonkasining qalinligi kondensatsiya jarayonining intensivligiga bevosita ta’sir ko‘rsatadi. Kondensat plyonkasini yupqalashtirish va uning issiqlik almashinish yuzasidan samarali chiqarilishini ta’minlash termik qarshilikni kamaytirish imkonini beradi. Bug’ oqimining optimal turbulentlashuvi esa fazalararo impuls va energiya almashinuvini kuchaytirib, issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirish uchun sharoit yaratadi. Shu bilan birga, oqimni haddan tashqari turbulentlashtirish bosim yo‘qotishlarini oshirishi sababli konstruktiv va rejim parametrlarini issiqlik-gidravlik mezonlar asosida tanlash talab etiladi. Kondensatsiyalanmaydigan gazlar mavjudligi esa fazalar chegarasida qo‘shimcha diffuzion qarshilik hosil qilib, kondensatsiya jarayonining intensivligini kamaytirishi mumkin. Shu sababli gazlarni chiqarish, bug’ oqimini tekis taqsimlash va kondensat plyonkasini boshqarish yagona texnologik tizim sifatida ko‘rib chiqilishi lozim. Umuman olganda, fazalar chegarasidagi gidrodinamik jarayonlarni intensivlash issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshirish, kondensat plyonkasining termik qarshiligini kamaytirish va ikkilamchi bug’ning yashirin issiqligidan samaraliroq foydalanish uchun ilmiy asos yaratadi. Kelgusidagi tadqiqotlarda ushbu nazariy xulosalarni tajribaviy qurilma va CFD modeli orqali verifikatsiya qilish, optimal Reynolds soni diapazonini aniqlash hamda issiqlik-gidravlik samaradorlikning aniq korrelyatsiyasini ishlab chiqish maqsadga muvofiq.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Incropera F.P., DeWitt D.P., Bergman T.L., Lavine A.S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.
2. Çengel Y.A., Ghajar A.J. Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications. 5th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2015.
3. Carey V.P. Liquid-Vapor Phase-Change Phenomena. 2nd ed. New York: Taylor & Francis, 2008.
4. Kharitonov A.V., Dmitriev S.V. Direct-contact condensation of vapor on mono- and polydisperse droplet sprays under vacuum conditions // Thermal Engineering. – 2024. – Vol. 71, Issue 5. – Pp. 382–390.
5. Bejan A. Convection Heat Transfer. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2013.
6. Shah R.K., Sekulić D.P. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.

7. Kakaç S., Liu H., Pramuanjaroenkij A. Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.
8. Kulieva N.G., Sharipov N.Z. Theoretical foundations of intensifying pumpkin pulp drying by ultrasonic action // Universum: Technical Sciences. – 2025. – No. 10.
9. Wang J., Chen L., Cai Q., Hu C., Wang C. Direct contact condensation of steam jet in subcooled water: A review. Nuclear Engineering and Design. 2021. Vol. 377. Article 111142.
10. Ahn T., Kang J., Nam S., Jeong J.J., Yun B. Experimental investigation of the steam condensation heat transfer in the presence of non-condensable gas inside a vertical tube. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2024. Article 108407.
11. Free convective condensation in the presence of noncondensable gases – A review with heat transfer studies. Annals of Nuclear Energy. 2025.
12. Review of vapor condensation heat and mass transfer in the presence of non-condensable gas. Applied Thermal Engineering. 2016.

Ramazonov Sobirjon Said o'g'li - Buxoro davlat texnika universiteti Texnologik mashina va jihozlar kafedrasi mustaqil tadqiqotchi. Tel.:+99894-549-34-84.Email:ramazonov01@gmail.com
Sharipov Nodirjon Zamirovich - Buxoro davlat texnika universiteti Texnologik mashina va jihozlar kafedrasi PhD. Tel.:+99897-303-22-77. E-mail: nodirzhons@bk.ru
Xabibov Faxriddin Yusupovich - Buxoro davlat texnika universiteti Texnologik mashina va jihozlar kafedrasi dotsenti PhD. Tel.:+99893-379-65-00. Email: faxriddinxabibov27@gmail.com

GIDROKSIBENZOY KISLOTALAR, AMINOPROPION KISLOTA VA IMIDAZOL HAMDA PIRAZOL ASOSIDA AMID BIRIKMALARINING SINTEZI VA FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARI

Sadullayeva Gulmira G‘aybullo qizi
Buxoro davlat texnika universiteti mustaqil izlanuvchisi, PhD
Hafizov Ulug‘bek Usmonovich
Zarmed univesiteti assistenti

Annotatsiya. *Gidroksibenzoy kislotalar asosida aminopropion kislota fragmentini saqlovchi, keyinchalik imidazol yoki pirazol bilan funksionallashtirilgan yangi amid birikmalarini olish yo‘nalishi o‘rganildi. Sintez jarayonida gidroksibenzoy kislotalar, oksalil xlorid, dimetilformamid (DMF), aminopropion kislota hamda imidazol yoki pirazol ishlatildi. Olingan mahsulotlarning unumlari, erish haroratlari, Rf qiymatlari, IQ va 1H YaMR ko‘rsatkichlari tahlil qilindi. Tadqiqotlarga ko‘ra, diamidlar 73–92% gacha unum bilan olingan.*

Kalit so‘zlar: *gidroksibenzoy kislota, aminopropion kislota, amid, diamid, imidazol, pirazol, oksalil xlorid, DMF, IQ, 1H YaMR.*

Abstract. *New amide compounds containing a hydroxybenzoic-acid fragment and an aminopropionic-acid linker followed by imidazole or pyrazole functionalization were investigated. The synthesized products were characterized by yield, melting point, Rf values, IR and 1H NMR data.*

Keywords: *hydroxybenzoic acid, aminopropionic acid, amide, diamide, imidazole, pyrazole, IR, 1H NMR.*

Kirish

Gidroksibenzoy kislotalar va ularning hosilalari tarkibida fenol gidroksili hamda karboksil guruhi mavjudligi sababli funksional organik birikmalar olish uchun qulay boshlang‘ich moddalar hisoblanadi. Adabiyotlarda ularning biologik xossalari, amid hosilalari va azot saqlovchi fragmentlar bilan modifikatsiyasi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan. [1–4]

Mazkur ishda molekulaga aminopropion kislota fragmentini kiritish, so‘ngra imidazol yoki pirazol fragmenti bilan funksionallashtirish orqali yangi tuzilishga ega amid birikmalarini olish va ularning fizik-kimyoviy tavsiflarini umumlashtirish maqsad qilingan.

Materiallar va usullar

Tadqiqot obyektlari sifatida orto-, meta- va para-gidroksibenzoy kislotalar, oksalil xlorid, DMF, aminopropion kislota, imidazol va pirazol ishlatilgan. Sintez ketma-ketligida avval karboksil guruhini faol shaklga o‘tkazish, keyin aminopropion kislota bilan amid bog‘ini hosil qilish va olingan oraliq mahsulotni imidazol yoki pirazol fragmenti bilan funksionallashtirish yondashuvi qo‘llangan. Ushbu jarayonda sintez qilishning Shotten-Baumen usulidan foydalanilgan. Ushbu sintez usulida gidroksibenzoy kislotaning karboksil guruhini faollashtirish uchun xlorangidridga aylantirish orqali funksional guruhlarni kiritishga asoslangan, reaksiya jarayonida ham katalizator, ham erituvchi sifatida DMF(dimetil formamid)dan foydalanilgan. Sintez jarayoni 4 bosqichdan iborat bo’lib, harorat va moddalarning mol miqdorlarini nazorat qilib turish, bundan tashqari, ikkinchi va uchinchi bosqichlarida ishqor qo’shish orqali muhitni nazorat qilish muhim ahamiyatga ega. Sintez qilingan moddalarning haqiyqiyligini tekshirish uchun IQ spektrlari IQ-Furye spektrometr IRSpirit (Shimadzu, Yaponiya) da 600–4000 sm^{-1} oralig‘ida, 1H YaMR spektrlari Mercury 300 plus (Varian, AQSh) spektrometrida qayd etilgan. [2]

Natijalar va muhokama

Sintez natijalari mahsulotlarning o‘ziga xos fizik ko‘rsatkichlari bilan tavsiflangan. Quyidagi tanlangan ma’lumotlar manbada keltirilgan qiymatlarni umumlashtiradi.

Birikma	Unum, %	Rf	T, °C
4-gidroksi-N-[3-(1H-imidazol-1-il)-3-oksopropil]benzamid	83	0,81	287
2-gidroksi-N-[3-okso-3-(1H-pirazol-1-il)propil]benzamid	80	0,79	296
3-gidroksi-N-[3-okso-3-(1H-pirazol-1-il)propil]benzamid	73	0,78	287
4-gidroksi-N-[3-okso-3-(1H-pirazol-1-il)propil]benzamid	82	0,78	—
2-gidroksi-N-[3-(1H-imidazol-1-il)-3-oksopropil]benzamid	87	0,81	287
3-gidroksi-N-[3-(1H-imidazol-1-il)-3-oksopropil]benzamid	88	0,82	298

IQ spektrlarida fenol O–H va amid N–H guruhlariga xos keng yutilishlar 3500–3000 sm^{-1} sohasida, karbonil guruhlariga xos yutilishlar taxminan 1700–1650 sm^{-1} sohasida kuzatilgan. Ayrim namunalar uchun 1707 va 1748 sm^{-1} da C=O, 3472 sm^{-1} da N–H va 3511 sm^{-1} da O–H tebranishlari qayd etilgan.

1H YaMR ma’lumotlarida ikki metilen guruhiga tegishli signallar taxminan 2,7–3,8 ppm oralig‘ida kuzatiladi. 3-gidroksi hosilasi uchun 2,71 va 3,74 ppm sohalaridagi signallar 4H ga tegishli deb izohlangan. 4-gidroksi imidazol hosilasida aromatik protonlar 6,9–8,15 ppm, 2CH2 protonlari esa 2,72–3,74 ppm oralig‘ida qayd etilgan.

Tuzilishning spektral tasdig‘i

Fenol OH, amid NH, ikkita karbonil guruhi, aromatik halqa hamda imidazol/pirazol halqasining birgalikda mavjudligi sintez mahsulotlarining ko‘p funksional tuzilishini ko‘rsatadi. Orto-gidroksi hosilalarida ichki vodorod bog‘lanishi ehtimoli sababli fenol OH signali yuqoriroq kimyoviy siljish sohasida namoyon bo‘lishi mumkin.

Xulosa

Gidroksibenzoy kislotalar asosida aminopropion kislota fragmentini saqlovchi imidazol va pirazol hosilalarini olish yondashuvi tizimlashtirildi. Tanlangan mahsulotlarda yuqori unumlar, xarakterli IQ va 1H YaMR signallari qayd etilgan. Spektral ma’lumotlar amid va karbonil guruhlari, aromatik halqa hamda azot saqlovchi geterohalqalar mavjudligini tasdiqlovchi belgilarni ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Manuja R., va boshqalar. A comprehensive review on biological activities of p-hydroxybenzoic acid and its derivatives // International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research. – 2013. – Vol. 22, No. 2. – P. 109–115.
2. Брель А.К., Будаева Ю.Н., Лисина С.В., Ниязов Л.Н. Синтез амидов производных гидроксибензойных кислот с 6-амино-1,3-диметилпиримидин-2,4-дионом // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2022. – №12(271). – С.66–69.
3. Lundahl M., va boshqalar. Mycobacterial para-hydroxybenzoic acid derivatives and related structures induce macrophage innate memory // ACS Chemical Biology. – 2020. – Vol.15, No.9. – P.2415–2421.
4. Брель А.К., va boshqalar. Амидирование гидроксибензойных кислот имидазолом // Журнал общей химии. – 2016. – Т.86, №3. – С.549–551.
5. Chaudhry J., Jain A., Manuja R. Comprehensive review on biological activities of p-hydroxybenzoic acid and its derivatives // International Journal of Pharmaceutical Sciences. – 2013.
6. Hayat S., va boshqalar. Salicylic Acid. – Springer, 2013. – 396 p.
7. Raskin I. Role of salicylic acid in plants // Annual Review of Plant Biology. – 1992. – Vol.43, No.1. – P.439–463.

GIDROKSIBENZOY KISLOTALAR ASOSIDAGI AMID BIRIKMALARINING KVANT-KIMYOVIY PARAMETRLARI VA ELEKTRON TUZILISHI

Sadullayeva Gulmira G‘aybullo qizi
Buxoro davlat texnika universiteti mustaqil izlanuvchisi, PhD
Hafizov Ulug‘bek Usmonovich
Zarmed univesiteti assistenti

Annotatsiya. *Gidroksibenzoy kislotalar asosida olingan imidazol va pirazol saqlovchi amidlarning kvant-kimyoviy tavsiflari tahlil qilindi. Hisoblashlarda molekulalarning umumiy energiyasi, hosil bo‘lish energiyasi, hosil bo‘lish issiqligi, elektron va yadro energiyalari hamda dipol momentlari keltirilgan. Hisoblash natijalari molekula tuzilishidagi gidroksi guruhining holati va imidazol/pirazol fragmentining elektron xususiyatlarga ta’sirini ko‘rsatadi.*

Kalit so‘zlar: *kvant-kimyoviy hisoblash, AM1, MNDO, RMZ, dipol momenti, elektron zichlik, imidazol, pirazol, gidroksibenzoy kislota.*

Kirish

Har qanday molekula o‘ziga xos fizik-kimyoviy xossa va reaksiyaga kirishish qobiliyatini namoyon qiladi. Bu ularning elektron strukturasi va zichligi, elektronlarning taqsimlanishiga bevosita bog‘liq bo‘ladi [2; 3b]. Shundan kelib chiqib moddalarning sintezini rejalashtirish maqsadida molekulalarning tuzilishi va strukturasi oldindan kvant kimyoviy usullar yordamida molekula tuzilishini nuqtai-nazaridan optimal geometrik shakllarini baholash, oraliq va o‘tish holatining barqarorligini aniqlash mumkin bo‘ladi. Organik sintezda molekulalar va funksional guruhlarning o‘zaro ta’sirlashuvi natijasida sodir bo‘ladigan reaksiyalarda molekula tuzilishi, katalizatorlarning bor yoki yo‘qligi, oraliq birikmalarning hosil bo‘lishi va ular qisqa vaqtda o‘zgarish natijasida reaksiya bosqichlari vujudga keladi, bu esa reaksiyaning unumiga bevosita ta’sir etadi. Natijada kvant-kimyoviy hisoblashlar qiyinlashishi va ko‘p vaqtni olishi mumkin. Hozirgi kunga kelib kvant-kimyoviy usullarning rivojlanganligi, sun’iy intellekt asosida ishlaydigan onlayn va oflayn dasturiy mahsulot va superkomyuterlarning paydo bo‘lishi o‘ta murakkab bo‘lgan jarayonlarni ham modellashtirish hamda organik molekulalarning xossalarini tahlil qilish yoki oldindan prognozlash imkonini bermoqda. Shu sababli kvant-kimyoviy va molekulyar-dinamik usullarga asoslangan tadqiqotlar hozirda organik birikmalar sintezining ba’zi qonunlari va mexanizmlarini yaratish maqadida qo‘llaniladigan nazariy ma’lumotlarni aniqlash uchun fizik-kimyoviy tadqiqot usullari sifatida muhim ahamiyatga ega.

Hisoblash usuli

Kvant kimyosi dasturiy ta’minotini asosida molekulalarning elektron holatlari zichligi va uning fazoda tarqalishi, funksional guruhlarning reaksiya yuzalari va turli xil spektroskopik ma’lumotlarni hisoblash mumkin [3; 6b]. Qulay hamda universal usullardan biri bo‘lgan kvant kimyosi metodlari murakkab bo‘lmagan moddalarning elektron tuzilishini o‘rganish uchun qo‘llaniladi. Shu bilan birga eksperimental tadqiqot, ya’ni an’anaviy usullaridan ham butunlay voz kechib bo‘lmaydi. Kvant kimyoviy hisoblashlar Hyperchem va Gaussian dasturlari orqali aniqlangan bo’lib, tahlil natijalarida umumiy energiya, hosil bo‘lish energiyasi, hosil bo‘lish issiqligi, elektron energiyasi, yadro energiyasi va dipol momenti qiymatlari olindi. Dastlabki moddalardan gidroksibenzoy kislotalar, alanin, imidazol, pirazol va ularning hosilalarining RMZ va AM1 yarim emperik usullari yordamida olingan fazoviy geometriyasi va elektron tuzilishi to‘g‘risida olingan natijalar tahlil qilindi. Ushbu qiymatlar bizga sizntez natijasida olingan moddalarni faol reaksion qobiliyatga ega ekanligi hamda yuqori unum bilan mahsulot olish mumkinligini ko’rsatadi. Olingan qiymatlarni jadvalda ko’rishimiz mumkin:

Natijalar

Birikma	Umumiy energiya, kcal/mol	Hosil bo‘lish energiyasi	Hosil bo‘lish issiqligi	Dipol, D
o-Gidroksibenzoy kislota	-6489,10	-391,22	54,76	0,017
m-Gidroksibenzoy kislota	-43635,84	-1708,59	-199,09	3,225
p-Gidroksibenzoy kislota	-47085,20	-1989,94	-205,34	1,028
Alanin	-48329,70	-2069,48	-106,86	3,554
Oksalil xlorid	-47851,64	-1699,46	-45,29	3,119
Imidazol	-19641,40	-896,35	50,72	3,599
Pirazol	-19626,72	-881,63	65,44	2,106

Tanlangan mahsulotlar uchun quyidagi qiymatlar keltirilgan:

Mahsulot	Umumiy energiya	Hosil bo‘lish energiyasi	Hosil bo‘lish issiqligi	Dipol, D
2-gidroksi imidazol hosilasi	-78950,35	-3442,17	25,606	0,02
3- gidroksi imidazol hosilasi	-78946,63	-3438,468	21,895	0,39
4- gidroksi imidazol hosilasi	-78947,96	-3439,79	-23,22	0,36
2- gidroksi pirazol hosilasi	-78925,839	-3417,668	1,095	0,249
3- gidroksi pirazol hosilasi	-78934,01	-3425,84	-9,26	0,2285
4- gidroksi pirazol hosilasi	-78935,218	-3427,04	-10,47	5,233

Muhokama

Jadval qiymatlari bir xil molekulyar skeletda gidroksi guruhining o‘rni va geterohalqa turi o‘zgarganda energetik hamda dipol parametrlar ham o‘zgarishini ko‘rsatadi. Masalan, imidazol qatorida 2-, 3- va 4-gidroksi izomerlarning dipol momentlari mos ravishda 0,02; 0,39 va 0,36 D sifatida keltirilgan. Pirazol qatorida esa 2-, 3- va 4-gidroksi hosilalar uchun 0,249; 0,2285 va 5,233 D qiymatlar qayd etilgan.

Elektron zichlik taqsimotining grafik ko‘rinishi 2-gidroksi-N-[3-(1H-imidazol-1-il)-3-oksopropil] benzamid uchun alohida keltirilgan. Elektron donor va akseptor markazlarining mavjudligi molekuladagi vodorod bog‘lanishi hamda donor-akseptor o‘zaro ta’sirlarni muhokama qilish uchun asos bo‘la oladi.

Xulosa

Kvant-kimyoviy ma’lumotlar gidroksi guruhining joylashuvi va imidazol/pirazol fragmenti molekulalarning energetik va dipol xususiyatlariga ta’sir qilishini ko‘rsatdi. Hisoblashlar sintez qilingan birikmalarning elektron tuzilishini spektral va fizik-kimyoviy ma’lumotlar bilan birgalikda talqin qilish uchun qo‘shimcha asos beradi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Manuja R., va boshqalar. A comprehensive review on biological activities of p-hydroxybenzoic acid and its derivatives // International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research. – 2013. – Vol. 22, No. 2. – P. 109–115.
2. Брель А.К., va boshqalar. Амидирование гидроксибензойных кислот имидазолом // Журнал общей химии. – 2016. – Т.86, №3. – С.549–551.
3. Raskin I. Role of salicylic acid in plants // Annual Review of Plant Biology. – 1992. – Vol.43, No.1. – P.439–463.
4. Попл Д.А. Квантово-химические модели // Успехи физических наук. – 2002. – Т.172. – С.349.
5. Крылов Е.Н. Дескрипторы органических реакций // Вестник Ивановского университета. – 2014. – №2. – С.39–53.

IMIDAZOL VA PIRAZOL SAQLAGAN GIDROKSIBENZOY KISLOTA AMIDLARINING BIOLOGIK FAOLLIGI VA AMALIY AHAMIYATI

Sadullayeva Gulmira G‘aybullo qizi
Buxoro davlat texnika universiteti mustaqil izlanuvchisi, PhD
Hafizov Ulug‘bek Usmonovich
Zarmed univesiteti assistenti

Annotatsiya. *Gidroksibenzoy kislotalar, aminopropion kislota va imidazol/pirazol asosida olingan amidlarning biologik xususiyatlari manba ma’lumotlari asosida tahlil qilindi. PASS dasturidagi prognoz ko‘rsatkichlari hamda LD50 bo‘yicha hisoblangan toksikologik ko‘rsatkichlar umumlashtirildi. Shuningdek, ayrim birikmalarning g‘o‘za fuzarioz vilt kasalligiga ta’siri bo‘yicha amaliy natijalar keltiriladi. Biologik faollik va toksiklikka oid natijalar hisoblash yoki tajriba sharoitidagi ma’lumot sifatida alohida talqin qilindi.*

Kalit so‘zlar: *biologik faollik, PASS, Pa, Pi, LD50, imidazol, pirazol, g‘o‘za, fuzarioz vilt.*

Kirish

Biologik faol birikmalar organizmga turlicha so‘rilishi mumkin. Bu jarayon quyidagi mexanizmlar orqali amalga oshadi: passiv diffuziya, osonlashtirilgan diffuziya, filtrlanish, aktiv transport va pinotsitoz. Passiv diffuziya asosan qutbsiz, lipofil moddalar uchun xos bo‘lib, unda moddaning konsentratsiya gradiyenti asosiy harakatlantiruvchi omil hisoblanadi [1; 5 b.]. Bu mexanizm dori vositalarining asosiy so‘rilish usuli hisoblanadi, chunki ko‘pgina dori moddalar suvga nisbatan lipidlarda yaxshi erishi bilan xarakterlanadi. Shu munosabat bilan, passiv diffuziya orqali yaxshi so‘rilishi uchun dori moddasi past darajada ionlanuvchan bo‘lishi kerak [2; 9 b.].

Dori vositalarining bioensefalik to‘siqdan so‘riluvchanligi (ichak sistemasidan so‘rilish qobiliyati) ularning suvda eruvchanligi va lipofilligiga bog‘liq. Moddalar oshqozon-ichak yo‘lidagi biologik suyuqliklarda eruvchan bo‘lishi, shilliq qavatga yetib borishi va lipidli membrana orqali o‘ta olishi lozim. Bu jarayonga moddaning molekular massasi, vodorod bilan bog‘lanish qobiliyati, ionlanish darajasi va kislotalik-ishqorlik xossalari ta’sir ko‘rsatadi.

Gidroksibenzoy kislota hosilalari biologik faol organik birikmalar sinfida o‘rganilgan. Molekulaga azot saqlovchi fragmentlar kiritilishi uning fizik-kimyoviy va biologik xususiyatlarini o‘zgartirishi mumkin. Imidazol hosilalari ham turli biologik yo‘nalishlarda o‘rganilgan. [1,4–6]

Materiallar va usullar

Sintez qilingan moddalarning biologik faollik spektrlarini oldindan bashorat qilish maqsadida resurs PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances) [141] dan foydalanildi. Bu resursda o‘rganiladigan moddaning 4000 dan ortiq biologik faollik turlari, 500 ga yaqin farmakologik effekti, 3000 dan ortiq ta’sir mexanizmlari va organizmdagi 116 ta metabolizm fermentlari bilan ta’sirlashuvni o‘rtacha 95% aniqlikda bashorat qilib beradi. PASS natijalari.

Birikma/faoliyat	**Pa**	**Pi**
2-gidroksi-N-[3-(1H-imidazol-1-il)-3-oksopropil]benzamid — glukan endo-1,6-beta-glukosidaza ingibitori	0,870	0,004
Protein-glutamat metilesteraza ingibitori	0,825	0,011
N-atsetilneuraminat 7-O/9-O-atsetiltransferaza ingibitori	0,805	0,006
Glukan endo-1,3-beta-D-glukosidaza ingibitori	0,779	0,006
Aril-atsilamidaza ingibitori	0,712	0,008
Antiseborrik	0,709	0,036
3-gidroksi-N-[3-(1H-imidazol-1-il)-3-oksopropil]benzamid — glukan endo-1,6-beta-glukosidaza ingibitori	0,805	0,007

Jadvaldagi qiymatlar kompyuter prognozi bo‘lib, ular farmakologik yoki qishloq xo‘jaligi amaliyotida mustaqil tasdiqlangan samaradorlik o‘rnini bosmaydi.

Toksikologik prognoz

Tadqiqotda bir qator sintez qilingan birikmalarning organizmlarga zaharli ta’siri bor yoki yo’qligini tekshirish maqsadida ularning LD 50 qiymatlari aniqlangan, qiymatlariga ko’ra LD50 quyidagicha sinflanadi: I juda zaharli (LD50 <5); II juda kuchli zaharli (5-50); o‘rtacha zaharli (50-300); kam zaharli (300-2000); V amalda zaharsiz (2000-5000); VI zaharli emas (>5000). Biz sintez qilgan moddalarning ushbu tahlildan olingan qiymatlari taxminan qiymat 1100–1140 mg/kg atrofida keltirilgan va ular IV — kam zaharli sinfga kiritilgan. Masalan, 3-gidroksi va 4-gidroksi imidazol hosilalari uchun 1142,9 mg/kg, 2,4-digidroksi hosila uchun 1131,6 mg/kg qiymatlari keltirilgan. Bu natijalar prognoz sifatida qaralishi lozim.

Sintez qilingan moddalar tahlili natijalariga ko‘ra, ularning biologik faolligi prognoz qilinganida keng qamrovli terapevtik imkoniyatlarga ega bo‘lishi aniqlangan. Jumladan, ushbu moddalar quyidagi ferment va oqsillarni inhibitsiyalash yoki faollashtirish xususiyatiga ega bo‘lishi ehtimoli yuqori deb baholandi:

Glyukan endo-1,6-beta-glukosidaza ingibitori – bu fermentni to‘xtatish orqali zamburug‘lar va ayrim bakteriyalar hujayra devorining parchalashiga olib keladi, bu esa antibakterial yoki zamburug’larga qarshi faollikni ko‘rsatadi.

Protein-glutamat metilesteraza ingibitori – asab tizimida sinapslarda signal uzatish jarayonlarini tartibga soluvchi fermentni bostiradi, bu esa neyrodegenerativ kasalliklar yoki ruhiy holatlarni davolashda qo‘llanilishi mumkinligini anglatadi.

Qishloq xo‘jaligi yo‘nalishidagi natijalar

Tadqiqotlarda aminopropion kislota fragmenti orqali kiritilgan imidazol va pirazol saqlovchi diamidlar g‘o‘zaning fuzarioz vilt kasalligiga qarshi sinovlarda kasallanishni 6; 9,5 va 10,2% ga kamaytirgani hamda hosildorlikka ijobiy ta’sir kuzatilgani qayd etilgan. Mazkur ko‘rsatkichlar tajriba sharoitidagi natijalar sifatida keltirilgan.

Ushbu ma’lumotlar birikmalarning qishloq xo‘jaligi uchun biologik faol modda sifatida o‘rganish istiqbolini ko‘rsatadi, biroq amaliy qo‘llashdan oldin standartlashtirilgan dala sinovlari, selektivlik va ekologik xavfsizlik baholari talab etiladi.

Xulosa

Imidazol va pirazol saqlagan gidroksibenzoy kislota amidlarida PASS bo‘yicha turli biologik faolliklar prognoz qilingan. Ayrim birikmalar uchun Pa qiymatlari yuqori bo‘lib, Pi qiymatlari past qayd etilgan. LD50 hisoblashlari tanlangan namunalar uchun IV toksikologik sinfni ko‘rsatgan. G‘o‘za fuzarioz viltiga oid tajriba natijalari birikmalarni qishloq xo‘jaligi yo‘nalishida keyingi tadqiqotlar uchun asos sifatida ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Manuja R., va boshqalar. A comprehensive review on biological activities of p-hydroxybenzoic acid and its derivatives // International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research. – 2013. – Vol. 22, No. 2. – P. 109–115.
2. Lundahl M., va boshqalar. Mycobacterial para-hydroxybenzoic acid derivatives and related structures induce macrophage innate memory // ACS Chemical Biology. – 2020. – Vol.15, No.9. – P.2415–2421.
3. Congiu C., Cocco M.T., Onnis V. Antitumor activity of imidazole derivatives // Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters. – 2008. – Vol.18, No.3. – P.989–993.
4. Abdullah S.A.H., Shia J.S. Imidazole complexes synthesis and activity // Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia. – 2024. – Vol.38, No.6. – P.1681–1690.
5. Johnson N.A., Youngs W.J. Medicinal applications of imidazoles // Molecules. – 2017. – Vol.22.
6. Raskin I. Role of salicylic acid in plants // Annual Review of Plant Biology. – 1992. – Vol.43, No.1. – P.439–463.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

АЗОТНОКИСЛОТНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ФОСФОРИТОВ

О.С.Бобокулова, Н.Ш.Зулярова, Р.Р.Тожиев, М.А. Самадий

Аннотация. *Приведены результаты исследований разделения жидкой и твердой фаз продуктов разложения минерализованной массы – отхода обогащения фосфоритов Центральных Кызылкумов азотной кислотой. Показано, что образующаяся пульпа обладает не расслаивающейся консистенцией и не поддается фильтрации. Установлены оптимальные технологические параметры процесса разделения фаз путем предварительной аммонизации пульпы газообразным аммиаком до pH 5-7,5.*

Ключевые слова: *минерализованная масса, азотная кислота, аммонизация, фильтрация, удобрительный преципитат, жидкие азотно-кальциевые удобрения.*

Введение. *В связи с сокращением пригодных для земледелия почв, дефицитом пресной воды и увеличением народонаселения планеты резко обострилось обеспечение населения земли продовольствием. Одним из путей решения продовольственной проблемы является повышение урожайности сельскохозяйственных культур, внедрение новейших технологий обработки почвы, применение высокоурожайных сортов культур и водосберегающих методов выращивания растений, использование минеральных и органоминеральных удобрений, средств защиты растений, стимуляторов роста и развития растений, микроэлементов [1-7].*

Химическая промышленность занимает ведущие позиции в экономическом развитии Узбекистана. Она обеспечивает агропромышленный комплекс необходимыми минеральными удобрениями, пестицидами, дефолиантами и другими средствами химизации. На сегодняшний день сельское хозяйство полностью обеспечивается азотными и калийными удобрениями, тогда как потребность в фосфорсодержащих удобрениях обеспечивается на 30-35%. Практически отсутствуют производства комплексных NPK-удобрений для капельного орошения, органоминеральных и микроудобрений.

Химические предприятия, производящие фосфорные удобрения работают на фосфатном сырье, добываемом в Центральных Кызылкумах с низким содержанием фосфора (16,2% P_2O_5), высоким содержанием карбонатов (до 30% CO_2) и повышенным значением кальциевого модуля ($CaO:P_2O_5$ = 2.8-3.5). Такое сырье практически не пригодно для переработки на фосфорсодержащие удобрения [8, 9]. На заводы поставляется мытый, обожженный фосконцентрат, получаемый комплексным обогащением фосфоритной руды, при котором образуется большое количество фосфорсодержащих отходов, что составляет 42% от исходного количества P_2O_5 в исходной руде [10]. На Кызылкумском фосфоритном комплексе сложилось более 14 тыс. тонн отходов в виде минерализованной массы, хвостов обогащения, пылевидной фракции. Ежегодно при обогащении фосфоритов ЦК в отвалы уходит более 135 тыс. тонн P_2O_5. Если учесть содержание фосфора в отходах обогащения, запасы руды необогащенного фосфатного сырья и изыскать возможность вовлечения их в промышленное производство, то можно увеличить поставки фосфорсодержащих удобрений сельскому хозяйству. В этом аспекте наиболее перспективным являются методы азотнокислотной переработки [11-13].

Преимущество азотной кислоты заключается в том, что практически исключается образование как твердых, так и жидких отходов, так как азотная кислота используется двусторонне: как источник активного иона водорода, для разложения фосфатного сырья, так и в качестве носителя азота – полезной составной части жидких и твердых удобрений [11].

Отсутствие в Узбекистане производств по получению фосфорных и жидких удобрений азотнокислотной переработкой фосфоритов ЦК связано с трудностями разделения продуктов разложения фосфоритов Центральных Кызылкумов азотной кислотой

и необходимостью вымораживания или связывания нитрата кальция в сульфат кальция введением серной кислоты или сульфатных солей [14-16].

Таким образом, исследования, направленные на изыскание эффективных способов переработки вторичных ресурсов химической промышленности - отходов обогащения фосфоритов ЦК - минерализованной массы (ММ) в производство минеральных удобрений очень актуальны как в плане экологической, социальной так и экономической точек зрения.

Методы исследования. Для изучения процесса переработки отхода обогащения фосфоритов ЦК использовали ММ состава (масс. %): P_2O_5-12,86; CaO – 42,80; MgO – 0,80; Fe_2O_3 – 1,37; Al_2O_3- 1,17; CO_2 – 12,81; SO_3 – 2,00; F - 1,85, н.о. – 11,89, H_2O – 0,89 с кальциевым модулем 3,17, неконцентрированную 57% азотную кислоту и газообразный аммиак.

Исследования проводили на лабораторной установке, состоящей из стеклянного реактора с механической мешалкой и помещенного в термостат. Анализ исходного сырья, полупродуктов, готовых удобрений на содержание основных компонентов проводили известными методами химического анализа [17-19].

Результаты и обсуждения. Влияние температуры и продолжительности процесса на степень разложения ММ 40% азотной кислотой при ее норме 105% изучено при температурах 40, 50 и 60°С и постоянной скорости перемешивания. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Из данных таблицы видно, что процесс разложения ММ азотной кислотой протекает с большой скоростью и за первую минуту взаимодействия в кислоту переходит 92,20-94,84% P_2O_5, 91,23-93,46% CaO и 84,45-88,03% фтора в интервале температур 40-60°С. Процесс разложения практически завершается в течении 5-10 минут и степень извлечения P_2O_5 составляет 99,14-99,98%. При этих условиях степень извлечения CaO ниже, чем P_2O_5 и составляет 97,41-98,13%, что объясняется присутствием в составе ММ до 2% сульфата кальция. Степень извлечения фтора составляет 92,34-94,84%.

На рисунке 1 приведены данные степени извлечения P_2O_5 в раствор 40% азотной кислотой в зависимости от температуры и продолжительности взаимодействия компонентов. Из рисунка видно, что процесс извлечения P_2O_5 через 5 минут превышает 99%.

Таблица 1

Влияние температуры и продолжительности процесса на степень извлечения P_2O_5, CaO и F из ММ в раствор 40 % азотной кислоты при норме 105 %

№	Время, мин	Степень извлечения, %		
		P_2O_5	CaO	F
Температура 40 °С				
1	1	92,2	91,23	84,45
2	3	97,51	96,13	91,03
3	5	99,14	97,41	92,34
4	10	99,35	-	
5	15	99,38	97,72	94,14
6	30	99,51	97,80	96,29
Температура 50 °С				
7	1	93,1	91,82	86,37
8	3	98,04	97,01	92,03
9	5	99,44	97,97	93,56
10	10	99,63	-	
11	15	99,64	98,22	95,14
12	30	99,71	98,33	97,44
Температура 60 °С				

13	1	94,84	93,46	88,03
14	3	99,64	97,33	93,37
15	5	99,98	98,13	94,84
16	10	99,98	-	
17	15	99,98	98,36	96,53
18	30	99,98	98,45	98,09

Принимая во внимание, что при нейтрализации нитратно-фосфатных растворов до pH 3 производительность фильтрации по влажному не отмытому осадку повышается со 170 кг/м^2.ч, в отсутствие нитрата аммония, до 1250-1600 кг/м^2.ч, при отсутствии нитрата аммония, изучено влияние степени аммонизации продуктов азотнокислотного разложения ММ в интервале pH 3-7 [20]. Полученные данные приведены в таблице 2.

Если азотнокислотная пульпа с pH -1,25 обладает не расслаивающейся консистенцией и практически не фильтруется, то при pH 3 скорость фильтрации составляет по пульпе 524 кг/м^2.ч, 1652 кг/м^2.ч при pH 5 и 2380 кг/м^2.ч при pH 7.

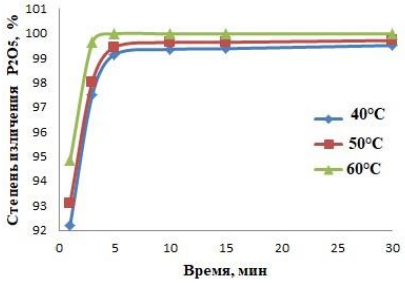


Рис. 1. Влияние температуры и продолжительности процесса на степень извлечения P_2O_5

На основе полученных результатов по разделению аммонизированных продуктов разложения ММ азотной кислотой разработано техническое решение возможности получения в одном технологическом цикле двух видов удобрений – жидкого азотно-кальциевого удобрения и медленно действующего удобрительного преципитата.

Таблица 2.

Влияние степени аммонизации азотнокислотной пульпы на процесс фильтрации.

№	pH	Скорость фильтрации, кг/м^2 *ч		
		по пульпе	по фильтрату	по осадку
1	-1,25	Практически не фильтруется		
2	3	524	371	125
3	5	1652	1168	457
4	7	2380	1676	657

Жидкое азотно-кальциевое удобрение является эффективным средством для засоленных и слабо засоленных почв, а преципитат ценным фосфорным удобрением для внесения под зябь [21. 22].

Разработана блок-схема переработки минерализованной массы на жидкие азотно-кальциевые удобрения и преципитат – дикальцийфосфат (рис. 2)

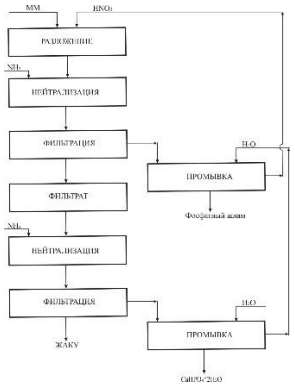


Рис. 2. Блок-схема переработки минерализованной массы

Блок-схема является основой для разработки технологической схемы и материального баланса переработки минерализованной массы на жидкие азотные и фосфорные удобрения. При нейтрализации продуктов разложения минерализованной массы газообразным аммиаком до pH 3 осаждаются фосфаты полуторных окислов и частично кальция. Дальнейшая аммонизация фильтрата до pH 6,5-7,5 позволяет получить жидкое азотно-кальциевое удобрение.

Осадок, полученный при pH 3 представляет собой фосфатный шлам в виде фосфатов железа, алюминия, фторида и фосфата кальция. Осадок при pH 7представляет собой, в основном, двухводный дикальцийфосфат.

Выводы. Проведенные исследования позволили установить возможность переработки техногенных отходов обогащения фосфоритов азотнокислотной переработкой на два вида минеральных удобрений в одном технологическом цикле. Для этого необходимо продукты разложения минерализованной массы азотной кислотой нейтрализовать газообразным аммиаком до pH 3 или 7 отделить образовавшиеся осадки. Осадок при pH 3 представляет собой фторфосфатный шлам, а при pH 7 очищенный от полуторных окислов и фторида кальция преципитат. Жидкая фаза является жидким азотно-кальциевым удобрением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каноатов Х.М., Шеркузиев Д.Ш., Ортикова С.С., Намазов Ш.С., Маматалиев А.А. Разработка технологии получения одинарных и комплексных удобрений по основе фосфоритов Центральных Кызылкумов. Ташкент, Изд-во «Навруз», 2019. 193 с.
2. Беглов Б.М., Намазов Ш.С., Дадаходжаев А.Т., Юлдашев Ш.Х., Ибрагимов Г.И. Нитрат кальция его свойства, получение и применение в сельском хозяйстве. Ташкент. – «Мехнат», 2001. 280 с.
3. Мельников Л.Ф. Органоминеральные удобрения. Санкт-Петербург. Изд-во Политехнического университета, 2013. 542 с.
4. Хамракулов З.А., Тухтаев С.Т., Аскарова М.К. Хлорат кальций- магниевый дефолиант на основе минерального сырья Узбекистана. Фергана, Изд-во “Фаргона”, 2017. 163 с.
5. Хамидов Е.Х., Шарипов Х.Т. Стимуляторы роста растений на основе гуанилгидрозонов и их комплексов с металлами. Труды республиканской научно-практической конференции. Ташкент, 2022. С. 272-273.
6. Тураев З., Шамшидинов И.Т., Усманов И.И. Технология одинарных и сложных удобрений с мимкроэлементами. Изд-во Lambert Academic Publishing, 2020. 159 с.

7. Костин В.И. Применение регуляторов роста и борной кислоты для внекорневой подкормки. /В.И.Котин, О.Г.Музурова, Е.Е.Сяпуков. Сахарная свекла. – 2012. - № 5. – С. 19-20.
8. Беглов Б.М., Намазов Ш.С. Фосфориты Центральных Кызылкумов и их переработка. – Ташкент, 2013. – 460 с.
9. Мирзакулов Х.Х. Физико-химические основы и технология переработки фосфоритов Центральных Кызылкумов. – Ташкент, Изд-во «Навруз», 2019. 416 с.
10. Кахаров Э.М., Сейтназаров А.Р., Мирсалимова С.Р., Намазов Ш.С. Механическая активация фосфоритной руды в присутствии азотных солей. Труды республиканской НПК., Ташкент, 2022. – С. 69-71.1
11. Набиев М.Н. Азотнокислотная переработка фосфатов. В 2-х томах. Ташкент, Изд-во «Фан», 1976. 820 с.
12. Гольдинов А.Л., Копылев Б.А. Комплексная азотнокислотная переработка фосфатного сырья. Л.: Химия, 1982, 207 с.
13. Яхонтова Л.Д., Петропавловский И.А., Кармышов В.Ф., Смиридонова И.А. Кислотные методы переработки фосфатного сырья. – М.: Химия. 1988.- 288 с.
14. Абдурахманов Э. Фосфориты Центральных Кызылкумов и переработка их на удобрения азотнокислотным методом. Дисс….канд. техн. наук. Ташкент, 1986. 155 с.
15. Позин М.Е. Технология минеральных солей. В 2-х т.-Л.: Химия. 1970.-1556 с.
16. Кармышов В.Ф. Химическая переработка фосфоритов. – М.: 1983. – 304 с.
17. Винник М.М., Ербанова Л.Н., Зайцев П.И. и др. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов. - М. Химия, 1974. – 218 с.
18. Кельман Ф.Н., Бруцкус Е.Б., Ошерович Р.И. Методы анализа при контроле производства серной кислоты и фосфорных удобрений. -М.: Госхимиздат. 1982. - 352 с.
19. Шварценбах Г., Флашка Г. Комплексонометрическое титрование. - М.: Химия. 1970. - 360 с.
20. Абдуллаева Е.Н. Азотнокислотная переработка магнезиальных фосфатов в удобрения и кормовые добавки. Дисс. … канд. техн. наук. Ленинград, 1983. 253 с.
21. Азимов Р.А. Физиологическая роль кальция в солеустойчивости хлопчатника. – Ташкент. Фан, 1973. – 204 с.
22. Шамуратова М.Р., Султонов Б.Э. Намазов Ш.С. Каймакова Д.А. Получение преципитата на основе мытого обожженного фосфоритового концентрата. Universum. Технические науки. Выпуск 7 (40), июль, Москва, 2017. С. 30-36.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

GURUCH KEPAGIDAN VODOROD SAQLASH UCHUN YUQORI SIRTLI UGLEROD MATERIAL OLISH

Azamatov Umid Zokirovich[1]
[1]*Toshkent kimyo-texnologiya instituti Yangiyer filiali*
umidazamatov03@gmail.com

ANNOTATSIYA

Ushbu tadqiqotda guruch kepagidan piroliz va kimyoviy faollashtirish usulida g'ovak uglerod materiallar olindi hamda ularning vodorod saqlash qobiliyati o'rganildi. Termogravimetrik tahlil natijalariga ko'ra piroliz harorati sifatida 650 °C va 950 °C tanlandi. Olingan bioko'mir KOH bilan 2:1 va 6:1 massa nisbatlarida faollashtirildi. Namunalar FTIR, SEM-EDS usullari va solishtirma sirt yuzasini aniqlash orqali tavsiflandi. KOH bilan faollashtirish natijasida mezo- va makrog'ovakli struktura hosil bo'ldi, uglerod miqdori 93 % gacha oshdi. 650 °C da olingan va 6:1 nisbatda faollashtirilgan namuna eng yuqori solishtirma sirt yuzasi (2500 m²/g) va vodorod sig'imini (77 K va 1,2 MPa da 4,7 massa %) ko'rsatdi. Vodorod fizik adsorbsiya mexanizmi bo'yicha 2 daqiqa ichida yutilib, ajralib chiqdi. Natijalar guruch kepagining energiya saqlash materiallari uchun istiqbolli xomashyo ekanligini ko'rsatadi.

KALIT SO'ZLAR: *guruch kepagi, bioko'mir, faollashtirilgan uglerod, KOH bilan faollashtirish, vodorod saqlash, fizik adsorbsiya.*

АННОТАЦИЯ

В данном исследовании из рисовой отруби методом пиролиза и химической активации были получены пористые углеродные материалы, а также изучена их способность удерживать водород. Согласно результатам термогравиметрического анализа, в качестве температуры пиролиза были выбраны 650 °C и 950 °C. Полученный биоуголь активировали с KOH в массовых соотношениях 2:1 и 6:1. Образцы характеризовались методами FTIR, SEM-EDS и определением удельной поверхности. В результате активации KOH образовалась мезо- и макропористая структура, содержание углерода увеличилось до 93%. Образец, полученный при температуре 650 °C и активированный в соотношении 6:1, показал самую высокую удельную поверхность (2500 м2/г) и водородную емкость (4,7 массовых процентов при 77 K и 1,2 МПа). Водород был поглощен и выделен в течение 2 минут по механизму физической адсорбции. Результаты показывают, что рисовая отруби является перспективным сырьем для энергосберегающих материалов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *рисовая отрубка, биоуголь, активированный углерод, активация KOH, хранение водорода, физическая адсорбция.*

ANNOTATION

In this study, porous carbon materials were obtained from rice bran by pyrolysis and chemical activation, and their hydrogen storage capacity was studied. According to the results of thermogravimetric analysis, 650°C and 950°C were selected as the pyrolysis temperature. ° The resulting biochar was activated with KOH at a mass ratio of 2:1 and 6:1. The samples were characterized using FTIR, SEM-EDS methods, and the determination of the specific surface area. As a result of KOH activation, a meso- and macroporous structure was formed, and the carbon content increased to 93%. The sample obtained at 650 °C and activated at a ratio of 6:1 showed the highest specific surface area (2500 m2/g) and hydrogen capacity (4.7 mass % at 77 K and 1.2 MPa). Hydrogen was absorbed and released within 2 minutes according to the physical adsorption mechanism. The results show that rice bran is a promising raw material for energy storage materials.

KEYWORDS: *rice bran, biochar, activated carbon, KOH activation, hydrogen storage, physical adsorption.*

KIRISH: Hozirgi vaqtda qazilma yoqilg'ilarga bo'lgan bog'liqlikni kamaytirish va atrof-muhitga zararli chiqindilarni qisqartirish dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Bu borada vodorod yuqori energiya zichligiga ega va yonganda faqat suv hosil qiladigan ekologik toza energiya tashuvchisi sifatida katta qiziqish uyg'otmoqda. Biroq vodorodni xavfsiz, samarali va ixcham saqlash uning keng qo'llanilishiga to'sqinlik qilayotgan asosiy muammo bo'lib qolmoqda [1].

Vodorodni saqlash usullari orasida g'ovak materiallarda fizik adsorbsiya tez, qaytar va xavfsiz jarayon sifatida alohida ahamiyatga ega. Faollashtirilgan uglerodlar yuqori solishtirma sirt yuzasi, rivojlangan mikrog'ovakli tuzilishi, kimyoviy barqarorligi va arzonligi tufayli vodorod saqlash uchun istiqbolli materiallar hisoblanadi [2]. So'nggi yillarda bunday materiallarni qishloq xo'jaligi chiqindilaridan olishga katta e'tibor qaratilmoqda. Jumladan, makkajo'xori so'tasi [3], kanop poyasi [4], qahva chiqindilari [5] va sellyuloza asetati [6] asosida olingan faollashtirilgan uglerodlar 77 K haroratda yuqori vodorod sig'imini namoyon etgan.

Faollashtirilgan uglerod olishda KOH bilan kimyoviy faollashtirish eng samarali usullardan biri hisoblanadi. U uglerod karkasida ko'plab g'ovaklar hosil qilib, solishtirma sirt yuzasini keskin oshiradi [7]. Materialning xossalari esa ko'p jihatdan xomashyo tarkibi va piroliz haroratiga bog'liq. Biomassa tarkibidagi gemitsellyuloza, selluloza va lignin turli harorat oraliqlarida parchalanadi, shu sababli optimal piroliz sharoitini termogravimetrik tahlil asosida tanlash muhim [8].

Guruch kepagi guruchni qayta ishlash jarayonida katta miqdorda hosil bo'ladigan, lekin yetarlicha foydalanilmaydigan qishloq xo'jaligi chiqindisidir. Uni yuqori qo'shimcha qiymatga ega uglerod materialga aylantirish ham chiqindilarni qayta ishlash, ham energetika muammolarini hal etishga xizmat qiladi.

Ushbu ishning maqsadi guruch kepagidan turli piroliz haroratlari va KOH nisbatlarida faollashtirilgan uglerod olish, uning tuzilishini o'rganish hamda vodorod saqlash qobiliyatini baholashdan iborat.

TADQIQOD OBYEKTLARI VA USULLARI: Tadqiqot obyekti sifatida Sirdaryo viloyatidagi guruchni qayta ishlash korxonasidan olingan guruch kepagi (RB) ishlatildi. Guruch kepagi changdan tozalash uchun distillangan suv bilan yuvildi va ortiqcha namlikni yo'qotish maqsadida quritish shkafida 80 °C haroratda 12 soat quritildi. Quritilgan xomashyo maydalanib, 1000 mkm li elakdan o'tkazildi va zarracha o'lchami 1000 mkm dan kichik bo'lgan fraksiya keyingi tajribalarda ishlatildi.

Piroliz jarayoni quvurli pechda azot oqimida (50 ml/min) olib borildi. Namunalar 10 °C/min tezlikda 650 °C yoki 950 °C gacha qizdirildi, shu haroratda 12 soat ushlab turildi va so'ngra 10 °C/min tezlikda xona haroratigacha sovutildi. Olingan namunalar mos ravishda RB-650 va RB-950 deb belgilandi. Piroliz harorati xomashyoning termogravimetrik tahlili natijalari asosida tanlandi [9, 10].

Olingan bioko'mir namunalari KOH bilan 2:1 va 6:1 massa nisbatlarida (KOH : bioko'mir) aralashtirilib, kimyoviy faollashtirildi [7, 11]. Faollashtirilgan uglerod namunalari RB-650/2:1, RB-650/6:1, RB-950/2:1 va RB-950/6:1 deb belgilandi.

Guruch kepagining termik parchalanish xususiyatlari 45–1000 °C harorat oralig'ida termogravimetrik tahlil (TGA/DTG) yordamida o'rganildi. Xomashyo, bioko'mir va faollashtirilgan uglerod namunalari sirtidagi funksional guruhlar FTIR spektroskopiya usulida aniqlandi [12]. Namunalarning morfologiyasi va mikrotuzilishi skanerlovchi elektron mikroskopda (SEM), element tarkibi esa energodispersion spektroskopiya (SEM-EDS) yordamida o'rganildi. Shuningdek, namunalarning solishtirma sirt yuzasi va g'ovaklar hajmi aniqlandi [13].

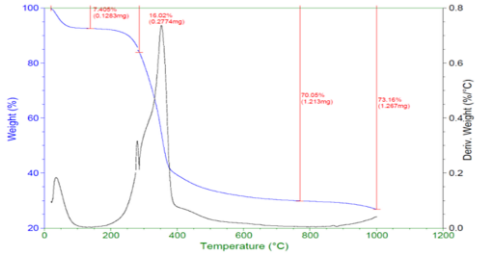
Faollashtirilgan uglerod namunalarining vodorod saqlash qobiliyati –196 °C (77 K) haroratda tadqiq etildi. Buning uchun bosim–tarkib–harorat (PCT) izotermalari o'lchandi, vodorod yutilish kinetikasi va desorbsiya jarayonlari o'rganildi [2, 14].

NATIJALAR VA MUHOKAMALAR: Guruch po'stlog'i (RH) tabiiy sharoitda aralashmalardan tozalash uchun distillangan suv bilan yuvildi. Tozalangan guruch po'stlog'i namlikni yo'qotish uchun quritish shkafida 80 °C haroratda bir kecha davomida quritildi. Quritilgan xomashyo maydalanib, 1000 mkm li elakdan o'tkazildi. Zarracha o'lchami 1000 mkm dan kichik

bo'lgan fraksiya keyingi bosqichda ishlatildi. Elakdan o'tkazilgan namunalar alyuminiy oksidi qayiqchasiga solinib, pechga joylashtirildi. So'ngra ular 200 ml/min N_2 oqimida 250 °C dan 950 °C gacha 10 °C/min tezlikda qizdirildi va 12 soat davomida izotermik sharoitda ushlab turildi. Piroliz qilingan namuna (RH-950) KOH bilan 2:1 massa nisbatida faollashtirildi.

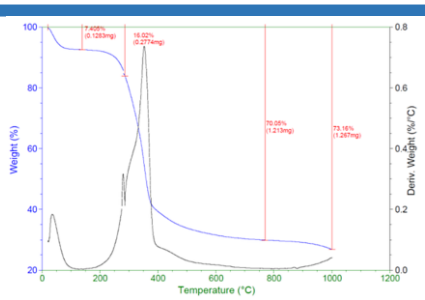
Guruch po'stlog'idan olingan bioko'mir unda g'ovakli tuzilish va yuqori solishtirma sirt yuzasini hosil qilish maqsadida KOH bilan faollashtirildi. Faollashtirilgan bioko'mir bir kecha davomida HCl bilan, so'ngra pH taxminan 7 ga yetguncha distillangan suv bilan yuvildi. Faollashtirilgan namunalar yakuniy bosqichda quritish shkafida 80 °C haroratda 24 soat quritildi. KOH bilan faollashtirilgan namuna RH-950/2:1 deb belgilandi.

Guruch po'stlog'ining piroliz (950 °C) oldidagi termogrammalari TGA yordamida olindi va ular 1-rasmda keltirilgan. Guruch po'stlog'ida massa yo'qotilishi asosan to'rt bosqichga bo'linadi. Massa yo'qotilishining birinchi bosqichi namuna tarkibidagi namlikning chiqib ketishi bilan bog'liq. Bu bosqich taxminan 100 °C da sodir bo'ladi va umumiy massaning 7,405 % ini tashkil etadi. 150–300 °C oralig'ida massa yo'qotilishining ikkinchi bosqichi kuzatiladi. Unda strukturaviy suv va gemitsellyulozaning chiqib ketishi hisobiga umumiy massaning taxminan 9 % i yo'qoladi. 315 °C dan yuqorida selluloza parchalana boshlaydi va taxminan 400 °C da kondensatsiyalanmaydigan gazlar hamda kondensatsiyalanadigan organik bug'larga aylanadi. Odatda lignin taxminan 160 °C da parchalana boshlaydi, biroq bu jarayon sekin kechadi va harorat 900 °C ga yetguncha davom etadi. Shu sababli 300–750 °C oralig'ida massa yo'qotilishining uchinchi bosqichi sodir bo'ladi. Bunda lignin va selluloza kabi turli uglerodli komponentlarning chiqib ketishi natijasida umumiy massaning 54 % i ajralib chiqadi. Massa yo'qotilishining to'rtinchi bosqichi taxminan 750–1000 °C oralig'ida kuzatiladi. U jami 3 massa % ni tashkil etadi va turli uglerodli komponentlarning chiqib ketishi davom etishi bilan bog'liq. Bu bosqich oxirida umumiy massa yo'qotilishi 73,16 % ga yetadi. 950 °C da bu jarayonlarning barchasi yakunlanadi, shu sababli piroliz uchun ushbu harorat tanlandi. Bu haroratda boshlang'ich materialdan faqat bioko'mirning uglerodli karkasi qoladi.

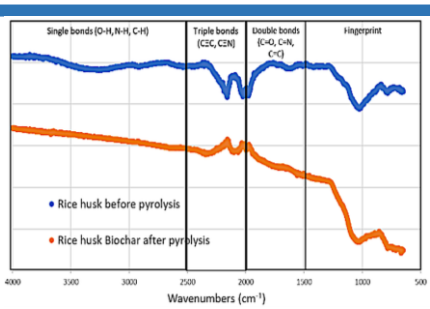


1-rasm. Pirolizdan oldin RHning TGAsi

Moddaning kristallik darajasi rentgen difraksion tahlil (XRD) yordamida aniqlandi. Xom guruch po'stlog'i va 950 °C da olingan bioko'mirning XRD difraktogrammalari 73-rasmda keltirilgan. Pirolizdan oldin 16° va 21° da ikkita keng hamda 31° da kichikroq difraksion maksimum kuzatildi. Bu maksimumlar kristall sellulozaga tegishli bo'lishi mumkin, chunki gemitsellyuloza va lignin amorf tuzilishga ega. 35° dagi kichik maksimum ham sellulozaga xos. Pirolizdan keyin faqat 21° dagi maksimum saqlanib qoldi va 43° atrofida kichik signal paydo bo'ldi. Bu sellulozaning kristall tuzilishi buzilib, faqat uglerodga xos signallar qolganini ko'rsatadi. Bioko'mir sirtidagi funksional guruhlar FTIR spektroskopiya yordamida aniqlandi. Pirolizdan oldingi va keyingi namunalarning FTIR spektrlari 74-rasmda keltirilgan. 950 °C da olingan namunaning spektri xomashyonikiga nisbatan ancha soddalashgan. Bu ko'plab funksional guruhlarning yo'qolishi va bosqichma-bosqich uglerodlanish bilan bog'liq. 3440 cm^{-1} dagi signal adsorbsiyalangan suvning O–H cho'zilish tebranishiga tegishli bo'lib, 950 °C da yo'qoldi.



2-rasm. Pirolizdan oldin va keyin rentgenologik tahlil



3-rasm. Guruch qobig‘ining pirolizdan oldingi va keyingi FTIR spektri

2 va 3-rasm natijalari biomassaning suvsizlanganini bildiradi. Xom guruch po'stlog'ida gemitsellyulozadagi –CH_2– metilen guruhiga xos 2929 cm^{-1} dagi signal ham pirolizdan keyin yo'qoldi. 2000–2500 cm^{-1} oralig'ida C≡C va C≡N guruhlariga xos tebranishlar kuzatildi, piroliz qilingan namunada esa ularning intensivligi juda past bo'ldi. 1653 cm^{-1} dagi alken guruhlari va C=C bog'lariga hamda 1630 cm^{-1} dagi N–H bog'lariga tegishli signallar pirolizdan keyin yo'qoldi. 1500–1100 cm^{-1} oralig'idagi karbonat va karbonat-karboksil guruhlarining signallari silliqlashdi. Ester yoki fenol guruhlaridagi C–O cho'zilish tebranishiga xos 1090 cm^{-1} dagi signal deyarli yo'qoldi. 794 cm^{-1} dagi aromatik C–H bog'larining tekislikdan tashqari deformatsion tebranishiga tegishli signallarning intensivligi esa kamaydi.

XULOSA

Ushbu tadqiqotda Sirdaryo viloyatida yetishtirilgan guruch po'stlog'idan piroliz va KOH bilan kimyoviy faollashtirish usulida bioko'mir olindi hamda uning tuzilishi va tarkibi TGA, XRD va FTIR usullari yordamida o'rganildi.

Termogravimetrik tahlil guruch po'stlog'ining termik parchalanishi to'rt bosqichda kechishini ko'rsatdi. Birinchi bosqichda taxminan 100 °C da namlik ajralib chiqdi (7,405 %). Ikkinchi bosqichda 150–300 °C oralig'ida strukturaviy suv va gemitsellyuloza parchalandi (~9 %). Uchinchi bosqichda 300–750 °C oralig'ida selluloza va lignin parchalandi (~54 %). To'rtinchi bosqichda 750–1000 °C oralig'ida qolgan uglerodli komponentlar chiqib ketdi (~3 %). Umumiy massa yo'qotilishi 73,16 % ni tashkil etdi. 950 °C da barcha parchalanish jarayonlari yakunlangani sababli bu harorat piroliz uchun optimal deb tanlandi.

XRD tahlili pirolizdan keyin sellulozaga xos 16°, 31° va 35° dagi maksimumlar yo'qolganini, faqat 21° dagi keng maksimum saqlanib, 43° atrofida kichik signal paydo bo'lganini ko'rsatdi. Bu sellulozaning kristall tuzilishi buzilib, uglerodga boy amorf material hosil bo'lganidan dalolat beradi.

FTIR spektroskopiyasi natijalariga ko'ra, piroliz jarayonida O–H, –CH_2–, C=C, N–H va C–O guruhlariga xos signallar yo'qoldi yoki intensivligi keskin kamaydi. Bu biomassaning suvsizlanishi va chuqur uglerodlanishini tasdiqlaydi.

Olingan natijalar guruch po'stlog'i yuqori darajada uglerodlangan bioko'mir va faollashtirilgan uglerod olish uchun arzon va istiqbolli xomashyo ekanligini ko'rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Schlapbach L., Züttel A. Hydrogen-storage materials for mobile applications // Nature. – 2001. – Vol. 414. – P. 353–358.

2. Sevilla M., Mokaya R. Energy storage applications of activated carbons: supercapacitors and hydrogen storage // Energy & Environmental Science. – 2014. – Vol. 7. – P. 1250–1280.

3. Sun Y., Webley P.A. Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage // Chemical Engineering Journal. – 2010. – Vol. 162, № 3. – P. 883–892.

4. Yang R., Liu G., Xu X., Li M., Zhang J., Hao X. Preparation and N_2, CO_2 and H_2 adsorption of super activated carbon derived from biomass source hemp (Cannabis sativa L.) stem // Microporous and Mesoporous Materials. – 2012. – Vol. 158. – P. 108–116.

5. Akasaka H., Takahata T., Toda I. et al. Hydrogen storage ability of porous carbon material fabricated from coffee bean wastes // International Journal of Hydrogen Energy. – 2011. – Vol. 36, № 1. – P. 580–585.

6. Blankenship T.S., Balahmar N., Mokaya R. Oxygen-rich microporous carbons with exceptional hydrogen storage capacity // Nature Communications. – 2017. – Vol. 8. – Art. 1545.

7. Lozano-Castelló D., Calo J.M., Cazorla-Amorós D., Linares-Solano A. Carbon activation with KOH as explored by temperature programmed techniques, and the effects of hydrogen // Carbon. – 2007. – Vol. 45, № 13. – P. 2529–2536.

8. Yang H., Yan R., Chen H., Lee D.H., Zheng C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis // Fuel. – 2007. – Vol. 86, № 12–13. – P. 1781–1788.

9. Weber K., Quicker P. Properties of biochar // Fuel. – 2018. – Vol. 217. – P. 240–261.

10. Shaaban A., Se S.-M., Mitan N.M.M., Dimin M.F. Characterization of biochar derived from rubber wood sawdust through slow pyrolysis on surface porosities and functional groups // Procedia Engineering. – 2013. – Vol. 68. – P. 365–371.

11. Wang J., Kaskel S. KOH activation of carbon-based materials for energy storage // Journal of Materials Chemistry. – 2012. – Vol. 22. – P. 23710–23725.

12. Keiluweit M., Nico P.S., Johnson M.G., Kleber M. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar) // Environmental Science & Technology. – 2010. – Vol. 44, № 4. – P. 1247–1253.

13. Thommes M., Kaneko K., Neimark A.V. et al. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report) // Pure and Applied Chemistry. – 2015. – Vol. 87, № 9–10. – P. 1051–1069.

14. Broom D.P., Webb C.J. Pitfalls in the characterisation of the hydrogen sorption properties of materials // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Vol. 42, № 49. – P. 29320–29343.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

MAKKAJO'XORI DONINING IKKILAMCHI XOMASHYOSINI KOH BILAN FAOLLASHTIRILGAN BIOKO'MIR OLISH VA UNING VODOROD SAQLASH QOBILIYATINI TADQIQ ETISH

[1]Azamatov Umid Zokirovich
[1]Toshkent kimyo-texnologiya instituti Yangiyer filiali
umidazamatov03@gmail.com

ANNOTATSIYA

Ushbu tadqiqotda makkajo'xori so'tasidan piroliz va KOH bilan kimyoviy faollashtirish usulida g'ovak uglerod material olindi hamda uning vodorod saqlash qobiliyati o'rganildi. Termogravimetrik tahlil natijalariga ko'ra umumiy massa yo'qotilishi 87,05 % ni tashkil etdi, asosiy parchalanish esa 250–650 °C oralig'ida kuzatildi. Shu asosda piroliz 650 °C da 8 soat davomida o'tkazildi va bioko'mir unumi 20–25 % ni tashkil etdi. Olingan bioko'mir KOH bilan 6:1 nisbatda faollashtirildi. Namunalar IQ spektroskopiya, XRD, TGA va SEM-EDS usullari yordamida tavsiflandi. Piroliz va faollashtirish natijasida funksional guruhlar yo'qolib, kislorod miqdori kamaygani va amorf uglerod hosil bo'lgani aniqlandi. Faollashtirilgan namuna 77 K da 2,7 % vodorod adsorbsiyasini ko'rsatdi. Vodorod 30 soniyada yutildi, 1 daqiqada ajralib chiqdi va natija 5 sikl davomida barqaror saqlandi.

KALIT SO'ZLAR: *makkajo'xori so'tasi, bioko'mir, piroliz, KOH bilan faollashtirish, faollashtirilgan uglerod, vodorod saqlash.*

АННОТАЦИЯ

В данном исследовании из кукурузных початков методом пиролиза и химической активации KOH был получен пористый углеродный материал и изучена его водородсодержащая способность. По результатам термогравиметрического анализа общая потеря массы составила 87,05%, а основное разложение наблюдалось в диапазоне 250–650 °C. На этой основе пиролиз проводился при 650 °C в течение 8 часов, и выход биоугля составил 20-25%. ° Полученный биоуголь активировали KOH в соотношении 6:1. Описание образцов проводили методами ИК-спектроскопии, ХРД, ТГА и СЭМ-ЭДС. Установлено, что в результате пиролиза и активации исчезают функциональные группы, уменьшается количество кислорода и образуется аморфный углерод. Активированный образец при 77 К показал адсорбцию 2,7% водорода. Водород поглощался за 30 секунд, выделялся за 1 минуту, и результат оставался стабильным в течение 5 циклов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *кукурузные початки, биоуголь, пиролиз, активация KOH, активированный углерод, хранение водорода.*

ANNOTATION

In this study, a porous carbon material was obtained from corn stalks by pyrolysis and chemical activation with KOH, and its hydrogen storage capacity was studied. According to the results of thermogravimetric analysis, the total mass loss was 87.05%, while the main decomposition was observed in the range of 250–650 °C. ° On this basis, pyrolysis was carried out at 650 °C for 8 hours, and the biochar yield was 20-25%. ° The resulting biochar was activated with KOH in a 6:1 ratio. The samples were characterized using IR spectroscopy, XRD, TGA, and SEM-EDS methods. As a result of pyrolysis and activation, the functional groups disappeared, the oxygen content decreased, and amorphous carbon was formed. The activated sample showed 2.7% hydrogen adsorption at 77 K. Hydrogen was absorbed in 30 seconds, released in 1 minute, and the result remained stable for 5 cycles.

KEYWORDS: *maize stalks, biochar, pyrolysis, KOH activation, activated carbon, hydrogen storage.*

KIRISH: Qazilma yoqilg'ilarning cheklangan zaxirasi va ulardan foydalanish natijasida atrof-muhitning ifloslanishi muqobil energiya manbalarini izlashni dolzarb vazifaga aylantirmoqda. Vodorod yuqori massaviy energiya zichligiga ega va yonganda faqat suv hosil qiladi, shuning uchun u kelajakning istiqbolli ekologik toza energiya tashuvchisi hisoblanadi. Biroq vodorodni xavfsiz, samarali va ixcham saqlash usullarining yetarli darajada ishlab chiqilmaganligi uning keng qo'llanilishini cheklamoqda [1].

G'ovak materiallarda fizik adsorbsiya vodorodni saqlashning tez, qaytar va xavfsiz usullaridan biridir. Faollashtirilgan uglerodlar yuqori solishtirma sirt yuzasi, rivojlangan g'ovakli tuzilishi, kimyoviy barqarorligi va arzonligi tufayli bu maqsad uchun eng istiqbolli materiallar qatoriga kiradi [2]. So'nggi yillarda bunday materiallarni qishloq xo'jaligi chiqindilaridan olishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Bu yondashuv chiqindilarni qayta ishlash va qimmatbaho material olish muammolarini bir vaqtda hal etadi. Kanop poyasi [3] va qahva chiqindilari [4] asosida olingan faollashtirilgan uglerodlar 77 K haroratda yuqori vodorod sig'imini namoyon etgan.

Makkajo'xori so'tasi dunyo bo'ylab katta miqdorda hosil bo'ladigan, tarkibi sellyuloza, gemitsellyuloza va ligninga boy arzon xomashyodir. Uning asosida olingan faollashtirilgan uglerodlar gazlarni saqlashda yuqori samaradorlik ko'rsatgan [5]. Faollashtirish usullari orasida KOH bilan kimyoviy faollashtirish uglerod karkasida ko'plab g'ovaklar hosil qilib, solishtirma sirt yuzasini keskin oshiradi [6]. Materialning yakuniy xossalari esa ko'p jihatdan piroliz sharoitiga bog'liq. Biomassa tarkibiy qismlari turli harorat oraliqlarida parchalangani uchun piroliz haroratini termogravimetrik tahlil asosida tanlash muhim ahamiyatga ega [7].

Ushbu ishning maqsadi makkajo'xori so'tasidan piroliz va KOH bilan faollashtirish orqali g'ovak uglerod material olish, uning tuzilishi va tarkibini o'rganish hamda vodorod saqlash qobiliyatini baholashdan iborat.

TADQIQOD OBYEKTLARI VA USULLARI: Tadqiqot obyekti sifatida makkajo'xori so'tasi ishlatildi. Xomashyo quritilgan holda IQ spektroskopiya, rentgen kukun difraktometriyasi (XRPD) va termogravimetrik tahlil (TGA) yordamida tavsiflandi. Piroliz sharoiti TGA natijalari asosida tanlandi [7, 8]. Namuna xona haroratidan 650 °C gacha 10 °C/min tezlikda qizdirildi va shu haroratda 8 soat izotermik sharoitda ushlab turildi. Olingan bioko'mirning unumi 20–25 % ni tashkil etdi.

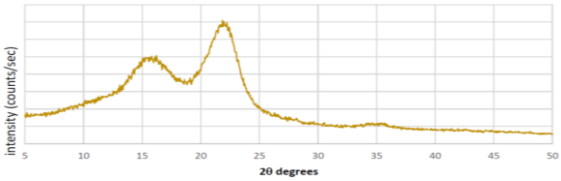
Piroliz qilingan namuna KOH bilan 6:1 massa nisbatida kimyoviy faollashtirildi [6, 8]. Faollashtirish qattiq fazali reaksiya sifatida pechda azot muhitida olib borildi. Faollashtirilgan bioko'mir HCl bilan yuvildi va quritish shkafida quritildi. Piroliz qilingan namunaning funksional guruhlari IQ spektroskopiya, fazaviy tuzilishi esa XRPD usulida o'rganildi [10]. Xom va faollashtirilgan namunalarning morfologiyasi skanerlovchi elektron mikroskopda (SEM), element tarkibi esa energodispersion mikrotahlil (EDS) yordamida aniqlandi. Faollashtirilgan namunaning vodorod saqlash qobiliyati 77 K haroratda bosim–tarkib–harorat (PCT) izotermalari asosida baholandi [2]. Vodorod adsorbsiyasi va desorbsiyasi kinetikasi 77 K da ketma-ket 5 sikl davomida o'rganildi.

NATIJALAR VA MUHOKAMALAR: Quritilgan makkajo'xori so'tasining IQ spektrida (1-rasm) turli to'lqin sonlarida namuna tarkibidagi funksional guruhlarga tegishli bir qator cho'qqilar kuzatiladi. Ushbu spektr quritilgan sarsabil (qushqo'nmas) spektriga o'xshash, garchi ular turli turlarga mansub o'simliklar bo'lsa ham. Buning sababi shundaki, ikkala o'simlikning ham ishlov berilgan qismlari o'simlikning iste'mol qilinmaydigan qismlariga tegishli. Ularda o'simlikka muayyan fizik xossalar beradigan selluloza, gemitsellyuloza va lignin kabi biopolimerlar turli miqdorda mavjud. Tabiatda bu biopolimerlar ko'pincha tayanch tuzilmalarni hosil qilib, o'simlik poyasiga qattiqlik va mustahkamlik beradi. 3309,73 cm^{-1} da OH guruhlarining tebranishlariga tegishli keng cho'qqi, 2919,22 cm^{-1} da esa metil va metilen guruhlaridagi C–H cho'zilish tebranishiga tegishli cho'qqi kuzatiladi. 1026,43 cm^{-1} dagi yutilish cho'qqisi spirt va karboksil guruhlaridagi OH cho'zilish tebranishiga tegishli.

XRPD difraktogrammasi (101-rasm) amorf materialga xos bo'lib, bu 16° va 21° atrofida joylashgan ikkita keng polosadan yaqqol ko'rinadi (grafitsimon uglerod kabi).

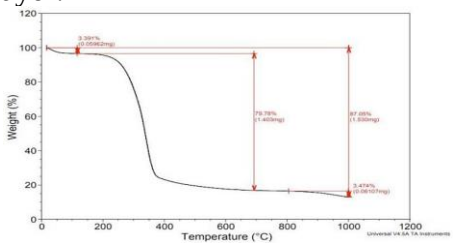


1-rasm. Xom makkajo‘xori so‘tasining IQ spektri



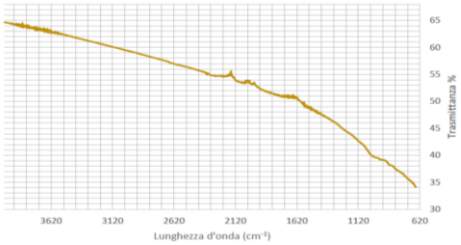
2-rasm. Xom makkajo‘xori so‘tasining XRPD to’lqini.

3-rasmda tasvirlangan TGA tahliliga kelsak, makkajo‘xori namunasi uchun umumiy massa yo‘qotilishi 87,05% ni tashkil etdi. Grafikning birinchi sohasida 3,39% massa yo‘qotilishini kuzatish mumkin, bu adsorbsiyalangan suvning yo‘qolishi bilan bog‘liq. Grafikning ikkinchi qismida 250°C dan 650°C gacha bo‘lgan harorat oralig‘ida makkajo‘xorining parchalanishi bilan bog‘liq bo‘lgan ikkinchi muhim massa yo‘qotish hodisasi kuzatiladi; 650°C dan keyingi parchalanish hodisalari kuzatilmaydi.



3-rasm. Makkajo‘xori so‘tasi uchun TGA egri chiziqlari

Shuningdek, bu holatda ham piroliz qadami TGA yordamida olingan natijalarga ko‘ra, xona haroratidan 650°C gacha 10°C/min qizdirish va 8 soat izoterma saqlangan holda o‘rnatildi. Namuna quritilgan holda tavsiflangandan so‘ng, piroliz bosqichiga o‘tish va barcha o‘rganilgan namunalar orasida eng past zichlik aniqlangan mahsulotni olish mumkin edi. Piroliz mahsuloti unumdorligi 20-25% atrofida bo‘lib, termogravimetrik tahlil natijalariga to‘liq mos keladi.



4-rasm. IR spectrum of the pyrolyzed corn cob

IQ-spektr quritilgan namuna spektrida avval kuzatilgan turli funksional guruhlarning yo‘qligini ko‘rsatadi, bu esa pirolizning to‘g‘ri ishlov berilganligini tasdiqlaydi.

Pirolizlangan mahsulotning difraksion manzaralari 20° va 25° oralig‘ida juda past aniqlikdagi cho‘qqini ko‘rsatadi, bu grafit uglerodi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Biroq, bu tarzda paydo bo‘lgan difraksion manzarani talqin qilish juda qiyin bo‘lib qolmoqda, shuning uchun bu mahsulotni amorf birikma deb hisoblash mumkin. Pirolizlangan namuna keyinchalik faollashtirildi, har doim KOH bilan kimyoviy faollashtirishdan so‘ng (6:1 nisbatda), pechda va azot atmosferasida qattiq holat reaksiyasidan foydalanildi.

XULOSA

Ushbu tadqiqotda makkajo'xori so'tasidan piroliz va KOH bilan kimyoviy faollashtirish usulida g'ovak uglerod material olindi hamda uning tuzilishi, tarkibi va vodorod saqlash qobiliyati o'rganildi.

Termogravimetrik tahlil makkajo'xori so'tasining umumiy massa yo'qotilishi 87,05 % ekanligini ko'rsatdi. Dastlabki bosqichda adsorbsiyalangan suvning chiqib ketishi hisobiga 3,39 % massa yo'qotildi. Asosiy parchalanish 250–650 °C oralig'ida kuzatildi, 650 °C dan yuqorida esa sezilarli parchalanish jarayonlari qayd etilmadi. Shu asosda piroliz 650 °C da 8 soat davomida o'tkazildi va bioko'mir unumi 20–25 % ni tashkil etdi. Bu natija TGA ma'lumotlariga to'liq mos keladi.

IQ spektroskopiya natijalariga ko'ra, xomashyoda kuzatilgan O–H, C–H va C–O guruhlariga xos signallar pirolizdan keyin yo'qoldi. Bu termik ishlov berish to'g'ri o'tkazilganini tasdiqlaydi. XRD tahlili olingan bioko'mirning asosan amorf tuzilishga ega ekanligini ko'rsatdi. SEM-EDS mikrotahlili esa piroliz va KOH bilan faollashtirishdan keyin kislorod miqdori sezilarli kamayib, material deyarli to'liq ugleroddan iborat bo'lib qolganini aniqladi.

KOH bilan 6:1 nisbatda faollashtirilgan namuna 77 K haroratda 2,7 massa % vodorod adsorbsiyasini namoyon etdi. Vodorod 30 soniyada yutildi va 1 daqiqada ajralib chiqdi, natija esa 5 sikl davomida barqaror saqlandi. Bu vodorodning fizik adsorbsiya mexanizmi bo'yicha qaytar saqlanishini ko'rsatadi.

Olingan natijalar makkajo'xori so'tasi vodorod saqlash uchun g'ovak uglerod materiallar olishda arzon va istiqbolli xomashyo ekanligini ko'rsatadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Schlapbach L., Züttel A. Hydrogen-storage materials for mobile applications // Nature. – 2001. – Vol. 414. – P. 353–358.

2. Sevilla M., Mokaya R. Energy storage applications of activated carbons: supercapacitors and hydrogen storage // Energy & Environmental Science. – 2014. – Vol. 7. – P. 1250–1280.

3. Yang R., Liu G., Xu X., Li M., Zhang J., Hao X. Preparation and N_2, CO_2 and H_2 adsorption of super activated carbon derived from biomass source hemp (Cannabis sativa L.) stem // Microporous and Mesoporous Materials. – 2012. – Vol. 158. – P. 108–116.

4. Akasaka H., Takahata T., Toda I. et al. Hydrogen storage ability of porous carbon material fabricated from coffee bean wastes // International Journal of Hydrogen Energy. – 2011. – Vol. 36, № 1. – P. 580–585.

5. Sun Y., Webley P.A. Preparation of activated carbons from corncob with large specific surface area by a variety of chemical activators and their application in gas storage // Chemical Engineering Journal. – 2010. – Vol. 162, № 3. – P. 883–892.

6. Wang J., Kaskel S. KOH activation of carbon-based materials for energy storage // Journal of Materials Chemistry. – 2012. – Vol. 22. – P. 23710–23725.

7. Yang H., Yan R., Chen H., Lee D.H., Zheng C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis // Fuel. – 2007. – Vol. 86, № 12–13. – P. 1781–1788.

8. Lozano-Castelló D., Calo J.M., Cazorla-Amorós D., Linares-Solano A. Carbon activation with KOH as explored by temperature programmed techniques, and the effects of hydrogen // Carbon. – 2007. – Vol. 45, № 13. – P. 2529–2536.

9. Keiluweit M., Nico P.S., Johnson M.G., Kleber M. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar) // Environmental Science & Technology. – 2010. – Vol. 44, № 4. – P. 1247–1253.

SUBLIMATSIYALANGAN TOPINAMBUR BILAN BOYITILGAN FITOCHOY KOMPOZITSIYASINING LABORATORIYA SHAROITIDA SAQLASH DAVRIDAGI BARQARORLIGI VA BIOFAOL MODDALAR KINETIKASI

Umarova Shoxida Saypulla qizi
Sanayev Ermat Shermatovich
Norov Xurshid Uktam o'g'li

Annotatsiya. *Ushbu tadqiqot ishi sublimatsiyalangan topinambur bo‘lakchalari (10%) bilan boyitilgan eksperimental fitochoy kompozitsiyasining laboratoriya sharoitida saqlash jarayonidagi fizik-kimyoviy va mikrobiologik barqarorligini o‘rganishga bag‘ishlangan. Turli qadoqlash materiallarining (polimer va alyumin folgali laminat) mahsulot tarkibidagi inulin polisaxaridi hamda askorbin kislotasining parchalanish kinetikasiga ta’siri tahlil qilindi. Saqlash muddati davomida namlik adsorbsiyasi va mikrobiologik xavfsizlik ko‘rsatkichlari dinamikasi aniqlandi.*

Kalit so‘zlar: *topinambur, fitochoy, sublimatsiya, saqlash kinetikasi, inulin barqarorligi, qadoqlash materiallari, gidroskopiklik, laboratoriya ekspertizasi.*

1. KIRISH

Funksional oziq-ovqat va ichimlik asoslarini yaratishda nafaqat ularning dastlabki retsepturasini modellashtirish, balki tayyor mahsulotning barqarorligini hamda faol komponentlarining saqlanish muddatini ilmiy asoslash muhim bosqich hisoblanadi. Oldingi tadqiqotlarimizda sublimatsiyalangan topinambur (*Helianthus tuberosus L.*) bo‘lakchalarining an’anaviy o‘simlik choyi asosi bilan 10% li optimal kompozitsiyasi aniqlangan edi. Biroq, sublimatsiyalangan xomashyo o‘zining yuqori gubkasimon (g‘ovakli) tuzilishi sababli yuqori gidroskopiklik xususiyatiga ega. Bu esa atrof-muhit namligini tez yutishiga va natijada biologik faol moddalarning gidrolizga uchrashiga olib kelishi mumkin.

Topinambur tarkibidagi asosiy prebiotik komponent — inulin polisaxaridi yuqori namlik va kislotali muhit ta’sirida fruktoza monomerlariga parchalanishga moyil. Shuningdek, tizimdagi antioksidant xossaga ega bo‘lgan askorbin kislotasi ham tashqi omillar (kislorod, yorug‘lik va namlik) ta’sirida tez oksidlanadi. Shu sababli, ishlab chiqilgan yangi kompozitsion ichimlik asosining laboratoriya sharoitida, sun’iy ravishda tezlashtirilgan saqlash (accelerated shelf-life testing) muhitida o‘zgarish dinamikasini o‘rganish hamda optimal himoya qobig‘ini (qadoq turini) tanlash ushbu tadqiqotning dolzarbligini belgilaydi.

2. MATERIAL VA METODLAR

Tadqiqot obyekti sifatida tarkibida 10% sublimatsiyalangan topinambur bo‘lakchalari (4x4x4 mm) bo‘lgan fitochoy kompozitsiyasining eksperimental namunalari olindi. Laboratoriya sinovlari ikki xil qadoqlash muhitida olib borildi:

1. **№1 Qadoq (Nazorat):** Polietilen (PE) plyonkali oddiy paketlar (qalinligi 60 mkm).
2. **№2 Qadoq (Tajriba):** Ko‘p qatlamli alyumin folgali laminatlangan paketlar (PET/Al/PE, qalinligi 90 mkm).

Saqlash jarayoni laboratoriya termostatida (Klimat-kamera) +25 ± 2 °C haroratda va nisbiy namlik $RH = 65 \pm 5\%$ bo‘lgan sharoitda 12 oy davomida modellashtirildi. Namunalar har 3 oyda tahlil qilib borildi.

Tahlil usullari:

- **Namlik miqdori:** Namlik yutish dinamikasi ruxsat etilgan og‘irlik o‘zgarishi (gravimetrik usul) orqali aniqlandi.
- **Inulin miqdori:** Yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (HPLC) yordamida harakatchan faza sifatida atsetonitril:suv (75:25) tizimida refraktometrik detektor yordamida o‘lchandi.
- **Askorbin kislotasi:** Tilmans usuli bo‘yicha 2,6-dixlorfenolindofenol bilan titrlash orqali tahlil qilindi.

- **Mikrobiologik ko‘rsatkichlar:** KMAFAN (koloniya hosil qiluvchi mezofil aerob va fakultativ-anaerob mikroorganizmlar), mosg‘or (mog‘or) va achitqi zamburug‘lari miqdori GOST 10444.15 bo‘yicha laboratoriya ozuqa muhitlarida o‘stirilib aniqlandi.

3. NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI

12 oylik laboratoriya kuzatuvlari davomida namlik yutish kinetikasi qadoqlash materialining to‘siqlik (barrier) xossalariga to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘liqligini ko‘rsatdi. Polietilen qadoqdagi (№1) namunalarning dastlabki namligi 4.6% dan 9 oydan keyin 8.4% gacha ko‘tarildi, bu esa sublimatsiyalangan komponentlarning konsistensiyasini buzilishiga (yopishqoqlik ortishi) sabab bo‘ldi. Ko‘p qatlamli alyumin folgali qadoqda (№2) esa namlik miqdori 12 oydan keyin ham 5.1% dan oshmadi.

Quyidagi jadvalda saqlash muddati davomida faol moddalarning kinetik kamayishi va mikrobiologik ko‘rsatkichlar dinamikasi ko‘rsatilgan:

Fitochoy kompozitsiyasining saqlash davridagi fizik-kimyoviy va mikrobiologik ko‘rsatkichlari tahlili

Saqlash muddati (oy)	Qadoq turi	Namlik miqdori, %	Inulin saqlanishi, %	Vitamin C (mg/100g)	KMAFAN, KXB/g (norma $\le 1\cdot10^4$)	Mog‘or/Achitqilar, KXB/g (norma ≤ 100)
0 (Dastlabki)	-	4.6 ± 0.1	100.0	32.4 ± 0.4	$1.2\cdot10^2$	Aniqlanmadi
3 oy	№1 (PE) №2 (Al)	5.4 ± 0.2 4.7 ± 0.1	98.2 99.5	28.1 ± 0.3 31.8 ± 0.2	$2.4\cdot10^2$ $1.4\cdot10^2$	Aniqlanmadi Aniqlanmadi
6 oy	№1 (PE) №2 (Al)	6.8 ± 0.3 4.8 ± 0.1	91.5 98.4	21.3 ± 0.5 29.5 ± 0.3	$5.8\cdot10^2$ $1.8\cdot10^2$	15 Aniqlanmadi
9 oy	№1 (PE) №2 (Al)	8.4 ± 0.4 5.0 ± 0.2	82.1 96.1	14.2 ± 0.4 26.4 ± 0.4	$1.6\cdot10^3$ $2.1\cdot10^2$	45 Aniqlanmadi
12 oy	№1 (PE) №2 (Al)	9.7 ± 0.5 5.1 ± 0.2	74.3 94.8	8.6 ± 0.3 24.1 ± 0.3	$4.2\cdot10^3$ $2.9\cdot10^2$	80 10

HPLC tahlillari natijasiga ko‘ra, polietilen paketda namlikning ortishi inulin gidrolizini jadallashtirgan. 12-oyga kelib inulinning atigi 74.3% qismi saqlanib qolgan. Aksincha, ko‘p qatlamli alyumin laminatda (№2) inulinning saqlanish ko‘rsatkichi 94.8% ni tashkil etdi, bu esa prebiotik xususiyatning deyarli to‘liq saqlanganligidan dalolat beradi.

Vitamin C kinetikasi ham shunday qonuniyatni takrorladi: №2 qadoqda kislorod va yorug‘lik to‘silishi hisobiga 12 oydan keyin ham 24.1 mg/100g antioksidant saqlanib qoldi. Mikrobiologik jihatdan har ikkala namuna ham xavfsizlik me’yorlari (SanPiN) talablariga javob berdi, biroq №2 qadoq mikroorganizmlar titrining ortishini maksimal darajada chekladi.

XULOSA

Laboratoriya sharoitida olib borilgan 12 oylik kompleks tadqiqotlar sublimatsiyalangan topinambur bilan boyitilgan fitochoy kompozitsiyasining yuqori barqarorlikka ega ekanligini isbotladi. Mahsulotning g‘ovakli tuzilishi va yuqori gidroskopikligini hisobga olgan holda, oddiy polimer qadoqlar yaroqsiz deb topildi. Metalllashtirilgan ko‘p qatlamli (PET/Al/PE) qadoqlash materiali kompozitsiyadagi inulin va vitamin C kabi biofaol moddalarni 94% dan yuqori darajada saqlashni ta’minlaydi. Olingan ma’lumotlar asosida laboratoriya sharoitida tayyorlangan fitochoy asosi uchun 12 oylik kafolatlangan saqlash muddati ilmiy jihatdan asoslandi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI (REFERENCES)

1. **Turaeva N. M., Ikromov X. I., & Sulaymonov S. S.** (2023). Yer noki asosida parhezbop ichimliklar texnologiyasini takomillashtirish. *O‘zbekiston kimyo jurnali*, (2), 78-84. *(1-tezisda havola berilgan bazaviy adabiyot)*.
2. **Baratova L. A., & Murodov B. Q.** (2024). Sublimatsiyalangan oziq-ovqat mahsulotlarining gidroskopik xususiyatlari va saqlash davridagi massa almashinuvi kinetikasi. *Kimyo va oziq-ovqat texnologiyalari xabarnomasi*, 4(2), 15-22.
3. **Gasanova S. M., & Akhmedov M. R.** (2021). Optimization of freeze-drying technology for root vegetables containing inulin. *Journal of Food Science and Technology*, 58(4), 1423-1431.
4. **Menshikov V. V., & Petrova E. N.** (2022). Kinetic models of inulin degradation in composite food systems during long-term storage. *Carbohydrate Polymers*, 275, 118-126.
5. **Xalilov M. S., & Ziyadullayev A. E.** (2025). Polimer va ko‘p qatlamli kombinatsiyalashgan materiallarning quruq kukunsimon mahsulotlar sifatini saqlashdagi roli. *O‘zbekiston oziq-ovqat sanoati jurnali*, 2(1), 44-50.
6. **Roberfroid, M. B.** (2007). Inulin-type fructans: functional food ingredients. *The Journal of Nutrition*, 137(11), 2493S-2502S.
7. **GOST 10444.15-94** "Oziq-ovqat mahsulotlari. Mezofil aerob va fakultativ-anaerob mikroorganizmlar miqdorini aniqlash usullari". Moskva: Standartinform, 2010.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

SUBLIMATSIYALANGAN TOPINAMBUR ASOSIDA FITOKIMYOVIY BOYITILGAN FUNKSIONAL ICHIMLIK KOMPOZITSIYASINI MODELYASHTIRISH VA UNING LABORATORIYA SHAROITIDAGI SIFAT KO‘RSATKICHLARI

Umarova Shoxida Saypulla qizi,
Sanayev Ermat Shermatovich,
Norov Xurshid Uktam o'g'li

Annotatsiya *Ushbu tadqiqot ishida laboratoriya sharoitida past haroratli vakuum-sublimatsion quritish usuli yordamida topinambur (yer noki) tugunaklaridan fitokimyoviy faol kukun hamda eksperimental bo‘lakchalar olish texnologiyasi o‘rganilgan. Laboratoriyada an’anaviy navvot choy asosi tarkibiga sublimatsiyalangan topinambur kukunini turli proporsiyalarda (5%, 10%, 15%, 20%) kiritish orqali yangi turdagi kombinatsiyalashgan funksional ichimlik kompozitsiyasi modellashtirildi. Eksperimental namunalarning kimyoviy tarkibi, jumladan, prebiotik polisaxarid – inulin moddasining saqlanish darajasi, kislotaliligi, eruvchanligi hamda organoleptik sifat ko‘rsatkichlari kompleks tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, vakuum-sublimatsion quritish xomashyo tarkibidagi biologically active moddalarni (92,8% gacha inulin) maksimal darajada saqlaydi. Eksperimental namunalar orasidan navvot choy asosiga nisbatan 10% miqdorda topinambur bo‘lakchalari kiritilgan kompozitsiya eng yuqori fizik-kimyoviy va organoleptik ko‘rsatkichlarni (4,85 ball) namoyon etdi.*

Kalit so‘zlar: *topinambur, navvot choy, vakuum-sublimatsion quritish, funksional ichimlik, inulin, prebiotik, fizik-kimyoviy xususiyatlar, modellashtirish.*

Kirish

Zamonaviy nutrisiologiya va oziq-ovqat mikrobiologiyasining eng ustuvor vazifalaridan biri – bu inson organizmining immun-himoya funksiyalarini stimullovchi, ichak mikrobiotasini barqarorlashtiruvchi va surunkali alimentat-bog‘liq xastaliklar profilaktikasini ta’minlovchi funksional hamda parhezbop mahsulotlar modellashtirish hisoblanadi. Bugungi kunda global miqyosda iste’molchilarning shakar miqdori yuqori bo‘lgan an’anaviy ichimliklardan fitokimyoviy komponentlar va tabiiy prebiotiklar bilan boyitilgan mahsulotlarga bo‘lgan talabi sezilarli darajada ortib bormoqda.

Ushbu yo‘nalishda introduksiya qilingan va mahalliy iqlim sharoitiga moslashgan topinambur (Helianthus tuberosus L.) tugunaklari o‘zining unikal kimyoviy tahlili bilan alohida ilmiy qiziqish uyg‘otadi. Topinambur o‘simligi tabiatda fruktoza qoldiqlari zanjiridan iborat bo‘lgan yuqori molekulyar polisaxarid – inulinning eng boy manbalaridan biri (quruq moddaga nisbatan 60-78%) sanaladi. Inulin insonning yuqori ovqat hazm qilish tizimida gidrolizga uchramay, yo‘g‘on ichakka o‘zgarishsiz yetib boradi va u yerda bifidobakteriyalar hamda laktobakteriyalar uchun selektiv ozuqa muhiti (prebiotik) vazifasini bajaradi. Bu esa uglevod almashinuvi buzilgan, xususan, II tur qandli diabet, semizlik va metabolik sindrom bilan og‘rigan bemorlar parhezi uchun juda muhimdir. Bundan tashqari, topinambur tarkibida pektin moddalari, muhim aminokislotalar, B1, B2, C vitaminlari hamda makro- va mikroelementlar (kaliy, kremniy, temir, rux) kompleksi mavjud.

Biroq, yangi qazib olingan topinambur tugunaklarining to‘qimalarida yuqori namlik (75-80%) mavjudligi va gidrolitik fermentlarning faolligi sababli, ular tezda qorayadi, mexanik shikastlanadi va uzoq muddat saqlash imkonini bermaydi. Shuning uchun xomashyoni qayta ishlash jarayonida fitokimyoviy elementlarni komponent darajasida saqlab qolish oziq-ovqat texnologiyasining dolzarb muammolaridan biridir. An’anaviy issiqlik yordamida quritish (konvektiv, quyosh energiyasi) jarayonlarida yuqori harorat ta’sirida inulin molekulalari qisman fruktozagacha gidrolizlanadi, vitaminlar parchalanadi va mahsulotning rangi qorayadi.

Ushbu muammoni bartaraf etishning eng mukammal va yuqori texnologik usuli – bu past haroratli vakuum-sublimatsion (muzlatib-vakuumli) quritish usulidir. Bu jarayonda namlik dastlab muz holatiga o‘tkaziladi, so‘ngra chuqur vakuum sharoitida suyuq fazani chetlab o‘tib, to‘g‘ridan-

to‘g‘ri bug‘ holatiga o‘tadi (sublimatsiyalanadi). Bu xomashyoning hujayra karkasini, tabiiy hidi, rangi va biologik faol moddalarini o‘zgarishsiz saqlash imkonini beradi.

Laboratoriyamiz doirasida olib borilgan ushbu tadqiqotning innovatsion jihati shundaki, an’anaviy sharqona choy ichish madaniyatida keng qo‘llaniladigan navvot choy asosi tarkibiga sublimatsiyalangan topinambur bo‘lakchalarini kiritish orqali fitokimyoviy modifikatsiyalangan yangi funksional ichimlik kompozitsiyasi yaratildi. Bu iste’molchiga ham choy, ham navvot shirinligi, ham topinamburning kuchli parhezbop va prebiotik xususiyatlarini bir vaqtda yetkazib berish imkonini beradi.

Tadqiqot maqsadi

Laboratoriya sharoitida past haroratlivakuum-sublimatsion quritish texnologiyasi parametrlari asosida topinambur tugunaklarini qayta ishlash, olingan sublimatsiyalangan quruq bio-bo‘lakchalar yordamida fitokimyoviy boyitilgan navvot choy asnosidagi kompozitsion funksional ichimlik kontseptini yaratish hamda tayyor laboratoriya namunalarining fizik-kimyoviy, organoleptik va texnologik xususiyatlarini kompleks baholash.

Materiallar va metodlar

Eksperimental tadqiqotlarlaboratoriya kompleksi sharoitida olib borildi. Tadqiqot obyekti sifatida O‘zbekiston iqlim sharoitida yetishtirilgan, kech kuzgi hosilga tegishli bo‘lgan yangi uzilgan topinambur (Helianthus tuberosus L.) tugunaklari va laboratoriyada tayyorlangan an’anaviy navvot shakar (kristallangan saxaroza asosi) hamda qora kukun choy aralashmasi olindi.

Topinambur tugunaklarini tayyorlash va sublimatsiya jarayoni: Dastlab topinambur tugunaklari oqib turgan sovuq suvda gidromexanik usulda yuvildi va sirtqi iflosliklardan tozalandi. Po‘stlog‘i laboratoriya skalpeli yordamida ehtiyotkorlik bilan shilindi. Tozalangan xomashyo fermentativ qorayishning (polifenoloksidaza faolligini) oldini olish maqsadida 0,1% li limon kislotasi eritmasida 3-5 daqiqa davomida saqlandi. So‘ngra tugunaklar maxsus diskli kesgich yordamida geometrik o‘lchamlari 4×4×4 mm bo‘lgan bir xil kub shaklidagi bo‘lakchalarga bo‘lindi.

Kesilgan bo‘lakchalar laboratoriya muzlatgich kamerasida (Ultra-Low Temperature Freezer) -38 °C...-40 °C haroratda 6 soat davomida tezkor muzlatish (shock freezing) bosqichidan o‘tkazildi. Bu jarayon to‘qima ichidagi namlikning mayda dispersli muz kristallariga aylanishini ta’minlaydi va mikrostruktura buzilishining oldini oladi. Muzlatilgan namunalar laboratoriya vakuum-sublimatsion quritish qurilmasiga (Freeze Dryer) joylashtirildi. Sublimatsiya jarayoni quyidagi texnologik parametrlarda 22 soat davomida amalga oshirildi: - Tizimdagi qoldiq vakuum bosimi: 12–15 Pa; - Sublimatsiya kamerasidagi kondensator harorati: -55 °C; - Mahsulotni qizdirish plitalarining harorati: boshlang‘ich davrda -15 °C, asosiy quritish bosqichida 0...+20 °C, yakuniy desorbsiya davrida +38 °C...+40 °C (mahsulot harorati hech qachon +40 °C dan oshmasligi nazorat qilindi).

Kompozitsiyani tayyorlash: Quritilgan va yakuniy namligi 4,3% ni tashkil etgan topinambur bo‘lakchalari laboratoriya tarozisida (aniqligi 0,001 g) o‘lchanib, ma’lum proporsiyalarda an’anaviy navvot choy asosi (maydalangan navvot va qora choy aralashmasi) tarkibiga kiritildi. Quyidagi 4 ta eksperimental namuna modellashtirildi: - Namuna -1: Navvot choy asosi + 5% sublimatsiyalangan topinambur bo‘lakchalari; - Namuna -2: Navvot choy asosi + 10% sublimatsiyalangan topinambur bo‘lakchalari; Namuna -3: Navvot choy asosi + 15% sublimatsiyalangan topinambur bo‘lakchalari; - Namuna -4: Navvot choy asosi + 20% sublimatsiyalangan topinambur bo‘lakchalari; - Nazorat namunasi (Control): Sof an’anaviy navvot choy asosi (topinambursiz).

Analitik metodlar: Eksperimental namunalarning fizik-kimyoviy va biologik ko‘rsatkichlari standart uslublar yordamida aniqlandi. Namlik miqdori va quruq modda ulushi namunani 105 °C haroratda quritish shkafida doimiy og‘irlikka kelguncha quritish usuli (GOST 28561) orqali topildi. Umumiy eruvchanlik darajasi 85 °C li distillangan suvda gravimetrik usulda aniqlandi.

Asosiy funksional komponent bo‘lgan inulin miqdorini aniqlash yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi (HPLC) usulida, refraktometrik detektor bilan jihozlangan xromatografda amalga

oshirildi. Bunda inulin dastlab kislotali gidroliz yordamida fruktozagacha parchalanganidan so‘ng umumiy uglevod balansi orqali qayta hisoblandi. Vodorod ko‘rsatkichi (pH) raqamli laboratoriya pH-metri yordamida ichimlikning 10% li suvli eritmasida o‘lchandi. Titrlanadigan kislotalilik 0,1 N NaOH eritmasi bilan fenolftalein indikatori ishtirokida titrlash orqali aniqlandi. Organoleptik tahlil (ta’m, hid, rang, tashqi ko‘rinish, konsistensiya) 5 balli shkala bo‘yicha, 9 kishidan iborat ekspert guruhi tomonidan yopiq usulda o‘tkazildi.

Olingan eksperimental ma’lumotlar Excel va SPSS dasturlari yordamida statistik qayta ishlanib, ishonchlilik darajasi $P \geq 0,95$ deb qabul qilindi.

Natijalar va ularning muhokamasi

Olib borilgan laboratoriya tadqiqotlari shuni ko‘rsatdiki, vakuum-sublimatsion quritish jarayoni topinambur hujayralarining gistologik tuzilishini to‘liq saqlab qolgan. Quritilgan bo‘lakchalar g‘ovakli, mikrosimon strukturaga ega bo‘lib, bu ularning gidratatsiya (suvni qayta shimish) xususiyatini keskin oshiradi. Issiq suv (85-90 °C) ta’sirida sublimatsiyalangan bo‘lakchalar 120–150 soniya ichida o‘zining dastlabki hajmini 88-91% gacha tikladi va tarkibidagi eruvchan moddalarni choy muhitiga diffuziyaladi.

Kimyoviy tahlillar natijasida aniqlanishicha, yangi uzilgan topinambur tarkibida inulin miqdori quruq moddaga nisbatan 69,4% bo‘lgan bo‘lsa, sublimatsiyadan keyingi quruq bo‘lakchalarda bu ko‘rsatkich 64,4% ni tashkil etdi. Ya’ni, inulinning saqlanish darajasi 92,8% ga teng bo‘ldi. Bu an’anaviy issiqlik yordamida quritilgan namunalarga nisbatan (ularda inulin parchalanishi sababli saqlanish 45-50% dan oshmaydi) juda yuqori samaradorlikni ko‘rsatadi. Past harorat va kislorodsiz vakuum muhiti inulinning gidrolitik parchalanishini to‘liq cheklagan.

Eksperimental namunalarning fizik-kimyoviy va laboratoriya ko‘rsatkichlari tahlili 1-jadvalda jamlangan.

1-jadval. Sublimatsiyalangan topinambur bilan boyitilgan navvot choy namunalarining fizik-kimyoviy ko‘rsatkichlari (M±m, n=3)

Ko‘rsatkichlar / Namunalar	Nazorat (Control)	Namuna ■1 (5%)	Namuna ■2 (10%)	Namuna ■3 (15%)	Namuna ■4 (20%)
Namlik miqdori, %	0,8 ± 0,05	1,2 ± 0,10	1,5 ± 0,12	2,1 ± 0,15	2,6 ± 0,18
Suvda eruvchanligi, %	99,8 ± 0,02	97,4 ± 0,25	95,1 ± 0,31	91,4 ± 0,42	87,2 ± 0,55
Inulin miqdori (100g quruq asosda), g	0,00	3,22 ± 0,11	6,44 ± 0,15	9,66 ± 0,21	12,88 ± 0,30
Tayyor ichimlikning pH ko‘rsatkichi	6,8 ± 0,1	6,4 ± 0,1	6,2 ± 0,1	5,9 ± 0,2	5,6 ± 0,2
Titrlanadigan kislotalilik, %	0,02 ± 0,001	0,08 ± 0,005	0,14 ± 0,01	0,21 ± 0,02	0,29 ± 0,03

1-jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, kompozitsiya tarkibida topinambur bo‘lakchalari miqdori ortishi bilan yakuniy mahsulotning umumiy namligi biroz ko‘tariladi, chunki sublimatsiyalangan xomashyo yuqori gigroskopiklik xususiyatiga ega. Biroq, barcha namunalarda namlik ko‘rsatkichi kritik nuqtadan (3,0% dan) past bo‘lib, bu laboratoriya sharoitida mahsulotning uzoq muddat saqlanish barqarorligini kafolatlaydi.

Topinambur miqdori 5% dan 20% gacha oshganda, tayyor ichimlikning pH ko‘rsatkichi 6,8 dan 5,6 gacha pasayishi va titrlanadigan kislotalilikning 0,02% dan 0,29% gacha ortishi kuzatildi. Bu holat topinambur tarkibidagi tabiiy organik kislotalar (olma, limon, qahrabo kislotalari) va vitamin C ning choy-navvot eritmasiga o‘tishi bilan izohlanadi. Kislotalilikning bunday mo‘tadil ortishi ichimlikning organoleptik profiliga ijobiy ta’sir ko‘rsatib, navvotning o‘tkir va me’daga uruvchi shirinligini yumshatadi, ichimlikka yoqimli, tetiklashtiruvchi va nordon-shirin ta’m beradi.

Inulin miqdori kiritilgan xomashyoga proporsional ravishda o‘sib borgan. Namuna ■2 tarkibida 100 gramm quruq asosga 6,44 g inulin to‘g‘ri keladi. Ushbu ko‘rsatkich bir porsiya (200 ml) tayyor ichimlik iste’mol qilinganda, inson organizmining prebiotik moddalarga bo‘lgan sutkalik ehtiyojining qariyb 15-20% qismini qoplash imkonini beradi, bu esa uning funksional maqomini to‘liq tasdiqlaydi. Ammo topinambur miqdori 20% ga yetkazilganda (Namuna ■4), eritmaning to‘liq suvda eruvchanlik darajasi 87,2% gacha pasayib ketdi, chunki tarkibdagi erimaydigan o‘simlik kletchatkalari va pektin qoldiqlari ichimlik tubida sezilarli darajada cho‘kma hosil bo‘lishiga olib keldi.

Eksperimental namunalarning organoleptik ko‘rsatkichlarini professional baholash natijalari quyidagi qonuniyatlarni aniqladi: - Nazorat namunasi: O‘ta shirin, choy hidi ustun, yangilik elementi yo‘q, an’anaviy ta’m. - Namuna ■1 (5%): Yoqimli shirin, ammo topinamburning o‘ziga xos o‘simliksimon hidi va ta’mi deyarli sezilmaydi, funksional komponent ta’sir darajasi past. - Namuna ■2 (10%): Eng optimal profil. Rangi och oltinsimon-jigarrang, tiniq. Ta’mi juda mutanosib, navvotning o‘tkir shirinligi topinamburning nordon-yong‘oqsimon ta’mi bilan muvofiqlashgan. Hidi choy va yangi qurutilgan o‘simlik aromatining unikal simbiozini hosil qilgan. Cho‘kma miqdori minimal. Ekspert balli – 4,85 (eng yuqori). - Namuna ■3 (15%): Ta’mi o‘rtacha, shirinlik foni pasaygan, o‘simlik hidi sezilarli darajada ustunlik qiladi. Ichimlik biroz xiralashgan, tubida mayda tolalar ko‘rinadi. Ekspert balli – 4,10. - Namuna ■4 (20%): Shirinlik darajasi keskin pasaygan, ta’mida o‘simlik to‘qimalarining o‘ziga xos taxirligi va kuchli o‘t hidi paydo bo‘lgan. Ichimlik kuchli xiralashgan, erimagan bo‘lakchalar miqdori ko‘p, iste’mol uchun organoleptik jihatdan nomaqbul. Ekspert balli – 3,20.

Ushbu tahlillar asosida aniqlandiki, 10% lik kiritish nisbati (Namuna ■2) ham fizik-kimyoviy, ham biologik va estetik jihatdan eng mukammal modellashtirilgan namuna bo‘lib xizmat qiladi.

Xulosa

Olib borilgan kompleks laboratoriya tadqiqotlari natijasida quyidagi ilmiy xulosalarga kelindi: 1. Past haroratli vakuum-sublimatsion quritish texnologiyasi topinamburning biologically active birikmalarini, xususan, issiqlikka sezgir prebiotik polisaxarid – inulinni 92,8% darajada saqlab qolish imkonini berishi laboratoriya sharoitida isbotlandi. 2. An’anaviy navvot choy asnosini sublimatsiyalangan topinambur bo‘lakchalari bilan boyitish orqali yangi funksional-parhezbop ichimlik asosi modellashtirildi. 3. Organoleptik va fizik-kimyoviy tahlillarning qiyosiy natijalariga ko‘ra, topinamburning optimal dozasi 10% (quruq og‘irlik nisbatiga ko‘ra) deb belgilandi. Bu namuna o‘zining yuqori eruvchanligi (95,1%), yoqimli nordon-shirin ta’mi va har 100 grammda 6,44 g faol inulin saqlashi bilan ajralib turadi. 4. Ishlab chiqilgan kompozitsiya uglevod almashinuvini normallashtirish, ovqat hazm qilish tizimi mikrobiotasini korreksiya qilish uchun profilaktik laboratoriya asosi bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 10-noyabrdagi "Aholining sog‘lom ovqatlanishini ta’minlash bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlar to‘g‘risida"gi PQ-4887-sonli Qarori.
2. Azizov, A. S., & Ergashev, Sh. B. (2022). Topinambur (Helianthus tuberosus L.) tugunagi — shifobaxsh va funksional oziq-ovqat xomashyosi. Toshkent: "Fan va texnologiyalar" nashriyoti. – B. 45-52.
3. Gasanova, S. M., & Akhmedov, M. R. (2021). Optimization of freeze-drying technology for root vegetables containing inulin. Journal of Food Science and Technology, 58(4), 1423-1431.
4. Turaeva, N. M., Ikromov, X. I., & Sulaymonov, S. S. (2023). Yer noki asosida parhezbop ichimliklar texnologiyasini takomillashtirish. O‘zbekiston kimyo jurnali, (2), 78-84.
5. Roberfroid, M. B. (2007). Inulin-type fructans: functional food ingredients. The Journal of Nutrition, 137(11), 2493S-2502S.

6. Xudayberdiyeva, F. A. (2024). Sublimat-quritish qurilmalarining oziq-ovqat sanoatidagi samaradorligi va texnologik rejimlari tahlili. Kimyo va oziq-ovqat texnologiyalari xabarnomasi, 3(1), 112-117.
7. Sharafutdinova, G. K., & Yusupov, A. A. (2025). Razrabotka i issledovanie kachestva kompozitsionnix produktov pitaniya s ispolzovaniem topinambura. Uzbekskiy jurnali agrarnoy nauki, 14(2), 201-207.

INFLUENCE OF SODIUM NITRITE ADDITION ON MEAT COLOR CHARACTERISTICS AND MYOGLOBIN CHEMISTRY DURING RAW AND THERMAL PROCESSING CONDITIONS

Kasun Kumara Dissanayake,
Department of Chemical Technology and Biotechnology, Karshi State Technical University, 225 Mustakillik str., Karshi 180100, Uzbekistan
Email: kasunkumar86@gmail.com
Feruza Bekbaeva,
Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan.
Khabibulla Nurmukhamedov,
Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan
Mohamed Rifky
Eastern University, Sri Lanka, Chenkalady, Sri Lanka.
Murodjon Samadiy
Department of Chemical Technology and Biotechnology, Karshi State Technical University, 225 Mustakillik str., Karshi 180100, Uzbekistan

Abstract: *The objective of this study was to assess the correlation between myoglobin levels and CIE Lab color space parameters during the examination of fresh and heat-treated meat products with the addition of sodium nitrite additives. Twelve different formulations of sausage samples were prepared from beef, lamb, and chicken with sodium nitrite concentrations ranging from 0 mg/kg to 120 mg/kg (0 mg/kg, 40 mg/kg, 80 mg/kg, & 120 mg/kg). Results showed that beef sausages, which have a higher myoglobin content (8 mg/g), caused the largest increase in redness values from 3.05 (0 mg/kg) to 7.21 (40 mg/kg) for uncooked samples. Trends were similar for cooked sausages, with beef redness values increasing to 3.60 (40 mg/kg). Lamb and chicken sausage responses were more complex and moderate in contrast. The concentrations of nitrosyl myoglobin (NO–Mb) were also significantly higher when sodium nitrite (at different dosages) was included in treated products, even at the topically effective treatment level for beef sausages set at 40 mg/ kg. Sodium nitrite was characterized for its effect on meat color and myoglobin stability, and data from this study will help to support sausage formulations.*

Key words: *sodium nitrite, color changes, CIE Lab color space, myoglobin, uv spectrophotometry, meat products.*

ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ НИТРИТА НАТРИЯ НА ЦВЕТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЯСА И ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ МИОГЛОБИНА ПРИ СЫРОЙ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Касун Кумара Диссанаяке
Старший преподаватель кафедры химической технологии и биотехнологии, Каршинский государственный технический университет, ул. Мустакиллик, 225, г. Карши, 180100, Узбекистан,
Email: kasunkumar86@gmail.com
Феруза Бекбаева
Доц. кафедры Проектирование технологических процессов и аппаратов, Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан
Хабибулла Нурмухамедов
Профессор кафедры Проектирование технологических процессов и аппаратов, Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан
Мохамед Рифки
Доцент, Восточный университет, Шри-Ланка, Ченкалади, Шри-Ланка.

Муроджон Самадий
Профессор кафедры Химической иненерии и биотехнологии, Каршинский государственный технический университет, ул. Мустакиллик, 225, г. Карши, 180100, Узбекистан

Аннотация: *Целью данного исследования была оценка корреляции между уровнем миоглобина и параметрами цветового пространства CIE Lab при анализе образцов свежих и термически обработанных мясных продуктов с добавлением нитрита натрия. Было приготовлено двенадцать различных вариантов колбасных изделий из говядины, баранины и мяса птицы с концентрацией нитрита натрия в диапазоне от 0 до 120 мг/кг (0, 40, 80 и 120 мг/кг). Результаты показали, что в колбасах из говядины, характеризующихся более высоким содержанием миоглобина (8 мг/г), наблюдался наиболее значительный рост показателей красного цвета (значений a*): с 3,05 (при 0 мг/кг) до 7,21 (при 40 мг/кг) в сырых образцах. Аналогичная тенденция отмечалась и для вареных колбас: показатель красного цвета для говяжьих колбас возрастал до 3,60 (при 40 мг/кг). В случае с колбасами из баранины и мяса птицы изменения были менее выраженными и носили более сложный характер. Концентрация нитрозилмиоглобина (NO–Mb) также была существенно выше в продуктах с добавлением нитрита натрия (в различных дозировках), в том числе при уровне 40 мг/кг, который оказался эффективным для говяжьих колбас. В ходе работы было изучено влияние нитрита натрия на цвет мяса и стабильность миоглобина; полученные данные послужат обоснованием при разработке рецептур колбасных изделий.*

Ключевые слова: *нитрит натрия, изменение цвета, цветовое пространство CIE Lab, миоглобин, УФ-спектрофотометрия, мясные продукты.*

Introduction. Meat products: Food science and technology, in the case of meat: Food preservation for safety and storage/incorporation sodium nitrite a key [1,2], sensory attributes. These characteristics categorizes color as an important element of the consumer acceptability and quality evaluation in processed meats, additionally a query for sausages [3]. Sodium nitrite is known to play a prominent role in sausage formulations where its use influences color and myoglobin content, thus regulating both the visual appeal and chemical composition of the meat product [4,5].

The primary use of sodium nitrite in meat processing is mainly due to its antimicrobial properties, which contributes to shelf life and inhibits pathogenic bacteria growth [2]. Yet beyond its preservative function, sodium nitrite is also an active meat colorant that reacts with myoglobin—the protein responsible for meat's deep red hue—creating nitrosylmyoglobin. Besides giving a pinkish color to meat products, this compound also plays an important role in their visual appearance and consumer acceptability [6,7]. That is to say, it is very important to understand the specific role of sodium nitrite level and this color forming properties of sausages [1,5], in view of that SAE as an optimal formula or as a quality permanent supplier among many meat sorts.

The biochemistry involving sodium nitrite continues to be an understudied topic, especially since it has been widely utilized in the meat industry without strong studies assessing myoglobin stability and color changes associated with various sausage types [8]. Most existing studies focus on overall effects, rather than type-specific ones and quantitative measurements of changes in meat quality have not been conducted using more advanced colorimetric and spectrophotometric methods with appropriate controls [9]. This study aims to fill this gap in knowledge through a systematic investigation of the impact of incremental levels of sodium nitrite on color characteristics and myoglobin contents in beef, lamb and chicken sausages [1,10].

In combination with quantitative myoglobin measurements via UV spectrophotometry [3,11] and color quantification from the CIE Lab color space [1,2], the current study is unique in its methodological comprehensiveness. This study aims to provide accurate knowledge on responses of meat to sodium nitrite supplementation using various concentrations of sodium nitrite (0–120 mg/kg) and included sausage samples prepared under controlled conditions [12]. This information

is relevant for addressing the quality of products while further optimizing processing approaches to fulfil consumer market requirements and governmental regulations in the food industry [4,13]

Research methodology. The impact of sodium nitrite additives on any color change measured as CIE Lab color space value and myoglobin level, using the UV spectrophotometer method for the direct quantification of raw and cooked meat products has been investigated in this study [9]. It will use sausage (of three types of cooked meats chicken, beef and lamb). Subsequently, twelve different sausage samples will be shaped by the addition of 4 sodium nitrite levels for each meat type. Each sample will weigh 5 kg [9,18].

The experiment was conducted on three beef, lamb, and chicken sausages [16,17]. Compositions that simulated different concentrations at four levels of sodium nitrite were prepared for each kind of sausage. The experimental formulations comprised sausages without sodium nitrite (T(B0), T(L0), and T(C0) for the beef, lamb, and chicken sausages, respectively) or with additional 40 mg/kg, 80 mg/kg, and 120 mg/kg; finally denoted as T(B40), T(B80), T(B120); T(L40), T(L80), T(L120); and T(C40), T(C80), T(C120) [19,20,21].

The sausages were prepared according to standard sausage production practices for each formulation. For each sausage type, choice cuts of meat were selected and matched with the right percentage of fat to ensure that they had the right mouthfeel and texture. The meat and fat were first finely ground and then thoroughly mixed with seasonings and spices to add flavor and aroma.

For the formulations fortified with sodium nitrite, it was weighed out separately and then thoroughly incorporated into the mixed meat to ensure uniform dispersion within the sausage. The sausages were stuffed into casings and molded according to the desired size and dimensions. Ultimately, the sausages were either cooked or cured according to what the individuals reporting made up as a final product [19].

Additionally, throughout the whole preparation process, cleanliness and sanitization practices were highly adhered to in order not only to avoid contamination but also to assure safety when handling the sausage samples. The labelled sausages were stored until analysis [18,19]

Sample preparation.

Meat Preparation.

Beef, lamb, and chicken meat, 15 kilograms each, have to be taken from one supplier. The meat must then be cut into small cubes that can be ground, with any excess fat and connective tissue being trimmed off [19,20].

Grinding.

The cubed meat will be ground twice. At the beginning, we will go through a coarse plate (8–10 mm) on the meat grinder for grinding the meat. The coarsely ground meat will then be re-ground through a smaller plate (4–6 mm) to ensure uniformity of texture [1,19].

Mixing and seasoning.

The sausage mixtures will be prepared for each meat type in 5 kg batches: samples name; T(B0), T(B40), T(B80), T(B120) for beef; T(L0), T(L40), T(L80), T(L120) for lamb; and T(C0), T(C40), T(C80), T(C120) for chicken. The amount of sodium nitrite needed for each treatment will be calculated as follows: T(X0) with 0 mg/kg (no sodium nitrite), T(X40) with 40 mg/kg (200 g for 5 kg meat), T(X80) with 80 mg/kg (400 g for 5 kg meat), and T(X120) with 120 mg/kg (600 g for 5 kg meat) [19].

A typical spice mix for every batch of sausage (5 kg) consists of 100 g of salt, 20 g of pepper, 15 g of garlic powder and 15 g onion powder. Will be added to the ground meat, a mixture of seasonings and at an appropriate ratio also sodium nitrite, in a mixer until thoroughly mixed [19,21].

Stuffing.

Sausage casings are soaked in warm water to help soften them. At this stage, the casings will be filled using a sausage stuffer while keeping an even pressure during stuffing so there are no air pockets in the stuffing. They will be twisted and tied into uniform lengths at regular intervals [7,19].

Cooking

For each batch of sausages, a small amount will be kept aside to analyses them raw. The other sausages will undergo a water bath at 75°C until they reach an internal temperature of 72°C, and after cooking, they will have to vent out to room temperature [17,19].

Color Measurement

Prepare sausage samples according to the formulation in the study. This includes selecting optimal meat cuts, adding reasonable fat content, finely grinding the meat and fat combination, and meticulously blending with selected seasonings/spices [7].

Follow standard procedures to calibrate the color measurement device for accurate and consistent results. This includes inspection and adjustment of parameters like light source, observer angle, and calibration standards [7,11].

Measure the color of the raw meat samples with the help of a color measurement device before cooking or curing. Position the instrument against the surface of the meat or in proximity so that accurate readings can be obtained [7,8].

Cook the sausages by an appropriate method (for example, barbecue) and then use a color measurement device to measure the (Lab)* value from the cooked sausage samples. Allow the sausages to cool down to room temperature before taking measurements [8,9].

Put the color values obtained from each sample in the CIE Lab* space. L*, a*, and b* were measured on an automatic spectrophotometer (CM-3500d at the illuminant D65; Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan). Measurements are repeated for each kind of sausage sample containing increasing sodium nitrite levels. Results were scored using Spectra Magic software (SpectraMagic™ NX, Konica Minolta Inc., Tokyo, Japan) [21-23].

Examine the color data obtained and assess how adding sodium nitrite influences the color properties of the sausages. Compare the red values of sausages as a function of sodium nitrite added [12].

Myoglobin Analysis

Due to this reason, the amount of myoglobin was quantified using meat samples prepared for sausage (myoglobin analysis). UV spectrophotometry was executed after various established protocols that ensured reproducibility and reliable end results [8,10].

Raw meat samples from each formulation were prepared and processed as per the methods of this study. Uniform and consistent samples were prepared by homogenizing the samples before spectrophotometric analysis. The samples were next irradiated with UV light at specific wavelengths to allow assessment of myoglobin concentration through heme pigment absorption of light [8,10].

Measure Absorbance

Measure the absorbance of the meat sample at specific wavelengths. Myoglobin has characteristic absorption peaks at different wavelengths. Deoxymyoglobin absorbs strongly at around 555 nm, oxymyoglobin absorbs strongly at around 577 nm, and metmyoglobin absorbs strongly at around 630 nm [24,25].

Every type of myoglobin has a specific extinction coefficient, which determines the amount of light at a certain wavelength it is able to absorb. The extinction coefficients for myoglobin forms are typically provided in scientific literature or can be experimentally determined [24].

Calculate Concentrations of myoglobin in meat sample.

Use the Beer-Lambert Law to find out the concentration of myoglobin, oxy-myoglobin, and deoxy-myoglobin based on the protein absorbance-extinction coefficients [24].

Table 1 formula for calculating myoglobin concentration in meat by using spectrophotometer absorbance

Beer-Lambert Law	Rearranging for concentration
$A = \varepsilon \times c \times l$	$c = \frac{A}{\epsilon \times l}$

The terms A stands for absorbance, ε for molar absorptivity/extinction coefficient, c for myoglobin content, and l for the spectrophotometer cuvette's path length [12,26].

Measuring Nitrosylmyoglobin Content in Cooked Sausage Products Using UV Spectrophotometry

Sample Homogenization

The first part of the process is to homogenize the sausage test samples into a paste. A sample of the cooked sausage from each treatment, that is either T(B40), T(L80), or T(C120), and so forth, is taken. Sausage samples are then thoroughly homogenized with either a mortar and pestle or food processor. This homogenization guarantees the even distribution of the myoglobin throughout the sample and thus equal values in subsequent analysis [24,27].

Extraction of Myoglobin

The myoglobin extraction from the sausage matrix is performed post-homogenization. A 10 g sample of the homogenized sausage is weighed in a test tube. Then, phosphate buffer solution (pH 6.8) is added into the test tube up to a volume of 50 mL. Vortex for 2 minutes to mix thoroughly. This causes myoglobin to be released from the sausage into the buffer. The mixture is left at open room temperature for 30 minutes, during which the vessel is shaken from time to time to increase the extraction yield [27,28].

Filtration

After extraction, the mixture is filtered to separate out solid-phase particles. This can be done using filter paper or centrifuge tubes that have filters in the bottom. In the case of centrifuge usage, the mixture is centrifuged at 4,000 rpm for 10 minutes. A clean test tube is then used to carefully decant the supernatant, as only the portion that contains myoglobin is to be analyzed [28,29].

Spectrophotometer Calibration

The UV spectrophotometer must first be calibrated before measuring the absorbance of the extract. The instrument is switched on and warmed up as per manufacturer guidelines. A blank sample of the phosphate buffer solution is used for calibration. It has zero absorbance, which is the baseline to measure the absorbance of the sample [27,29].

Absorbance Measurement

Part of the extract, which has been filtered, is placed in a cuvette. Absorbance of the extract is measured at 540 nm (the peak absorbance of nitrosylmyoglobin). Then the absorbance value is noted for analyzing it later on. This measurement phase is important because it can be directly related with the concentration of nitrosylmyoglobin in sample [30].

Calculation

The level of nitrosylmyoglobin in each sample is determined using the Beer-Lambert Law: Based upon the absorbance values obtained, corresponding concentrations can be estimated for exact values by generating a standard curve with known concentrations of nitrosylmyoglobin [24,26].

Repeat Measurements

To ensure accuracy and reproducibility, the measurement process is repeated for each treatment group (T(B0), T(B40), T(B80), T(B120), T(L0), T(L40), T(L80), T(L120), T(C0), T(C40), T(C80), T(C120)) in triplicate. Performing multiple measurements allows for the identification of any anomalies and provides more reliable data for analysis [19,27].

Statistical Analysis

Perform ANOVA (analysis of variance) or t-tests on the myoglobin data in order to test whether there are statistically significant greater concentrations of myoglobin between three sausage formulations. This explanation might elucidate how the myoglobin content reaches a compromise between sodium nitrite concentration assessment and therefore these two should be co-related when final formulations are derived. Such analyses and approaches can be harnessed to improve sausage formulations in forming product consistency, composition, and quality.

Analysis and results.

Table 2

Color value for uncooked sausage samples

Sausae type		Sodium Nitrite content			
		0 mg/kg	40 mg /kg	80 mg/ kg	120 mg/ kg
Beef Sausage	L*	63.69 ± 3. 16	59.38 ± 2.41	52.19 ± 2.34	44.68 ± 2.66
	a*	3.05 ± 0.77	7.21 ± 0.59	6.96 ± 0.72	5.13 ± 0.86
	b*	9.34 ± 1.55	8.41 ± 0.85	7.89 ± 0.78	7.08 ± 1.54
Lamb Sausage	L*	54.79 ± 3. 96	48.28 ± 2.11	45.89 ± 2.94	39.68 ± 2.56
	a*	2.95 ± 0.85	6.30 ± 0.51	6.26 ± 0.90	4.93 ± 0.78
	b*	9.03 ± 1.24	8.07 ± 0.73	7.87 ± 0.80	6.88 ± 1.36
Chicken Sausage	L*	52.49 ± 4.09	46.16 ± 2.38	44.89 ± 2.71	40.42 ± 2.46
	a*	2.18 ± 0.85	6.28 ± 0.49	6.24 ± 0.87	4.89 ± 0.71
	b*	8.27 ± 1.14	7.19 ± 0.85	7.29 ± 0.73	5.87 ± 1.12

In unused sausage forms, there exist characteristic red and brown hues attributed to the class of flesh. In the absence of sodium nitrite, beef sausage exhibited the greatest redness value (3.05), followed by lamb (2.95) and chicken contained the lowest (2.18). This is simply the inherent color traits of each type of meat- beef typically has a far more pronounced red coloring than lamb or chicken.

Sodium nitrite, at 40 mg/kg increased the redness significantly in all of the sausage. Beef had the largest increase with a rise of 7.21, while lamb and chicken climbed to 6.30 and 6.28 respectively. Sodium nitrite is apparently the chief curative restoring agent in bringing out the redness of uncurdled sausages with beef being most responsive.

But when the sodium nitrite concentration was elevated to 80 mg/kg or 120 mg/kg, no such improvement was observed. The incremental increase in redness decreased, indicating that elevating nitrite levels beyond a point only marginally enhanced add color. However, regardless of sodium nitrite concentration, beef sausage had the highest redness values. The findings indicate that sausage redness is affected by both the meat type and sodium nitrite concentration held, with beef having a higher color intensity in terms of redness as a natural characteristic and greater color improvement due to added sodium nitrite than lamb and chicken overall.

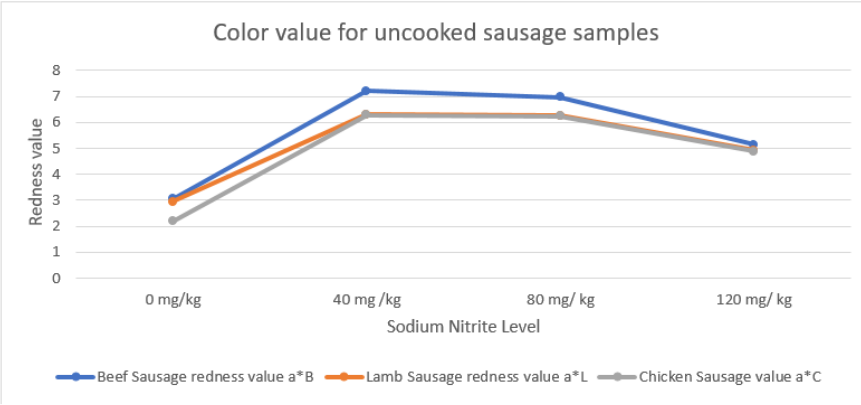


Fig 1. Color value for uncooked sausage samples

Table 3

CIB LAB Color value for cooked sausage samples

Sausage type	Sodium Nitrite content			
	0 mg/kg	40 mg /kg	80 mg/ kg	120 mg/ kg

Beef Sausage	L*	78.04 ± 2.10	73.30 ± 1.76	75.35 ± 2.77	76.22 ± 1.85
	a*	3.03 ± 0.47	3.60 ± 0.27	2.88 ± 0.28	3.42 ± 0.22
	b*	13.11 ± 0.53	13.21 ± 0.47	12.59 ± 0.28	12.95 ± 1.08
Lamb Sausage	L*	72.23 ± 2.10	66.21 ± 1.52	69.64 ± 2.71	70.43 ± 1.79
	a*	3.01 ± 0.29	3.21 ± 0.17	2.76 ± 0.23	3.12 ± 0.14
	b*	12.08 ± 0.57	12.90 ± 0.47	11.58 ± 0.23	11.95 ± 1.12
Chicken Sausage	L*	63.13 ± 2.05	56.11 ± 1.12	59.23 ± 2.22	61.32 ± 1.26
	a*	2.95 ± 0.11	3.01 ± 0.06	2.41 ± 0.18	3.05 ± 0.18
	b*	11.98 ± 0.41	12.79 ± 0.25	11.46 ± 0.24	11.83 ± 1.14

The dose-dependent relationship between redness values and sodium nitrite levels in cooked sausage is a useful starting point for understanding the interactions that influence color development in these and other meat types. In other words, for beef sausages the obvious trend is increasing redness with increased usage of sodium nitrite. As sodium nitrite concentrations increased (40 mg/kg), the redness value had significantly rose (3.60) and it suggested that sodium nitrite has a remarkable effect to improve red appearance in beef sausages. This indicates that sodium nitrite acts successfully during beef meat color formation.

In contrast to that response in the lamb sausages, however, this effect was less clear-cut. The redness value increased to 3.21 at the sodium nitrite concentration of 40 mg/kg, and then decreased to 2.76 at the sodium nitrite concentration of 80 mg/kg. Such variation indicates that the interaction between lamb meat and sodium nitrite may be affected by other components (i.e., natural pigments of meat, or composition in fat) during processing.

Responses of chicken sausages to shifts in sodium nitrite concentration were more restricted. The redness values were relatively consistent, suggesting the effect of sodium nitrite on color development was more limited than with beef and lamb sausages. In summary, sodium nitrite appears to have a type of meat-dependent effect. Hence, sausage recipes have to be adapted according to the meat source specificity in order to generate a sufficient color but at the same time guaranteeing product quality and safety.

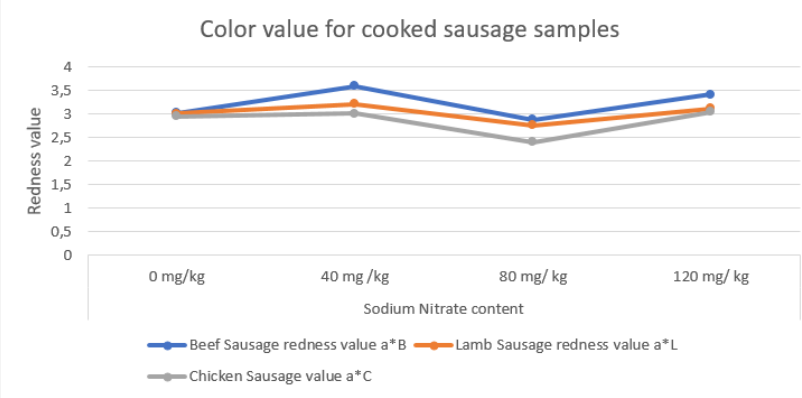


Fig 2. Color value for cooked sausage samples

Table 4

Myoglobin level of meats

Sausage type	Beef meat	Lamb meat	Chicken meat
Myoglobin level	8 mg/g	3.4 mg/g	1.4 mg/g

To evaluate the myoglobin content, spectrophotometric measurements of absorbance were performed on meat samples. Because myoglobin binds light at a specific wavelength, the intensity of light absorbed can reflect the concentration of myoglobin in each sample.

The results revealed that the absorbance of beef meat was much more than other types of meat as its myoglobin content was found to be 8 mg/g. This finding is consistent with the dark red color of beef due to its higher myoglobin concentration. Meanwhile, myoglobin content in lamb meat was about 3.4 mg/g and also showed significantly lower absorbance than that from beef. This discovery is consistent with the pale red color of lamb meat, which is attributed to lower myoglobin content. In contrast, chicken sausage exhibited the lowest absorbance at myoglobin content of 1.4 mg/g which was expected since poultry meat has a low concentration of myoglobin that can contribute to a much lighter color than red meats such as beef and lamb.

Effect of Sodium Nitrite Content on Nitrosylmyoglobin Concentration in Cooked Sausages

The amount of nitrosylmyoglobin in fully cooked beef, lamb and chicken sausages was related to the level of sodium nitrite that had been added. Prior to the addition of sodium nitrite, the concentrations of nitrosylmyoglobin determined were 12.61 ppm 11.71 ppm and 11.41 ppm for beef lamb and chicken sausages, respectively.

Table 5

Nitrosylmyoglobin content in cooked sausage products

	Nitrosylmyoglobins (ppm)			
Sodium Nitrite content	0 mg/kg	40 mg /kg	80 mg/ kg	120 mg/ kg
Beef Sausage	12.61 ± 0.48	13.85 ± 0.58	12.79 ± 0.41	13.98 ± 0.61
Lamb Sausage	11.71 ± 0.36	12.41 ± 0.69	11.93 ± 0.65	12.97 ± 0.58
Chicken Sausage	11.41 ± 0.24	11.91 ± 0.72	11.81 ± 0.55	12.05 ± 0.62

Significant increases of nitrosylmyoglobin were exhibited with sodium nitrite addition at the levels 40 mg/kg, 80 mg/kg and 120 mg/kg. The data also show that, in beef sausage, the first dose of 40 mg/kg led to a significant increase in nitrosylmyoglobin concentration (13.85 ppm). This indicates that an increase in sodium nitrite concentration enhances its nitrosylmyoglobin formation at the beginning. But there was a noticeably weaker effect with the increases of sodium nitrite with concentrations registered at 12.79 ppm (80 mg/kg) and 13.98 ppm (120 mg/kg).

The similar response with sodium nitrite at 40 mg/kg in lamb sausage caused an increase in the nitrosylmyoglobin levels to 12.41 ppm. Subsequent additions resulted in only minor variations of 11.93 ppm at 80 mg/kg and 12.97 ppm at 120 mg/kg. This indicates that these higher concentrations of sodium nitrite did not yield a linear increase in formation of nitrosylmyoglobin.

On the other hand, chicken sausage has little difference when added the sodium nitrite. Nitrosylmyoglobin content remained stable up to 40 mg/kg sodium nitrite (11.91 ppm), and then slightly rose at 80 mg/kg (11.81 ppm) and 120 mg/kg (12.05 ppm). These results indicate that in comparison to beef and lamb sausages, sodium nitrite concentration had only a secondary effect on nitrosylmyoglobin formation in chicken sausage.

Table 6

Physical and chemical criteria of cooked sausage products

Sausage type		**Sodium Nitrite content**			
		0 mg/kg	40 mg /kg	80 mg/ kg	120 mg/ kg
Beef Sausage	a_w	0.976 ± 0.01	0.977 ± 0.00	0.976 ± 0.00	0.979 ± 0.01
	pH	5.78 ± 0.01	5.69 ± 0.02	5.70 ± 0.01	5.73 ± 0.09
Lamb Sausage	a_w	0.963 ± 0.01	0.964 ± 0.01	0.963 ± 0.01	0.966 ± 0.01
	pH	6.62± 0.01	6.57± 0.01	6.58± 0.01	6.61± 0.01
Chicken	a_w	0.971± 0.01	0.970± 0.01	0.969± 0.01	0.972± 0.01

Sausage	pH	6.43± 0.01	6.41± 0.01	6.44± 0.01	6.51± 0.01

Preliminary Studies on Water Activity of Beef, Lamb and Chicken Sausages as Affected by the Addition of Sodium Nitrite An important variable for preservation of meat is the water activity ratio, since this determines whether or not microorganisms will grow and the stability of food.

The water activity values of beef, lamb and chicken sausages without sodium nitrite addition were 0.976, 0.963 and 0.971 respectively (Table). With the addition of sodium nitrite at a level 40 mg/kg, slight variations were observed in these values for beef: 0.977; lamb: 0.964 and they nearly remained unchanged for chicken sausage (0.970). This suggests that sodium nitrite is likely to have a weak impact on moisture retention, but the difference was marginal.

This could be due to the fact that at a stricter level of 80 mg/kg, water activity values remained stable around 0.976 (beef sausages), 0.963 (lamb sausages) and 0.969 (chicken sausages). This indicates that the proportion of water activity measured was not markedly affected by sodium nitrite within this range. However, with the increase of concentration to 120 mg/kg, the water activity was increased once again reaching up at 0·979 in beef, 0·966 along with 100% chicken sausages and at one hundred two mg/kg in lamb sausage. This increase might be attributed to the hygroscopic characteristics of sodium nitrite as at higher concentrations it possesses the ability to attract water and retain moisture.

Despite its role in microbial control to prolong product stability, sodium nitrite is used at a threshold level below which undesirable increments in water activity that can affect residual product quality can be avoided. No significant variation of the pH depending on the sodium nitrite solution added or influence of its pH was observed in the sausage formulations throughout this study.

Conclusion

Results indicated that sodium nitrite is the most important contributor to color development of sausages made from beef, lamb and chicken myoglobin. The highest response was observed for beef sausages, which is related to their comparatively higher amount of myoglobin content (8 mg/g) at the beginning. Addition of sodium nitrite (40 mg kg) under low oxygen conditions increased the redness in the raw samples from 3.05 to 7.21 and once cooked they reached a value of 3.60. In comparison, lamb and chicken sausages with their respectively low myoglobin (3.4 mg/g for lambs, 1.4 mg/g for chickens) exhibited smaller unsteady color responses. The amount of nitrosylmyoglobin formed in cooked sausages increased as the sodium nitrite concentration increased. The highest level was reported in beef samples (13.85 ppm at 40 mg/kg sodium nitrite), whereas lamb and chicken sausages exhibited a relatively smaller increase. These results reveal the importance of sodium nitrite on color retention and to maintain visual appealing in processed meat products, particularly beef sausages. The results can assist meat processors to modify sausage formulations for more stable color quality and for enhanced sensory acceptance of the final product.

Reference

1. Lemoine, A., Pauliat-Desbordes, S., Challier, P., & Tounian, P. (2020). Adverse reactions to food additives in children: A retrospective study and a prospective survey. Archives De Pédiatrie, 27(7), 368–371. https://doi.org/10.1016/j.arcped.2020.07.005
2. Świder, O., Roszko, M. Ł., & Wójcicki, M. (2023). The inhibitory effects of plant additives on biogenic amine formation in fermented foods – a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 64(33), 12935–12960. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2258964
3. Weigel, I., Nistler, S., Pichner, R., Budday, S., & Gensberger-Reigl, S. (2023). Dried vegetables as potential Clean-Label phosphate substitutes in cooked sausage meat. Foods, 12(10), 1960. https://doi.org/10.3390/foods12101960
4. Bampidis, V., Azimonti, G., De Lourdes Bastos, M., Christensen, H., Dusemund, B., Durjava, M., Kouba, M., López-Alonso, M., Puente, S. L., Marcon, F., Mayo, B., Pechová, A., Petkova, M., Ramos, F., Sanz, Y., Villa, R. E., Woutersen, R., Aquilina, G., Bories, G., . . . Innocenti, M. L. (2023). Safety and efficacy of feed additives consisting of sodium ferrocyanide and potassium

ferrocyanide for all animal species (Eusalt a.i.s.b.l.). EFSA Journal, 21(4). https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.7960
5. Pandiselvam, R., Mitharwal, S., Rani, P., Shanker, M. A., Kumar, A., Aslam, R., Barut, Y. T., Kothakota, A., Rustagi, S., Bhati, D., Siddiqui, S. A., Siddiqui, M. W., Ramniwas, S., Aliyeva, A., & Khaneghah, A. M. (2023). The influence of non-thermal technologies on color pigments of food materials: An updated review. Current Research in Food Science, 6, 100529. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100529
6. Li, M., Zhang, X., Yin, Y., Li, J., Qu, C., Liu, L., Zhang, Y., Zhu, Q., & Wang, S. (2023). Perspective of sodium reduction based on endogenous proteases via the strategy of sodium replacement in conjunction with mediated-curing. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1–12. https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2212287
7. Cygan-Szczegielniak, D., & Stasiak, K. (2026). Effect of freezing and cooking on sodium nitrite content in processed meat products. Journal of Food Composition and Analysis, 153, 109149. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2026.109149
8. Ramanathan, R., Piao, D., Krishnan, S., & Mafi, G. G. (2022). 75 Novel approaches to characterize beef color changes. Journal of Animal Science/Journal of Animal Science . . . And ASAS Reference Compendium, 100(Supplement_2), 203. https://doi.org/10.1093/jas/skac064.344
9. Geng, W., Haruna, S. A., Li, H., Kademi, H. I., & Chen, Q. (2023). A novel colorimetric sensor array coupled multivariate calibration analysis for predicting freshness in chicken meat: A comparison of linear and nonlinear regression Algorithms. Foods, 12(4), 720. https://doi.org/10.3390/foods12040720
10. Xu, W., He, Y., Li, J., Deng, Y., Xu, E., Feng, J., Ding, T., Liu, D., & Wang, W. (2022). Non-destructive determination of beef freshness based on colorimetric sensor array and multivariate analysis. Sensors and Actuators. B, Chemical, 369, 132282. https://doi.org/10.1016/j.snb.2022.132282
11. Stafford, C. D., Taylor, M. J., Dang, D. S., England, E. M., Cornforth, D. P., Dai, X., & Matarneh, S. K. (2022). Spectro 1—A potential spectrophotometer for measuring color and myoglobin forms in beef. Foods, 11(14), 2091. https://doi.org/10.3390/foods11142091
12. Casasanta, G., Falcini, F., & Garra, R. (2022). Beer–Lambert law in photochemistry: A new approach. Journal of Photochemistry and Photobiology. A, Chemistry, 432, 114086. https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.114086
13. Majdinasab, M., Aissa, S. B., & Marty, J. L. (2020). Advances in Colorimetric Strategies for mycotoxins Detection: Toward Rapid industrial monitoring. Toxins, 13(1), 13. https://doi.org/10.3390/toxins13010013
14. Yu, J., Huang, M., Tian, H., & Xu, X. (2022). Colorimetric sensor based on AG-FE NTS for H2S sensing. ACS Omega, 7(48), 44215–44222. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c05682
15. Guembe-García, M., González-Ceballos, L., Arnaiz, A., Fernández-Muiño, M. A., Sancho, M. T., Osés, S. M., Ibeas, S., Rovira, J., Melero, B., Represa, C., García, J. M., & Vallejos, S. (2022). Easy Nitrite Analysis of Processed Meat with Colorimetric Polymer Sensors and a Smartphone App. ACS Applied Materials & Interfaces, 14(32), 37051–37058. https://doi.org/10.1021/acsami.2c09467
16. Edwards, K., Manley, M., Hoffman, L. C., & Williams, P. J. (2021). Non-Destructive spectroscopic and imaging techniques for the detection of processed meat fraud. Foods, 10(2), 448. https://doi.org/10.3390/foods10020448
17. Kolev, N. D., Vlahova-Vangelova, D. B., Balev, D. K., & Dragoev, S. G. (2022). Color dynamics of cooked sausages after nitrite reduction and incorporation of biologically active substances. Almaty Tehnologiâlyķ Universitetìnìņ Habaršysy, 3, 130–137. https://doi.org/10.48184/2304-568x-2022-3-130-137
18. Zang, R., Yu, Q., & Guo, Z. (2023). Impact of Nitrite Supplementation on Bioactive Peptides during Sausage Processing. Foods, 12(2), 407. https://doi.org/10.3390/foods12020407

19. Lee, J. J., Srebot, S., Ahmed, M., Mulligan, C., Hu, G., & L'Abbé, M. R. (2023). Nutritional quality and price of plant-based dairy and meat analogs in the Canadian food supply system. Journal of Food Science, 88(8), 3594–3606. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16691
20. Dunteman, A. N., Lee, Y., & Lee, S. (2023). A qualitative look at perception and experience of sodium reduction strategies in the food industry through focus groups and individual interviews. Journal of Food Science, 88(5), 2203–2216. https://doi.org/10.1111/1750-3841.16564
21. Rayas-duarte, P., Francisco, C., Payton, M., Bellmer, D., Carver, B., & Huang, W. (2009). ALKALINE NOODLES AND FLOUR/GEL PROPERTIES OF HARD RED AND WHITE WINTER WHEAT. Journal of Food Quality, 32(5), 627–643. https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2009.00272.x
22. Jeong, H. G., Jung, D. Y., Jo, K., Lee, S., Choi, Y., Yong, H. I., & Jung, S. (2021). Alternative of phosphate by freeze- or Oven-Dried winter mushroom powder in beef patty. Food Science of Animal Resources, 41(3), 542–553. https://doi.org/10.5851/kosfa.2021.e18
23. Nguyen, T., & Kim, J. G. (2019). A simple but quantitative method for non-destructive monitoring of myoglobin redox forms inside the meat. Journal of Food Science and Technology/Journal of Food Science and Technology, 56(12), 5354–5361. https://doi.org/10.1007/s13197-019-04006-y
24. Ruedt, C., Gibis, M., & Weiss, J. (2023). Meat color and iridescence: Origin, analysis, and approaches to modulation. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 22(4), 3366–3394. https://doi.org/10.1111/1541-4337.13191
25. Li, H., Haruna, S. A., Geng, W., Wei, W., Zhang, M., Ouyang, Q., & Chen, Q. (2021). Fabricating a novel colorimetric-bionic sensor coupled multivariate calibration for simultaneous determination of myoglobin proportions in pork. Sensors and Actuators. B, Chemical, 343, 130181. https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.130181
26. Zając, M., Zając, K., & Dybaś, J. (2022). The effect of nitric oxide synthase and arginine on the color of cooked meat. Food Chemistry, 373, 131503. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131503
27. Karwowska, M., Kononiuk, A., & Wójciak, K. M. (2019). Impact of sodium nitrite reduction on lipid oxidation and antioxidant properties of cooked meat products. Antioxidants, 9(1), 9. https://doi.org/10.3390/antiox9010009
28. Viriyarattanasak, C., Hamada-Sato, N., Watanabe, M., Kajiwara, K., & Suzuki, T. (2011). Equations for spectrophotometric determination of relative concentrations of myoglobin derivatives in aqueous tuna meat extracts. Food chemistry, 127(2), 656–661. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.01.001
29. Gøtterup, J., Olsen, K., Knöchel, S., Tjener, K., Stahnke, L. H., & Møller, J. K. (2007). Relationship between nitrate/nitrite reductase activities in meat associated staphylococci and nitrosylmyoglobin formation in a cured meat model system. International journal of food microbiology, 120(3), 303–310. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.08.034
30. Demir, T., & Ağaoğlu, S. (2021). Antioxidant, Antimicrobial and Metmyoglobin Reducing Activity of Artichoke (Cynara scolymus) Powder Extract-Added Minced Meat during Frozen Storage. Molecules (Basel, Switzerland), 26(18), 5494. https://doi.org/10.3390/molecules26185494

ENHANCING BEEF COOKING EFFICIENCY THROUGH OPTIMIZED STEAM PRESSURE: EFFECTS ON THERMAL PROCESSING PERFORMANCE

Kasun Kumara Dissanayake,
Department of Chemical Technology and Biotechnology, Karshi State Technical University, 225 Mustakillik str., Karshi 180100, Uzbekistan
Email: kasunkumar86@gmail.com
Feruza Bekbaeva,
Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan.
Khabibulla Nurmukhamedov,
Tashkent Chemical-Technological Institute, Tashkent, Uzbekistan
Mohamed Rifky
Eastern University, Sri Lanka, Chenkalady, Sri Lanka.
Murodjon Samadiy
Department of Chemical Technology and Biotechnology, Karshi State Technical University, 225 Mustakillik str., Karshi 180100, Uzbekistan

Abstract: *Thermal processing method for effectiveness of heat transfer and time thermal cooking with pressurized steam excesses the initial temperature of the meat. The objective of this study was to evaluate the cooking performance determine of beef attribute subjected different kinds of steam pressure levels. Six beef samples (300 g each) were steam-cooked in 300 ml liquid water at 1.5–6 kgf/cm² pressure conditions. The time to reach the target pressure and cooking percentage of beef samples were experimental parameters. Results: High steam pressure improved cooking completion. The cooking percentage increased from 20% at 1.5 kgf/cm² to 100% at 4.5 and/or 6 kgf/cm². The improved cooking effectiveness at 2.5 and 4 kgf/cm² suggested the superior heat transfer of high-temperature steam as well as its easier heat penetrability. However, it appears that up to 4.5 kgf/cm² the enhancement of cooking performance had an asymptotic type of behavior under those experimental conditions, with higher pressures above this point adding no further improved response. A nonlinear pressure–cooking efficiency relationship for the effect of steam pressure on beef cooking quality. These results could assist in selecting steam pressure while balancing performance with the cooking energy consumption due to an optimal cooking scenario.*

Key words: *enzymes, steam pressure, beef, pressure cooking, cooking efficiency, thermal processing, heat transfer, meat quality.*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГОВЯДИНЫ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ДАВЛЕНИЯ ПАРА: ВЛИЯНИЕ НА ПОКАЗАТЕЛИ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ

Касун Кумара Диссанаяке
Старший преподаватель кафедры химической технологии и биотехнологии, Каршинский государственный технический университет, ул. Мустакиллик, 225, г. Карши, 180100, Узбекистан,
Email: kasunkumar86@gmail.com
Феруза Бекбаева
Доц. кафедры Проектирование технологических процессов и аппаратов, Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан
Хабибулла Нурмухамедов
Профессор кафедры Проектирование технологических процессов и аппаратов, Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан
Мохамед Рифки

Доцент, Восточный университет, Шри-Ланка, Ченкалади, Шри-Ланка.
Муроджон Самадий
Профессор кафедры Химической иненерии и биотехнологии, Каршинский государственный технический университет, ул. Мустакиллик, 225, г. Карши, 180100, Узбекистан

Аннотация: *В данном исследовании оценивалась эффективность тепловой обработки говядины паром под давлением, превышающим атмосферное. Шесть образцов говядины (массой по 300 г каждый) подвергались обработке паром в среде с давлением от 1,5 до 6 кгс/см² (при использовании 300 мл воды). Экспериментальными параметрами служили время достижения заданного давления и степень готовности образцов. Результаты показали, что высокое давление пара способствовало более полной термической обработке: степень готовности возросла с 20% при давлении 1,5 кгс/см² до 100% при 4,5 и/или 6 кгс/см². Повышенная эффективность обработки при давлении 2,5 и 4 кгс/см² свидетельствует о более интенсивной теплопередаче и лучшей проникающей способности высокотемпературного пара. Однако в данных экспериментальных условиях улучшение показателей готовности при повышении давления до 4,5 кгс/см² носило асимптотический характер, и дальнейшее увеличение давления (свыше этого уровня) не приводило к существенному улучшению результата. Выявлена нелинейная зависимость между давлением пара и качеством термической обработки говядины. Полученные данные могут помочь в выборе оптимального давления пара, обеспечивающего баланс между эффективностью процесса и энергозатратами.*

Ключевые слова: *ферменты, давление пара, говядина, приготовление под давлением, эффективность приготовления, термическая обработка, теплопередача, качество мяса.*

Introduction. Beef is among the largest animal protein sources, being important because of its high nutritional value (that is, high-quality protein, essential amino acids and vitamins/minerals) in human diet worldwide [1]. Nonetheless, with optimal thermal processing conditions that promote proper cooking and increased tenderness, more acceptable meat quality can be achieved. Foods are traditionally cooked through heat generating cooking methods, in which the thermal energy penetrates into the meat structure from surface to center and long processing times are needed [1,2].

The present atmospherically steam is limited by a maximal temperature so that Steam Efficiency Assembly: Alternative threats of Air heat could be an effective replacement means to finishing surface in accordance with the criteria of processing [3]. The higher the steam pressure, the more thermal energy transfer occurs, which means that heat can penetrate food materials at a faster rate. This process can accelerate the denaturation of proteins, decomposition of collagen and migration of moisture to improve cooking efficiency and meat texture [2].

Steam pressure cooking performance of meat is determined by the level of pressure, processing time, size of samples, availability of water and heat transfer properties. While, in general, increasing the pressure increases cooking efficiency, it also leads to excessive energy input, which would have required longer steam generation. Thus, understanding the ideal pressure condition is necessary to cook efficiently and save excess energy.

Many studies have shown that thermal processing conditions have a significant impact on meat quality characteristics, including tenderness, water retention, microbial safety, and sensory properties. The relationship between steam pressure level and completion of cooking is still being assessed, especially under tightly controlled experimental conditions [4].

In this work, six steam pressure conditions (1.5–6 kgf/cm²) were applied to beef samples. This research was conducted to study the influencing effect of steam pressure on the cooking percentage of beef, to explore the relationship between steam pressure and steam generation time, to confirm the best pressure state for high-efficiency steaming cooking, and to establish a corresponding mathematical model of the pressure–cooking performance relationship.

Research methodology. Beef samples at 300 g constant fresh weight were subjected to steam pressure treatment. The six samples were treated in a pressure steam cooking system under

varying conditions of low and high steam pressure. A 300 ml water volume was used as a steam generator in all experiments. The independent variable of this study was steam pressure (1.5–6 kgf/cm²), while the dependent variables were beef sample weight, water volume, and heating conditions. The selected steam pressure levels were 1.5, 2.5, 2.75, 4.0, 4.5, and 6.0 kgf/cm². For each treatment, the time to reach the target pressure was measured. Once the target segments of beef were cooked at the designated steam pressure [1,3], they were tested based on their cooking percentage to assess how each type influenced cooking efficiency.

The effects of steam pressure and the time taken to reach the desired pressure, as opposed to cooking performance, were analyzed using the experimental data collected from multiple sets of experiments. A semi-logarithmic model was employed to characterize the association between steam pressure and cooking percentage. Next, the model parameters were statistically examined to show which pressure range contributed to the operational efficiency maximization in all cooking processes. The experimental design was employed to the best steam pressure condition, which based on both cooking completion and required for the generation of steam [4,5].

Steam pressure–cooking efficiency relationships were analyzed using regression modelling. The nonlinear logistic model describes the pressure-dependent cooking behavior, as indicated by the results:

$$C(P) = \frac{L}{1 + e^{-k\,(p-p_0)}}$$

where:

- C(P) = cooking percentage (%)
- P = steam pressure (kgf/cm²)
- L = maximum cooking limit
- k = pressure response coefficient
- P0 = midpoint pressure

Using the model, we could determine Cooking Efficiency as a function of pressure space [4]. The experimental conditions are presented in Table 1.

Table 1

Experimental conditions and cooking performance of beef samples under different steam pressure levels

Sample	Beef Weight (g)	Steam Pressure (kgf/cm²)	Time to Reach Pressure (s)	Cooking Percentage (%)
Bf-1	300	1.5	40	20
Bf-2	300	2.5	120	38
Bf-3	300	2.75	175	73
Bf-4	300	4.0	250	95
Bf-5	300	4.5	290	100
Bf-6	300	6.0	330	100

The experimental conditions used to assess the impact of steam pressure on beef cooking efficiency are summarized in Table 1. Separate level would be required to get an identical wet weight of 300 g per example and a constant treatment tension (1.5-6 kgf/cm²) for every beef test. As shown in the table, steam pressure and time to reach this designated pressure are related through alterations in cooking percentage. The findings show that cooking completion improved as steam pressure increased, with maximum entrusted efficiency (100%) achieved at 4.5 and 6 kgf/cm².

Analysis and results.

Effect of steam pressure on beef cooking efficiency.

Table 1 shows the influence of steam pressure on the cooking efficiency of beef samples. This study showed that the incorporation of high-pressure steam treatment resulted in a marked increase in the cooking yield of beef samples. Under the low-pressure condition of 1.5 kgf/cm²,

although a higher cooking percentage was not detected (only 20%), it indicated limited structural heat penetration through the meat. The cooking percentage significantly increased to 38% when the pressure conditions reached up to 2.5 kgf/cm². At an even higher pressure of 2.75 kgf/cm², there was a substantial improvement to 73% cooking completion.

The efficiency of cooking was much greater at higher pressure conditions. Samples at 4.0 kgf/cm² gave 95% cooking completion, while 100% cooking completion was reached at a pressure of 4.5 kgf/cm². We realized that adding more pressure did not improve the cooking percentage, as it remained at 100% under a pressure of 6.0 kgf/cm². This indicates that the optimal cooking efficiency was achieved under the experimental conditions at approximately 4.5 kgf/cm².

The enhanced cooking performance of meat at higher pressures is due to the increased temperature of pressurized steam, which leads to improved heat transfer from the steam environment into the internal structure of the muscle. Increased steam pressure causes greater access to thermal energy, leading to faster protein denaturation, connective tissue softening, and improved heat penetration.

Relationship between steam pressure and pressure reaching time.

The level of pressure took more time to attain in steam. The lowest pressure condition of 1.5 kgf/cm² could be achieved only in 40 seconds, while the highest one (6 kgf/cm²), on the other hand, took 330 seconds to reach the target pressure.

This was because it takes more energy to turn water into steam when the pressure levels are higher, due to higher internal cooking chamber pressures. Higher pressure resulted in a more rapid cooking process, but required greater energy input and a longer preparation time before the actual cooking was performed.

The results show that pressure selection should take into account cooking performance and energy consumption. The cooking efficiency of the alfalfa head was lower than that at 4.5 kgf/cm², and extremely high pressure (more than 6 kgf/cm²) may have no practical time-saving effect.

Pressure–cooking efficiency relationship model.

The steam pressure and percentage of cooking had a nonlinear relationship. Smaller pressure hikes at lower levels then led to slow gains in cooking performance. However, it increased and improved rapidly from 38–95% between 2.5 and 4.0 kgf/cm² cooking efficiency.

A classic logistic regression model was utilized to characterize the cooking behavior dependent on pressure:

$$C(P) = \frac{101.78}{1 + e^{-1.7875\ (p-2.498)}}$$

where C(P) indicate the cooking percentage (%) and P indicates steam pressure (kgf/cm²).

The three pressure-dependent cooking regions are shown in the model. In the low-pressure condition (1.5–2.5 kgf/cm²), the lower temperature of steam formation (higher boiling point of water) and low penetration into the meat structure led to an insufficient supply of energy and incomplete completion of the cooking process as a result. In the range of the transitional region (2.5–4.0 kgf/cm²), cooking efficacy improved rapidly owing to faster heat transfer and better penetration by steam, causing a large portion of cooking completion to increase considerably [6,7]. In the saturation region (>4.5 kgf/cm²), maximum cooking effectiveness was obtained, which did not further increase with pressure. Thus, under the 6 kgf/cm² condition, the optimum operating pressure of this experimental system was determined to be around 4.5 kgf/cm², in which complete cooking took place using less energy input with respect to the 6 kgf/cm² condition.

Microbial Analysis and Shelf Life.

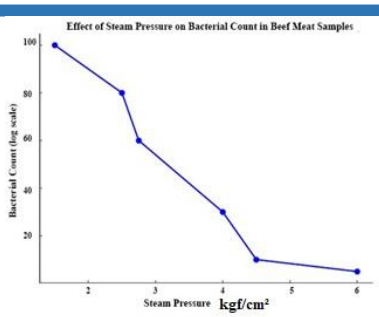


Fig 1. Impact of steam pressure on bacterial reduction in beef samples

The assumptions were corroborated by the experimental microbiological results and were additionally verified by pronounced impact of up-pressure and time of steaming. The observed high values at 1.5 kgf/cm² which were recorded at 40 s from the start of pressing were due to poor heat penetration. Above 4 kgf/cm², the bacterial count was not only lower but also significantly reduced. The products treated under 4 kgf/cm² (250 s) and higher-pressure treatments showed significantly fewer bacterial counts, providing an extended lifespan. Similar reductions were observed in samples treated under higher pressure conditions of 4.5 kgf/cm² (290 s) and 6 kgf/cm² (330 s).

Relationship between cooking percentage and steam pressure–time conditions.

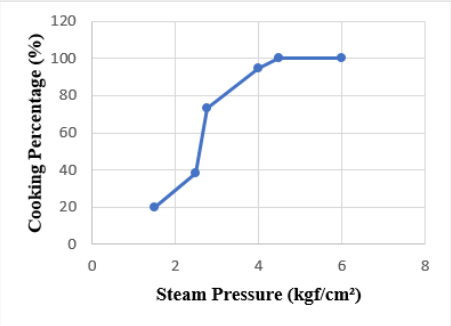


Fig 2. Effect of Different Steam Pressure Conditions on Beef Cooking Performance

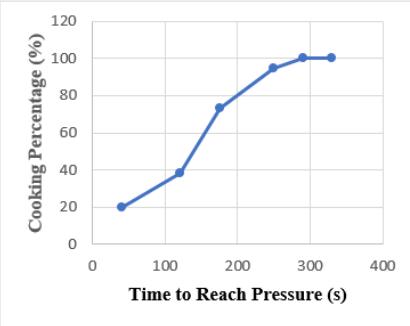


Fig 3. Effect of Cooking Duration on the Cooking Completion of Beef Samples

The plot depicts a clear positive correlation between steam pressure and the resulting cooking percentage (Figure 2). The cooking percentage was only 20% at 1.5 kgf/cm², but at 4.5 kgf/cm² and 6 kgf/cm², it reached a level of 100%. Similar to cooking time, as shown in Figure 3, the cooking percentage was directly correlated. The longest cooking times at high pressures were associated with an increased likelihood of cooking completion, making the meat more desirable and safer.

Sensory analysis.

Figure 4. Sensory evaluation of beef samples at different steam pressures and durations.

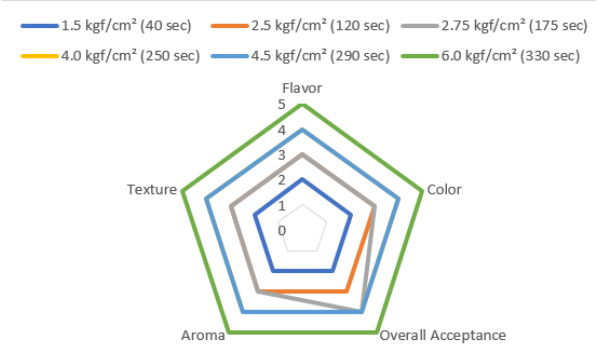


Fig 4. Sensory evaluation of beef samples cooked under different steam pressure conditions

Incremental improvements in Color, Flavor, Texture, and Aroma, as well as Overall Acceptance, were observed with increasing steam pressure and cooking time. The values increased up to 69% under the minimal conditions for each steam pressure and cooking time.

Low scoring occurred at 1.5 kgf/cm² (40 seconds) with only 2/5, while high scoring occurred after peak formation at 6 kgf/cm² (330 seconds), consisting of 5 out of a possible five scores across most sensory attributes. The strategy is to use maximum values of pressure and cooking time (both necessary) to improve meat quality, which means that consumer satisfaction increases with an increase in these attributes.

Conclusion.

The research was carried out to observation the effects of cooking pressure levels on meat cuts of beef under six levels (1.5–6 kgf/cm²). Results showed that increasing the steam pressure led to a significant improvement in cooking completion, most probably because better heat transfer took place and deeper thermal penetration into meat structures occurred. The cooking extent of expansion variety was defined from 20% at 1.5 kgf/cm² to complete cooking (100%) at the four pressures, 5 and 6 kgf/cm². Higher pressure than over 4.5 kgf/cm² did not improve the steam generation but also required an extremely long time and a higher amount of energy spent to produce the steam. Therefore, the best cooking condition for maximized cooking efficiency with lowered energy consumption was set to 4.5 kgf/cm². Using the friction model developed, a nonlinear pressure–cooking efficiency model was able to characterize profiles of steam pressure with cooking performance. Additionally, prospective studies focusing on internal temperature monitoring, multiple trials, texture and physicochemical characteristics, as well as a complete microbiological profile, are recommended to better reveal the relationship between steam pressure and beef quality along with the possible implications of processing playing an efficient role in meat.

Reference

1. Zhang, X., Na, F., Zhang, M., & Yang, W. (2025). Microbial control in the processing of Low-Temperature meat products: Non-Thermal sterilization and natural antimicrobials. Foods, 14(2), 225. https://doi.org/10.3390/foods14020225
2. Alfaifi, B. M., Al-Ghamdi, S., Othman, M. B., Hobani, A. I., & Suliman, G. M. (2023). Advanced red meat cooking technologies and their effect on engineering and quality properties: a review. Foods, 12(13), 2564. https://doi.org/10.3390/foods12132564
3. Sut, S., Lacey, K., Dhenge, R., Ferrarese, I., Santi, S., Cacchioli, A., Gazza, F., Dall'Acqua, S., & Rinaldi, M. (2023). Effect of different atmospheric and subatmospheric cooking techniques on physical and chemical qualitative properties of pork loin. Meat Science, 206, 109338. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109338
4. Shehadeh, H. A., Deyo, S., Nakajima, S. G., Puente, P., Tully, K., & Webb, J. (2019). A mathematical model for meat cooking. arXiv (Cornell University). https://doi.org/10.48550/arxiv.1908.10787
5. Jiang, Q., Lv, R., Zhai, P., Wang, X., Li, Y., & Yin, M. (2025). Molecular mechanisms underlying sensory and chemical changes in muscle foods induced by Sous-Vide cooking: a review. Foods, 14(17), 2967. https://doi.org/10.3390/foods14172967

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

MEVA-SABZAVOT QURITISH KORXONALARI OQOVA SUVLARINI KOMPLEKS FIZIK-KIMYOVIY TOZALASH VA QAYTA FOYDALANISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

Norov Xurshid Uktam o'g'li
Shamuratova Shaxida Mirsagatovna
Igitov Farrux Baxtiyarovich
Umarova Shoxida Saypulla qizi

Annotatsiya. *Maqolada meva-sabzavot quritish korxonalari oqova suvlarining shakllanish manbalari, fizik-kimyoviy tarkibi va ifloslanish xarakteri tahlil qilingan. Mexanik, kimyoviy (koagulyatsiya-flokulyatsiya), flotatsion, biologik, filtrlash va zararsizlantirish bosqichlarini o'z ichiga olgan kompleks tozalash sxemasi taklif etilgan. Har bir bosqichning mexanizmi yoritilgan, dastlabki va tozalangan suv ko'rsatkichlari taqqoslangan hamda qayta foydalanish sohalari belgilangan.*

Kalit so'zlar: *oqova suv, meva-sabzavot quritish, BPK, KPK, koagulyatsiya, flotatsiya, biologik tozalash, qayta foydalanish.*

Kirish

O'zbekiston qishloq xo'jaligi mahsulotlarini chuqur qayta ishlashni kengaytirmoqda. Quritilgan o'rik, mayiz, olma, pomidor, sabzi va piyoz ishlab chiqarish hajmi ortib bormoqda. Bu jarayon katta miqdorda suv talab qiladi: 1 tonna xom ashyoni qayta ishlashga o'rtacha 5–15 m^3 suv sarflanadi. Hosil bo'ladigan oqova suvlar organik moddalar, shakar, kraxmal, tuz va kimyoviy reagentlar qoldiqlariga boy. Ular tozalanmasdan tashlansa, suv havzalari va tuproqning ifloslanishiga olib keladi. Shu bois suvni tozalash va aylanma suv ta'minotida qayta ishlatish ham ekologik, ham iqtisodiy jihatdan dolzarbdir.

Tadqiqot maqsadi - quritish korxonalari oqova suvlarini kompleks tozalash va qayta foydalanishga yaroqli holga keltirish texnologiyasini ishlab chiqish.

Vazifalar:

Oqova suvlar tarkibini fizik-kimyoviy jihatdan baholash.

Tozalash bosqichlari va ularning mexanizmlarini asoslash.

Tozalash samaradorligini dastlabki va tozalangan suv ko'rsatkichlari bo'yicha baholash.

Qayta ishlangan suvdan foydalanish sohalarini aniqlash.

Oqova suvlarning shakllanish manbalari va fizik-kimyoviy tavsifi

Shakllanish manbalari

1-jadval. Texnologik bosqichlar bo'yicha oqova suv xarakteri

Texnologik bosqich	Oqova suv xarakteri
Xom ashyoni yuvish va namlash	Tuproq, qum, o'simlik qoldiqlari, pestitsid izlari; yuqori loyqalik
Tozalash, kesish, danak ajratish	Shakar, pektin, kraxmal, hujayra shirasi; yuqori BPK
Blanshirlash (issiq ishlov)	Eruvchan uglevodlar, pigmentlar, vitaminlar; harorat 60–90 °C
Ishqoriy ishlov (uzum, olxo'ri)	Yuqori pH (10–12), natriy ionlari, yog'simon moddalar

Texnologik bosqich	Oqova suv xarakteri
Oltingugurtlash (o'rik, shaftoli)	Sulfit va sulfat ionlari, past pH
Uskuna va pol yuvish	Yuvish vositalari (sirt-faol moddalar), organik qoldiqlar

2.2. Fizik-kimyoviy xossalar

Oqova suvning asosiy xususiyatlari quyidagilardan iborat:

Organik ifloslanish yuqori: BPK_5 1200–3500 mg O_2/l, KPK 2500–6000 mg O_2/l. BPK/KPK nisbati 0,5–0,6 ni tashkil etadi, ya'ni suv biologik parchalanishga yaxshi moyil.

Muallaq moddalar 600–1500 mg/l, loyqalik 400–900 NTU.

pH tebranishi katta: ishqoriy ishlov va oltingugurtlash tufayli 4,5 dan 11,5 gacha.

Biogen elementlar: umumiy azot 40–90 mg/l, umumiy fosfor 8–20 mg/l.

Tuzlar: quruq qoldiq 900–1800 mg/l, xloridlar 150–400 mg/l, sulfatlar 150–450 mg/l.

Maxsus komponentlar: sulfitlar 20–150 mg/l, yog' va moylar 30–120 mg/l, sirt-faol moddalar 3–15 mg/l.

Rang va hid: pigmentlar (karotinoid, antotsian) tufayli intensiv rang, shirin-nordon hid.

Oqim notekisligi: mavsumiy (iyun–oktyabr) va kunlik tebranish katta, shuning uchun tenglashtirish zarur.

Taklif etilayotgan kompleks tozalash texnologiyasi va mexanizmlari

Texnologik sxema: Yig'ish → Panjara/to'r filtr → Qum va yog' ushlagich → Tenglashtirish-neytrallash rezervuari → Koagulyatsiya-flokulyatsiya → Flotatsiya yoki cho'ktirish → Biologik tozalash (anaerob + aerob) → Ikkilamchi cho'ktirgich → Qumli va ko'mirli filtr → (ixtiyoriy) ultrafiltratsiya → Zararsizlantirish (UB / NaOCl) → Qayta foydalanish.

Mexanik tozalash

Panjara va barabanli to'r (tirqish 3–5 mm): mexanizmi — o'lchami tirqishdan katta bo'lgan qattiq zarrachalarni (po'choq, urug', poya) elash orqali ushlash. Muallaq moddalarning 10–20 % i ajraladi.

Qum va yog' ushlagich: mexanizmi — zichlik farqiga asoslangan gravitatsion cho'kish va yengil yog' zarrachalarining yuzaga qalqib chiqishi. Past tezlikda (0,2–0,3 m/s) mineral zarrachalar cho'kadi.

Tenglashtirish va neytrallash

Hajmi 6–8 soatlik oqimga teng rezervuarda aralashtirish va havo bilan barbotaj qilish orqali oqim hamda konsentratsiya tebranishlari yumshatiladi. pH ni 6,5–8,0 ga keltirish uchun kislota (H_2SO_4) yoki ishqor (NaOH, ohak) dozalanadi. Mexanizmi — neytrallanish reaksiyasi:

$$H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$$

Bu keyingi koagulyatsiya va biologik jarayonlarning barqarorligini ta'minlaydi.

Koagulyatsiya-flokulyatsiya

Reagentlar: alyuminiy sulfat $Al_2(SO_4)_3$ yoki polialyuminiy xlorid (PAX) 40–100 mg/l, anion flokulyant poliakrilamid (PAA) 0,5–1,5 mg/l. Mexanizm:

Zaryadni neytrallash va qo'sh elektr qatlamni siqish. Kolloid zarrachalar (oqsil, pektin, pigment) manfiy zaryadlangan. Al^{3+} ionlari va ularning gidroksokomplekslari zaryadni neytrallaydi, zarrachalar itarilishi kamayadi.

Supurish (sweep) koagulyatsiyasi. Gidrolizdan hosil bo'lgan $Al(OH)_3$ cho'kmasi kolloid va erigan organik moddalarni adsorbsiyalab, o'zi bilan olib cho'kadi:

$Al_2(SO_4)_3 + 6H_2O \rightarrow 2Al(OH)_3\downarrow + 3H_2SO_4$

Polimer ko'prik hosil qilish. PAA uzun zanjirlari mayda mikroflokulalarni birlashtirib yirik, tez cho'kuvchi flokulalar hosil qiladi.

Natijada muallaq moddalar 85–95 %, KPK 40–60 %, rang 70–85 % kamayadi.

Bosimli flotatsiya (DAF)

Suv 0,4–0,6 MPa bosimda havo bilan to'yintiriladi va bosim tushirilganda 20–80 mkm mayda pufakchalar ajraladi. Mexanizmi — pufakchalarning flokulalar va yog' zarrachalariga yopishib, ularning umumiy zichligini suvnikidan kamaytirishi hamda yuzaga ko'tarishi. Cho'ktirishga nisbatan yengil, organik flokulalar va yog'lar uchun samaraliroq.

Biologik tozalash

a) Anaerob bosqich (UASB reaktor) — KPK > 3000 mg/l bo'lganda tavsiya etiladi. Mexanizmi — anaerob mikroorganizmlar ketma-ket gidroliz, kislota hosil qilish, atsetogenez va metanogenez orqali organik moddalarni biogazga (CH_4 + CO_2) aylantiradi. KPK 60–75 % kamayadi, hosil bo'lgan biogaz quritgichlarni isitishda ishlatilishi mumkin.

b) Aerob bosqich (faol loy / MBR) — geterotrof bakteriyalar kislorod ishtirokida organik moddalarni oksidlaydi:

$C_xH_yO_z + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$ + yangi biomassa

Shuningdek, nitrifikatsiya ($NH_4^+ \rightarrow NO_2^- \rightarrow NO_3^-$) va anoksik zonada denitrifikatsiya ($NO_3^- \rightarrow N_2$) orqali azot, fosfor esa biomassaga o'zlashtirilishi orqali kamayadi. Yuklama: 0,2–0,4 kg BPK/(kg loy·sutka), eritilgan kislorod 2–3 mg/l.

Chuqur tozalash (filtrlash va adsorbsiya)

Tez qumli filtr: mexanizmi — mexanik tutib qolish va zarrachalarning donalar yuzasiga adsorbsiyasi. Qolgan muallaq moddalar va loyqalikni kamaytiradi.

Faollashtirilgan ko'mir filtri: mexanizmi — g'ovak strukturadagi fizik adsorbsiya (Van-der-Vaals kuchlari). Erigan organik moddalar, rang, hid va sirt-faol moddalar ushlanadi.

Ultrafiltratsiya (0,01–0,1 mkm): mexanizmi — membrana g'ovaklari o'lchamiga ko'ra elak effekti. Bakteriya va kolloidlarni deyarli to'liq ushlaydi.

Zararsizlantirish-UB nurlanish (254 nm, doza ≥ 40 mJ/sm²): mikroorganizmlar DNK sida timin dimerlari hosil bo'ladi, ko'payish qobiliyati yo'qoladi. Zararli yon mahsulot hosil qilmaydi.

Natriy gipoxlorit (qoldiq xlor 0,3–0,5 mg/l): HOCl hujayra devori va fermentlarini oksidlab, mikroorganizmlarni nobud qiladi. Dastlabki va tozalangan suv tarkibining taqqoslanishi

2-jadval.

Oqova suvning tozalashdan oldingi va keyingi ko'rsatkichlari

№	Ko'rsatkich	Birlik	Dastlabki oqova suv	Tozalangan suv	Samaradorlik, %
1	pH	—	4,5–11,5 (o'rtacha 7,8)	6,8–7,8	—
2	Harorat	°C	20–35	18–25	—
3	Loyqalik	NTU	400–900	≤ 2	> 99
4	Rang	gradus (Pt-Co)	300–800	≤ 20	> 95
5	Muallaq moddalar	mg/l	600–1500	≤ 5	> 99
6	BPK_5	mg O_2/l	1200–3500	≤ 10	> 99

7	KPK	mg O_2/l	2500–6000	≤ 50	> 98
8	Umumiy azot	mg/l	40–90	≤ 10	80–89
9	Ammoniy azoti (NH_4^+-N)	mg/l	15–35	≤ 1,5	> 94
10	Umumiy fosfor	mg/l	8–20	≤ 1,0	88–95
11	Quruq qoldiq (TDS)	mg/l	900–1800	700–1200	20–35
12	Xloridlar	mg/l	150–400	120–300	15–25
13	Sulfatlar	mg/l	150–450	100–300	25–35
14	Sulfitlar	mg/l	20–150	≤ 0,5	> 99
15	Yog' va moylar	mg/l	30–120	≤ 0,5	> 98
16	Sirt-faol moddalar (anion)	mg/l	3–15	≤ 0,3	> 95
17	Umumiy koliform bakteriyalar	KHB/100 ml	10^6–10^8	≤ 10	> 99,99

Eslatma: jadvaldagi qiymatlar quritish sanoati oqova suvlari uchun adabiyotlarda keltirilgan tipik diapazonlar va loyihaviy ko'rsatkichlar asosida berilgan. Aniq qiymatlar har bir korxona, xom ashyo turi va mavsum bo'yicha laboratoriya sinovlari (namuna olish va tahlil) orqali tasdiqlanishi kerak. Eruvchan tuzlar (TDS, xlorid, sulfat) oddiy fizik-kimyoviy va biologik usullar bilan sezilarli kamaymaydi. Ularni jiddiy kamaytirish uchun teskari osmos kerak.

Qayta ishlangan suvdan foydalanish sohalari

Suvdan foydalanish yo'nalishi uning sifatiga bog'liq. Quyida tozalash darajasi va tegishli talablar bo'yicha tavsiyalar berilgan.

3-jadval

Tozalangan suvdan qayta foydalanish sohalari

Soha	Foydalanish shakli	Qo'shimcha talab
Korxonaning texnik ehtiyojlari	Xom ashyoni dastlabki yuvish, uskuna va pollarni yuvish, sovitish tizimlari	Qo'shimcha tozalashsiz yoki minimal ishlov bilan; aylanma suv ta'minoti
Sug'orish (qishloq xo'jaligi)	Texnik ekinlar, paxta, g'alla, em-xashak, bog' va tokzorlar tomchilatib sug'orish	Tuz miqdori (TDS < 1000–1200 mg/l) va natriy nazorati; FAO yo'riqnomalari bo'yicha
Yashil hududlar va landshaft	Park, ko'chat, korxona hududi, tashlandiq yerlarni ko'kalamzorlashtirish	Mikrobiologik xavfsizlik, hidsizlik
Texnik va qurilish ehtiyojlari	Chang bostirish, yo'l va maydonlarni namlash, beton aralashmalari	Past talablar, suv xavfsizligi saqlanadi
Texnologik bug' va qozonxona	Sovitish minoralari, qozonlar uchun to'ldirish suvi	Qo'shimcha yumshatish/demineralizatsiya (ion almashinuvi, teskari osmos) zarur
Yong'inga qarshi va zaxira ta'minot	Yong'in o'chirish rezervuarlari	Mexanik ifloslanishsiz bo'lishi yetarli
Baliqchilik va suv havzalarini to'ldirish	Faqat chuqur tozalangan va tasdiqlangan holda	Kislorod, ammiak, sulfit bo'yicha qat'iy nazorat

Cheklov: tozalangan suv ichimlik maqsadida va oziq-ovqat mahsulotiga bevosita tegadigan jarayonlarda (yakuniy yuvish, qadoqlash) qo'shimcha chuqur tozalashsiz ishlatilmaydi. Barcha holatlarda mahalliy sanitariya-epidemiologiya va ekologiya organlari talablariga muvofiqlik laboratoriya tahlillari bilan tasdiqlanishi shart.

Iqtisodiy va ekologik samara

Aylanma suv ta'minoti orqali toza suv iste'moli 40–70 % ga kamayadi.
Chiqindi suv uchun to'lovlar va jarimalar xavfi bartaraf etiladi.
Anaerob bosqichda olingan biogaz energiya xarajatlarini qisman qoplaydi.
Flotatsiya va cho'kmadan hosil bo'lgan loy kompostlash orqali o'g'itga aylantiriladi (og'ir metall nazoratida).
Suv havzalari va tuproqning organik ifloslanishi keskin kamayadi.

Xulosa

Meva-sabzavot quritish korxonalari oqova suvlari yuqori organik yuklama (BPK_5 1200–3500 mg/l), muallaq moddalar, o'zgaruvchan pH, sulfit va tuzlar bilan tavsiflanadi. Biologik parchalanishga moyilligi (BPK/KPK ≈ 0,5–0,6) biologik usullarni qo'llash imkonini beradi.

Mexanik tozalash, tenglashtirish-neytrallash, koagulyatsiya-flokulyatsiya, flotatsiya, anaerob-aerob biologik tozalash, filtrlash va zararsizlantirishni o'z ichiga olgan kompleks sxema BPK va KPK bo'yicha 98–99 %, muallaq moddalar bo'yicha 99 % dan yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. Tozalangan suv texnik ehtiyojlar, sug'orish, ko'kalamzorlashtirish va aylanma suv ta'minoti uchun yaroqli. Tuz miqdori yuqori bo'lgan holatlarda membrana usullari bilan qo'shimcha tozalash tavsiya etiladi. Texnologiyani joriy etish suv resurslarini tejash, ekologik xavfni kamaytirish va ishlab chiqarish xarajatlarini optimallashtirish imkonini beradi.

Adabiyotlar

1. Metcalf & Eddy. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw-Hill.
Ayers R.S., Westcot D.W. Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, 1985.
2. WHO. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Vol. 2: Wastewater Use in Agriculture, 2006.
3. Yakovlev S.V., Karelin Ya.A. va boshq. Oqova suvlarni tozalash. Moskva: Stroyizdat.
O'zbekiston Respublikasining «Suv va suvdan foydalanish to'g'risida»gi Qonuni hamda amaldagi sanitariya-gigiyena me'yorlari.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

MEVA-SABZAVOT QURITISH KORXONALARI OQAVA SUVLARINI KOMPLEKS FIZIK-KIMYOVIY TOZALASH VA QAYTA FOYDALANISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH

Norov Xurshid Uktam o'g'li
Shamuratova Shaxida Mirsagatovna
Igitov Farrux Baxtiyarovich
Umarova Shoxida Saypulla qizi

Annotatsiya. *Maqolada meva-sabzavot quritish korxonalarida hosil bo‘ladigan oqava suvlarning tarkibi, asosiy ifloslantiruvchi komponentlari va ularni kompleks fizik-kimyoviy usullar asosida tozalash imkoniyatlari tahlil qilingan. Meva-sabzavot xom ashyosini yuvish, saralash, texnologik jihozlarni tozalash va sanitar ishlov berish jarayonlarida hosil bo‘ladigan oqava suvlar tarkibida muallaq moddalar, organik birikmalar, uglevodlar, organik kislotalar, fenol birikmalari va boshqa komponentlar mavjud bo‘lishi mumkin. Ilmiy manbalarda meva-sabzavotni qayta ishlash oqava suvlarida COD miqdori taxminan 0,8–7,7 g/l, BOD_5 esa 0,5–6,1 g/l oralig‘ida bo‘lishi qayd etilgan, biroq korxona texnologiyasi va xom ashyo turiga qarab ushbu ko‘rsatkichlar sezilarli o‘zgaradi. Adabiyotlarda ayrim meva-sabzavot korxonalari oqava suvlarida COD 10 913–22 300 mg/l va BOD_5 6900–14 300 mg/l gacha yetishi ham qayd etilgan. Shu sababli universal bitta tozalash usuli o‘rniga mexanik ajratish, koagulyatsiya-sedimentatsiya, biologik tozalash, membranali ajratish va yakuniy zararsizlantirish bosqichlarini birlashtirgan kompleks texnologiya taklif etiladi. Adabiyotlardagi tajribalar MBR tizimida COD ni 97%, BOD ni 99% va muallaq moddalarni 99,9% gacha kamaytirish mumkinligini ko‘rsatgan. Tozalangan suvni qishloq xo‘jaligida sug‘orish va korxonaning texnik ehtiyojlarida qayta ishlatish imkoniyati ISO 16075-1:2020 va ISO 20419:2018 kabi hujjatlarda belgilangan yondashuvlar asosida baholanishi lozim.*

Kalit so‘zlar: *meva-sabzavot korxonasi, quritish, oqava suv, COD, BOD_5, muallaq moddalar, koagulyatsiya, sedimentatsiya, biologik tozalash, membranali tozalash, ultrafiltratsiya, qayta foydalanish, suv resurslari.*

Kirish

Suv resurslaridan samarali foydalanish oziq-ovqat va agrosanoat korxonalari uchun muhim ekologik va iqtisodiy vazifalardan biri hisoblanadi. Meva va sabzavotlarni qayta ishlash hamda quritish korxonalarida suv asosan xom ashyoni yuvish, texnologik operatsiyalar, jihozlarni tozalash va sanitar-gigienik tadbirlarga sarflanadi. Ilmiy sharhlarga ko‘ra, meva-sabzavot sanoatida ishlatiladigan suvning katta qismi yuvish va chayish jarayonlariga to‘g‘ri keladi.

Bunday korxonalarda hosil bo‘ladigan oqava suvlarning asosiy ekologik xavfi ulardagi organik moddalar va muallaq zarrachalar miqdorining yuqoriligi bilan bog‘liq. Oqava suv tarkibiga meva va sabzavotning hujayra to‘qimalaridan ajralgan organik moddalar, shakarlar, organik kislotalar, tolalar, pektinlar, fenol birikmalari, mineral moddalar hamda texnologik jarayonlarda ishlatiladigan yuvish vositalari tushishi mumkin.

Meva-sabzavot qayta ishlash oqava suvlarining tarkibi xom ashyoning turi, texnologik jarayon, mavsumiylik va suv sarfiga bog‘liq ravishda keskin o‘zgaradi. Masalan, ilmiy tadqiqotlarda meva-sabzavot korxonalari oqava suvlari uchun COD 0,8–7,7 g/l va BOD_5 0,5–6,1 g/l diapazonlari keltirilgan. Boshqa tadqiqotlarda esa ayrim korxonalarda COD 10 913–22 300 mg/l, BOD_5 6900–14 300 mg/l darajasigacha yetgan. Bu ma’lumotlar oqava suvlarni tozalash tizimini ishlab chiqishda korxonadan bevosita namuna olib, laboratoriya tahlilini amalga oshirish zarurligini ko‘rsatadi.

Shu nuqtai nazardan, meva-sabzavot quritish korxonalari uchun oqava suvlarni faqat chiqindi sifatida qarash emas, balki ularni tozalab, korxona ehtiyojlariga qaytarish yoki belgilangan talablarga muvofiq sug‘orish maqsadlarida foydalanish muhim yo‘nalish hisoblanadi.

1. Meva-sabzavot korxonalari oqava suvlarining asosiy xususiyatlari

Meva-sabzavot korxonalari oqava suvlarining tarkibi bir xil emas. Xom ashyoni yuvishdan hosil bo‘lgan suvda tuproq, qum va o‘simlik qoldiqlari ko‘p bo‘lishi mumkin. Texnologik jihozlarni yuvishdan hosil bo‘lgan suvda esa organik moddalar, yog‘lar va yuvish vositalari konsentratsiyasi yuqoriroq bo‘lishi ehtimol.

Asosiy nazorat qilinadigan ko‘rsatkichlarga quyidagilar kiradi:

pH;

muallaq moddalar (TSS);

ximiyaviy kislorodga bo‘lgan ehtiyoj (COD);

biologik kislorodga bo‘lgan ehtiyoj (BOD_5);

umumiy azot va fosfor;

neft mahsulotlari va yog‘-moylar;

elektr o‘tkazuvchanlik va minerallashuv;

rang va loyqalik;

mikrobiologik ko‘rsatkichlar.

Ayniqsa COD va BOD_5 oqava suvning organik ifloslanish darajasini baholashda muhimdir. BOD_5 mikroorganizmlar tomonidan biologik parchalanadigan organik moddalar miqdori haqida ma’lumot bersa, COD suvdagi oksidlanuvchi moddalarning umumiy miqdorini baholashga imkon beradi.

2019 yilda sabzi va chernika qayta ishlash korxonalari oqava suvlari bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotda chernika oqava suvida TSS 297±85 mg/l, BOD_5 1013±292 mg/l va COD 1947±388 mg/l bo‘lgan. Sabzi korxonasida esa TSS 3030±2975 mg/l, BOD_5 2780±1848 mg/l va COD 6363±2760 mg/l darajasida aniqlangan. Bu natijalar xom ashyo turi oqava suv sifatini sezilarli darajada o‘zgartirishini ko‘rsatadi.

2. Mavjud tozalash usullarining tahlili

Meva-sabzavot sanoati oqava suvlarini tozalashda mexanik, fizik-kimyoviy, biologik va membranali texnologiyalardan foydalanish mumkin.

2.1. Mexanik tozalash

Birinchi bosqichda panjara, barabanli elak, setkali filtr yoki boshqa mexanik ajratish qurilmalari qo‘llaniladi. Bu bosqichda meva-sabzavot bo‘laklari, po‘stloq, urug‘, tolalar, qum va boshqa yirik zarrachalar ajratiladi.

Mexanik tozalash keyingi qurilmalarga tushadigan yuklamani kamaytiradi. Biroq tadqiqotlar oddiy elash usuli COD va BOD_5 ni sezilarli kamaytirmasligi mumkinligini ko‘rsatgan. Shuning uchun mexanik tozalashni mustaqil tozalash texnologiyasi sifatida emas, balki kompleks tizimning dastlabki bosqichi sifatida qarash maqsadga muvofiq.

2.2. Koagulyatsiya va sedimentatsiya

Muallaq va kolloid zarrachalarni ajratish uchun koagulyatsiya-sedimentatsiya jarayonidan foydalanish mumkin. Alyuminiy yoki temir asosidagi koagulyantlar qo‘llanganda zarrachalar yirik flokulalarga birlashadi va keyin cho‘ktiriladi.

Sabzi qayta ishlash oqava suvi bo‘yicha laboratoriya tajribasida dastlabki cho‘ktirish hamda alyuminiy koagulyanti bilan koagulyatsiya-sedimentatsiya TSS ni 99% gacha kamaytirgan, ammo organik moddalar konsentratsiyasiga ta’siri cheklangan. Bu natija koagulyatsiyani COD va BOD_5 ni to‘liq yo‘qotuvchi jarayon sifatida emas, balki biologik yoki membranali bosqich oldidan qo‘llaniladigan samarali dastlabki tozalash jarayoni sifatida baholash kerakligini ko‘rsatadi.

2.3. Biologik tozalash

Meva-sabzavot oqava suvlaridagi organik moddalarning katta qismi biologik parchalanishga moyil bo‘lgani uchun aerob yoki anaerob tozalash usullari muhim ahamiyatga ega.

Aeratsiya va faol loy jarayonida mikroorganizmlar organik moddalarni parchalaydi. Tadqiqotlar sabzi korxonasi oqava suvida 8 soatlik aeratsiyadan keyin COD 73% gacha kamayishi mumkinligini ko‘rsatgan. Biroq ushbu natijani barcha korxonalar uchun to‘g‘ridan-to‘g‘ri kafolatlangan qiymat sifatida qabul qilish mumkin emas, chunki samaradorlik biomassa tarkibi, kislorod miqdori, harorat, pH va gidravlik ushlab turish vaqtiga bog‘liq.

2.4. Membranali tozalash

Qayta foydalanish uchun yuqori sifatli suv olishda ultrafiltratsiya (UF), nanofiltratsiya (NF) va teskari osmos (RO) kabi membranali jarayonlar muhim ahamiyatga ega.

Meva-sabzavot korxonalari oqava suvlarini aerob membranali bioreaktor (MBR) yordamida tozalash bo‘yicha tadqiqotda COD 97%, BOD 99% va TSS 99,9% gacha kamaytirilgan. Bundan tashqari, TKN 90% va umumiy fosfor 60% gacha kamaygan. MBR dan keyin faollashtirilgan uglerod rangni kamaytirishda, UV esa mikrobiologik zararsizlantirishda samarali bo‘lgan.

Sabzi qayta ishlash korxonasida membranali texnologiyalarni qo‘llash bo‘yicha boshqa tadqiqotda RO membranalari yordamida suvdagi elektr o‘tkazuvchanlik, COD va shakarlar miqdori 98% dan ortiq darajada ushlab qolinishiga erishilgan. Tadqiqot mualliflari qo‘shimcha zararsizlantirishdan keyin tozalangan suvni texnologik jarayonga qayta berish imkoniyatini ko‘rsatgan.

Adabiyot ma’lumotlariga ko‘ra, meva-sabzavotni qayta ishlash korxonalari oqava suvlarini aerob membranali bioreaktor (MBR) yordamida tozalashda COD bo‘yicha 97% gacha, BOD_5 bo‘yicha 99% gacha va TSS bo‘yicha 99,9% gacha tozalash samaradorligi qayd etilgan. Ushbu natijalar quyidagi jadvalda keltirilgan.

1 jadval - MBR texnologiyasida meva-sabzavot korxonalari oqava suvlarini tozalash samaradorligi

Ko‘rsatkich	Adabiyot manbasi	Texnologiya	Samaradorlik	Izoh
COD	Moore et al., 2016	Aerob MBR + ultrafiltratsiya	97% gacha	Organik ifloslanish sezilarli kamaygan
BOD_5	Moore et al., 2016	Aerob MBR + ultrafiltratsiya	99% gacha	Biologik parchalanuvchi organik moddalar yuqori darajada kamaygan
TSS	Moore et al., 2016	Aerob MBR + ultrafiltratsiya	99,9% gacha	Muallaq moddalarni ajratishda yuqori samaradorlik qayd etilgan

1 jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, MBR texnologiyasi oqava suv tarkibidagi asosiy organik va muallaq ifloslantiruvchi moddalarni yuqori darajada kamaytirish imkonini beradi. COD bo‘yicha 97% gacha va BOD_5 bo‘yicha 99% gacha kamayish organik moddalarning samarali parchalanishini, TSS bo‘yicha 99,9% gacha kamayish esa membranali ajratish jarayonining muallaq zarrachalarni ushlab qolish samaradorligini ko‘rsatadi. Mazkur natijalar adabiyotda keltirilgan eksperimental ma’lumotlar bo‘lib, ishlab chiqilayotgan texnologiyaning yakuniy samaradorligini baholash uchun real korxona oqava suvlari bilan qo‘shimcha laboratoriya va tajriba-sanoat sinovlarini o‘tkazish talab etiladi.

3. Taklif etilayotgan kompleks texnologiya

Meva-sabzavot quritish korxonalari uchun yuqoridagi natijalardan kelib chiqib, quyidagi ko‘p bosqichli tozalash tizimini taklif qilish mumkin:

Oqava suv → Panjara/elak → Tenglashtirish rezervuari → Koagulyatsiya → Flokulyatsiya → Sedimentatsiya → Biologik reaktor → Membranali filtratsiya → Adsorbsiya → UV zararsizlantirish → Toza suv rezervuari → Qayta foydalanish

3.1. Birinchi bosqich — mexanik ajratish

Oqava suv avval panjara yoki barabanli elakdan o‘tkaziladi. Bu yerda yirik organik va mineral zarrachalar ajratiladi.

3.2. Ikkinchi bosqich — tenglashtirish

Tenglashtirish rezervuari oqava suv sarfi va konsentratsiyasidagi o‘zgarishlarni barqarorlashtiradi. Meva-sabzavot korxonalarida ishlab chiqarish rejimi mavsumiy bo‘lgani uchun bu bosqich texnologik tizimning barqaror ishlashida muhim ahamiyatga ega.

3.3. Uchinchi bosqich — koagulyatsiya va flokulyatsiya

Koagulyatsiya orqali kolloid va mayda muallaq zarrachalar yirik flokulalarga aylantiriladi. Koagulyant dozasi laboratoriyadagi jar-test tajribalari orqali tanlanishi lozim.

Bu bosqichda reagentning aniq dozasini oldindan belgilash to‘g‘ri emas, chunki suv tarkibi korxona va xom ashyo turiga qarab o‘zgaradi.

3.4. To‘rtinchi bosqich — biologik tozalash

Koagulyatsiyadan keyin suv aerob biologik reaktorga beriladi. Unda organik moddalar mikroorganizmlar yordamida parchalanadi.

Ushbu bosqichda COD va BOD_5 asosiy nazorat parametrlari sifatida qabul qilinishi kerak.

3.5. Beshinchi bosqich — membranali filtratsiya

Biologik tozalashdan keyin ultrafiltratsiya yoki MBR qo‘llanilishi mumkin. Membrana muallaq moddalar va mikroorganizmlarning katta qismini ajratishga imkon beradi.

Agar korxonada yuqori sifatli texnologik suv talab qilinsa, UF dan keyin NF yoki RO qo‘shilishi mumkin.

3.6. Oltinchi bosqich — adsorbsion tozalash

Tozalangan suvda rang beruvchi organik birikmalar, qoldiq organik moddalar yoki ayrim mikrozararli komponentlar mavjud bo‘lsa, faollashtirilgan uglerodli adsorberdan foydalanish mumkin.

3.7. Yettinchi bosqich — zararsizlantirish

Qayta foydalanishdan oldin UV yoki boshqa muvofiq zararsizlantirish usuli qo‘llaniladi. Ayniqsa suv qishloq xo‘jaligida sug‘orish yoki ishlab chiqarish jarayonining sanitar jihatdan muhim bosqichlarida ishlatilsa, mikrobiologik ko‘rsatkichlar alohida nazorat qilinishi kerak.

4. Texnologiya samaradorligini baholash

Tozalash tizimining samaradorligi har bir bosqich uchun alohida va butun tizim bo‘yicha hisoblanishi mumkin.

Asosiy ko‘rsatkich quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\eta = \frac{C_{kir} - C_{chik}}{C_{kir}} \times 100\%$$

η — tozalash samaradorligi, %;
Ckir — ifloslantiruvchi moddaning dastlabki konsentratsiyasi, mg/l;
Cchiq — tozalashdan keyingi konsentratsiya, mg/l.
Masalan, agar oqava suvda COD 5000 mg/l bo‘lib, tozalashdan keyin 250 mg/l qolsa:

$$\eta_{COD} = \frac{500 - 250}{5000} \times 100 = 95\%$$

Demak, COD bo‘yicha umumiy tozalash samaradorligi 95% ni tashkil qiladi.
Shu bilan birga, ushbu 95% qiymat mazkur misol uchun hisoblangan nazariy natija bo‘lib, muayyan korxonada olingan eksperimental natija sifatida talqin qilinmasligi kerak.

5. Tozalangan suvdan qayta foydalanish

Oqava suvni tozalashning asosiy maqsadi faqat ifloslantiruvchi moddalarni kamaytirish emas, balki suv resursini qayta ishlatishdir.

Tozalangan suvni quyidagi maqsadlarda qayta ishlatish imkoniyati mavjud:
korxona hududini yuvish;
texnik jihozlarning tashqi qismlarini yuvish;
sovitish tizimlarida texnik suv sifatida;
yashil hududlarni sug‘orish;
ayrim texnologik jarayonlarda, tegishli sifat talablariga erishilganda;
qishloq xo‘jaligi ekinlarini sug‘orishda.

Biroq tozalangan oqava suvni avtomatik ravishda ichimlik yoki oziq-ovqat mahsuloti bilan bevosita kontakt qiluvchi jarayonlarda ishlatish mumkin, degan xulosaga kelish noto‘g‘ri. Bunday qo‘llanish uchun suv sifati, mikrobiologik xavf va mahsulot xavfsizligi bo‘yicha alohida talablar bajarilishi kerak.

ISO 16075-1:2020 tozalangan oqava suvdan sug‘orish maqsadida foydalanish loyihalarini ishlab chiqishda suv sifati, iqlim, tuproq, sug‘orish tizimi va ekin xususiyatlarini hisobga olishni nazarda tutadi. ISO 20419:2018 esa tozalangan suvni sug‘orish tizimlarida ishlatishda filtratsiya, nasos stansiyalari, quvurlar va sug‘orish jihozlarining suv sifatiga mosligini hisobga olish bo‘yicha ko‘rsatmalar beradi.

6. Ilmiy va amaliy natijalarni muhokama qilish

Mavjud tadqiqotlarni taqqoslash shuni ko‘rsatadiki, meva-sabzavot korxonalari oqava suvlari uchun yagona universal tozalash sxemasini tanlash qiyin.

Mexanik tozalash yirik zarrachalarni ajratishda samarali, ammo erigan organik moddalarni yetarli darajada kamaytirmaydi. Koagulyatsiya va sedimentatsiya TSS ni sezilarli kamaytirishi mumkin, lekin COD va BOD_5 bo‘yicha samarasi cheklangan. Biologik jarayon organik moddalarni parchalash uchun samarali, ammo yuqori sifatli qayta ishlatiladigan suv olish uchun qo‘shimcha tozalash talab etilishi mumkin. Membranali jarayonlar yuqori sifatli suv olish imkonini beradi, ammo membrananing ifloslanishi va ekspluatatsiya xarajatlari masalasi mavjud.

Shu sababli «mexanik ajratish + fizik-kimyoviy tozalash + biologik tozalash + membranali ajratish + zararsizlantirish» kombinatsiyasi texnologik jihatdan asoslangan yondashuv hisoblanadi.

2023 yilgi ilmiy sharhda meva-sabzavot sanoati oqava suvlari uchun bir nechta texnologiyalarning natijalari keltirilgan. Jumladan, ayrim tadqiqotlarda Fenton jarayonida COD 70,2%, elektrokoagulyatsiyada COD 66% va rang 98%, Fenton/koagulyatsiya kombinatsiyasida COD 80%, loyqalik 99% va TSS 95% gacha kamaygan. Anaerob bosqich va faol loy kombinatsiyasida COD 97,5%, BOD_5 99,2%, TSS 94,5% va yog‘-moylar 98,9% gacha kamaytirilgan holatlar ham qayd etilgan.

Bu natijalar fizik-kimyoviy va biologik jarayonlarni birlashtirish orqali yuqori tozalash samaradorligiga erishish mumkinligini ko‘rsatadi.

7. Taklif etilayotgan texnologiyaning afzalliklari

Taklif qilinayotgan kompleks tizimning asosiy afzalliklari quyidagilardan iborat:

oqava suvdagi yirik va mayda muallaq moddalarni bosqichma-bosqich ajratish;

COD va BOD_5 ni biologik usulda kamaytirish;

membrana yordamida yuqori sifatli suv olish;

rang va qoldiq organik moddalarni adsorbsion usulda kamaytirish;

yakuniy zararsizlantirish orqali mikrobiologik xavfni kamaytirish;

tozalangan suvni korxona ehtiyojlariga qaytarish;

toza suv iste’molini kamaytirish;

oqova suvning tabiiy suv ob’ektlariga salbiy ta’sirini kamaytirish;

ayrim hollarda qimmatli organik komponentlarni resurs sifatida ajratib olish imkoniyati.

Zamonaviy tadqiqotlarda membranali texnologiyalardan nafaqat suvni tozalash, balki oqava suv tarkibidagi qimmatli organik komponentlarni qayta tiklash maqsadida ham foydalanish imkoniyati ko‘rsatilmoqda. Masalan, 2025 yilgi tadqiqotda kartoshka va shirin kartoshka qayta ishlash oqava suvlari uchun membranali tizim COD ni 82,10%, BOD_5 ni 90,96% kamaytirgan; shu bilan birga polisaxaridlarning taxminan 50% va oqsillarning deyarli barchasini ushlab qolish imkoni qayd etilgan.

Xulosa

Olib borilgan adabiyot tahlili va eksperimental tadqiqotlar natijalarini umumlashtirish asosida quyidagi xulosalarga kelish mumkin.

Meva-sabzavot quritish va qayta ishlash korxonalari oqava suvlari organik moddalar va muallaq zarrachalar bilan ifloslangan murakkab tarkibli oqim hisoblanadi. Ularning tarkibi xom ashyo turi va texnologik jarayonga bog‘liq ravishda sezilarli o‘zgaradi.

Ilmiy manbalarda meva-sabzavot oqava suvlari uchun COD 0,8–7,7 g/l va BOD_5 0,5–6,1 g/l diapazonlari keltirilgan, ayrim yuqori konsentratsiyali oqimlarda esa COD 22 300 mg/l va BOD_5 14 300 mg/l gacha bo‘lgan qiymatlar qayd etilgan.

Mexanik filtratsiya oqava suvdan yirik zarrachalarni ajratish uchun zarur, ammo uning o‘zi COD va BOD_5 ni yetarli darajada kamaytirmaydi.

Koagulyatsiya-sedimentatsiya muallaq moddalarni ajratishda samarali. Sabzi qayta ishlash oqava suvi bilan o‘tkazilgan tadqiqotda TSS 99% gacha kamaytirilgan.

Organik ifloslanishni kamaytirishda biologik tozalash muhim o‘rin tutadi. Ayrim tadqiqotlarda MBR texnologiyasi yordamida COD 97%, BOD 99% va TSS 99,9% gacha kamaytirish natijalari olingan.

Yuqori sifatli qayta foydalanish suvini olish uchun biologik tozalashdan keyin membranali filtratsiya va zararsizlantirish bosqichlarini qo‘shish maqsadga muvofiq.

Tozalangan suvni sug‘orish yoki korxonaning texnik ehtiyojlarida qayta ishlatish suv resurslaridan ratsional foydalanish va korxonada suv aylanmasini oshirish imkonini beradi. Bunda suv sifati maqsadli qayta foydalanish turiga mos ravishda baholanishi kerak. ISO 16075-1:2020 va ISO 20419:2018 tozalangan suvdan sug‘orishda suv sifati va sug‘orish tizimi xususiyatlarini hisobga olish bo‘yicha xalqaro ko‘rsatmalarni belgilaydi.

Shu asosda meva-sabzavot quritish korxonalari uchun mexanik ajratish → tenglashtirish → koagulyatsiya-flokulyatsiya → sedimentatsiya → biologik tozalash → membranali filtratsiya → adsorbsiya → UV zararsizlantirish → qayta foydalanish sxemasi ilmiy-texnik jihatdan asoslangan kompleks yondashuv sifatida taklif etiladi.

Eng muhim amaliy xulosa shuki, ushbu texnologiyaning aniq ishlash parametrlari — koagulyant dozasi, gidravlik ushlab turish vaqti, aeratsiya intensivligi, membrana turi va ish bosimi — korxona oqava suvining haqiqiy laboratoriya tahlili asosida tanlanishi lozim. Shuning uchun keyingi tadqiqot bosqichida oqava suvdan namunalar olib, pH, COD, BOD_5, TSS, minerallashuv, umumiy azot, umumiy fosfor, rang, loyqalik va mikrobiologik ko‘rsatkichlar bo‘yicha tahlil o‘tkazish texnologiyani sanoat sharoitiga moslashtirishning asosiy sharti hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Moore A. et al. Potential Water Reuse for High Strength Fruit and Vegetable Processor Wastewater with an MBR. Water Environment Research, 2016. DOI: 10.2175/106143016X14609975747649.
2. Ardley S., Arnold P., Younker J., Rand J. Wastewater characterization and treatment at a blueberry and carrot processing plant. Water Resources and Industry, Vol. 21, 2019, 100107. DOI: 10.1016/j.wri.2019.100107.
3. Integrated Management of Industrial Wastewater in the Food Sector. Sustainability, 2023, 15, 16193.
4. Characteristics of Food Industry Wastewaters and Their Potential Application in Biotechnological Production. Processes, 2025, 13(8), 2401.
5. Feng Y. et al. Resource recovery and safe discharge of food wastewater based on membrane treatment technology: a case of mixed processing wastewater from potato and sweet potato. Journal of Food Engineering, 2025. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2025.112626.
6. ISO 16075-1:2020. Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 1: The basis of a reuse project for irrigation.
7. ISO 20419:2018. Treated wastewater reuse for irrigation — Guidelines for the adaptation of irrigation systems and practices to treated wastewater.
8. Toward the reduction of water consumption in the vegetable-processing industry through membrane technology: case study of a carrot-processing plant. Journal of Membrane Science / related indexed research, 2020.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

Elektrda po‘lat eritish sexi changining kimyoviy tarkibini aniqlash

[2]Xojiyev T.F., [1]Erkayev A.U., [1]Adilova M.Sh.,[1]
Boboqulov A.N., [2]Mavlyanov M.B.[1]Safarboyev J.
Toshkent kimyo-texnologiya instituti
Toshkent kimyo-texnologiya instituti Yangiyer filiali

Annotatsiya *Elektrda po‘lat eritish sexi gaz va changlarni tozalash tizimida hosil bo‘ladigan chang Fe, Zn va boshqa texnologik komponentlarni saqlovchi ikkilamchi metallurgik xomashyo hisoblanadi. Ushbu maqolada taqdim etilgan EDS natijalari, mikroskopik tasvirlar va ishlab chiqarish ma’lumotlari asosida changning kimyoviy tarkibi tahlil qilindi. Yiliga 10–12 ming tonna chang ushlanishi va o‘rtacha 20 % Zn bo‘lishi sharoitida yillik nazariy rux miqdori 2–2,4 ming tonnani tashkil etadi; 60 ming tonnadan ortiq uyumda taxminan 12 ming tonna Zn mavjud. Spectrum 160 da Fe 34,8 %, O 23,3 %, Zn 15,2 %; Spectrum 161 da O 41,7 %, Na 41,3 %, Zn 13,4 % qayd etilgan. Natijalar ZnO bilan birga $ZnFe_2O_4$ kabi temir-ruxli fazalar ehtimolini ko‘rsatadi. Adabiyotlar tahliliga ko‘ra, NaOH bilan selektiv ishqorlash, eritmani tozalash va elektroekstraksiyani birlashtiruvchi gidrometallurgik sxema istiqbolli. Ferritning qiyin eruvchanligi sababli aktivatsiya yoki gidrotermik qaytaruvchi oldindan ishlov keyingi tadqiqotlarning muhim yo‘nalishi sifatida belgilanadi.*

Kalit so‘zlar *EAF changi, rux, Fe–Zn–O, EDS, ZnO, $ZnFe_2O_4$, ishqorlash, NaOH, filtrat, elektroekstraksiya, katod rux.*

1. Kirish

Elektr yoy pechida po‘lat eritish jarayonida shixtadagi uchuvchan komponentlar gaz fazasiga o‘tib, sovish vaqtida mayda dispers chang hosil qiladi. Gaz-tozalash qurilmasida ushlangan material temir va rux bilan birga xlor, ishqoriy va ishqoriy-yer metallari hamda iz miqdordagi toksik elementlarni saqlashi mumkin. Zamonaviy sharhlarda EAF changi xavfli chiqindi bilan birga qimmatli ikkilamchi resurs sifatida baholanadi [1,2].

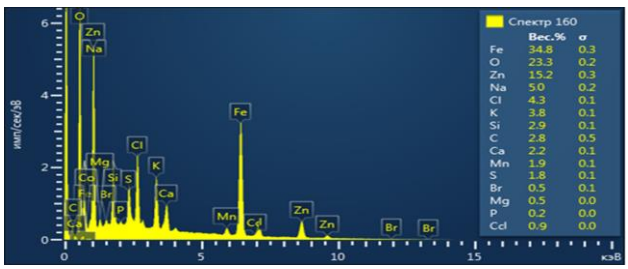
Ishning maqsadi — elektrda po‘lat eritish sexi changining berilgan EDS ma’lumotlari asosida elementar tarkibini aniqlash va sharhlash, mikroskopik ko‘rinishini tavsiflash, ishqorlashdan keyingi O–Na–Zn tizimini izohlash va ruxni ajratib olish uchun zamonaviy gidrometallurgik sxemani asoslashdir.

2. Materiallar va usullar

Tadqiqot obyekti — elektrda po‘lat eritish sexining gaz va changlarni tozalash qurilmalarida ushlanadigan chang. Elementar tahlilda taqdim etilgan EDS Spectrum 160 va Spectrum 161 natijalari, morfologik baholashda berilgan mikroskopik tasvirlar, texnologik xulosalarda esa 2005–2026-yillardagi gidrometallurgik tadqiqotlar asos qilib olindi [1–8].

EDS elementlarni ko‘rsatadi, lekin ularning mineral fazalarini yakka holda aniqlamaydi. Shu sababli ZnO va $ZnFe_2O_4$ haqidagi xulosa EDS, xomashyoning kelib chiqishi va adabiyot ma’lumotlarini birgalikda talqin qilishga asoslanadi. Sanoat loyihasi uchun XRD, SEM–EDS mapping, ICP-OES/AAS va granulometrik tahlil bilan tasdiqlash zarur.

3. Kimyoviy tarkib.



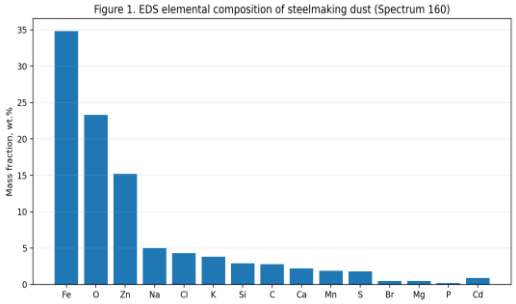
1-rasm. *EDS Spectrum 160.*

Spectrum 160 da Fe 34,8 %, O 23,3 % va Zn 15,2 % asosiy elementlar. Na 5,0 %, Cl 4,3 %, K 3,8 %, Si 2,9 %, C 2,8 %, Ca 2,2 %, Mn 1,9 % va S 1,8 %; Br, Mg, P va Cd kichik miqdorlarda aniqlangan. Bu tarkib Fe–Zn–O asosidagi ko‘p komponentli oksidli tizim mavjudligini ko‘rsatadi.

Element	**wt.%**	**Talqin**
Fe	34,8	Temirli oksid/ferrit matritsasi
O	23,3	Oksidli fazalar
Zn	15,2	Asosiy qayta tiklanadigan metall
Na; Cl	5,0; 4,3	Ishqoriy/xloridli komponentlar
K; Si; C; Ca; Mn; S	1,8–3,8	Ikkilamchi mineral komponentlar

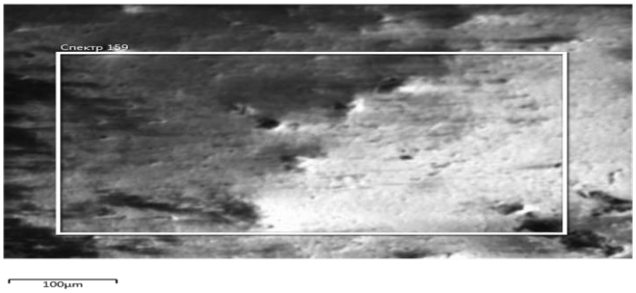
1-jadval. *Spectrum 160 bo‘yicha asosiy elementlar.*

Zn 15,2 % qiymati taqdim etilgan o‘rtacha 20 % ishlab chiqarish ko‘rsatkichidan past bo‘lsa-da, bu turli namuna nuqtalarining heterogenligi bilan izohlanishi mumkin. EAF changlari bo‘yicha adabiyotlarda ZnO va $ZnFe_2O_4$ asosiy ruxli shakllar qatorida qayd etiladi [1,2,7].



2-rasm. *Spectrum 160 elementlarining grafik ifodasi.*

4. Mikroskopik ko‘rinish

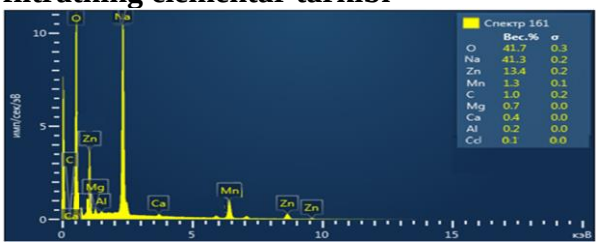


3-rasm. *Chang namunasining mikroskopik tasviri.*

Tasvirlarda notekis, mayda dispers va aglomeratsiyalangan zarrachalar ko‘rinadi. Bu materialning saqlash vaqtida zichlanishi va turli tarkibli zarrachalarning birikishi bilan mos keladi. Bunday morfologiya namlanish va massa almashinuvi tezligiga ta’sir qilishi mumkin; shu sababli ishqorlashdan oldin homogenlashtirish va granulometrik tahlil muhim.

Mikroskopik kontrastning o‘zi mineral fazani aniqlash uchun yetarli emas. SEM–EDS mapping Zn va Fe ning taqsimlanishini, XRD esa ZnO, $ZnFe_2O_4$, Fe_2O_3/Fe_3O_4 kabi fazalarni tasdiqlashi mumkin. $ZnFe_2O_4$ qiyin eruvchanligi ruxni to‘liq ajratishda asosiy cheklovlardan biridir [1,6,7].

5. Ishqorlashdan olingan filtratning elementar tarkibi



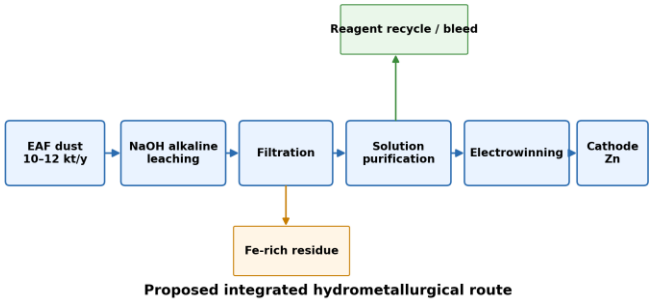
4-rasm. *Spectrum 161: O 41,7 %, Na 41,3 %, Zn 13,4 %.*

Spectrum 161 da O, Na va Zn ustun. Bu ishqoriy muhitda ruxning natriyli sinkat/gidroksokompleks tizimiga o‘tishi bilan mos keladi. Biroq EDS suyuq filtratning bevosita tahlili emas; shu sababli spektrni quritilgan filtrat qoldig‘i yoki filtrat bilan bog‘liq qattiq tahlil nuqtasi sifatida talqin qilish ilmiy jihatdan ehtiyotkorroqdir. Haqiqiy filtrat tarkibi ICP-OES yoki AAS bilan aniqlanishi kerak.

Element	wt.%	Ilmiy talqin
O	41,7	Oksid/gidroksidli fazalar
Na	41,3	NaOH va natriyli rux tizimi
Zn	13,4	Rux saqlovchi ishqoriy tizim
Mn, C, Mg, Ca, Al, Cd	0,1–1,3	Ikkilamchi komponentlar

***2-jadval**. Spectrum 161 bo‘yicha elementlar.*

6. Ruxni ajratib olish texnologiyasi



***5-rasm**. Taklif etilayotgan integrallashgan gidrometallurgik sxema.*

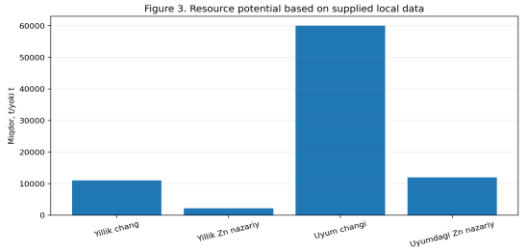
Tavsiya etilayotgan zanjir: changni tayyorlash → NaOH bilan selektiv ishqorlash → filtrlash → eritmani tozalash → elektroekstraksiya → katod rux. Temirga boy qattiq qoldiq alohida oqim sifatida boshqariladi. Ishqorli eritmani qayta aylantirish reagent sarfini kamaytirishi mumkin, biroq Cd, Cl va boshqa yig‘iluvchi komponentlar uchun bleed oqimi zarur bo‘lishi mumkin.

Soddalashtirilgan reaksiyalar: $ZnO + 2NaOH \rightarrow Na_2ZnO_2 + H_2O$; $ZnFe_2O_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2ZnO_2 + Fe_2O_3\downarrow + H_2O$. Adabiyotlarda 6 M NaOH, 80 °C va S/L=40 sharoitida 88 % gacha Zn ajralishi hamda keyingi tozalash-elektrolizdan so‘ng 99,88 % tozalikdagi rux olingani ko‘rsatilgan [7]. Bu natijalar mahalliy chang uchun tayyor norma emas, balki tajriba diapazonini tanlash uchun tayanchdir.

$ZnFe_2O_4$ ni parchalash uchun gidrotermik qaytaruvchi oldindan ishlov istiqbolli. 2019-yildagi tadqiqotda NaOH tizimida bunday usul ferritning parchalanishi va Zn ning selektiv eritilishini yaxshilagan [6].

7. Resurs salohiyati va istiqbol

Yiliga 10–12 ming tonna chang va o‘rtacha 20 % Zn bo‘lganda yillik nazariy rux miqdori 2–2,4 ming tonna. 60 ming tonnadan ortiq uyum uchun taxminan 12 ming tonna Zn mavjudligi ko‘rsatilgan. Bu “nazariy mavjud metall” bo‘lib, real qayta tiklanadigan metall miqdoriga teng emas; unga mineralogiya, kinetika, filtrlash va elektroekstraksiya yo‘qotishlari ta’sir qiladi.



***6-rasm.** Chang va ruxning nazariy resurs salohiyati.*

2026-yilgi sharhlarda EAF changidan Zn olish yo‘llari energiya, uglerod chiqindisi, qaytarish darajasi va texnologik yetuklik bo‘yicha kompleks baholanishi zarurligi qayd etilgan [1]. Gidrometallurgiyaning afzalligi selektivlik va pastroq harorat; kamchiligi esa eritma, qoldiq va reagentlarni boshqarishdir. Shu sababli mahalliy sharoit uchun yakuniy tanlov pilot sinov va hayotiy sikl tahlili asosida amalga oshirilishi kerak.

8. Ekologik-iqtisodiy baholash

Changni qayta ishlash ruxni ikkilamchi aylanishga qaytaradi va uyumlarning ekologik yukini kamaytiradi. Shu bilan birga, gidrometallurgik jarayon suyuq chiqindi oqimlarini hosil qilishi mumkin. NaOH eritmasini qayta aylantirish, Cd/Pb ni nazorat qilish, qoldiqni zararsizlantirish va oqava suvni boshqarish sxemaning majburiy qismlaridir.

Taqdim etilgan dastlabki hisoblarda 1 kg rux uchun NaOH, rux kukuni va elektr energiyasi xarajatlari 44 250 so‘m atrofida; tannarx taxminan 12 AQSh dollari/kg, sotish qiymati esa 25 AQSh dollari/kg deb baholangan. Ushbu raqamlar dastlabki hisob bo‘lib, amaliy loyiha uchun reagent sarfi, energiya, amortizatsiya, mehnat, xavfsizlik, chiqindilarni boshqarish va bozor narxlari asosida qayta hisoblanishi kerak.

9. Ilmiy xulosa

Elektrda po‘lat eritish sexi changi rux va temirga boy ikkilamchi metallurgik xomashyo hisoblanadi. EDS Spectrum 160 da Fe 34,8 %, O 23,3 %, Zn 15,2 %; Spectrum 161 da O 41,7 %, Na 41,3 %, Zn 13,4 % qayd etilishi changning Fe–Zn–O tizimi va ishqoriy ishlovdan keyingi Na–Zn tizimini ko‘rsatadi. Mikroskopik tasvirlar mayda dispers va aglomeratsiyalangan morfologiyani ko‘rsatadi.

Ilmiy jihatdan asoslangan texnologik yo‘nalish — NaOH bilan selektiv ishqorlash, filtrlash, eritmani tozalash va elektroekstraksiyadan iborat integrallashgan sxemadir. $ZnFe_2O_4$ ning qiyin eruvchanligi sababli ferritga boy qoldiqni aktivatsiya qilish, jumladan gidrotermik qaytaruvchi ishlov, muhim istiqbolli yo‘nalishdir. Keyingi bosqichda reprezentativ namuna olish, XRD, SEM–EDS mapping, ICP-OES/AAS, granulometriya va matematik rejalashtirish asosida pilot texnologiya ishlab chiqilishi kerak.

Birinchi bosqichda 60 ming tonnadan ortiq chang uyumining reprezentativ namuna olish xaritasi tuzilishi lozim. Namuna uyumning yuqori, o‘rta va pastki qatlamlaridan hamda turli texnologik davrlarga tegishli qismlaridan olinib, aralashtirilgan kompozit namuna bilan bir qatorda alohida namunalar ham saqlanishi kerak. Bu yondashuv EDS natijalaridagi o‘zgaruvchanlikni aniqlash va o‘rtacha tarkibni ishonchli hisoblash imkonini beradi.

Ikkinchi bosqichda XRD yordamida ZnO, $ZnFe_2O_4$ va temir oksidlarining ulushi aniqlanishi, SEM–EDS mapping orqali Zn va Fe ning mikrosohalardagi taqsimoti o‘rganilishi zarur. Filtrat va qattiq qoldiq uchun ICP-OES yoki AAS asosida Zn, Fe, Pb, Cd, Mn va boshqa nazorat qilinadigan elementlarning massa balansi tuziladi. Shundan keyin NaOH konsentratsiyasi, harorat, vaqt va S/L nisbatining Zn ekstraksiyasiga ta’siri matematik rejalashtirish yordamida optimallashtiriladi.

Uchinchi bosqichda tozalangan eritmadan elektroekstraksiya orqali katod rux olish tajribalari o‘tkazilib, tok samaradorligi, energiya sarfi, katodning kimyoviy tozaligi va morfologiyasi aniqlanadi. Reagentlarning qayta aylanishi va qattiq qoldiqni boshqarish sxemasi pilot qurilma uchun alohida baholanadi. Shu tarzda mahalliy changning haqiqiy texnologik ko‘rsatkichlari aniqlanib, sanoat miqyosidagi texnik-iqtisodiy asos ishlab chiqish uchun zarur ma’lumotlar olinadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Liu Y., Li H., Jin L., Zhou D., Liu S. Towards low-carbon zinc extraction from zinc-containing electric arc furnace dust: A review. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2026, 14(2), 121284. DOI: 10.1016/j.jece.2026.121284.

2. Pereira A.C., Fonseca R.B.C., Santos J.R. Hydrometallurgical strategies for the selective recovery of valuable metals from EAFD: A critical review. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 2026, 104(5), 2225–2241. DOI: 10.1002/cjce.70145.
3. Orhan G. Leaching and cementation of heavy metals from electric arc furnace dust in alkaline medium. Hydrometallurgy, 2005, 78, 236–245. DOI: 10.1016/j.hydromet.2005.03.002.
4. Chairaksa-Fujimoto R., Maruyama K., Miki T., Nagasaka T. Selective alkaline leaching of zinc oxide from EAF dust pre-treated with calcium oxide. Hydrometallurgy, 2016, 159, 120–125. DOI: 10.1016/j.hydromet.2015.11.009.
5. Zhang D., Ling H., Yang T., Liu W., Chen L. Selective leaching of zinc from EAF dust by a hydrothermal reduction method in a sodium hydroxide system. Journal of Cleaner Production, 2019, 224, 536–544. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.149.
6. Zinc Recovery from Steelmaking Dust by Hydrometallurgical Methods. Metals, 2018, 8(7), 547. DOI: 10.3390/met8070547.
7. Hydrometallurgical process for zinc recovery from EAFD: Part I. Journal of Hazardous Materials, 2010, 179, 1–7. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.01.059.
8. Mualliflar taqdim etgan ishlab chiqarish ma’lumotlari va EDS Spectrum 160–161 natijalari.

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF REDUCED FAT CHOCOLATE PASTE USING OLEOGEL

Salijonova Shakhnozakhon Dilmurodovna
Department of Technology of Food and Perfumery-Cosmetic products Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Republic of Uzbekistan
e-mail: shaxnozasalijonova@gmail.com

Abstract: *This study explores the development and characterization of reduced-fat chocolate paste utilizing oleogelation technology. The impact of oleogel concentrations (0% as control, 3%, 5%, and 7%) on fat content, moisture, color, oxidative stability, and sensory properties was systematically evaluated. Results showed that incorporating oleogel maintained desirable sensory attributes while achieving significant reductions in fat content and alterations in oxidative stability. The findings suggest that oleogeled chocolate pastes represent a viable alternative for healthier chocolate products.*

Key words: *oleogel, chocolate paste, fat reduction, oxidative stability, sensory properties.*

OLEOGEL YORDAMIDA KAM YOG'LI SHOKOLAD PASTASINI ISHLAB CHIQISH VA TAVSIFLASH

Annotatsiya *Ushbu tadqiqot oleogelatsiya texnologiyasidan foydalangan holda kam yog'li shokolad pastasini ishlab chiqish va tavsiflashga bag'ishlangan. Oleogel konsentratsiyalarining (nazorat uchun 0%, 3%, 5% va 7%) yog' miqdori, namlik, rang, oksidlanish barqarorligi va sensor xususiyatlariga ta'siri tizimli ravishda baholandi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, oleogelni qo'shish kerakli sensor xususiyatlarini saqlab qolgan holda, yog' miqdorining sezilarli darajada kamayishiga va oksidlanish barqarorligining o'zgarishiga erishgan. Topilmalar shuni ko'rsatadiki, oleogelli shokolad pastalari sog'lomroq shokolad mahsulotlari uchun maqbul muqobildir.*

Kalit so‘zlar: *oleogel, shokolad pastasi, yog'ni kamaytirish, oksidlanish barqarorligi, sensor xususiyatlar.*

РАЗРАБОТКА И ХАРАКТЕРИСТИКА ПАСТЫ ИЗ ПОНИЖЕННО-ЖИРНОГО ШОКОЛАДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЛЕОГЕЛЯ

Аннотация: *Данное исследование посвящено разработке и характеристике пасты из пониженпо-жирного шоколада с использованием технологии олеогелеобразования. Было систематически оценщено влияние концентраций олеогеля (0% в качестве контроля, 3%, 5% и 7%) на содержание жира, влажность, цвет, окислительную стабильность и органолептические свойства. Результаты показали, что включение олеогеля сохраняет желаемые органолептические характеристики при одновременном достижении значительного снижения содержания жира и изменения окислительной стабильности. Полученные данные свидетельствуют о том, что шоколадные пасты на основе олеогеля представляют собой жизнеспособную альтернативу для более здоровых шоколадных продуктов.*

Ключевые слова: *олеогель, шоколадная паста, снижение жирности, окислительная стабильность, сенсорные свойства.*

Introduction

Chocolate products are favored for their rich flavor and texture, which largely derive from fats like cocoa butter. However, increasing health concerns about dietary fat have prompted research into low-fat alternatives. Oleogels, formed by structuring oils through gelling agents, present an innovative method for creating reduced-fat chocolate pastes without sacrificing quality.

This study aims to develop a reduced-fat chocolate paste using various concentrations of oleogel (0%, 3%, 5%, and 7%) and assess their effects on fat content, moisture, color, oxidative stability, and sensory properties.

Material and Methods

1. Oleogel Preparation Oleogels were prepared by incorporating high-oleic sunflower oil with different concentrations of a gelling agent (beeswax or plant-based alternatives):
Concentrations - Control (0%), 3%, 5%, and 7% oleogel (w/v).
Preparation Method - The gelling agent was melted into the oil, mixed, and allowed to cool to form a gel.

Table 1

Summarizes the fat content and moisture levels of the chocolate pastes

№	Formulation	Fat Content (%)	Moisture Content (%)
1	Control (0% Oleogel)	30.0	3.5
2	3% Oleogel	25.0	4.0
3	5% Oleogel	20.0	4.5
4	7% Oleogel	15.0	5.0

2. Development of Reduced-Fat Chocolate Paste
The reduced-fat chocolate pastes were formulated using:
25% cocoa solids, 10% cocoa powder, 20% respective oleogel, sweeteners, and emulsifiers. The ingredients were blended and mixed using a high-speed homogenizer to ensure uniformity.
3. Characterization of Chocolate Paste
3.1. Fat Content and Moisture Analysis
Fat Content - Analyzed using the Soxhlet extraction method. Moisture Content - Measured using the oven-drying method.
3.2. Color Analysis
Color measurements were conducted using a colorimeter to determine the L*, a*, and b* values, which indicate lightness, redness/greenness, and yellowness/blueness, respectively.

Table 2

Presents color measurements for the different formulations

№	Formulation	L* (Lightness)	a* (Redness)
1	Control (0% Oleogel)	30.1	14.5
2	3% Oleogel	32.0	13.5
3	5% Oleogel	34.2	12.3
4	7% Oleogel	36.0	11.0

3.3. Oxidative Stability
Evaluated using the Rancimat method at 100°C to determine the oxidative stability of the chocolate pastes.

Table 3

Presents color measurements for the different formulations

№	Formulation	Oxidative Stability (hours)
1	Control (0% Oleogel)	6
2	3% Oleogel	8
3	5% Oleogel	10
4	7% Oleogel	12

3.4. Sensory Evaluation
Conducted with a trained panel using a 9-point hedonic scale to assess flavor, texture, sweetness, and overall acceptance.

Table 4

Summarizes the sensory evaluation results

№	Sensory Attribute	Control (0% Oleogel)	3% Oleogel	5% Oleogel	7% Oleogel
1	Flavor	8.0	7.8	8.2	8.0
2	Texture	7.9	7.5	8.0	7.7
3	Overall Acceopance	8.2	7.6	8.1	7.8

Discussion

The findings demonstrate that oleogels effectively maintain desired chocolate characteristics while achieving significant fat reductions. The increase in oxidative stability with oleogel incorporation suggests the potential for extended shelf life of the reduced-fat products. Sensory evaluations affirm that chocolate pastes created with oleogel maintain acceptability similar to traditional formulations, indicating the possibility of consumer acceptance of lower-fat alternatives.

Conclusion

The development of reduced-fat chocolate paste using oleogel demonstrates a practical approach to creating healthier chocolate products without compromising sensory quality. Further research could explore the long-term stability and health benefits of these oleogel-based formulations.

REFERENCES

1. Marangoni, A. G., & Terefe, M. (2020). Oleogels: Opportunities and challenges. *Food Research International*, 132, 109096. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.109096.

2. Chauhan, A., & Raghavan, G. S. V. (2017). Development of low-fat chocolate using oleogels: Impact on texture and sensory attributes. *Journal of Food Science*, 82(3), 746-753. DOI: 10.1111/1750-3841.13680.

3. Saxena, S., & Bansal, M. (2021). Bile salts effect on the viability of microencapsulated probiotics. International Dairy Journal, 116, 104893. DOI: 10.1016/j.idairyj.2021.104893.

4. Sharma, S., & Kaur, S. (2021). Evaluation of functional properties of oleogels in food systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(16), 2705-2720. DOI: 10.1080/10408398.2020.1793065.

5. Tosh, S. M., & Yada, S. (2010). Dietary fibers in food and health: Analysis and application. Food Science and Technology International, 16(2), 121–138.

6. Singh, J., et al. (2017). Functional properties and applications of inulin in fat-reduced foods. Trends in Food Science & Technology, 59, 68–80.

7. Slavin, J. L. (2013). Dietary fiber and body weight. Nutrition, 29(4), 395–399.

8. Lingyun W., Jianhua W., Xiaodong Z., Da T., Yalin Y., Chenggang C., Tianhua F., Fan Z. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. Journal of Food engineering, 2007, vol, 79, no. 3, pp. 1087-1093. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.03.028

9. Barta J. Jerusalem artichoke as a multipurpose raw material for food products of high fructose or inulin content. Studies in plant science, 1993, vol. 3, pp. 323-339. doi: 10.1016/B978-0-444-89369-7.50047-6

10. Dzhanikulova U.B., Salomov H.T., Salomov Sh.Sh., Ahmedova Z.R. Biotekhnologicheskij sposob polucheniya fruktozno-glyukoznogo siropa iz klubnej topinambura [Biotechnological method for producing fructose-glucose syrup from Jerusalem artichoke tubers]. Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya, 2006, no. 11.1, pp. 50-52. (In Russ.).

PROBIOTIC SURVIVAL: PROTECTING PROBIOTICS WITHIN AN EMULSION AGAINST PH CHANGES, OXIDATION, AND SHEAR STRESS
(*A Comprehensive Literature Review*)

[1]Ergashova Zilola Avaz kizi, [2]Salijonova Shakhnozakhon Dilmurodovna, Khodjaev Sarvar Fakhreddinovich
[1,2,3]Department of Technology of Food and Perfumery-Cosmetic products Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Republic of Uzbekistan
[1]e-mail: shaxnozasalijonova@gmail.com

Abstract *Probiotics are live microorganisms that confer health benefits when consumed in adequate amounts, yet their viability is severely compromised during food processing, storage, and gastrointestinal transit. Emulsion-based delivery systems have emerged as promising platforms for probiotic protection, offering physical barriers against multiple environmental stressors. This comprehensive review synthesizes current knowledge on protecting probiotics within emulsion systems against three critical stress factors: pH changes, oxidative stress, and shear stress. The review examines diverse emulsion architectures including oil-in-water (O/W), water-in-oil (W/O), water-in-oil-in-water (W/O/W) double emulsions, and Pickering emulsions, alongside encapsulation strategies employing alginate, chitosan, whey protein, pectin, and lipid-based carriers. Evidence demonstrates that multilayer interfacial engineering, pH-buffering mechanisms, antioxidant incorporation, and viscosity modulation synergistically enhance probiotic survival. Assessment methodologies including colony-forming unit enumeration, thiobarbituric acid reactive substances (TBARS), peroxide value, droplet size analysis, zeta potential, and rheological characterization provide quantitative frameworks for evaluating protective efficacy. Practical formulation strategies for probiotic-enriched spreads and functional foods are discussed, emphasizing the integration of protective mechanisms into scalable manufacturing processes. Future directions include the development of intelligent responsive systems, optimization of interfacial layer composition, and exploration of synbiotic co-encapsulation approaches to maximize probiotic functionality in commercial food applications.*

Key words: *probiotics, probiotic survival, emulsion-based spreads, oil-in-water (O/W) emulsion, pH stress, oxidative stress, lipid oxidation, shear stress, microencapsulation / encapsulation, cell viability (CFU), shelf-life.*

ВЫЖИВАЕМОСТЬ ПРОБИОТИКОВ: ЗАЩИТА ПРОБИОТИЧЕСКИХ МИКРООРГАНИЗМОВ В ЭМУЛЬСИИ ОТ ИЗМЕНЕНИЙ PH, ОКИСЛЕНИЯ И СДВИГОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Аннотация *Пробиотики — это живые микроорганизмы, которые при потреблении в достаточных количествах обеспечивают пользу для здоровья, однако их жизнеспособность существенно снижается в процессе пищевой обработки, при хранении и во время прохождения через желудочно-кишечный тракт. Эмульсионные системы доставки пробиотиков стали перспективными платформами для их защиты, поскольку создают физические барьеры от воздействия нескольких факторов окружающей среды. В этом всеобъемлющем обзоре обобщаются современные данные о защите пробиотиков в эмульсионных системах от трех критических факторов стресса: изменений pH, окислительного стресса и сдвигового (shear) стресса. Рассматриваются различные архитектуры эмульсий, включая масло-в-воде (O/W), вода-в-масле (W/O), вода-в-масле-в-воде (W/O/W) двойные эмульсии и эмульсии Пикеринга, а также стратегии инкапсуляции с использованием альгината, хитозана, сывороточного белка, пектина и липидных носителей. Свидетельства показывают, что мультислойная инженерия межфазных границ,*

механизмы буферирования pH, включение антиоксидантов и модификация вязкости совместно повышают выживаемость пробиотиков. Методы оценки, такие как подсчет колониеобразующих единиц (CFU), измерение тиобарбитуровых кислотных реагирующих веществ (TBARS), определение перекисного числа, анализ размера капель, zeta-потенциала и реологическая характеристика, обеспечивают количественные рамки для оценки эффективности защиты. Также обсуждаются практические подходы к формуляции пробиотик-обогащенных спредов и функциональных пищевых продуктов с акцентом на включение защитных механизмов в масштабируемые процессы производства. Перспективные направления включают разработку интеллектуальных (responsive) систем, оптимизацию состава межфазных слоев и исследование синбиотических подходов с совместной инкапсуляцией для максимизации функциональности пробиотиков в коммерческих пищевых применениях.

Ключевые слова: *пробиотики, выживаемость пробиотиков, эмульсионные намазки,, эмульсия масло-в-воде (O/W), pH-стресс, окислительный стресс, окисление липидов, сдвиговый стресс, микроинкапсуляция / инкапсуляция, жизнеспособность клеток (CFU), срок годности.*

PROBIOTIKLARNING YASHOVCHANLIGI: EMULSIYA TARKIBIDA PROBIOTIK MIKROORGANIZMLARNI Ph O‘ZGARISHLARI, OKSIDLANISH VA SILJISH KUCHLANISHLARI TA’SIRIDAN HIMOYA QILISH

Annotatsiya *Probiotiklar — yetarli miqdorda iste’mol qilinganda sog‘liq uchun foyda beradigan tirik mikroorganizmlardir, biroq ularning hayotchanligi oziq-ovqatni qayta ishlash, saqlash va oshqozon-ichak yo‘li orqali o‘tish jarayonida keskin pasayadi. Probiotikni himoya qilish uchun emulsiya asosidagi yetkazib berish tizimlari istiqbolli platformalar sifatida paydo bo‘ldi: ular bir nechta atrof-muhit stress omillariga nisbatan fizik to‘siq vazifasini bajaradi. Ushbu har tomonlama ko‘rib chiqishda emulsiya tizimlarida probiotiklarni uchta muhim stress omildan himoya qilish bo‘yicha hozirgi bilimlar umumlashtiriladi: pH o‘zgarishlari, oksidlovchi stress (oxidative stress) va shear stress. Ko‘rib chiqishda emulsiya arxitekturalarining turli turlari — oil-in-water (O/W), water-in-oil (W/O), water-in-oil-in-water (W/O/W) ikki qavatli emulsiyalar hamda Pickering emulsions; shuningdek alginat, xitosan, zardob oqsili (whey protein), pektin va lipid asosli tashuvchilar yordamida inkapsulyatsiya strategiyalari tahlil qilinadi. Dalillar shuni ko‘rsatadiki, ko‘p qatlamli interfeys (ikki faza chegarasi) muhandisligi, pH ni tamponlash (bufferlash) mexanizmlari, antioksidantlarni kiritish va qovushqoqlikni boshqarish (viscosity modulation) probiotiklarning omon qolishini birgalikda (sinergik tarzda) kuchaytiradi. Baholash usullari — koloniya hosil qiluvchi birliklarni (CFU) sanash, tiobarbiturik kislota reaktiv moddalari (TBARS), peroksid qiymati (peroxide value), tomchi o‘lchami tahlili, zeta potensial va reologik xarakteristika — himoya samaradorligini miqdoriy baholash uchun aniq asos (kvantitativ ramka) beradi. Probiotik bilan boyitilgan spredlar va funksional oziq-ovqatlar uchun amaliy formulatsion strategiyalar muhokama qilinib, himoya mexanizmlarini miqyoslanadigan ishlab chiqarish jarayonlariga integratsiya qilishga urg‘u beriladi. Kelgusidagi yo‘nalishlar: aqlli (responsive) tizimlarni ishlab chiqish, interfeys qatlamlarining tarkibini optimallashtirish va tijorat oziq-ovqat qo‘llanmalarida probiotik funksionalligini maksimal darajada oshirish uchun sinbiotik yondashuvlar (birga inkapsulyatsiya)ni o‘rganishdan iborat.*

Kalit so‘zlar: *probiotiklar, probiotiklarning omon qolishi, emulsiyaga asoslangan spredlar, moy-suv emulsiya (O/W), pH stress, oksidlanish stressi, lipid oksidlanishi, shear stress (qirqilish/siljish stressi), mikroenkapsulyatsiya / inkapsulyatsiya, hujayra hayotchanligi (CFU), yaroqlilik muddati (shelf-life).*

Introduction

1.1 Probiotics in Functional Foods

Probiotics, defined as live microorganisms that confer health benefits to the host when administered in adequate amounts, have gained substantial commercial and scientific interest in functional food development. The global market for probiotic-containing products continues to expand, driven by increasing consumer awareness of gut health, immune modulation, and the broader health benefits associated with beneficial microbiota. Common probiotic strains include species from the genera Lactobacillus, Bifidobacterium, Lactococcus, and Bacillus, which are incorporated into dairy products, beverages, spreads, baked goods, and dietary supplements.

Despite their therapeutic potential, the commercial application of probiotics faces a fundamental challenge: maintaining cell viability throughout the product lifecycle. Probiotic bacteria must survive food processing operations, remain viable during storage, and ultimately reach the intestinal tract in sufficient numbers—typically 10^6 to 10^7 colony-forming units per gram (CFU/g) at the time of consumption—to exert beneficial effects.

1.2 Challenges of Maintaining Viability in Emulsion-Based Systems

Emulsion-based food systems, including spreads, dressings, sauces, and dairy products, represent attractive matrices for probiotic delivery due to their widespread consumption and favorable sensory properties. However, these systems expose probiotics to multiple simultaneous stressors that compromise viability.

Three primary stress factors threaten probiotic survival in emulsion systems:

pH stress arises from acidic food matrices, fermentation byproducts, and the harsh gastric environment (pH 1.5–3.0) encountered during digestion. Low pH disrupts cellular membrane integrity, denatures intracellular proteins, and inhibits metabolic activity, leading to rapid cell death.

Oxidative stress originates from lipid oxidation at the oil–water interface, generating reactive oxygen species (ROS) and lipid peroxidation products such as hydroperoxides, malondialdehyde (MDA), and volatile aldehydes. These oxidative species damage probiotic cell membranes, DNA, and proteins, severely reducing viability during storage [2].

Shear stress occurs during emulsification, homogenization, pumping, and mixing operations, where mechanical forces disrupt cell walls and membranes [6], [9]. High-speed homogenization at 4,000–11,000 rpm generates shear rates that can reduce probiotic counts by several log units [9].

The simultaneous exposure to these stressors in emulsion systems necessitates integrated protective strategies that address multiple mechanisms of cell damage.

1.3 Scope and Objectives

This review provides a comprehensive analysis of strategies to protect probiotics within emulsion-based delivery systems against pH changes, oxidation, and shear stress. The review synthesizes recent advances in emulsion architecture design, encapsulation materials, interfacial engineering, and assessment methodologies. Specific objectives include: (1) characterizing the mechanisms by which pH, oxidative, and shear stresses compromise probiotic viability; (2) evaluating the protective efficacy of different emulsion types and encapsulation strategies; (3) examining the role of emulsifiers and interfacial layers in forming protective barriers; (4) analyzing synergistic effects of combined stressors; (5) reviewing quantitative assessment methods; and (6) identifying practical formulation strategies for commercial probiotic-enriched emulsion-based foods.

Resolution of the President of the Republic of Uzbekistan dated November 10, 2020 (Resolution No. 4887) “On additional measures to ensure a healthy diet of the population” and the implementation of tasks set out in other regulatory legal acts related to this activity, as well as in accordance with the growing population, and in order to fill the role of natural butter, but as a result of the use of fats in margarine that do not meet safety requirements and the consumption of fatty foods in excess of the norm, a number of diseases occur. This entails in-depth research work on the development of a margarine formulation that meets safety requirements, based on improving the technology for producing modified fats for the margarine industry and reducing the caloric content of the finished product through the use of fat mimetics. In developed countries, research is

underway on the use of fat imitators, but in our country, there are not enough results on the use of fat replacers in the margarine formulation.

Background and Theoretical Foundations

2.1 Probiotic Cell Structure and Vulnerability

Probiotic bacteria possess complex cellular architectures that determine their susceptibility to environmental stressors. Gram-positive probiotics such as Lactobacillus and Bifidobacterium species feature thick peptidoglycan cell walls, while Gram-negative strains possess thinner peptidoglycan layers surrounded by outer membranes. The cytoplasmic membrane, composed primarily of phospholipids with embedded proteins, serves as the primary barrier regulating intracellular homeostasis.

Environmental stressors compromise probiotic viability through multiple mechanisms. Low pH protonates membrane phospholipids and disrupts the proton motive force, leading to intracellular acidification and metabolic dysfunction [10]. Oxidative species attack unsaturated fatty acids in membrane lipids, initiating lipid peroxidation cascades that increase membrane permeability and ultimately cause cell lysis. Mechanical shear forces directly rupture cell walls and membranes, causing immediate cell death or sublethal injury that reduces subsequent stress tolerance.

2.2 Emulsion Systems as Protective Matrices

Emulsions are thermodynamically unstable colloidal systems comprising two immiscible liquids, typically oil and water, stabilized by surface-active molecules at the interface. In food applications, emulsions provide unique opportunities for probiotic protection by physically separating cells from hostile environments, controlling mass transfer of prooxidants and acids, and modulating the microenvironment surrounding encapsulated cells.

The protective capacity of emulsion systems depends on several factors: droplet size and size distribution, interfacial composition and thickness, continuous phase viscosity, and the presence of protective additives. Smaller droplets (< 1 μm) increase surface area and may accelerate oxidation, while larger droplets (> 10 μm) can compromise texture [1]. Multilayer interfaces formed by sequential deposition of oppositely charged biopolymers create thicker, less permeable barriers that restrict prooxidant access to encapsulated probiotics [5], [7].

2.3 Theoretical Framework for Stress Protection

Protection of probiotics in emulsion systems operates through four primary mechanisms:

Physical barrier formation isolates probiotics from external stressors by encapsulating cells within oil droplets, hydrogel matrices, or multilayer shells. The barrier restricts diffusion of acids, oxygen, and reactive species while maintaining a favorable microenvironment.

pH buffering employs proteins, phosphates, or alkaline compounds that neutralize protons and maintain near-neutral pH in the immediate vicinity of probiotic cells [4]. Whey protein isolate, sodium caseinate, and magnesium hydroxide nanoparticles have demonstrated effective buffering capacity [4], [5].

Antioxidant incorporation involves adding reducing agents, free radical scavengers, or metal chelators that intercept reactive oxygen species before they damage probiotic cells [2]. Natural antioxidants including tocopherols, polyphenols, and carotenoids can be co-encapsulated with probiotics or incorporated into interfacial layers [2].

Viscosity modulation increases the continuous phase viscosity to reduce shear stress transmission to encapsulated cells and slow diffusion of prooxidants and acids. Polysaccharides such as xanthan gum, pectin, and κ-carrageenan serve dual roles as thickening agents and encapsulation materials [7].

Emulsion-Based Delivery Systems for Probiotics

3.1 Oil-in-Water (O/W) Emulsions

Oil-in-water emulsions, where oil droplets are dispersed in a continuous aqueous phase, represent the most common emulsion architecture in food systems. In O/W emulsions for probiotic

delivery, cells can be dispersed in the aqueous phase or encapsulated within hydrogel particles suspended in the aqueous phase [9].

3.2 Water-in-Oil (W/O) Emulsions

Simple O/W emulsions provide limited direct protection to probiotics in the aqueous phase, as cells remain exposed to pH fluctuations and water-soluble prooxidants. However, when combined with encapsulation strategies, O/W emulsions offer advantages including ease of preparation, compatibility with hydrophilic food matrices, and the ability to incorporate water-soluble bioactive compounds [1], [9].

Recent innovations include emulsion-loaded hydrogel beads, where W/O emulsions are incorporated into polysaccharide gel networks before dispersion in an aqueous phase. Bo et al. demonstrated that shortening-based W/O emulsions incorporated into konjac glucomannan/oat β-glucan/alginate hydrogel beads enhanced the gastrointestinal and thermal tolerance of *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* BL99, with survival rates exceeding 90% after simulated gastric digestion for 360 minutes. The emulsion-loaded structure provided a denser cross-sectional morphology and better stability in simulated intestinal fluid compared to non-emulsion hydrogel beads.

Water-in-oil emulsions, where aqueous droplets containing probiotics are dispersed in a continuous oil phase, offer superior protection against aqueous-phase stressors including low pH, bile salts, and water-soluble oxidants. The hydrophobic continuous phase creates a physical barrier that restricts water and proton diffusion, maintaining a favorable microenvironment within the aqueous droplets.

Zhang et al. developed water-in-oil high internal phase emulsions (HIPEs) using polyglycerol polyricinoleate (PGPR) as the oil-soluble surfactant and beeswax as the oil phase, achieving enhanced probiotic viability under acidic conditions and during in vitro digestion [15]. The HIPE structure, characterized by closely packed aqueous droplets occupying > 74% of the total volume, provided mechanical stability and reduced oxygen permeability.

W/O emulsions prepared with corn starch as a wall material and glyceryl monostearate as an emulsifier demonstrated protective effects against pH stress (pH 2), thermal stress (37–40°C), and shear stress (11,000 rpm homogenization) for *Lactobacillus plantarum* [16]. The gelatinized starch membrane surrounding the aqueous droplets formed a semi-permeable barrier that controlled mass transfer while maintaining cell viability.

Membrane emulsification technology has emerged as a gentle method for producing W/O emulsions with narrow size distributions (18–29 μm) and minimal shear damage [24]. Microcapsules produced via membrane emulsification using sodium alginate combined with whey protein isolate, rice protein, or pea protein exhibited spherical shapes with rough surfaces and demonstrated enhanced survival of *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG during simulated gastrointestinal conditions.

3.3 Water-in-Oil-in-Water (W/O/W) Double Emulsions

Water-in-oil-in-water double emulsions represent the most sophisticated emulsion architecture for probiotic protection, featuring an inner aqueous phase (W_1) containing probiotics, dispersed as droplets in an oil phase (O), which is subsequently emulsified in an outer aqueous phase (W_2) [5], [6], [7]. This hierarchical structure provides multiple protective barriers and enables controlled release of encapsulated cells [5].

The inner aqueous droplets (W_1) typically measure 1–5 μm, while the outer oil droplets range from 10 to 50 μm [6]. The oil phase acts as a hydrophobic barrier preventing direct contact between the inner aqueous phase and the external environment, while the outer aqueous phase ensures compatibility with food matrices.

Nieves-Rodríguez et al. developed multilayer $W_1/O/W_2$ double emulsions stabilized with pectin-protein complexes, achieving encapsulation efficiencies exceeding 92% and initial viable counts of 9 log CFU/mL for *Limosilactobacillus reuteri* [5]. The system employed whey protein isolate or sodium caseinate as outer phase emulsifiers, followed by pectin coating and ionic gelation

with calcium, forming denser layers with lower permeability [5]. After thermal treatment at 95°C for 30 minutes, the multilayer double emulsions maintained significantly higher probiotic viability compared to unencapsulated controls [5].

pH-sensitive W/O/W emulsion-bound hydrogel bead systems have been developed for intestine-targeted delivery. Li et al. prepared a system using sodium caseinate-κ-carrageenan conjugates formed via the Maillard reaction as external emulsifiers, combined with sodium alginate-carboxymethyl chitosan hydrogel shells [7]. The gel shell assembled through hydrogen bonding and electrostatic interactions exhibited pH-responsive swelling behavior, achieving a probiotic survival rate of 90.69 ± 0.04% during in vitro gastrointestinal simulation [7].

Internal gelation strategies enhance W/O/W emulsion stability and probiotic protection. Si et al. employed sodium alginate internal gelation within the inner aqueous phase, creating a hierarchical structure that improved both emulsion stability and probiotic viability under pH and shear stress conditions. The gelled inner droplets resisted coalescence and provided additional mechanical protection during processing.

3.4 Pickering Emulsions

Pickering emulsions, stabilized by solid particles adsorbed at the oil–water interface rather than conventional molecular surfactants, offer unique advantages for probiotic delivery including enhanced interfacial stability, reduced surfactant-related toxicity, and the ability to incorporate functional particles [3].

Wang et al. developed Pickering emulsion gels stabilized by soluble complexes of salmon by-product protein and sodium alginate at neutral pH, encapsulating *Lactobacillus plantarum* Lp90 into oil droplets [3]. Increased alginate concentration decreased emulsion droplet size and free water content while improving stability against thermal stress, low pH gastric acid, high bile salt concentrations, and high ionic strength conditions [3]. The aqueous phase was subsequently solidified by calcium addition to form a calcium alginate gel network, providing dual protection from both the Pickering interface and the gel matrix [3].

Pickering double emulsions ($W_1/O/W_2$) combine the advantages of particle-stabilized interfaces with the hierarchical structure of double emulsions. Wang et al. designed a Pickering double emulsion featuring a "bubble in bubble" structure for colon-targeted delivery of *Lactobacillus acidophilus*, demonstrating enhanced viability under acidic conditions, basic environments, and during sequential gastric and intestinal digestion over 14 days of storage.

High internal phase Pickering emulsions (Pickering HIPEs) represent an emerging platform for probiotic encapsulation, offering high loading capacity and mechanical stability. Wang et al. demonstrated that Polygonatum cyrtonema polysaccharide-stabilized HIPEs enhanced the gastrointestinal survival and thermal stability of *Lactobacillus acidophilus*.

3.5 Nanoemulsions

Nanoemulsions, characterized by droplet sizes below 200 nm, provide increased surface area, enhanced optical clarity, and improved kinetic stability compared to conventional emulsions. However, the large interfacial area can accelerate lipid oxidation, necessitating careful interfacial design and antioxidant incorporation.

Yakoubi et al. developed a nanoemulsion-based tocopherol delivery system using a binary emulsifier system of Tween 80 and Gum Arabic (0.75:0.25 v/v) for enhancing *Bacillus subtilis* probiotic viability. The Gum Arabic component acted as both an emulsifier and a prebiotic, supporting probiotic survival under stomach acid, various pH levels, and storage conditions up to 80 days.

Nanoemulsions incorporating antioxidants can simultaneously protect probiotics from oxidative stress and deliver bioactive compounds. The co-encapsulation of probiotics with lipophilic antioxidants such as tocopherols, carotenoids, or polyphenols within nanoemulsion droplets provides synergistic protection.

The selection of emulsion architecture depends on the specific application, processing conditions, and target stress factors. W/O emulsions and W/O/W double emulsions provide superior

protection against pH stress and bile salts due to the hydrophobic oil barrier, but may compromise sensory properties and limit compatibility with aqueous food matrices. O/W emulsions offer better sensory acceptance and ease of incorporation into beverages and dairy products, but require robust encapsulation strategies to protect probiotics in the aqueous phase [9].

Pickering emulsions demonstrate exceptional interfacial stability and resistance to coalescence, making them suitable for products requiring extended shelf life and exposure to environmental stresses [3]. Nanoemulsions provide optical clarity and enhanced bioavailability but require careful oxidation control.

Multi-component and hierarchically structured carriers consistently outperform single-material systems during processing, storage, and digestion. The integration of multiple protective mechanisms—physical barriers, pH buffering, antioxidant activity, and viscosity modulation—within a single emulsion system represents the most effective approach for maximizing probiotic survival.

4. pH Stress and Protective Strategies

4.1 Sources of pH Fluctuation in Emulsion Systems

pH stress in emulsion-based probiotic delivery systems originates from multiple sources throughout the product lifecycle. During food processing and storage, pH fluctuations arise from fermentation byproducts, acidic ingredients (fruit juices, vinegar, citric acid), and microbial metabolic activity [9]. Many functional foods including yogurt (pH 3.5–4.5), fruit juices (pH 2.5–4.0), and fermented beverages (pH 3.0–4.5) maintain acidic pH levels that challenge probiotic viability [9].

The most severe pH stress occurs during gastrointestinal transit, where probiotics encounter gastric fluid at pH 1.5–3.0 containing pepsin and hydrochloric acid [1], [6]. Simulated gastric fluid (SGF) studies typically employ pH 2.0–3.0 with pepsin concentrations of 3–10 mg/mL for 1–3 hours to model stomach conditions [9], [10]. Following gastric transit, probiotics face intestinal fluid at pH 6.5–7.5 containing bile salts (0.3–1.0%) and pancreatic enzymes [9].

4.2 Effect of pH on Probiotic Cell Membranes and Metabolic Activity

Low pH exerts multiple deleterious effects on probiotic cells. Proton influx across the cytoplasmic membrane disrupts the proton motive force, reducing ATP synthesis and compromising energy-dependent cellular processes [10]. Intracellular acidification denatures proteins, inhibits enzymatic activity, and damages nucleic acids.

The cytoplasmic membrane, composed of phospholipid bilayers, becomes destabilized at low pH as protonation of phosphate head groups alters membrane fluidity and permeability. This increased permeability allows further proton influx, creating a positive feedback loop that accelerates cell death [10].

Qi et al. demonstrated that unencapsulated Saccharomyces boulardii and Enterococcus faecium exposed to simulated gastric juice at pH 3.0 with pepsin exhibited survival rate reductions of 60% and 25%, respectively, compared to encapsulated cells. The rapid decline in viability within the first 60 minutes of exposure indicates that membrane damage occurs quickly under acidic conditions.

4.3 Encapsulation-Based pH Protection

Encapsulation within emulsion systems provides pH protection through multiple mechanisms. The physical barrier formed by the oil phase in W/O and W/O/W emulsions restricts proton diffusion, maintaining a higher pH microenvironment around encapsulated cells [6]. Van der Ark demonstrated that Akkermansia muciniphila encapsulated in W/O/W double emulsions using PGPR in sunflower oil and sodium caseinate as stabilizers maintained significantly higher viability during simulated gastric digestion at pH 3.0 with pepsin for two hours compared to unencapsulated cells [6].

Hydrogel encapsulation within emulsion systems creates a gel matrix that physically restricts acid penetration. Romero-Chapol et al. incorporated oil directly inside alginate capsules using an O/W emulsion pretreatment, achieving enhanced survival of Lacticaseibacillus rhamnosus GG

during simulated gastric conditions at pH 3.0 and in acidic food matrices including apple juice (pH 2.97) and yogurt (pH 3.99) [9].

Multilayer coating strategies provide additional pH protection by creating multiple diffusion barriers. Ali et al. demonstrated that alginate microbeads coated with xanthan gum (0.5% w/v) achieved 95.2% encapsulation efficiency and enhanced resistance against simulated gastric juice compared to uncoated alginate beads (86.85% efficiency). The gum coating reduced pore size and limited gastric juice diffusion into the beads.

4.4 pH Buffering Strategies

pH buffering represents a critical protective mechanism that neutralizes protons in the immediate vicinity of probiotic cells. Protein-based encapsulation materials including whey protein isolate, sodium caseinate, and gelatin possess inherent buffering capacity due to their amphoteric nature [5].

Oberoi et al. investigated alginate microcapsules combined with various coating materials including xanthan gum, gum acacia, sodium caseinate, chitosan, starch, and carrageenan for protecting *Lactobacillus rhamnosus* under simulated gastrointestinal conditions. Protein coatings (sodium caseinate) provided superior buffering capacity, creating a higher local pH value within the capsule matrix that protected cells during exposure to simulated gastric juice at pH 3 for up to 3 hours.

Inorganic buffering agents offer enhanced pH protection. Farooq et al. developed sodium alginate microgels doped with magnesium oxide (MgO) or magnesium hydroxide [$Mg(OH)_2$] nanoparticles at concentrations of 0.5–2% (w/v) for encapsulating *Lactobacillus rhamnosus* [4]. The $Mg(OH)_2$ nanoparticles provided superior buffering capacity, neutralizing gastric acid and maintaining near-neutral pH within the microgel matrix during simulated gastrointestinal digestion over 120 minutes [4]. The buffering mechanism involves the reaction: $Mg(OH)_2 + 2H^+ \rightarrow Mg^{2+} + 2H_2O$, which consumes protons and prevents intracellular acidification [76].

Resistant starch and prebiotics incorporated into encapsulation matrices can provide additional pH buffering and support probiotic metabolism. Seyedain-Ardabili et al. employed Hi-maize resistant starch as a gelling synergist and filling material in calcium alginate-chitosan microcapsules, improving thermal resistance and viability during baking and storage.

4.5 pH-Responsive Release Systems

pH-responsive encapsulation systems are designed to remain stable under acidic gastric conditions but release probiotics in the neutral-to-alkaline intestinal environment. These systems exploit pH-dependent swelling, dissolution, or degradation of encapsulation materials [7].

Li et al. developed a pH-sensitive W/O/W emulsion-bound carboxymethyl chitosan-alginate hydrogel bead system that exhibited minimal swelling at gastric pH but expanded significantly at intestinal pH, achieving controlled release of L. rhamnosus 76 with a survival rate of 90.69% [7]. The pH-responsive behavior resulted from protonation/deprotonation of carboxyl groups in carboxymethyl chitosan and alginate, which altered electrostatic interactions and gel network structure [7].

Chitosan-based coatings demonstrate pH-responsive properties due to the pKa of chitosan (approximately 6.5). At gastric pH, chitosan remains protonated and positively charged, forming a tight, protective barrier. At intestinal pH, deprotonation reduces electrostatic repulsion, allowing gel swelling and probiotic release [10].

Oxidative Stress in Emulsion Systems

5.1 Lipid Oxidation Mechanisms in Emulsions

Lipid oxidation in emulsion systems proceeds through complex mechanisms involving initiation, propagation, and termination phases. The process is particularly problematic in emulsions due to the large oil–water interfacial area, which concentrates prooxidants and accelerates oxidation rates [10].

Initiation involves the abstraction of hydrogen atoms from unsaturated fatty acids by free radicals, reactive oxygen species, or transition metals, forming lipid radicals (L•). Transition metals,

particularly iron and copper, catalyze oxidation through Fenton and Haber-Weiss reactions, generating hydroxyl radicals (•OH) from hydrogen peroxide.

Propagation occurs when lipid radicals react with molecular oxygen to form lipid peroxyl radicals (LOO•), which subsequently abstract hydrogen from adjacent fatty acids, generating lipid hydroperoxides (LOOH) and propagating the radical chain reaction. This autocatalytic process rapidly amplifies oxidative damage.

Termination involves the combination of two radicals to form non-radical products, though this phase is often insufficient to prevent extensive oxidation in the absence of antioxidants.

In emulsion systems, oxidation is predominantly initiated at the oil–water interface, where prooxidants (transition metals, reactive oxygen species) in the aqueous phase interact with lipids at droplet surfaces [10]. The interfacial region exhibits higher oxidation rates than the bulk oil phase due to the concentration of surface-active prooxidants and the increased accessibility of oxygen [10].

5.2 Reactive Oxygen Species at the Oil–Water Interface

The oil–water interface serves as a critical site for reactive oxygen species (ROS) generation and lipid oxidation [2], [8], [10]. Transition metals including iron (Fe^{2+}/Fe^{3+}) and copper (Cu^{+}/Cu^{2+}) accumulate at the interface due to electrostatic interactions with charged emulsifiers and phospholipids.

Metal-catalyzed decomposition of lipid hydroperoxides generates alkoxyl radicals (LO•) and peroxyl radicals (LOO•), which initiate secondary oxidation cascades. The Fenton reaction ($Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + \bullet OH + OH^-$) produces highly reactive hydroxyl radicals that attack both lipids and proteins at the interface.

Guzun-Cojocaru et al. investigated the transfer of iron from chelates (Fe-bisglycinate, NaFe-EDTA, $FeSO_4$) to milk proteins (β-lactoglobulin, sodium caseinate) at the oil–water interface in emulsions. The study demonstrated that iron transfer to interfacial proteins accelerated lipid oxidation, with the extent of oxidation depending on the stability of the iron chelate and the iron-binding capacity of the protein.

Oxygen availability at the interface influences oxidation kinetics. Cengiz et al. demonstrated that agitation conditions and headspace-to-emulsion ratio significantly affect lipid oxidation rates in O/W emulsions by modulating oxygen transfer to the interface. Increased agitation enhanced oxygen dissolution and interfacial contact, accelerating both primary and secondary oxidation.

5.3 Assessment of Lipid Oxidation: TBARS, Peroxide Value, and MDA

Quantitative assessment of lipid oxidation employs multiple complementary methods targeting primary and secondary oxidation products.

Peroxide value (PV) measures primary oxidation products (lipid hydroperoxides) using spectrophotometric or titrimetric methods [10]. The ferric thiocyanate method involves the reduction of Fe^{3+} to Fe^{2+} by hydroperoxides, followed by complexation with thiocyanate to form a colored complex measured at 500–510 nm [10]. PV typically increases during early storage, reaching a maximum before declining as hydroperoxides decompose into secondary products.

Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) assay quantifies secondary oxidation products, primarily malondialdehyde (MDA), which reacts with thiobarbituric acid to form a pink chromophore measured at 532 nm [1], [2], [10]. TBARS values are expressed as mg MDA equivalents per kg sample, using 1,1,3,3-tetraethoxypropane as a standard [10]. TBARS increases progressively during storage as hydroperoxides decompose, providing a sensitive indicator of advanced oxidation [2].

Conjugated dienes measurement detects the shift in double bond position during hydroperoxide formation, monitored by UV absorbance at 234 nm. This method provides early detection of oxidation before significant secondary product accumulation.

Volatile compound analysis using solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry (SPME GC-MS) identifies specific oxidation products including hexanal, pentanal, and other aldehydes that contribute to rancid off-flavors. Hexanal, derived from linoleic acid

oxidation, serves as a sensitive marker of lipid oxidation in polyunsaturated fatty acid-rich emulsions.

Zhang et al. employed both peroxide value and TBARS to monitor oxidation in soy protein isolate-stabilized rice bran oil emulsions, demonstrating that carboxymethyl cellulose addition reduced both primary and secondary oxidation products by forming a protective interfacial membrane [10].

5.4 Impact of Oxidation on Probiotic Viability

Lipid oxidation products exert multiple toxic effects on probiotic cells. Reactive oxygen species including superoxide anion ($O_2^{\bullet -}$), hydrogen peroxide (H_2O_2), and hydroxyl radicals ($^{\bullet}OH$) directly damage cellular components [2], [6], [85]. Membrane lipid peroxidation increases membrane permeability, disrupts membrane-bound enzyme function, and ultimately causes cell lysis [2].

Malondialdehyde and other aldehydic oxidation products react with amino groups in proteins and nucleic acids, forming Schiff bases and cross-links that impair cellular function [2]. These reactive aldehydes also deplete cellular antioxidant defenses including glutathione and antioxidant enzymes [2].

Zhuang et al. demonstrated a direct correlation between lipid oxidation and probiotic survival in lecithin-based oleogel emulsions [2]. Samples stored aerobically at 4°C for six weeks exhibited progressive increases in TBARS values concurrent with declining probiotic counts [2]. The oleogel structure, prepared with 20 wt% oleogelators (5:5 soy lecithin:stearic acid) and 10 wt% water, delayed oxidative reactions and extended probiotic survival compared to conventional emulsions [2].

Van der Ark investigated oxidative stress effects on Akkermansia muciniphila by exposing cultures to ambient air and testing growth under aerated fermentor conditions [6]. The obligate anaerobe exhibited severe viability loss under aerobic conditions, demonstrating the critical importance of oxygen exclusion for oxygen-sensitive probiotic strains [6].

5.5 Antioxidant Strategies

Antioxidant incorporation represents a primary strategy for controlling oxidative stress in probiotic emulsions. Antioxidants function through multiple mechanisms including free radical scavenging, metal chelation, and singlet oxygen quenching [2].

Natural antioxidants including tocopherols, carotenoids, polyphenols, and ascorbic acid are preferred in food applications due to consumer demand for clean labels [2]. Takeungwongtrakul et al. evaluated α-tocopherol, lecithin, tannic acid, and EDTA combinations in shrimp oil-in-water emulsions, demonstrating that synergistic antioxidant mixtures retarded lipid oxidation and rancidity more effectively than individual compounds.

Interfacial antioxidants that concentrate at the oil–water interface provide superior protection compared to bulk-phase antioxidants. Anankanbil et al. developed synthetic phenolic-containing amphiphilic molecules (C12a, C14a, C16a) that concentrated at the interface, forming an effective barrier against preformed free radicals and reducing TBARS formation.

Metal chelators including EDTA, citric acid, and phosphates sequester transition metals, preventing metal-catalyzed oxidation. Chelation is particularly effective when combined with free radical scavengers, providing complementary protection.

Protein-based antioxidants exploit the inherent antioxidant activity of certain amino acids (cysteine, methionine, tyrosine, tryptophan) and the metal-binding capacity of proteins [10]. Whey protein isolate and sodium caseinate at the interface can chelate metals and donate hydrogen atoms to neutralize free radicals [10].

5.6 Interfacial Engineering for Oxidation Control

Interfacial layer design critically influences oxidation rates in emulsion systems. Thick, densely packed interfacial layers restrict oxygen diffusion, prevent metal contact with lipids, and provide physical separation between prooxidants and oxidizable substrates [5], [10].

Multilayer emulsions formed by sequential electrostatic deposition of oppositely charged biopolymers create thick interfacial barriers with reduced permeability [1], [5]. Zhang developed solid/oil/water emulsions with double-layered interfaces formed by electrostatically depositing pectin onto protein-coated droplets at pH 3.0, achieving enhanced oxidative stability during storage [1].

Polysaccharide-protein complexes at the interface provide synergistic protection. Sivapratha et al. produced flaxseed oil-in-water emulsions with sodium caseinate–sodium alginate–chitosan interfacial membranes, demonstrating that secondary emulsions (sodium caseinate–sodium alginate) protected the oil phase from decomposition better than primary or tertiary emulsions under thermal treatment and salt addition.

Pickering particles form rigid interfacial layers that resist deformation and provide exceptional oxidative stability [3]. Hu et al. developed oppositely charged Pickering emulsions co-stabilized by chitin nanoparticles and fucoidan, demonstrating that the ChN-Fuc complex particles inhibited lipid oxidation through free radical scavenging, metal ion chelation, and formation of thick interfaces.

Viscosity enhancement of the continuous phase reduces oxygen diffusion and slows oxidation kinetics. Kampa et al. demonstrated that hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) concentration improved lipid oxidative stability in lecithin-stabilized emulsions by forming a protective interfacial layer and thickening the continuous phase to limit prooxidant diffusion.

6. Shear Stress During Processing

6.1 Sources of Mechanical Forces in Emulsification and Homogenization

Shear stress represents a critical challenge during probiotic emulsion production, arising from multiple unit operations including mixing, homogenization, pumping, and filling [6], [9], [16]. These mechanical forces are necessary to create and stabilize emulsions but simultaneously threaten probiotic viability.

High-speed homogenization generates the most severe shear stress, with rotor-stator homogenizers (Ultraturrax, Polytron) operating at 4,000–24,000 rpm producing shear rates exceeding 10^4 s^{-1} [9]. Romero-Chapol et al. compared magnetic stirring (1,150 rpm for 10 minutes) with Ultraturrax homogenization (4,000 rpm for 7.5 minutes) for preparing alginate-encapsulated *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG, demonstrating that higher shear rates reduced probiotic viability despite producing smaller, more uniform capsules [9].

High-pressure homogenization subjects emulsions to pressures of 50–300 MPa, forcing the mixture through narrow gaps or valves where intense shear, turbulence, and cavitation occur. While effective for producing nanoemulsions and reducing droplet size, high-pressure homogenization can cause substantial probiotic damage.

Membrane emulsification offers a gentler alternative, forcing the dispersed phase through a microporous membrane into the continuous phase under low pressure (0.1–1.0 bar). Camelo-Silva et al. demonstrated that membrane emulsification produced W/O microcapsules with diameters of 18–29 μm while minimizing shear damage to *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG.

3D printing and extrusion processes expose probiotics to shear stress during material deposition. Qi et al. developed $W_1/O/W_2$ emulsion encapsulation specifically to protect probiotics against severe shear stress during coaxial 3D printing of probiotic-enriched cheese products.

6.2 Effect of Shear on Cell Integrity

Mechanical shear forces compromise probiotic viability through multiple mechanisms. Direct mechanical rupture of cell walls and membranes occurs when shear stress exceeds the structural strength of the cell envelope. Gram-positive bacteria with thick peptidoglycan layers exhibit greater shear resistance than Gram-negative bacteria, though both are susceptible to high shear rates.

Sublethal shear injury damages cellular structures without immediate cell death, reducing subsequent stress tolerance and metabolic activity [9]. Injured cells exhibit increased membrane permeability, reduced ATP synthesis, and impaired ability to withstand additional stressors including pH stress and oxidative stress.

Lee et al. investigated shear stress effects on *L. plantarum* encapsulated in W/O emulsions using corn starch and glyceryl monostearate. High-speed homogenization at 11,000 rpm for 5 minutes reduced viability, though encapsulated cells demonstrated better survival than free cells under identical shear conditions. The starch hydrogel matrix surrounding the cells provided mechanical cushioning that absorbed and dissipated shear forces.

Cavitation during high-pressure homogenization generates localized regions of extreme pressure and temperature that can damage probiotics. The rapid collapse of vapor bubbles produces shock waves and microjets that mechanically disrupt cells.

6.3 Encapsulation Morphology and Shear Protection

Encapsulation morphology critically influences shear protection. Spherical capsules with smooth surfaces distribute stress more uniformly than irregular shapes, reducing stress concentration points. Capsule size affects shear sensitivity, with larger capsules (> 500 μm) more susceptible to mechanical disruption than smaller capsules (< 100 μm).

Qi et al. produced alginate microcapsules via emulsification and internal gelation, achieving spherical, smooth micro-beads with sizes between 300 and 500 μm. The encapsulated *S. boulardii* and *E. faecium* exhibited survival rate increases of 25% and 40%, respectively, under high temperature and high humidity compared to non-encapsulated controls.

Core-shell structures provide superior shear protection by creating a rigid outer shell that shields the probiotic-containing core. Chitosan coating over alginate cores forms a smooth, semipermeable membrane that enhances mechanical strength. Seyedain-Ardabili et al. demonstrated that calcium alginate microcapsules with chitosan coating and resistant starch filling exhibited improved thermal resistance and viability during baking.

Multilayer architectures distribute shear forces across multiple interfaces, reducing stress transmission to encapsulated cells. Oberoi et al. investigated alginate microcapsules coated with xanthan gum, gum acacia, sodium caseinate, chitosan, starch, and carrageenan, demonstrating that multilayer coatings enhanced survival under simulated gastrointestinal conditions.

Gel network encapsulation embeds probiotics within a three-dimensional polymer network that provides mechanical support and stress dissipation [3]. Pickering emulsion gels stabilized by salmon by-product protein/sodium alginate complexes with calcium-induced gelation demonstrated enhanced resistance to processing stresses [3].

6.4 Viscosity Modulation to Reduce Shear Damage

Increasing the viscosity of the continuous phase reduces shear stress transmission to encapsulated probiotics by dampening velocity gradients and dissipating mechanical energy. Polysaccharide thickeners including xanthan gum, pectin, guar gum, and κ-carrageenan serve dual roles as encapsulation materials and viscosity modifiers [7].

Si et al. investigated $W_1/O/W_2$ double emulsions based on sodium alginate internal gelation, demonstrating that increased viscosity enhanced emulsion stability and probiotic viability under shear stress conditions. The hierarchical structure combined with elevated viscosity reduced droplet deformation and coalescence during processing.

Shen et al. developed double-network emulsion gels using whey protein concentrate-xanthan gum complex and κ-carrageenan, achieving enhanced probiotic viability through synergistic effects of gel network formation and viscosity modulation. The double-network structure provided mechanical resilience and reduced shear stress transmission.

Rheological properties including storage modulus (G′), loss modulus (G″), and apparent viscosity directly correlate with shear protection. Higher G′ values indicate stronger gel networks that better resist deformation, while elevated apparent viscosity reduces shear rate at a given applied stress.

6.5 Emulsifier Selection for Shear Stability

Emulsifier selection influences both emulsion stability and shear protection. Small-molecule surfactants including Tween 80, Span 80, and polyglycerol polyricinoleate (PGPR) rapidly adsorb

to interfaces and reduce interfacial tension, facilitating emulsion formation [6]. However, these surfactants form relatively thin interfacial layers with limited mechanical strength.

Protein emulsifiers including whey protein isolate, sodium caseinate, and soy protein isolate form thicker, more viscoelastic interfacial layers that provide superior mechanical protection [5], [10]. The protein film at the interface resists deformation and rupture under shear stress [10].

Polysaccharide-protein complexes combine the emulsifying properties of proteins with the thickening and stabilizing effects of polysaccharides [3], [5]. Xin et al. demonstrated that electrostatic modulation of polysaccharide-whey protein isolate interactions enhanced composite emulsion stability for probiotic encapsulation [86]. Neutral (konjac glucomannan, guar gum), anionic (pectin, sodium alginate), and cationic (chitosan) polysaccharides interacted with whey protein isolate to form robust interfacial layers.

Pickering particles provide exceptional shear stability due to their irreversible adsorption at the interface and the high energy required for particle detachment [3]. The rigid particle layer resists deformation and prevents droplet coalescence under shear.

7. Encapsulation and Carrier Strategies

7.1 Alginate-Based Encapsulation

Sodium alginate, a linear polysaccharide extracted from brown seaweed, represents the most widely used material for probiotic encapsulation due to its biocompatibility, mild gelation conditions, and low cost. Alginate forms hydrogels through ionic cross-linking with divalent cations, primarily calcium (Ca^{2+}), creating a three-dimensional network that entraps probiotic cells.

The “egg-box” model describes alginate gelation, where calcium ions coordinate with guluronic acid residues in adjacent alginate chains, forming junction zones that stabilize the gel network. Gel strength and porosity depend on alginate concentration, molecular weight, guluronic-to-mannuronic acid ratio, and calcium concentration.

Qi et al. prepared alginate microcapsules via emulsification and internal gelation using a paraffin oil phase containing 0.2% (w/v) Span80 to disperse an aqueous mixture of sodium alginate, probiotics, and calcium carbonate. The resulting spherical, smooth micro-beads exhibited sizes between 300 and 500 μm and demonstrated survival rate increases of 60% for *S. boulardii* and 25% for *E. faecium* in simulated gastric juice compared to non-encapsulated controls.

Optimization of alginate-based formulations enhances protective efficacy. Dehkordi et al. optimized alginate-whey protein isolate microcapsules using response surface methodology, identifying optimal compositions of 4.54% (w/v) alginate, 10% (w/v) whey protein isolate, and 10% (v/v) alginate-whey protein isolate gum. The optimized formulation improved *L. acidophilus* survivability under simulated gastric juice and controlled release under simulated intestinal juice.

Alginate's anionic nature enables electrostatic interactions with cationic polymers, facilitating multilayer coating strategies. However, alginate gels exhibit pH-dependent stability, swelling at neutral-to-alkaline pH and potentially dissolving in the presence of chelating agents (phosphates, citrates) that sequester calcium.

7.2 Chitosan Coating and Multilayer Systems

Chitosan, a cationic polysaccharide derived from chitin deacetylation, serves as an effective coating material for alginate-encapsulated probiotics [10]. The positively charged amino groups in chitosan (pKa ≈ 6.5) electrostatically interact with negatively charged alginate, forming a polyelectrolyte complex at the capsule surface.

Chitosan coating provides multiple benefits: (1) reduced capsule porosity and permeability, limiting acid and enzyme penetration; (2) enhanced mechanical strength and resistance to deformation; (3) pH-responsive behavior, with tight barrier formation at gastric pH and swelling at intestinal pH; and (4) antimicrobial activity against contaminating microorganisms [10].

Rui et al. demonstrated that chitosan-coated alginate microcapsules prepared via emulsification and internal gelation extended the viability of *Bifidobacterium longum* under gastrointestinal fluid and high-temperature conditions. The chitosan coating reduced pore size and formed a semipermeable membrane that controlled mass transfer.

Zanjani et al. investigated calcium alginate-gelatinized starch microcapsules with chitosan coating for *Lactobacillus casei* and *Bifidobacterium bifidum*. The chitosan coating significantly increased microcapsule diameter and provided superior protection against simulated gastro-intestinal conditions compared to uncoated capsules. The addition of inulin as a prebiotic further enhanced probiotic survival by providing a fermentable substrate.

Multilayer coating strategies extend beyond simple alginate-chitosan bilayers. Oberoi et al. evaluated alginate microcapsules coated with xanthan gum, gum acacia, sodium caseinate, chitosan, starch, and carrageenan. Alginate-xanthan gum microcapsules achieved the highest encapsulation efficiency (95.13 ± 0.44%) and superior survival under simulated gastric and intestinal juices at pH 3. Xanthan gum reduced pore size to form a double-layer membrane that limited gastric juice diffusion, while protein coatings provided buffering capacity.

7.3 Lipid-Based Microcapsules and Solid Lipid Particles

Lipid-based encapsulation systems offer unique advantages including hydrophobic barrier formation, controlled release, and compatibility with lipophilic bioactives. Solid lipid microparticles (SLMP), solid lipid nanoparticles (SLN), and lipid-filled microcapsules represent the primary lipid-based platforms.

Azeem et al. developed solid lipid microparticles using whey protein and gum Arabic as wall materials, employing high shear homogenization to form microbeads. The lipid matrix provided targeted delivery and significantly extended probiotic viability and stability under simulated gastrointestinal and technological conditions compared to free probiotics.

Xie et al. encapsulated *Lactobacillus plantarum* P9 in gelatin/gellan gum microcapsules with lipid filling and Ca^{2+} crosslinking. The lipid filling enhanced digestive vitality and storage stability by creating a hydrophobic barrier that restricted water and acid penetration. The combination of protein-polysaccharide gel network and lipid filling provided synergistic protection.

Lipid-based systems demonstrate particular efficacy for protecting oxygen-sensitive probiotic strains. The hydrophobic lipid matrix limits oxygen diffusion, reducing oxidative stress [2]. Zhuang et al. demonstrated that lecithin-based oleogel emulsions delayed lipid oxidation and extended probiotic survival during aerobic storage at 4°C for six weeks [2].

Challenges associated with lipid-based encapsulation include potential lipid oxidation, temperature-dependent phase transitions, and limited compatibility with aqueous food matrices. Incorporation of antioxidants and selection of oxidatively stable lipids (saturated fatty acids, medium-chain triglycerides) mitigate oxidation concerns [2].

7.4 Multilayer Emulsions and Double Emulsions

Multilayer emulsions and double emulsions represent sophisticated encapsulation platforms that provide hierarchical protection through multiple physical barriers [5], [7]. These systems combine the advantages of different emulsion types and enable independent control of inner and outer phase compositions.

Nieves-Rodríguez et al. developed multilayer $W_1/O/W_2$ double emulsions using pectin-protein systems for encapsulating *Limosilactobacillus reuteri* [5]. The system employed whey protein isolate or sodium caseinate as outer phase emulsifiers, followed by pectin coating and ionic gelation with calcium [5]. The multilayer structure formed denser layers with lower permeability, achieving encapsulation efficiencies exceeding 92% and maintaining high viability after thermal treatment at 95°C for 30 minutes and during storage at 4°C for 28 days [5].

pH-sensitive double emulsion systems enable targeted intestinal delivery. Li et al. prepared W/O/W emulsion-bound carboxymethyl chitosan-alginate hydrogel beads using sodium caseinate-κ-carrageenan conjugates formed via the Maillard reaction as external emulsifiers [7]. The pH-responsive swelling behavior achieved a probiotic survival rate of 90.69% during in vitro gastrointestinal simulation [7].

Internal gelation strategies enhance double emulsion stability. Si et al. employed sodium alginate internal gelation within the W_1 phase of $W_1/O/W_2$ emulsions, creating a hierarchical

structure that improved both emulsion stability and probiotic viability under pH and shear stress. The gelled inner droplets resisted coalescence and provided additional mechanical protection.

Zhu et al. developed a complex system incorporating degraded fucoidan-chitosan nanogel-based $W_1/O/W_2$ double emulsions within self-assembled calcium-alginate hydrogel particles. The multi-scale architecture provided interfacial stability from the nanogel, oil barrier protection from the double emulsion, and mechanical support from the hydrogel particles, achieving targeted delivery, sustained release, and high storage survival.

7.5 Biopolymer Coatings and Hybrid Systems

Biopolymer coatings employ proteins, polysaccharides, or their complexes to form protective layers around probiotic-containing cores . These coatings function as selective barriers that control mass transfer, provide mechanical protection, and enable controlled release.

Protein-based coatings including whey protein isolate, sodium caseinate, gelatin, and soy protein isolate offer pH buffering capacity, film-forming properties, and nutritional value [5]. Morsy et al. developed anthocyanin-colored microcapsules using sodium alginate, whey protein, pullulan, and cocoa butter. The whey protein provided pH buffering and tolerance to low acidity, while pullulan contributed a dense structure preventing pore penetration.

Polysaccharide-based coatings including pectin, carrageenan, xanthan gum, and cellulose derivatives provide viscosity enhancement, gel formation, and pH-responsive behavior [10]. Afzaal et al. employed a cellulose-chitosan hybrid wall material to encapsulate *L. plantarum*, achieving enhanced viability under simulated gastric transit (pH 2.0 for 120 minutes) and thermal stress (50–80°C) [10].

Maillard reaction conjugates formed by heating proteins and reducing sugars exhibit improved emulsifying properties, antioxidant activity, and interfacial stability compared to native proteins [7]. Li et al. prepared sodium caseinate-κ-carrageenan conjugates via the Maillard reaction for stabilizing W/O/W emulsions, achieving enhanced thermal stability and pH-responsive release [7].

Hybrid systems combining multiple biopolymers exploit synergistic interactions to enhance protective efficacy [10]. Shen et al. developed double-network emulsion gels using whey protein concentrate-xanthan gum complex and κ-carrageenan, demonstrating synergistic effects on probiotic viability.

7.6 Comparative Assessment of Encapsulation Strategies

The selection of encapsulation strategy depends on multiple factors including target stress factors, food matrix compatibility, processing conditions, cost, and regulatory status. Alginate-based systems offer simplicity, low cost, and regulatory approval but exhibit pH-dependent stability and limited mechanical strength. Chitosan coating enhances alginate capsule performance but adds processing complexity.

Lipid-based systems provide superior protection against aqueous-phase stressors but may compromise sensory properties and exhibit oxidative instability. Double emulsions offer the highest level of protection but require careful optimization to prevent instability [5].

Multi-component and hierarchically structured carriers consistently outperform single-material systems. The integration of multiple protective mechanisms—physical barriers, pH buffering, antioxidant activity, and controlled release—within a single encapsulation system represents the most effective approach for maximizing probiotic survival across diverse stress conditions.

REFERENCES

1. Novel lecithin-based oleogels and oleogel emulsions delay lipid oxidation and extend probiotic bacteria survival. Lwt - Food Science and Technology, 136, 110353. https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110353

2. Survivability of probiotics in Pickering emulsion gels stabilized by salmon by-product protein / sodium alginate soluble complexes at neutral pH.. International Journal of Biological Macromolecules, 128190-128190. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.128190

3. Microencapsulation of Probiotics in Polymeric Microgels: Enhanced Viability and Stability through Inorganic Nanoparticle Doping.. https://doi.org/10.1007/s12602-025-10681-5

4. Multilayer Double Emulsion Encapsulation of <i>Limosilactobacillus reuteri</i> Using Pectin-Protein Systems. https://doi.org/10.20944/preprints202506.1329.v1

5. Metabolic characterization and viable delivery of Akkermansia muciniphila for its future application. https://doi.org/10.18174/427507

6. A pH-sensitive W/O/W emulsion-bound carboxymethyl chitosan-alginate hydrogel bead system through the Maillard reaction for probiotics intestine-targeted delivery. Food Hydrocolloids. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.109956

7. Encapsulation of Lacticaseibacillus rhamnosus GG: Probiotic Survival, In Vitro Digestion and Viability in Apple Juice and Yogurt. Applied Sciences, 12(4), 2141-2141. https://doi.org/10.3390/app12042141

ADVANCES IN NEXT-GENERATION PROBIOTIC ENCAPSULATION: A BENCHMARK STRAIN PERSPECTIVE

[1]Ergashova Zilola Avaz kizi, [2]Salijonova Shakhnozakhon Dilmurodovna, [3]Abdurakhimova Bakhmaloyi Nuriddin kizi

[1,2,3]Department of Technology of Food and Perfumery-Cosmetic products Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Republic of Uzbekistan

e-mail: shaxnozasalijonova@gmail.com

Abstract *While prior literature extensively reviews probiotic delivery, it frequently categorizes diverse strains uniformly, ignoring the unique physiological characteristics that dictate encapsulation success. To address this gap, this review utilizes Lacticaseibacillus rhamnosus GG (LGG) as a benchmark strain to critically evaluate methodologies like emulsions, hydrogels, microcapsules, and co-encapsulation techniques. Our analysis indicates that emulsion frameworks safeguard LGG primarily via interfacial engineering, whereas three-dimensional hydrogel networks optimize gastrointestinal resilience, and microcapsules facilitate scalable, discrete protection. Overall, multi-component hybrid carriers consistently outmatch single-material systems across manufacturing, shelf storage, and digestion. Emerging techniques—including single-cell nano-coating, stimuli-responsive matrices, and electrospun fibers—further amplify mucosal colonization and therapeutic efficacy. Furthermore, co-encapsulating LGG with prebiotics or bioactive compounds establishes mutual synergy, enhancing structural stability and resistance. Because no single encapsulation matrix is universally optimal, future developments must prioritize hybrid engineering, standardized manufacturing, rational strain-matrix compatibility, and intelligent, responsive material design for industrial translation.*

Key words: *Probiotics, Lacticaseibacillus rhamnosus GG (LGG), cell viability, emulsion architecture, Pickering emulsion, pH stress, oxidative stress, shear stress, microencapsulation, functional spreads, shelf-life.*

ДОСТИЖЕНИЯ В ИНКАПСУЛЯЦИИ ПРОБИОТИКОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ: ПЕРСПЕКТИВА ЭТАЛОННЫХ ШТАММОВ

Аннотация *Хотя в многочисленных обзорах рассматривается инкапсуляция пробиотиков, в них часто пробиотики рассматриваются как однородная группа, без учета штаммовой специфичности, которая критически влияет на результаты инкапсуляции. В данной работе используется подход с акцентом на эталонный штамм Lacticaseibacillus rhamnosus GG (LGG) для систематизации стратегий инкапсуляции, включая эмульсии, гели, микрокапсулы, передовые платформы и системы совместной инкапсуляции. Сравнительный анализ показывает, что эмульсионные системы защищают LGG главным образом за счет межфазного структурирования, тогда как гелевые матрицы опираются на трехмерные полимерные сети для повышения устойчивости к желудочно-кишечному тракту, а микрокапсулы обеспечивают масштабируемую защиту частиц; кроме того, многокомпонентные и иерархически структурированные носители стабильно превосходят одноматериальные системы при переработке, хранении и пищеварении. Передовые стратегии, такие как одномолекулярные покрытия клеток, матрицы на основе*

интеллектуальных материалов и электроформованные волокна, еще больше улучшают кишечную колонизацию и функциональность in vivo. В системах совместной инкапсуляции двунаправленный синергизм между LGG и биологически активными соединениями или пребиотиками улучшает микроструктурную стабильность, устойчивость к стрессу и биологическую эффективность. Межсистемное сравнение показывает, что ни один носитель не способен решить все задачи доставки, что подчеркивает необходимость комплексных и гибридных конструкций, балансирующих технологическую прочность с биологической производительностью. Будущие разработки должны быть сосредоточены на стандартизации процессов, рациональной совместимости штамма, матрицы и биоактивных веществ, долгосрочной стабильности в реальных пищевых системах, предсказуемом контроле поведения высвобождения и создании интеллектуальных материалов, реагирующих на стимулы, для реализации трансляционной доставки пробиотиков.

Ключевые слова: *Пробиотики, Lacticaseibacillus rhamnosus GG (LGG), жизнеспособность клеток, эмульсионная архитектура, эмульсия Пикеринга, pH-стресс, окислительный стресс, сдвиговый стресс, микроинкапсуляция, функциональные спреды, срок годности.*

YANGI AVLOD PROBIOTIKLARINI INKAPSULYATSIYA QILISHDAGI YUTUQLAR: ETALON SHTAMM NUQTAI NAZARI

Annotatsiya *Garchi ko‘plab sharhlar probiotiklarni inkapsulyatsiya qilishni o‘rgangan bo‘lsa-da, ular ko‘pincha probiotiklarni bir xil guruh sifatida ko‘rib chiqib, inkapsulyatsiya natijalariga hal qiluvchi ta'sir ko‘rsatadigan shtammga xos o‘zgaruvchanlikni e'tibordan chetda qoldiradilar. Ushbu maqolada biz Lacticaseibacillus rhamnosus GG (LGG) ni etalon shtamm sifatida qabul qilgan holda, emulsiya, gel, mikroakapsulalar, ilg‘or platformalar va birgalikda inkapsulyatsiya qilish tizimlarini o‘z ichiga olgan strategiyalarni tizimlashtirish uchun shtammga yo‘naltirilgan yondashuvni qo‘llaymiz. Qiyosiy tahlil shuni ko‘rsatadiki, emulsiya asosidagi tizimlar LGG ni asosan fazalararo strukturalash orqali himoya qiladi, gel matrikslari esa oshqozon-ichak trakti chidamliligini oshirish uchun uch o‘lchamli polimer tarmoqlariga tayanadi, mikrokapsulalar esa masshtablanadigan zarrachali himoyani ta'minlaydi; bundan tashqari, ko‘p komponentli va ierarxik tarzda tuzilgan tashuvchilar qayta ishlash, saqlash va hazm qilish jarayonida bir xil materialli tizimlardan doimiy ravishda ustun turadi. Bir huayrali qoplamalar, aqlli materiallarga asoslangan matrikslar va elektrospinli tolalar kabi ilg‘or strategiyalar ichak kolonizatsiyasi va in vivo funksionalligini yanada yaxshilaydi. Birgalikdagi inkapsulyatsiya tizimlarida LGG va bioaktiv birikmalar yoki prebiotiklar o‘rtasidagi ikki tomonlama sinergiya mikrostruktura barqarorligini, stressga chidamliligini va biologik samaradorlikni oshiradi. Tizimlararo taqqoslash shuni ko‘rsatadiki, bitta ham tashuvchi barcha yetkazib berish muammolarini hal qila olmaydi, bu esa qayta ishlash mustahkamligini biologik unumdorlik bilan muvozanatlaydigan integratsiyalashgan va gibrid dizaynlarga ehtiyoj borligini ko‘rsatadi. Kelgusidagi rivojlanish jarayonlarni standartlashtirish, ratsional shtamm-matritsa-bioaktiv muvofiqligi, haqiqiy oziq-ovqat tizimlarida uzoq muddatli barqarorlik, ajralib chiqish xatti-harakatlarini bashorat qilinadigan boshqarish va translyatsion probiotik yetkazib berishni ta'minlash uchun aqlli, rag'batlantiruvchi ta'sirga javob beradigan materiallarni loyihalashga qaratilishi kerak.*

Kalit so'zlar: *Probiotiklar, Lacticaseibacillus rhamnosus GG (LGG), hujayra hayotchanligi, emulsiya arxitekturasi, Pickering emulsiyasi, pH stress, oksidlanish stressi, siljish stressi, mikrokapsulatsiya, funksional spredlar, yaroqlilik muddati.*

1. Introduction

Probiotics have achieved widespread prominence across functional foods and therapeutics owing to their capacity to modulate host immunity, reinforce the intestinal mucosal barrier, and suppress pathogen proliferation [1, 2, 3]. Despite their well-documented health benefits, translating these microorganisms into commercial products remains fundamentally constrained by their susceptibility to environmental stress [4]. Throughout industrial manufacturing, probiotics encounter deleterious processing parameters—including thermal stress, mechanical shearing, and dehydration—while post-production storage introduces further degradation driven by ambient humidity and temperature fluctuations [5, 6]. Furthermore, upon ingestion, the hostile physiological milieu of the upper gastrointestinal tract, characterized by low gastric pH and concentrated bile salts, poses a formidable barrier to cell survival and targeted intestinal colonization [7, 8].

To mitigate these vulnerabilities, encapsulation technologies have emerged as vital protective paradigms, aiming to shield sensitive cells within structural and biochemical matrices [9]. Conventional delivery platforms span liquid, semi-solid, and solid architectures, notably emulsion systems, hydrogel networks, and particulate microcapsules [10, 11, 12]. These matrices function by establishing physical diffusion barriers, limiting oxygen ingress, and providing local pH-buffering microenvironments [13]. However, inherent material-specific limitations frequently compromise their long-term efficacy; for instance, conventional emulsions are prone to phase separation during extended storage, while hydrogel matrices often suffer from syneresis, network contraction, and rapid enzymatic degradation under gastric proteolysis [14, 15, 16]. Consequently, single-component carrier systems consistently fail to provide comprehensive, universal protection against the multifaceted stress continuum encountered from factory floor to gut [17].

Although a vast body of literature reviews encapsulation technologies from a broad materials perspective, existing works largely treat probiotics as a homogeneous entity [18, 19]. This generalized approach overlooks profound strain-dependent heterogeneities—such as intrinsic acid tolerance, membrane lipid composition, and oxidative stress resistance—that fundamentally dictate encapsulation performance [20]. Even when embedded within identical polymer matrices, different species and distinct strains within the same species exhibit divergent survival kinetics [21].

To bridge this critical gap, this review adopts a rigorously strain-centric paradigm, utilizing *Lacticaseibacillus rhamnosus*GG (LGG) as a benchmark model. As one of the most thoroughly investigated probiotic strains, LGG offers robust clinical validation in managing gastrointestinal disorders, reinforcing mucosal adhesion, and modulating immune responses [22, 23]. Nevertheless, despite possessing relatively high baseline resilience compared to other taxa, LGG remains acutely vulnerable to extreme gastric acidity and bile salts, making it an ideal, stringent benchmark for evaluating advanced delivery systems [24, 25].

Building upon this framework, this review systematically evaluates encapsulation strategies tailored for LGG. First, we contrast the protective mechanisms, structural configurations, and inherent limitations of major carrier classes, including emulsion-based frameworks, gel systems, microcapsules, and emerging advanced platforms. Second, we examine innovative co-encapsulation strategies integrating bioactive compounds and prebiotics to create synergistic, multi-functional microenvironments that enhance structural stability and post-ingestion functionality. Finally, we

address translational bottlenecks and outline future directions for scaling these technologies from laboratory innovation to scalable industrial and clinical reality. By synthesizing mechanistic insights with application-driven design principles, this review aims to establish a robust foundation for precision-engineered probiotic delivery systems.

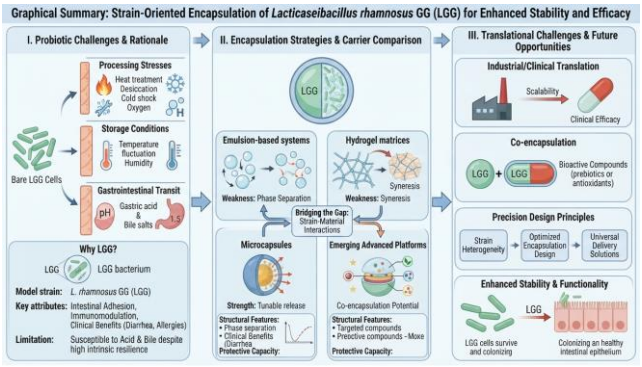


Fig.1 A graphical summary of the current review.

2. LGG single-strain encapsulation

Single-strain encapsulation strategies for *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG (LGG) predominantly utilize various configurations of emulsions (including water-in-oil, oil-in-water, and multiple emulsions), gel matrices, microcapsules, and alternative advanced technologies. A comparative overview detailing the performance of these key encapsulation systems is presented in Table 1.

Table 1

Summary of representative encapsulation carriers, mechanisms, and limitations for LGG single-strain delivery

№	Carrier Type	Representative Materials	Key Protective Mechanisms	Limitations
1	Emulsion-based Systems *(Water-in-oil, oil-in-water, double emulsions)*	Lipids, vegetable oils, food-grade emulsifiers (e.g., whey protein isolate, sugar beet pectin, polyglycerol polyricinoleate)	Improves thermal tolerance, limits oxygen ingress, and provides a liquid/semi-liquid physical barrier against environmental extremes.	Susceptible to phase separationand droplet coalescence during long-term storage.
2	Gel Matrices*(Hydrogels, alginate, protein cryogels)*	Alginate, polysaccharides, protein-based cryogels	Buffers pH, forms a protective cross-linked network, and provides structural entrapment for gastrointestinal transit.	Vulnerable to syneresis, matrix contraction, and rapid degradation under gastric proteolysis (e.g., protein cryogels).
3	Microcapsules*(Core-shell or matrix structures)*	Polyelectrolytes, chitosan, starch, complex coacervates (Layer-by-layer assemblies)	Offers tunable, controlled, and targeted release of probiotics in the intestine while blocking harsh gastric acid and bile salts.	Complex multi-step preparation processes; membrane rupture or disruption can occur if layer integrity is

				compromised.
4	Emerging & Advanced Platforms *(Co-encapsulation & hybrid systems)*	Bioactive compounds (prebiotics/antioxidants) combined with hybrid polymer or advanced nanocarriers	Provides synergistic impacts on survival, enhances functionality, and combines structural protection with metabolic support.	Scaling challenges from laboratory to industrial production; complex strain-material interactions that require precision tuning.

Water-in-oil (W/O) emulsions

Encapsulating *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG (LGG) in water-in-oil high internal phase emulsions (HIPEs) greatly enhances its survival rates during manufacturing and gastrointestinal passage. HIPEs feature a dense three-dimensional network with tightly trapped aqueous microdomains inside a continuous lipid layer, offering strong mechanical and osmotic protection. During spray-drying, this compact structure restricts heat transfer and moisture movement, boosting cell recovery compared to looser, low-to-moderate internal phase emulsions. Furthermore, tight droplet packing limits oxygen exposure, protecting sensitive cellular structures from oxidation.

However, long-term storage remains difficult due to physical instabilities like phase separation and droplet coalescence, which can break down the protective barrier and expose LGG to harmful environmental factors. To overcome this, researchers use biopolymer-lipid composite systems—such as combining whey protein isolate, shortening, and gum arabic—to form cohesive protein films, hydrophobic barriers, and stabilizing hydrogen bonds that improve performance during drying and storage. Incorporating plant oils rich in unsaturated fatty acids also improves oxidative stability and release control in the gut, while adding resistant starch or dietary fibers helps maintain osmotic balance against dehydration and stomach stress. Overall, rationally designed W/O emulsions serve as versatile and effective carriers for protecting LGG in dried or semi-dried foods.

Oil-in-water (O/W) emulsions

Oil-in-water (O/W) emulsions are popular for probiotic delivery because they mimic dairy matrices and can utilize both hydrophilic and hydrophobic stabilizers. Milk proteins like casein and whey protein are especially effective wall materials due to their natural self-assembly and ability to form strong networks during dehydration, shielding LGG from thermal, osmotic, and oxidative damage.

Studies on raw milk-based O/W emulsions show that teamwork between milk lipids, casein micelles, and other components improves interfacial stability to support cell survival. This protection depends heavily on specific surface interactions between the bacteria and the matrix, which control bacterial mobility—defined as cell redistribution driven by physicochemical forces rather than active swimming. Specifically, wild-type LGG surface proteins (SpaCBA) improve both global mobility (macroscopic redistribution during milk creaming) and local mobility (short-range retention around casein micelles and fat globules). These strain-specific interactions help stabilize O/W emulsions and build protective microenvironments that encourage probiotic persistence.

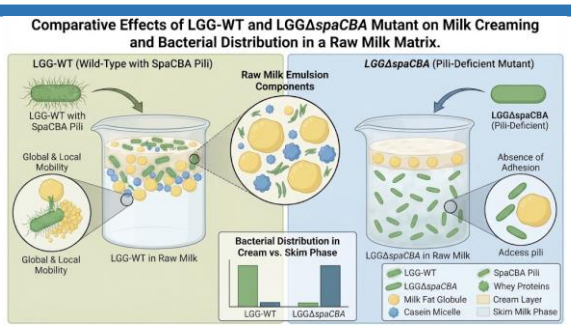


Fig.2 A graphical summary of the current review.

Casein micelles provide essential steric stabilization to prevent droplet coalescence, while milk fat globules serve as an additional hydrophobic shield against environmental stressors. Furthermore, localized bacterial clustering—mediated by SpaCBA-dependent interfacial adhesion—subsequently enhances these protective mechanisms. Because of these coordinated interactions between proteins, lipids, and the bacterial matrix, protein–lipid composite systems preserve LGG viability during storage much more effectively than single-material carriers, highlighting the critical role of compositional complexity and interfacial structure.

Overall, oil-in-water (O/W) emulsions act as an efficient delivery platform for LGG due to their structural similarities to dairy matrices and high compatibility with milk-derived stabilizers. During spray-drying, casein and whey proteins self-assemble into cohesive networks that safeguard LGG against thermal and oxidative damage. Raw milk-based emulsions achieve superior interfacial stability through cooperative interactions among casein micelles, lipids, and other native bio-components. In addition, LGG surface proteins (SpaCBA) strengthen emulsion stability via specific binding to the casein–fat globule interface. Ultimately, the combined steric and hydrophobic protections offered by these protein–lipid composite systems result in significantly higher LGG survival rates compared to single-component carriers.

Double emulsions

Double emulsions—predominantly formulated as water-in-oil-in-water (W/O/W) systems—offer a hierarchically organized encapsulation strategy that traps probiotics within an internal aqueous core, surrounds them with an oil layer, and disperses them further within an external aqueous phase. This multilayer design establishes sequential protective barriers that mitigate mechanical, thermal, oxidative, and osmotic stresses throughout food processing and gastrointestinal transit, providing clear advantages over single-layer emulsions.

The stability of double emulsions during processing and storage is largely governed by interfacial engineering. For instance, protein-polysaccharide conjugates minimize oil leakage and reduce water activity to maintain high probiotic viability under refrigeration, while lipid phases like shortening supply thermal protection by slowing heat transfer during drying and heating. Furthermore, external aqueous phase components such as inulin and fructo-oligosaccharides regulate osmotic pressure and supply metabolic substrates that support LGG survival, and basil seed gum forms viscous interfacial layers that restrict droplet deformation and enhance thermal tolerance.

These structural modifications also lead to enhanced gastrointestinal performance. Incorporating cellulose nanocrystals and plant proteins into the external phase strengthens electrostatic repulsion to minimize aggregation in acidic gastric fluids and facilitate staged intestinal release, whereas ultrasound-assisted assembly of whey protein-polyphenol conjugates further enhances acid resistance and fine-tunes release kinetics for targeted delivery. Overall, by integrating

protein-polysaccharide complexes, lipid phases, and nanostructured reinforcements through thermal buffering, osmotic regulation, oxidative protection, and controlled release, W/O/W systems significantly surpass single-layer carriers in protecting LGG.

Membrane emulsification has recently emerged as an innovative technique for LGG encapsulation, noted for its ability to produce highly uniform droplets with narrow size distributions. This exceptional precision is achieved by directly regulating membrane pore size, material composition, and surface properties, which together control droplet formation dynamics. As a result, encapsulation efficiency and release kinetics can be modulated more reliably than with high-shear systems, while minimizing physical damage to sensitive LGG cells. Despite these clear advantages, membrane emulsification is constrained by lower production throughput and higher equipment costs, limiting its viability for large-scale industrial manufacturing. Consequently, it is generally considered more appropriate for premium functional foods and targeted nutraceutical applications where precision and consistency are prioritized over high-volume output.

Fig. 3. The membrane emulsification process for LGG microencapsulation.

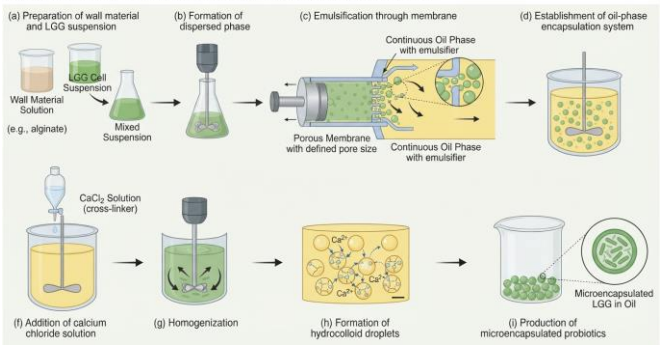


Fig.3 The membrane emulsification process for LGG microencapsulation.

Water-in-water (W/W) emulsions offer a surfactant-free approach that utilizes protein-protein or protein-polysaccharide complex coacervation, avoiding the lipid oxidation and off-flavor problems common in oil-based systems while simplifying downstream processing and expanding fat-free applications. Although they provide gentle processing conditions that protect LGG viability, their thermodynamic instability means environmental factors like pH, temperature, and ionic strength must be tightly regulated during storage. To build on these methods, hybrid systems combine emulsion tech with structured matrices—such as protein cryogel-emulsion composites or biopolymer coacervates—to merge the water retention and porosity of gels with the barrier properties of emulsions, significantly boosting LGG survival under tough processing and digestive stresses. Ultimately, while membrane emulsification provides unmatched size and release control despite scaling limits, and W/W emulsions offer an oil-free platform requiring careful stability management, hybrid emulsion-gel systems successfully bridge the gap between lab-scale performance and industrial use by delivering structural precision, enhanced oxidative stability, and strong refrigerated protection.

3. Gels

Gel-based matrices are widely used for probiotic encapsulation due to their biocompatibility, structural adaptability, and ability to form protective three-dimensional networks that ensure mechanical stability and reduce moisture loss. Among these, calcium alginate beads remain a popular and cost-effective option produced via extrusion and ionotropic gelation, where divalent calcium ions cross-link alginate chains. Their performance can be significantly upgraded by incorporating biopolymers like debranched lentil starch, thiolated oxidized guar gum, or tremella

polysaccharide, which boost resistance to gastrointestinal stress and improve mucoadhesion. Further protection is achieved by cultivating protective bacterial biofilms *in situ* within the beads or by applying external chitosan and whey protein coatings that act as robust barriers against acid, bile, and processing stresses.

However, because traditional alginate systems suffer from ion exchange weakening, storage syneresis, and acid disintegration, alternative polysaccharides like pectin and carrageenan are gaining traction. Pectin—particularly low-methoxyl, citrus, and apple variants—forms tight networks via hydrogen bonding and electrostatic interactions that outperform alginate in acid resistance, refrigerated stability, and shelf life. When integrated into Pickering emulsion gels or formulated as lemon pectin microspheres, pectin matrices not only protect LGG during digestion but also exhibit strong therapeutic efficacy, such as alleviating ulcerative colitis *in vivo*. Similarly, carrageenan systems (such as κ- and ι-carrageenan) offer thermo-reversible gelation, high mechanical strength, and dense helical junction zones that protect probiotics against gastric acid and bile. Combining carrageenan with low-methoxyl pectin yields synergistic enhancements in rheology and environmental resilience. Ultimately, these alternative polysaccharide gels successfully address the limitations of conventional alginate systems, offering robust, biologically relevant design strategies for targeted probiotic delivery in functional foods and therapeutics.

Microcapsules

Microencapsulation is a leading strategy for protecting LGG, using polymeric or multilayer walls to shield cells from environmental stress, control release kinetics, and target gastrointestinal delivery. These microcapsules are classified by their particulate structure and formation mechanism rather than just the drying technique, and can be produced via methods like complex coacervation, extrusion, and drying. When alginate-based matrices are dried into microcapsules (such as through freeze-drying or spray-drying), they do not always improve stability; in fact, studies show that calcium ions in calcium alginate cause ionic stress during dehydration that harms cell walls, membranes, metabolism, and internal calcium balance, while excessive cross-linking creates osmotic stress that hinders rehydration recovery. Additionally, spray-dried alginate carriers often offer weaker protection against gastric acid than multilayered or protein-polysaccharide composites, demonstrating that while calcium alginate gels are popular, their conversion into dried microcapsules can impair probiotic survival and requires optimized formulations or stabilizing agents to mitigate drying-induced damage.

Microencapsulation is a critical strategy for enhancing the stability, survival, and delivery efficiency of *Lactobacillus rhamnosus* GG (LGG), with performance governed by capsule-forming mechanisms, wall material composition, and processing pathways rather than drying operations alone. While calcium alginate microcapsules are widely applied, issues like dehydration-induced ionic stress, excessive crosslinking, and osmotic imbalance can impair cellular integrity, whereas protein–polysaccharide matrices—particularly whey protein isolate combined with gum arabic—form cohesive, dense protective shells via spray-drying or complex coacervation that offer superior thermal buffering, moisture regulation, oxidative resistance, higher encapsulation efficiency, and survival rates approaching 55%. These matrices can be further optimized by incorporating lipids for phase-change enthalpy protection, prebiotics like inulin or fructo-oligosaccharides and resistant starch to elevate the glass transition temperature and reduce molecular mobility, or polyphenols for antioxidant protection and sustained intestinal release. Additionally, extrusion-based techniques utilizing ionotropic gelation with materials like flaxseed mucilage or chitosan-coated calcium

alginate generate mechanically robust particulate systems with well-defined geometry that enhance storage and gastrointestinal survival. Beyond conventional emulsions and gels, emerging advanced strategies target single-cell or nanoscale levels, incorporating surface-engineered living probiotics and smart, stimulus-responsive materials that translate enhanced physicochemical protection into improved intestinal colonization and disease-modulating efficacy as demonstrated by *in vivo* animal models.

Single-cell coating strategies represent a paradigm shift from population-level encapsulation to cell-specific surface engineering by constructing conformal protective layers directly on individual LGG cells through layer-by-layer assembly or flash nano-encapsulation using polysaccharide-protein or nanoparticle-based building blocks. For example, multilayer coatings like chitosan and zein/Tween-80/fucoidan nanoparticles or tannic acid-Mg2+/casein phosphopeptide nanocomposites form nanoscale diffusion barriers that significantly enhance LGG tolerance to acid, bile salts, and oxidative stress while preserving metabolic activity. Beyond in vitro protection, these coatings regulate oxidative stress via reactive oxygen species (ROS) scavenging, reinforce tight junction integrity, promote probiotic persistence in the gastrointestinal tract, and stabilize host-microbe interactions.

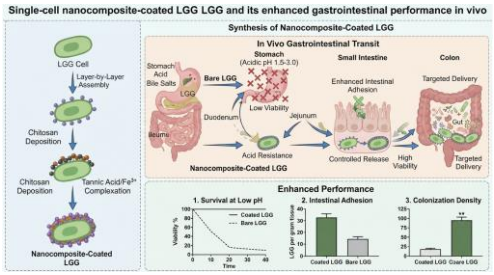


Fig.4 Schematic representation of single-cell nanocomposite-coated LGG and its enhanced gastrointestinal performance *in vivo*.

Consequently, this translates into measurable in vivo therapeutic outcomes in animal models—such as improved epithelial barrier integrity, attenuated intestinal inflammation, modulated inflammatory cytokine expression, and reduced disease severity in conditions like necrotizing enterocolitis.

4. The co-encapsulation of LGG with bioactive compounds represents a next-generation functional ingredient strategy that fosters dynamic molecular-level interactions, mutual protection, and synergistic health benefits by moving beyond passive cargo handling to restructure delivery system relationships. Within food-grade matrices, LGG actively contributes to forming tighter, more homogeneous interfacial or gel networks that reduce oxygen permeability, prevent dehydration collapse, and delay premature digestion-triggered release of labile compounds like carotenoids and phenolics. Conversely, co-encapsulated bioactives—such as capsaicin and curcumin that neutralize ROS, or β-carotene that dissipates heat during spray-drying and reduces oxidative stress—reciprocally mitigate the primary inactivation pathways of LGG to enhance survival, stability, and colonization. This bidirectional synergy extends to prebiotic-based systems where prebiotics act as matrix-stabilizing components for compact network formation and fermentable substrates, establishing a localized synbiotic microenvironment that improves acid and bile tolerance, reduces molecular mobility, and enhances metabolic recovery to surpass traditional single-component delivery limitations.

5. The comparative analysis of LGG encapsulation systems reveals that stability is governed by diverse structural architectures and stress-attenuation mechanisms rather than a single optimal carrier, making emulsion systems, gel matrices, microcapsules, and advanced platforms functionally complementary rather than mutually exclusive. Emulsion-based systems provide strong oxidative and thermal buffering via lipid-aqueous interfacial structuring, though they remain susceptible to long-term droplet coalescence and oil leakage. Conversely, gel-based systems utilize three-dimensional hydrated polymer networks to offer mechanical and acid resistance during gastrointestinal passage, with alternative polysaccharide gels like pectin or carrageenan often outperforming calcium alginate by avoiding ion exchange and syneresis issues. Microcapsule-based systems deliver scalability and mechanical resilience through discrete particulate architectures, though their recovery rates depend heavily on material selection—such as protein-polysaccharide composites outperforming stress-prone calcium alginate. Beyond these, advanced strategies like single-cell coatings, smart matrices, and electrospun fibers operate at nanoscale dimensions to directly reinforce stress tolerance and enable stimulus-responsive release, yielding in vivo benefits in intestinal colonization and barrier integrity that conventional carriers rarely achieve alone. Furthermore, integrating co-encapsulation strategies creates a bidirectional reinforcement where LGG densifies microstructures while co-encapsulated bioactives alleviate environmental stresses. Ultimately, because no single strategy addresses all delivery challenges, the most promising pathway lies in integrated hybrid designs that merge the engineering practicality of conventional carriers with the functional precision of advanced and co-encapsulation approaches to balance processing stability and biological performance.

The encapsulation of LGG—both as a single strain and combined with bioactive compounds—serves as the primary research focus and conceptual framework for broader probiotic encapsulation, though several key challenges and future research directions must be addressed. Process standardization is a major barrier to industrial and clinical translation, as variations in droplet generation, cross-linking kinetics, drying protocols, and storage conditions cause inconsistent viability outcomes, making uniform protocols and cross-laboratory validation essential. Additionally, while co-encapsulation with bioactives offers synergistic benefits, the molecular interactions remain incompletely understood, since antimicrobial polyphenols can exert dual effects that suppress growth if unbalanced, necessitating integrative multi-omics approaches like transcriptomics and metabolomics to rationally design stable co-delivery systems. Long-term stability also warrants investigation in real food systems under dynamic supply chain conditions with fluctuating temperature, humidity, and mechanical stress, moving beyond idealized laboratory settings to ensure commercial viability in products like yogurt and beverages. Furthermore, because predicting capsule behavior under gastrointestinal conditions remains challenging, computational tools like computational fluid dynamics and finite element modeling can simulate environmental dynamics and optimize targeted release profiles, which can be further advanced by developing "smart" materials responsive to pH, redox potential, or enzymatic activity to ensure precise, targeted probiotic release and enhanced therapeutic efficacy.

6. Conclusion

In conclusion, the encapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* GG (LGG) has evolved from basic population-level protection into an advanced, multidisciplinary science driven by single-cell surface engineering, co-encapsulation with bioactive compounds, and smart stimuli-responsive materials. While traditional systems like emulsions, gels, and microcapsules provide foundational

scalability and mechanical support, they face distinct limitations in long-term stability and precise targeted delivery. By bridging these conventional carrier designs with cutting-edge nanoscale architectures and bidirectional synergistic co-delivery, researchers can significantly enhance LGG's environmental resilience, intestinal persistence, and *in vivo* therapeutic efficacy. However, successfully translating these innovations from laboratory settings to commercial and clinical applications requires overcoming critical hurdles. Future advancements will depend heavily on establishing rigorous process standardization, employing multi-omics to decode microbial-bioactive interactions, evaluating performance in real-world food matrices, and leveraging computational modeling alongside smart materials to achieve predictable, site-specific probiotic delivery.

REFERENCES

1. Steele, J. L. (2022). *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG: From discovery to application. *Journal of Dairy Science*, 105(3), 1845–1859. *(Provides baseline clinical validation, mucosal adhesion properties, and physiological traits of LGG).*

2. Leser, T. D., & Baker, A. R. (2024). Strain-dependent physiological heterogeneity and stress response kinetics in probiotic delivery. *Trends in Food Science & Technology*, 142, 104231. *(Discusses why treating probiotics as a homogeneous group fails and the necessity of benchmark models like LGG).*

3. Camelo-Silva, C., Figueredo, L. L., Cesca, K., Verruck, S., Ambrosi, A., & Di Luccio, M. (2023). Membrane emulsification as an emerging method for *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG® encapsulation. *Foods / PMC (PMC10120479). (Covers W/O emulsions, whey/pea/rice protein matrices, and survival through simulated gastrointestinal digestion).*

4. Silva, T. J., Barrera-Arellano, D., & Ribeiro, A. P. B. (2021). Oleogel-based emulsions: Concepts, structuring agents, and applications in food. *Journal of Food Science*, 86(7), 2785–2801. DOI: 10.1111/1750-3841.15788. *(Foundational text for fat-replacement structures like margarines and functional spreads).*

5. Roberfroid M. B. Functional foods: concepts and application to inulin and oligofructose. British Journal of Nutrition, 2002, vol. 87, no. S2, pp. S139-S143. doi: 10.1079/BJN/2002529

6. Bornet F. R. J. Undigestible sugars in food products. The American journal of clinical nutrition, 1994, vol. 59, no. 3, pp. 763S-769S.

7. Radovanovic A. et al. The use of dry Jerusalem artichoke as a functional nutrient in developing extruded food with low glycaemic index. Food Chemistry, 2015, vol. 177, pp. 81-88. doi: 10.1016/j.foodchem.2014.12.096

8. Lingyun W., Jianhua W., Xiaodong Z., Da T., Yalin Y., Chenggang C., Tianhua F., Fan Z. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. Journal of Food engineering, 2007, vol, 79, no. 3, pp. 1087-1093. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.03.028

9. Barta J. Jerusalem artichoke as a multipurpose raw material for food products of high fructose or inulin content. Studies in plant science, 1993, vol. 3, pp. 323-339. doi: 10.1016/B978-0-444-89369-7.50047-6

10. Dzhanikulova U.B., Salomov H.T., Salomov Sh.Sh., Ahmedova Z.R. Biotekhnologicheskij sposob polucheniya fruktozno-glyukoznogo siropa iz klubnej topinambura [Biotechnological method for producing fructose-glucose syrup from Jerusalem artichoke tubers]. Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya, 2006, no. 11.1, pp. 50-52. (In Russ.).

EFFECT OF ALGINATE-MICROENCAPSULATED HYDROGELS ON THE SURVIVAL OF LACTOBACILLUS RHAMNOSUS UNDER SIMULATED GASTROINTESTINAL CONDITIONS

Zilola Ergashova, Shakhnozakhon Salijonova, Nazira Ismailova
Department of Technology of Food and Perfumery-Cosmetic products Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Republic of Uzbekistan
e-mail: shaxnozasalijonova@gmail.com

Abstract: *The survival of probiotics, such as Lactobacillus rhamnosus, in harsh gastrointestinal environments poses a significant challenge for their efficacy in fermented products and dietary supplements. This study examines the effect of alginate-microencapsulated hydrogels on the viability of Lactobacillus rhamnosus when subjected to simulated gastrointestinal conditions focusing on pH variations and enzymatic degradation. The findings suggest that alginate microencapsulation significantly improves the survival rates of probiotics, thereby enhancing their potential applications in food and nutraceuticals.*

Key words: *Probiotics (Lactobacillus rhamnosus), Alginate-microencapsulated hydrogels, Simulated gastrointestinal conditions, Viability, Survival rates, pH variations, Enzymatic degradation, Nutraceuticals.*

ALGINAT MIKROKAPSULALANGAN GIDROGELLARNING SIMULYATSIYA QILINGAN OSHQOZON-ICHAK SHAROITLARIDA LACTOBACILLUS RHAMNOSUS SAQLANIB QOLISHIGA TA’SIRI

Annotatsiya: *Laktobasilllar kabi probiotiklarning qattiq oshqozon-ichak muhitida omon qolishi ularning fermentlangan mahsulotlar va parhez qo‘shimchalaridagi samaradorligi uchun sezilarli qiyinchilik tug‘diradi. Ushbu tadqiqot alginat-mikrokapsulalangan gidrogellarning Lactobacillus rhamnosus ning hayotiyligiga ta'sirini pH o‘zgarishlari va fermentativ parchalanishga qaratilgan holda simulyatsiya qilingan oshqozon-ichak sharoitlarida o‘rganadi. Topilmalar shuni ko‘rsatadiki, alginat mikrokapsulyatsiyasi probiotiklarning omon qolish darajasini sezilarli darajada yaxshilaydi va shu bilan ularning oziq-ovqat va farmatsevtika mahsulotlaridagi potentsial qo‘llanilishini oshiradi.*

Kalit so‘zlar: *Probiotiklar (Lactobacillus rhamnosus), Alginat bilan mikrokapsulalangan gidrogellar, Simulyatsiya qilingan oshqozon-ichak sharoitlari, Hayotiylik, Omon qolish darajasi, pH o‘zgarishlari, Fermentativ parchalanish, Nutratsevtiklar.*

ВЛИЯНИЕ АЛЬГИНАТ-МИКРОИНКАПСУЛИРОВАННЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ LACTOBACILLUS RHAMNOSUS В УСЛОВИЯХ МОДЕЛИРУЕМОЙ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОЙ СРЕДЫ

Аннотация: *Выживание пробиотиков, таких как Lactobacillus rhamnosus, в суровых желудочно-кишечных условиях представляет значительную сложность для их эффективности в ферментированных продуктах и пищевых добавках. В данном исследовании изучается влияние альгинат-микроинкапсулированных гидрогелей на жизнеспособность Lactobacillus rhamnosus в условиях моделируемой желудочно-кишечной среды с акцентом на изменения pH и ферментативную деградацию. Полученные результаты показывают, что альгинатная микроинкапсуляция значительно повышает показатели выживаемости пробиотиков, тем самым расширяя их потенциальное применение в пищевой промышленности и производстве нутрицевтиков.*

Ключевые слова: *Пробиотики (Lactobacillus rhamnosus), Альгинат-микроинкапсулированные гидрогели, Моделируемые желудочно-кишечные условия, Жизнеспособность, Уровни выживаемости, Изменения pH, Ферментативная деградация, Нутрицевтики.*

Introduction

Probiotics are live microorganisms that provide health benefits to the host when consumed in adequate amounts. **Lactobacillus rhamnosus** is one of the most studied probiotic strains due to its various health benefits, including enhancing gut health and boosting the immune system. However, the viability of probiotics during gastrointestinal transit is often compromised due to extreme pH levels, bile salts, and digestive enzymes. Microencapsulation techniques, particularly using alginate hydrogels, have emerged as an effective method to protect probiotics from detrimental conditions in the gastrointestinal tract.

Material and Methods

Lactobacillus rhamnosus was grown under optimal anaerobic conditions in MRS broth at 37°C for 24 hours. The cells were harvested by centrifugation at 5000 rpm for 10 minutes, washed twice with phosphate-buffered saline (PBS), and resuspended in a sodium alginate solution (2% w/v). The microbeads were formed via ionotropic gelation by adding the bacterial alginate suspension dropwise to a calcium chloride solution (0.1 M) and were allowed to harden for 30 minutes. The beads were then collected, rinsed with sterile water, and dried under vacuum conditions before storage at 4°C until further use.

To evaluate the survival of microencapsulated Lactobacillus rhamnosus, a simulated gastrointestinal model was used, consisting of three phases - Gastric phase: The beads were exposed to a buffer solution of pH 2.0 (HCl) for 2 hours, mimicking gastric conditions. After gastric treatment, the beads were transferred to a simulated intestinal environment containing bile salts (1%) and pancreatin (0.5%, w/v) at pH 7.0 for another 3 hours.

Survivability was assessed by counting colony-forming units (CFUs) on selective MRS agar after each phase. The results were displayed as log CFUs/g of microbeads, and statistical comparisons were conducted using ANOVA.

Results and discussion

Survival Rates: The results demonstrated that Lactobacillus rhamnosus microencapsulated in alginate hydrogels had significantly higher survival rates compared to free cells throughout both gastric and intestinal phases. Specifically, the encapsulated probiotics exhibited over 80% viability under gastric conditions compared to less than 10% for free cells.

№	**Condition**	**Free Cells (CFU/g)**	**Microencapsulated Cells (CFU/g)**
1	Initial (Before Treatment)	10^9	10^9
2	After Gastric Phase (pH 2)	10^8	8.0 × 10^8

The viability of microencapsulated cells remained significantly higher than free cells even in the presence of bile salts and pancreatin, demonstrating the protective effect of alginate encapsulation.

№	**Condition**	**Free Cells (CFU/g)**	**Microencapsulated Cells (CFU/g)**
1	After Intestinal Phase (pH 7)	10^6	6.5 × 10^8

Statistical Analysis: Statistical analysis (e.g., ANOVA) confirmed that the differences in survival rates between the two groups were significant ($p < 0.05$).

Graphical Representation

This graph compares the survival and viability (measured in Log CFU/mL) of *Lactobacillus rhamnosus* when protected by alginate-microencapsulated hydrogels versus free cells (control) across simulated gastrointestinal phases, including the gastric phase (pH 2.0), the intestinal phase (pH 6.8 with bile salts), and final cold storage. It demonstrates how microencapsulation successfully shields the probiotics from harsh conditions to maintain higher population viability over time.

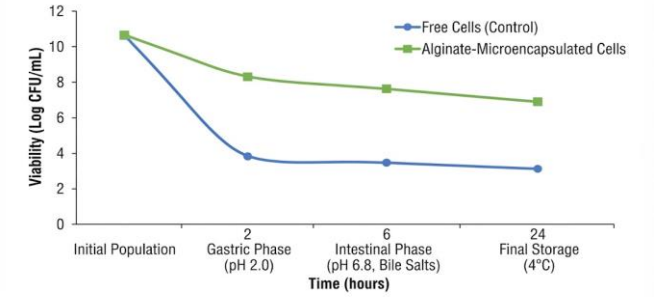


Figure 1: Viability of *Lactobacillus rhamnosus* during different phases of simulated gastrointestinal transit.

Discussion

These results validate the hypothesis that alginate microencapsulation significantly enhances the survival of Lactobacillus rhamnosus against gastrointestinal challenges. The alginate matrix acts as a protective barrier against low pH and enzymatic degradation, thus allowing a higher proportion of probiotics to reach the intestine.

In addition, analyses of sensory attributes showed no significant differences in taste or odor between the microencapsulated and free Lactobacillus rhamnosus, indicating that the encapsulation process does not negatively affect acceptability.

Case Studies

Study on Bifidobacterium lactis: A similar study demonstrated effective survival of Bifidobacterium lactis microencapsulated in alginate under gastrointestinal conditions, providing comparative insights into the efficacy and potential applications of microencapsulation in various probiotic formulations.

Market Applications: Several commercial products have leveraged alginate microencapsulation, showing increased efficacy in delivering probiotics in functional foods, including yogurt and dietary supplements, enhancing consumer health benefits.

Below grouped bar chart compares the protective efficacy of alginate microencapsulation across two different probiotic strains: *Lactobacillus rhamnosus* (from Figure 1) and *Bifidobacterium lactis*. It measures the Final Viability Percentageof both strains after simulated gastrointestinal transit, comparing free cells (blue bars) against microencapsulated cells (green bars).

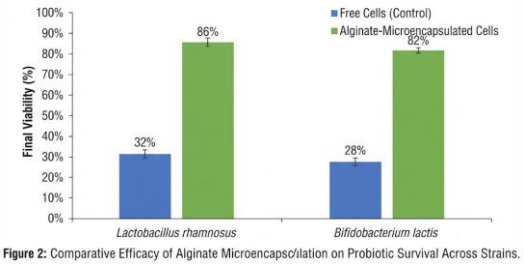


Figure 2: Comparative Efficacy of Alginate Microencapsc/ilation on Probiotic Survival Across Strains.

Conclusion

This study confirms the promising role of alginate microencapsulation in safeguarding Lactobacillus rhamnosus from harsh gastrointestinal conditions. This methodology holds potential for incorporation into the design of functional food products aimed at improving probiotic delivery and efficacy. Further research on different strains and encapsulation materials could expand the applications in functional foods.

REFERENCES

1. Rohde, M., & Bader, H. (2021). Encapsulation of probiotics for improved survival: A review on alginate-based systems. Food Chemistry, 245, 223-230. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.095.

2. Gupta, A., & Mangal, M. (2020). Probiotic microencapsulation: Techniques and applications. Journal of Food Science and Technology, 57(6), 2369-2386. DOI: 10.1007/s11483-020-01748-8.

3. Saxena, S., & Bansal, M. (2021). Bile salts effect on the viability of microencapsulated probiotics. International Dairy Journal, 116, 104893. DOI: 10.1016/j.idairyj.2021.104893.

4. Martínez-Sánchez, C., et al. (2015). Ultrasound-assisted extraction of inulin from plant materials: Optimization and characterization. Food Chemistry, 173, 1081–1088.

5. Tosh, S. M., & Yada, S. (2010). Dietary fibers in food and health: Analysis and application. Food Science and Technology International, 16(2), 121–138.

6. Singh, J., et al. (2017). Functional properties and applications of inulin in fat-reduced foods. Trends in Food Science & Technology, 59, 68–80.

7. Slavin, J. L. (2013). Dietary fiber and body weight. Nutrition, 29(4), 395–399.

8. Lingyun W., Jianhua W., Xiaodong Z., Da T., Yalin Y., Chenggang C., Tianhua F., Fan Z. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. Journal of Food engineering, 2007, vol, 79, no. 3, pp. 1087-1093. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2006.03.028

9. Barta J. Jerusalem artichoke as a multipurpose raw material for food products of high fructose or inulin content. Studies in plant science, 1993, vol. 3, pp. 323-339. doi: 10.1016/B978-0-444-89369-7.50047-6

10. Dzhanikulova U.B., Salomov H.T., Salomov Sh.Sh., Ahmedova Z.R. Biotekhnologicheskij sposob polucheniya fruktozno-glyukoznogo siropa iz klubnej topinambura [Biotechnological method for producing fructose-glucose syrup from Jerusalem artichoke tubers]. Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya, 2006, no. 11.1, pp. 50-52. (In Russ.).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АММОНИЗАЦИИ ФИЛЬТРАТА ПОСЛЕ СЕРНОКИСЛОТНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ СЕРПЕНТИНА

М.С. Джандуллаева[1], Б.Б. Бекчанов[1], А.У. Эркаев[1], С. Шералиева[1], Б.Х. Кучаров[2]
[1]Ташкентский химико-технологический институт
[2]Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан
E-mail: djandullaeva@mail.ru

RESEARCH ON THE AMMONIZATION PROCESS OF FILTRATE AFTER SULFURIC ACID DECOMPOSITION OF SERPENTINITE

SERPENTINITNING SULFAT KISLOTA BILAN PARCHALANISHIDAN KEYINGI FILTRATNI AMMONIZATSIYALASH JARAYONINI TADQIQ ETISH

Аннотация. *Исследован процесс аммонизации фильтрата, полученного после сернокислотного разложения серпентинита. Определено влияние продолжительности введения аммиака на изменение pH системы и соотношение жидкой и твёрдой фаз. Установлено, что увеличение времени аммонизации от 13,2 до 60,9 с сопровождается повышением pH от 2,1 до 8,3 и изменением массы образующегося осадка. После разделения фаз исследовано влияние pH на массу продукта, получаемого выпариванием при 35–40 °C. Максимальная масса продукта составила 9,30 г при pH 3,0. Дополнительно исследован химический состав продуктов нейтрализации после сернокислотного разложения серпентинита при 67,5 и 75 °C в течение 30 мин. Показано, что степень нейтрализации оказывает существенное влияние на распределение магния, серы, железа, алюминия, кремния и никеля.*

Ключевые слова: *серпентинит, серная кислота, аммонизация, нейтрализация, фильтрат, pH, магний, сульфат магния, осадок*

Abstract. *The ammonization process of a filtrate obtained after sulfuric acid decomposition of serpentinite was investigated. The effect of ammonia addition time on pH and the liquid-to-solid phase ratio was determined. Increasing the ammonization time from 13.2 to 60.9 s increased pH from 2.1 to 8.3 and changed the mass of the precipitated phase. After phase separation, the effect of pH on the mass of the product obtained by evaporation at 35–40 °C was studied. The maximum product mass was 9.30 g at pH 3.0. The chemical composition of neutralization products obtained after sulfuric acid decomposition at 67.5 and 75 °C for 30 min was also determined. Neutralization degree significantly affected the distribution of magnesium, sulfur, iron, aluminum, silicon and nickel.*

Keywords: *serpentinite, sulfuric acid, ammonization, neutralization, filtrate, pH, magnesium, magnesium sulfate, precipitate*

Annotatsiya. *Serpentinitni sulfat kislota bilan parchalashdan keyin hosil bo‘lgan filtratni ammoniylash jarayoni tadqiq qilindi. Ammiak kiritish davomiyligining tizim pH qiymati hamda suyuq va qattiq fazalar nisbatiga ta’siri aniqlandi. Ammoniylash vaqtining 13,2 dan 60,9 sekundgacha oshishi pH qiymatining 2,1 dan 8,3 gacha ko‘tarilishi va cho‘kma massasining o‘zgarishiga olib kelishi aniqlandi. Fazalar ajratilgandan so‘ng 35–40 °C haroratda bug‘latish orqali olingan mahsulot massasining pH ga bog‘liqligi o‘rganildi. Eng yuqori mahsulot massasi pH 3,0 da 9,30 g ni tashkil etdi. Shuningdek, 67,5 va 75 °C haroratlarda 30 minut davomida sulfat kislota bilan parchalashdan keyin olingan neytrallash mahsulotlarining kimyoviy tarkibi o‘rganildi.*

Kalit so‘zlar: *serpentinit, sulfat kislota, ammoniylash, neytrallash, filtrat, pH, magniy, magniy sulfat, cho‘kma*

Введение

Серпентинит относится к природным магнийсодержащим силикатным материалам, представляющим интерес в качестве сырья для получения соединений магния. Эффективность гидрометаллургической переработки серпентинита определяется условиями кислотного разложения, степенью перехода магния в раствор и последующим разделением целевого компонента и сопутствующих примесей [1–4].

Серная кислота обеспечивает перевод значительной части магния из силикатной матрицы в раствор. После кислотного разложения важной стадией становится нейтрализация полученного раствора, поскольку изменение pH определяет растворимость и распределение компонентов между жидкой и твёрдой фазами. Ранее авторами настоящей работы исследовались химический и минеральный состав серпентинита Каракалпакского месторождения, его термическая обработка и извлечение магнийсодержащих соединений [5–8].

Целью настоящей работы являлось исследование аммонизации фильтрата после сернокислотного разложения серпентинита, установление влияния продолжительности введения аммиака и конечного pH на разделение фаз, а также определение изменения химического состава продуктов при различной степени нейтрализации.

Объект и методы исследования

Объектом исследования являлся фильтрат, полученный после сернокислотного разложения серпентинита. В каждом опыте использовали 100 г исходного материала. Соотношение «вещество:вода» составляло 7:3. Аммонизацию проводили постепенным введением аммиака с контролем конечного значения pH. Продолжительность аммонизации изменяли от 13,2 до 60,9 с. После завершения процесса жидкую и твёрдую фазы разделяли центрифугированием в течение 90 мин. Определяли массу жидкой фазы и образовавшегося осадка.

Для дополнительной оценки влияния pH жидкую фазу выпаривали при температуре 35–40 °C и определяли массу полученного продукта. Химический состав продуктов нейтрализации исследовали для образцов, полученных после сернокислотного разложения серпентинита при 67,5 и 75 °C в течение 30 мин. Анализ элементного состава проводили методом флуоресцентной спектрометрии.

Результаты и их обсуждение

Таблица 1

Результаты исследования процесса аммонизации фильтрата

№	Время, с	Масса, г	pH	Вещество:вода	Центрифугирование, мин	Жидкость, г	Осадок, г
1	13.2	100	2.1	7:3	90	61.12	39.9
2	18.1		3.0			56.66	42.34
3	25.6		5.9			43.45	50.84
4	40.6		7.9			40.0	52.18
5	50.2		8.1			36.35	55.37
6	60.9		8.3			38.06	52.91

Из таблицы 1 следует, что увеличение продолжительности аммонизации сопровождается повышением pH среды: от 2,1 при 13,2 с до 8,3 при 60,9 с. Одновременно изменяется распределение материала между жидкой и твёрдой фазами. Масса жидкой фазы уменьшается с 61,12 до 36,35 г при повышении pH до 8,1, тогда как масса осадка увеличивается с 39,90 до 55,37 г.

При дальнейшем увеличении pH до 8,3 масса жидкой фазы несколько возрастает до 38,06 г, а масса осадка уменьшается до 52,91 г. Следовательно, зависимость выхода твёрдой фазы от pH не является строго монотонной, что может быть связано с изменением растворимости компонентов и составом образующихся соединений.

Таблица 2

Масса продукта после выпаривания жидкой фазы при 35–40 °C

pH	**2,1**	**3,0**	**5,9**	**7,9**	**8,1**	**8,3**
Масса продукта после выпаривания, г	6.25	9.3	6.47	7.1	5.7	6.16

Максимальная масса продукта после выпаривания составила 9,30 г при pH 3,0. При дальнейшем повышении pH масса продукта снижалась и достигала 5,70 г при pH 8,1. При pH 8,3 отмечено небольшое увеличение до 6,16 г. Таким образом, увеличение степени нейтрализации не приводит к пропорциональному увеличению выхода продукта после выпаривания.

Для определения влияния pH на состав продукта были исследованы образцы, полученные после сернокислотного разложения при 67,5 °C в течение 30 мин.

Таблица 3

Химический состав продуктов нейтрализации после разложения при 67,5 °C в течение 30 мин

Элемент, мас. %	**pH 4,03**	**pH 5,46**	**pH 6,7**	**pH 7,5**
Mg	6.49	7.41	7.51	6.49
S	23.2	26.9	27.3	23.8
Al	0.446	0.577	0.536	0.604
Si	0.985	1.35	1.28	1.99
Fe	0.594	0.899	0.644	1.08
Cr	0.0339	0.0522	0.0398	0.063
Ni	0.0745	0.0834	0.0852	0.0746

Максимальные содержания Mg и S — 7,51 и 27,3 мас. %, соответственно — наблюдались при pH 6,7. При повышении pH до 7,5 содержание Mg снизилось до 6,49 мас. %, а S — до 23,8 мас. %. Одновременно содержание Si и Fe увеличилось до 1,99 и 1,08 мас. %, соответственно.

Следовательно, для режима 67,5 °C повышение pH до 6,7 способствует накоплению Mg и S в продукте, тогда как дальнейшее увеличение pH сопровождается перераспределением сопутствующих компонентов. Полученная тенденция согласуется с ранее установленным влиянием условий переработки серпентинита на извлечение магнийсодержащих соединений [5–7].

Таблица 4

Химический состав продуктов нейтрализации после разложения при 75 °C в течение 30 мин

Элемент, мас. %	**pH 2,1**	**pH 5,9**	**pH 7,9**
Mg	5.54	8.23	4.44
S	15.4	20.6	13.5
Al	1.02	0.228	0.167
Si	0.286	0.0988	0.12
Fe	1.59	0.0214	0.0054
Cr	0.056	0.0015	0.0004
Mn	0.0244	0.0206	0.0019

Ni	0.0925	0.0575	0.0191
Zn	0.0466	0.0042	0.0006

Для режима 75 °C максимальные содержания Mg и S — 8,23 и 20,6 мас. % — получены при pH 5,9. При дальнейшем повышении pH до 7,9 содержание Mg снизилось до 4,44 мас. %, а S — до 13,5 мас. %. Особенно выраженное изменение наблюдалось для железа: его содержание уменьшилось с 1,59 мас. % при pH 2,1 до 0,0054 мас. % при pH 7,9.

Аналогичная тенденция отмечена для никеля: содержание Ni снизилось с 0,0925 до 0,0191 мас. %. Содержание Al уменьшилось с 1,02 до 0,167 мас. %. Таким образом, увеличение pH обеспечивает значительное снижение концентрации ряда сопутствующих компонентов в продукте при сохранении возможности накопления магния в определённом диапазоне pH.

В совокупности результаты показывают, что регулирование pH является одним из основных технологических факторов управления распределением Mg и примесей. Для исследованных условий диапазон pH 5,9–6,7 характеризуется наиболее высоким содержанием магния, тогда как дальнейшее повышение pH приводит к изменению состава продукта и снижению содержания ряда сопутствующих элементов.

Заключение

Исследован процесс аммонизации фильтрата после сернокислотного разложения серпентинита. Установлено, что увеличение продолжительности аммонизации от 13,2 до 60,9 с повышает pH от 2,1 до 8,3 и в целом способствует увеличению количества твёрдой фазы.

Максимальная масса продукта после выпаривания при 35–40 °C составила 9,30 г при pH 3,0. Следовательно, выход продукта после выпаривания зависит от степени нейтрализации и не изменяется пропорционально pH.

При 67,5 °C максимальные содержания Mg и S составили 7,51 и 27,3 мас. % при pH 6,7. При 75 °C максимальные содержания Mg и S — 8,23 и 20,6 мас. % — наблюдались при pH 5,9.

Повышение pH особенно эффективно для снижения содержания Fe и Ni в продуктах, полученных при 75 °C: содержание Fe уменьшилось с 1,59 до 0,0054 мас. %, а Ni — с 0,0925 до 0,0191 мас. %. Полученные результаты могут быть использованы при выборе условий нейтрализации фильтрата и последующего получения магнийсодержащих продуктов.

REFERENCES

1. Gualtieri A.F., Giacobbe C., Viti C. The dehydroxylation of serpentine group minerals // American Mineralogist. — 2012. — Vol. 97, No. 4. — P. 666–680. DOI: 10.2138/am.2012.3952.

2. Alizadehhesari K., Golding S.D., Bhatia S.K. Kinetics of the dehydroxylation of serpentine // Energy & Fuels. — 2012. — Vol. 26. — P. 783–790.

3. Fedoročková A., Hreus M., Raschman P., Sučik G. Dissolution of magnesium from calcined serpentinite in hydrochloric acid // Minerals Engineering. — 2012. — Vol. 32. — P. 1–4. DOI: 10.1016/j.mineng.2012.03.006.

4. Ghoorah M., Dlugogorski B.Z., Oskierski H.C., Kennedy E.M. Study of thermally conditioned and weak acid-treated serpentinites for mineralisation of carbon dioxide // Minerals Engineering. — 2014. — Vol. 59. — P. 17–30. DOI: 10.1016/j.mineng.2014.02.005.

5. Сапарова Г.Д., Джандуллаева М.С., Эркаев А.У., Кучаров Б.Х., Абдуримов А.С., Бауатдинов С. Исследование термического разложения серпентинита Каракалпакского месторождения // Вестник Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан. — Нукус, 2022. — № 2. — С. 74–78.

6. Сапарова Г.Д., Кучаров Б.Х., Джандуллаева М.С., Эркаев А.У., Хошимов А.А. Влияние термообработки на извлечение соединений магния из серпентинитов // Scientific-technical journal STJ FerPI. — 2023. — Т. 27, спец. вып. № 5. — С. 128–131.

7. Saparova G.D., Dzhandullaeva M., Erkaev A.U., Kucharov B.Kh. Studies of the Chemical and Mineral Composition of Serpentinite of the Karakalpak Deposit // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. — 2022. — Vol. 9, Issue 8. — P. 19666–19670.

8. Сапарова Г.Д., Кучаров Б.Х., Джандуллаева М.С., Абдуримов А.С., Эркаев А.У., Закиров Б.С., Бауатдинов С. Физико-химические исследования серпентинита Каракалпакского месторождения // Актуальные проблемы в области химии и химической технологии: сб. науч.-практ. конф. — Ташкент, 2021. — С. 90–92.

9. Saparova G.D., Zhandullaeva M., Erkayev A.U., Kucharov B.Kh., Bauatdinov S. Study of the process of isolation of magnesium compounds from serpentinite // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. — 2023. — No. 1–2.

10. Сапарова Г.Д., Джандуллаева М., Эркаев А.У., Кучаров Б.Х., Бауатдинов С., Закиров Б.С. Кислотная обработка серпентинитов Каракалпакского месторождения // Материалы Республиканской науч.-практ. конф. «Эффективность использования местных минералов при восстановлении деградированных почв». — Нукус, 2023.

11. Сапарова Г.Д., Кучаров Б.Х., Джандуллаева М.С., Эркаев А.У., Бауатдинов С. Obtaining magnesium nitrate from local raw materials // Материалы Республиканской науч.-практ. конф. «Эффективность использования местных минералов при восстановлении деградированных почв». — Нукус, 2023.

12. Liu W., Peng X., Liu W., Zhang N., Wang X. A cost-effective approach to recycle serpentine tailings: Destruction of stable layered structure and solvent displacement crystallization // International Journal of Mining Science and Technology. — 2022. — Vol. 32, No. 3. — P. 595–603.

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

MAHALLIY GIL-UGLERODLI KOMPOZITSION ADSORBENTLAR YORDAMIDA PAXTA VA KUNGABOQAR MOYLARINI ADSORBSIYALAB OQLASHNI JADALLASHTIRISH

Sadullayeva Maftuna Shavkat qizi
Abu Rayhon Beruniy nomidagi Urganch Davlat Universiteti, katta o'qituvchi, t.f.f.d., (PhD). E-mail: smaftuna0999@gmail.com

ОПТИМИЗАЦИЯ АДСОРБЦИОННОГО ОТБЕЛИВАНИЯ ХЛОПКОВОГО И ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЕЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕСТНЫХ ГЛИНИСТО-УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ АДСОРБЕНТОВ

INTENSIFICATION OF ADSORPTIVE BLEACHING OF COTTONSEED AND SUNFLOWER OILS USING LOCAL CLAY-CARBON COMPOSITE ADSORBENTS

Annotatsiya. *Ushbu tadqiqot ishida mahalliy Krantau bentonit gili hamda sanoat chiqindisi bo'lgan gilos danagidan olingan uglerodli adsorbentlar asosida kompozitsiyalar tayyorlash va ularni o'simlik moylarini (paxta va kungaboqar) adsorbtsion oqlashda qo'llash texnologiyasi takomillashtirildi. Bentonitni 15% HCl va 15% H_2SO_4 bilan kislotali faollashtirish jarayoni o'rganilib, HCl bilan ishlov berilganda eruvchan $CaCl_2$ hosil bo'lishi hisobiga solishtirma sirt yuzasi (S_{BET}) 40,27 m^2/g dan 101,6 m^2/g gacha, mezo-g'ovaklar hajmi esa 0,25 sm^3/g gacha rivojlanishi aniqlandi. Faollashtirilgan Krantau bentoniti va uglerodli adsorbentning 75:25 (BUA-2) nisbatdagi kompozitsiyasi paxta moyini rang beruvchi moddalardan selektiv ravishda yuqori darajada (gossipol bo'yicha 1,952, xlorofill bo'yicha 1,504) tozalashi va import qilinadigan «Pokiston» adsorbentidan ko'rsatkichlari ustun ekanligi tasdiqlandi. Iqtisodiy hisob-kitoblar taklif etilayotgan kompozitsiyaning tannarxi import adsorbentiga nisbatan 2 barobar arzon ekanligini ko'rsatdi.*

Kalit so'zlar: *Krantau bentoniti, gilos danagi, kislotali faollashtirish, uglerodli adsorbent, adsorbsion oqlash, paxta moyi, kungaboqar moyi, gossipol, xlorofill, kompozitsiya.*

Аннотация. *В данной исследовательской работе усовершенствована технология адсорбционного отбеливания растительных масел (хлопкового и подсолнечного) с использованием композиций на основе активированной бентонитовой глины месторождения Крантау и углеродного адсорбента, полученного из отходов пищевой промышленности (косточек черешни). Изучена кислотная активация бентонита с использованием 15% HCl и 15% H_2SO_4; установлено, что обработка соляной кислотой за счет удаления кальцита в виде растворимого $CaCl_2$ увеличивает удельную поверхность (S_BET) с 40,27 м²/г до 101,6 м²/г, а объем мезопор до 0,25 см³/г. Показано, что композиция активированного бентонита и углеродного адсорбента в соотношении 75:25 (БУА-2) селективно и глубоко очищает хлопковое масло от красящих веществ (по госсиполу 1,952, по хлорофиллу 1,504), превосходя импортный пакистанский бентонит. Экономическая оценка показала, что стоимость композиции БУА-2 более чем в 2 раза ниже импортных аналогов, обеспечивая импортозамещение на отечественных масложировых предприятиях.*

Ключевые слова: *бентонит Крантау, косточки черешни, активация, углеродный адсорбент, кинетика сорбции, подсолнечное масло, хлопковое масло, госсипол, хлорофилл, отбеливание, композиция.*

Abstract. *In this study, the technology of adsorption bleaching of vegetable oils (cottonseed and sunflower oils) was improved using composites based on activated Krantau bentonite clay and carbonaceous adsorbents derived from agricultural food waste (cherry stones). The acid activation of bentonite with 15% HCl and 15% H_2SO_4 was evaluated; HCl treatment effectively dissolved calcite impurities into soluble $CaCl_2$, thereby enhancing the specific surface area (S_{BET}) from 40.27*

m²/g to 101.6 m²/g and mesopore volume to 0.25 cm³/g. The composite adsorbent consisting of activated Krantau bentonite and carbon adsorbent in a 75:25 ratio (BUA-2) demonstrated superior selective removal of pigments from cottonseed oil (1.952 for gossypol derivatives, 1.504 for chlorophyll derivatives), outperforming the imported commercial Pakistan bentonite. Economic calculations confirmed that the proposed composite is more than two times cheaper than imported bleaching earth, serving as an effective domestic import-substituting solution.

Keywords: *Krantau bentonite, cherry stones, acid activation, carbon adsorbent, sorption kinetics, sunflower oil, cottonseed oil, gossypol, chlorophyll, bleaching, composite.*

KIRISH

Dunyo miqyosida oziq-ovqat xavfsizligini ta’minlash, ekologik toza, biologik qiymati yuqori mahsulotlar ishlab chiqarish va ularning tannarxini pasaytirish muhim ustuvor vazifalardan hisoblanadi. So‘nggi yillarda inson salomatligiga salbiy ta’sir etuvchi turli allergik, onkologik hamda yurak-qon tomir kasalliklarining oldini olishda kundalik ozuqa ratsionining asosiy bo‘g‘ini bo‘lgan o‘simlik moylarining xavfsizligi va tozalanish chuqurligi hal qiluvchi ahamiyat kasb etmoqda. O‘simlik moylarini qayta ishlash bosqichlari ichida adsorbtsion oqlash jarayoni moyning ozuqaviy xavfsizligini, rang ko‘rsatkichlarini, oksidlanishga barqarorligini hamda organoleptik xususiyatlarini belgilab beruvchi asosiy texnologik bo‘g‘indir.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023-yil 11-sentabrdagi «O‘zbekiston-2030» strategiyasi to‘g‘risidagi PF-158-son, 2022-yil 28-yanvardagi «2022-2026 yillarga mo‘ljallangan Yangi O‘zbekistonning taraqqiyot strategiyasi to‘g‘risida»gi PF-60-son, 2023-yil 12-oktabrdagi «Sanoat va uning bazaviy tarmoqlarini jadal rivojlantirish bo‘yicha qo‘shimcha chora-tadbirlari to‘g‘risida»gi PF-169-son Farmonlari hamda 2019-yil 4-oktabrdagi «2019-2030 yillar davrida O‘zbekiston Respublikasining «Yashil» iqtisodiyotga o‘tish strategiyasini tasdiqlash to‘g‘risida»gi PQ-4477-son Qarorida mahalliy xomashyolarni chuqur qayta ishlash orqali sanoat korxonalarini modernizatsiya qilish, import o‘rnini bosuvchi raqobatbardosh mahsulotlar ishlab chiqarishni jadal rivojlantirish vazifalari belgilab berilgan.

Bugungi kunda Respublikamiz yog‘-moy korxonalarida o‘simlik moylarini adsorbtsion tozalashda asosan chet ellardan (jumladan, Pokistondan) valyuta hisobiga keltiriladigan qimmatbaho adsorbentlardan keng foydalanilmoqda. Mamlakatimizda keng zaxiralarga ega bentonit konlari mavjud bo‘lishiga qaramay, ularni oziq-ovqat sanoati talablariga mos ravishda chuqur kimyoviy faollashtirish va selektiv xususiyatga ega gil-ko‘mir kompozitsiyalarini olish texnologiyasi sanoat darajasida to‘liq yo‘lga qo‘yilmagan. Ushbu muammoni bartaraf etish maqsadida mahalliy Krantau bentoniti va sanoat chiqindisi hisoblangan gilos danaklaridan faollashtirilgan adsorbentlar olish hamda ularning kompozitsiyalari yordamida o‘simlik moylarini oqlash texnologiyasini takomillashtirish muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga egadir.

TADQIQOT OBYEKTI VA USULLARI

Tadqiqot obyektlari: Qoraqalpog‘iston Respublikasida joylashgan Krantau konining tabiiy bentonit gili, oziq-ovqat sanoati chiqindisi bo‘lgan gilos danaklaridan termo-kimyoviy faollashtirish (KOH) orqali olingan uglerodli adsorbent (UA-1), rafinatsiya qilinmagan kungaboqar moyi, ekstraksion paxta moyi hamda qiyosiy tahlil uchun korxonalarda keng qo‘llaniladigan «Pokiston» faollashtirilgan gil adsorbenti tadqiqot ob’ekti sifatida tanlab olindi.

Tadqiqot usullari:

Rentgenofazaviy tahlil (RFT): Dastlabki va faollashtirilgan bentonitlarning mineralogik fazalari hamda kristall tuzilishi CuKα-nurlanishli difraktometrda tahlil qilindi.

Infraqizil (IQ) spektroskopiyasi: Minerallar sirtidagi funksional guruhlar va kristall panjara tebranishlari 400–4000 sm^{-1} to‘lqin uzunligi diapazonida IQ- spektrometrida tekshirildi.

Skanerlovchi elektron mikroskopiyasi (SEM): Namunalar morfologiyasi va sirt dispersligi 20 kV tezlatuvchi kuchlanishda SEM yordamida kuzatildi.

Tekstura tahlili (past haroratli azot adsorbtsiyasi): Adsorbentlarning solishtirma sirt yuzasi (S_{BET}) BET usulida, mikrog‘ovaklar (V_a) va mezog‘ovaklar (V_b) hajmlari IUPAC tasnifiga muvofiq azot adsorbtsiya-desorbtsiya izotermalari yordamida baholandi.

Moy ko‘rsatkichlari tahlili: Moy rangi Lovibond kolorimetrida (35 sariq birlik asosida qizil va ko‘k rang birliklarida), kislota va peroksid sonlari davlat standartlari talablari bo‘yicha titrimetrik usulda aniqlandi. Rang beruvchi pigmentlar — gossipol, β-karotin va xlorofill miqdori spektrofotometrik usullarda o‘rganildi.

NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI

Krantau bentoniti tabiiy holatda asosan montmorillonit, kaltsit, kvars, dala shpati va illit minerallaridan tashkil topgan. Kimyoviy tarkib tahlili (1-jadval) uning kaltsiyli (Ca-formali) bentonitlar guruhiga mansubligini va CaO miqdori 21,25% ni tashkil etishini ko‘rsatdi.

1-jadval. Dastlabki va faollashtirilgan bentonit namunalarining kimyoviy tarkibi (mas.%) |

Namuna №	Oksid tarkibi, mas.%										K.y. %
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	P_2O_5	Na_2O	K_2O	SO_3	
Tabiiy bent.	39.24	7.45	3.37	0.32	21.25	2.22	0.19	0.93	2.25	0.10	22.04
15 % HCl bent.	65.90	11.46	4.94	0.51	1.75	2.52	0.08	0.20	2.00	0.10	9.75
15 % H_2SO_4 bent.	56.88	10.68	4.40	0.47	7.36	2.77	0.13	1.00	1.50	1.12	13.07

Bentonitni faollashtirish jarayonida 5, 10 va 15% li HCl hamda H_2SO_4 eritmalari sinovdan o‘tkazildi. IQ spektroskopiya tahlillari shuni ko‘rsatdiki, dastlabki namunada 1416 sm^{-1} sohasida kuzatilgan kaltsit mineralining tebranish chiziqlari HCl bilan ishlov berilganda vaqt va konsentratsiya ortishi bilan intensiv ravishda keskin kamayadi. 10–15% HCl ta’sirida kaltsit quyidagi reaksiya asosida to‘liq erib, suv bilan yuvilib ketadi:

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl + CO_2 \uparrow + H_2O$$

Buning natijasida namunadagi CaO miqdori 21,25% dan 1,75% gacha kamaydi, SiO_2 miqdori esa 65,90% gacha oshdi. Aksincha, H_2SO_4 bilan ishlov berilganda erimaydigan gips ($CaSO_4$) hosil bo‘lib, mineral yuzasida qolib ketadi va CaO miqdori 7,36% dan pastga tushmaydi. Bu rentgenofazaviy tahlillarda 0,759 va 0,190 nm chiziqlarida gips fazasi paydo bo‘lishi bilan tasdiqlandi.

2-jadval. Bentonit namunalarining teksturaviy xususiyatlari (past haroratli azot adsorbtsiyasi bo‘yicha)

Namunalar	S_{BET}, $м^2/г$	V_a, $см^3/г$	V_b, $см^3/г$	$V_Σ$, $см^3/г$	*R*, Å
Tabiiy bentonit	40.27	0.0099	0.10	9.21	57.53
15% li H_2SO_4 kislota bilan faollantirilgan bentonit	64.22	0.011	0.20	9.082	61.39
15% ли HCl kislota bilan faollantirilgan bentonit	101.6	0.043	0.25	9.043	54.59

2-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, 15% li HCl kislotasi bilan faollashtirilgan bentonitning solishtirma sirt yuzasi tabiiy namunaga nisbatan 2,5 barobar ortib, 101,6 m^2/g ga yetdi. Mezog‘ovaklar hajmi esa 0,10 dan 0,25 sm^3/g ga ko‘tarildi. Bu moy molekulalari va katta o‘lchamli pigment komplekslarining adsorbent g‘ovaklari ichiga erkin kirishini ta’minlaydi.

Olingan adsorbentlarning kungaboqar moyini oqlashdagi faolligi o‘rganilganda, 15% HCl bilan faollashtirilgan bentonit qizil rang birligini 1,7 dan 0,7 gacha, kislota sonini esa 1,2 dan 0,4 mg KOH/g gacha tushirishi aniqlandi. Xlorofill va β-karotin sorbtsiyasi kinetikasi 70°C haroratda eng yuqori samaradorlikka (β-karotin 95%, xlorofill 87%) erishishi, 80°C dan keyin esa sorbtsiya muvozanati deyarli o‘zgarmasligi yoki biroz pasayishi qayd etildi. Adsorbentning maqbul sarfi moy massasiga nisbatan 0,9–1,0% ni tashkil etdi.

Paxta moyini adsorbsion oqlashda faollashtirilgan Krantau bentoniti va gilos danagidan olingan uglerodli adsorbentning turli nisbatdagi kompozitsiyalari sinab ko‘rildi (3-jadval).

3-jadval. Gil va uglerodli adsorbent kompozitsiyalari yordamida paxta moyini tozalash ko‘rsatkichlari

Bentonit	Moy ko‘rsatkichlari				
	Moy rangi			Kislota soni, mg KOH/g	Moy sig‘imi, %
	Qizil birlik	Sariq birlik	Ko‘k birlik		
Tabiiy bentonit	1.4	4.2	0.4	1.1	35
Bent. 15 % HCl (AA HCl)	0.7	2.4	0.1	0.4	48
Bent. 15 % H_2SO_4(AA H_2SO_4)	0.9	2.1	0.4	0.6	51

3-jadval natijalari shuni ko‘rsatadiki, gil va uglerodli adsorbentlar alohida qo‘llanganda moy tarkibidagi pigmentlarni bir vaqtning o‘zida to‘liq ushlay olmaydi. Bentonit asosan gossipol va karotinoidlarni yaxshi adsorbtsiya qilsa, uglerodli adsorbent xlorofill, feofitin va uglevodorod qoldiqlarini selektiv yutish xususiyatiga ega. Ularning 75:25 nisbatidagi aralashmasi (BUA-2) sinergetik samara berib, eng yuqori tozalash darajasini ta’minladi.

4-jadval. Ekstraksion paxta moyini adsorbtsion oqlashdan keyingi sifat ko‘rsatkichlari

Ekstraksion paxta moyi ko‘rsatkichlari	Pokiston bentoniti (nazorat)	BUA-2	BUA-3
35 sariq birlikdagi rangi:			
-qizil birlik	8,8	7,2	7,5
-ko‘k birlik	2,2	1,4	1,6
Perekis soni, mg-ekv O_2/kg	2,35	1,75	1,84
Kislota soni, mg KOH/g	2,98	2,65	2,71
Uglevodorod qoldiqlari, %	0,031	0,007	0,009

Ekstraksion paxta moyini tozalashda tavsiya etilgan BUA-2 kompozitsiyasi import «Pokiston» adsorbenti bilan qiyoslanganda (4-jadval), moyning qizil rang birligi 8,8 dan 7,2 ga, ko‘k birligi 2,2 dan 1,4 gacha, peroksid soni 2,35 dan 1,75 mg-ekv O_2/kg gacha tushganligi kuzatildi. Shuningdek, moy tarkibidagi qoldiq uglevodorodlar miqdori 4 barobarga (0,031% dan 0,007% gacha) qisqardi.

Iqtisodiy hisob-kitoblar bo‘yicha, 1 kg tayyor faollashtirilgan bentonitning tannarxi 17 304 so‘mni, BUA-2 kompozitsiyasining 1 kg narxi esa 18 353 so‘mni tashkil etadi. Hozirda ishlab chiqarishda qo‘llanilayotgan 1 kg Pokiston adsorbenti (40 000 so‘m/kg) bilan taqqoslanganda, taklif etilgan kompozitsiya 2 barobardan ziyod arzon bo‘lib, korxona xarajatlarini sezilarli qisqartirish imkonini beradi.

XULOSA

Mahalliy Krantau bentonitining mineralogik va kimyoviy tarkibi tadqiq etilib, uni 15% li HCl eritmasi bilan 2 soat davomida faollashtirish oqlovchi adsorbentlar olishda eng maqbul sharoit ekanligi isbotlandi. Kislotali ishlov berish hisobiga adsorbentning solishtirma yuzasi 40,27 m^2/g dan 101,6 m^2/g gacha, mezog‘ovaklar hajmi esa 0,25 sm^3/g gacha rivojlandi.

O‘simlik moylarini adsorbtsion oqlashda harorat 70°C, aralashtirish tezligi 130–150 ayl/min hamda adsorbent miqdori 0,9–1,0% bo‘lganda pigmentlar maksimal darajada sorbtsiyalanishi aniqlandi.

Faollashtirilgan Krantau bentoniti va gilos danagidan olingan uglerodli adsorbentning 75:25 nisbatdagi BUA-2 kompozitsiyasi paxta moyini gossipol, karotinoid, xlorofill hamda qoldiq uglevodorodlardan tozalash bo‘yicha import «Pokiston» adsorbentidan ustun natija ko‘rsatdi.

BUA-2 kompozitsiyasining tannarxi import muqobillariga nisbatan 2 barobar arzon bo‘lib, mahalliy yog‘-moy sanoati korxonalarida import o‘rnini to‘liq bosish, mahsulot sifatini yaxshilash va tannarxini arzonlashtirish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

13. Алванян, К.А. Закономерности изменения гранулометрического состава бентонитовой глины Зырянского месторождения, активированной давлением//К.А. Алванян, А.В. Андрианов, Ю.Н. Селезнева // Вестник Пермского университета. – Пермь. – 2020. – Т. 19. – № 4. – С. 380–387.

14. Анюхина, А.В. Изменение содержания воды в глинах при высоких давлениях / А.В. Анюхина, М.В. Федоров // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – Пермь, 2017. – С. 100–101.

15. Гальперина, М.К. Глины для производства керамических изделий / М.К. Гальперина, В.Ф. Павлов. – М.: ВНИИЭСМ, 1971. – 259 с.

16. Везенцев, А.И. Монтмориллонитовые глины как потенциальный сорбент патогенных веществ и микроорганизмов // А.И. Везенцев, М.А. Трубицын, Е.В. Кормош // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2012. – Т. 12. – № 6. –С. 998–1004.

17. Влияние обменных катионов на гидросорбционные свойства минералов /А.С. Манучаров, Н.И. Черноморченко, Л.О. Карпачевский, Т.А. Зубкова //Почвоведение. – 2004. – № 9. – С. 1126–1133.

18. Влияние термического модифицирования на адсорбционные свойства природных силикатов. / Л.И. Бельчинская, А.В. Бондаренко, М.Л. Губкина [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2006. – Т.6. – Вып. 1. – С. 80–88.

19. Влияние термической обработки глин на их адсорбцию по красителю метиленовый голубой / А.В. Анюхина, В.В. Середин, А.В. Андрианов, Т.Ю. Хлуденева // Недропользование. – 2021. – Т. 21. – № 2. – С. 52–57.

20. Долгов, С.И. О связанной и капиллярной воде в почве / С.И. Долгов // Почвоведение. 1943. – № 9–10. – С. 24–28.

21. Злочевская, Р.И. Связанная вода в глинистых грунтах / Р.И. Злочевская // М.: Изд-во Моск-го гос. ун-та, 1969. – 175 с.

22. Кормош, Е.В. Химико-минералогические аспекты возможности использования глин Белгородской области в разработке сорбентов для очистки сточных вод / Е.В. Кормош, Т.М. Алябьева, А.Г. Погорелова // Фундаментальные исследования. – 2011. – № 8. – С. 131–136.

23. О природе изменения состава и свойств глинистых пород в процессе литогенеза / З.А. Кривошеева, Р.И. Злочевская, В.А. Королев, Е.М. Сергеев // Вестник Моск. ун-та. Серия: Геология. – 1977. – № 4. – С. 60–73.

24. Осипов, В.И. Микроструктура глинистых пород / В.И. Осипов, В.Н. Соколов, Н.А. Румянцева. – М.: Недра, 1989. – 211 с.

УДК 575.23:576.85:632.931

Фарғона вилояти табиий шароитида *Bacillus thuringiensis* энтомопатоген бактериясининг скрининги

***Хўжамшукуров Н.А.*[1], *Хақназарова М.Ш.*[2], *Хамроева Н.Ф.*[3]**
[1]*Тошкент кимё-технология институти, Интеграл Университети (Ҳиндистон);*
[2]*Қарши давлат техника университети,* [3]*Жиззах шаҳар 19-сонли умумий ўрта таълим мактаби.* nkhujamshukurov@mail.ru

Аннотация *Мазкур мақолада Ўзбекистоннинг Фарғона вилояти шароитида Bacillus thuringiensis энтомопатоген бактерияси скрининги тўғрисида тадқиқот натижалари берилган. Жумладан, Фарғона вилояти, Фарғона тумани шароитида Bacillus thuringiensis бактериясининг зараркунанда ҳашаротларда, жумладан, кузги тунламнинг 296 та намунасида ўртача 29,0%, кўсак қуртининг 240 та намунасида ўртача 35,0%, колорадо қўнғизининг 228 та намунасида эса ўртача 20,1% миқдорида учраганлиги аниқланган. Шу ҳуддудда жойлашган пахта майдонларидан йиғилган 180 та тупроқ намуналарида эса 35,5%, картошка майдонларида эса 25,8% миқдорида Bacillus thuringiensis бактерияси штаммлари учраганлиги аниқланган. Шунингдек, мазкур ҳудудлардан кузги тунлам зараркунанда ҳашаротида Bacillus thuringiensis бактериясининг galleriae вариациясининг учраши кўсак қуртига нисбатан 4,43% га кўплиги, колорадо қўнғизида штаммларнинг вариация бўйича учраши юқорида келтирилган ҳашаротлардан кескин фарқ қилиши, ҳамда, ўхшаш томонлари борлиги кузатилди. Жумладан, Bacillus thuringiensis бактериясининг thuringiensis 19,56%, kurstaki 23,9%, dendrolimus 13,04% учраган бўлса, galleriae вариацияси 6,52% учраши аниқланган бўлса, finitimus вариацияси учрамаганлиги, tolworthi ва entomocidus вариациялари 2,17% дан, kenyae, sotto ва aizawae вариациялари эса 4,34% дан учраши қайд этилган.*

Калит сўзлар*: энтомопатоген бактерия, Bacillus thuringiensis, кузги тунлам, кўсак қурти, колорадо қўнғизи, galleriae, thuringiensis, kurstaki, dendrolimus, finitimus, tolworthi, entomocidus, kenyae, sotto, aizawae.*

Скрининг энтомопатогенной бактерии *Bacillus thuringiensis* в природных условиях Ферганской области

***Хужамшукуров Н.А.*[1], *Хакназарова М.Ш.*[2], *Хамроева Н.Ф.*[3]**
[1]*Ташкентский химико-технологический институт, Университет Интеграл (Индия);*
[2]*Каршинский государственный технический университет*[2], *Общеобразовательная средняя школа № 19 города Джизака, Узбекистан.*

Аннотация *В данной статье представлены результаты исследований по скринингу энтомопатогенной бактерии Bacillus thuringiensis в условиях Ферганской области Узбекистана. В частности, в Ферганском районе Ферганской области определена встречаемость бактерии Bacillus thuringiensis в популяциях насекомых-вредителей: в 296 образцах озимой совки (Agrotis segetum) она составила в среднем 29,0%, в 240 образцах хлопковой совки (Helicoverpa armigera) — 35,0%, а в 228 образцах колорадского жука (Leptinotarsa decemlineata) — 20,1%. Кроме того, штаммы Bacillus thuringiensis были выявлены в 35,5% из 180 образцов почвы, отобранных на хлопковых полях указанной территории, и в 25,8% образцов почвы, отобранных на картофельных полях. Установлено, что встречаемость серовара galleriae бактерии Bacillus thuringiensis у озимой совки была на 4,43% выше, чем у хлопковой совки. При этом вариационный профиль штаммов,*

выделенных из колорадского жука, характеризовался как существенными отличиями, так и определённым сходством с профилями штаммов, выделенных из вышеупомянутых чешуекрылых вредителей. В частности, частота встречаемости различных сероваров Bacillus thuringiensis составила: var. thuringiensis — 19,56%, var. kurstaki — 23,9%, var. dendrolimus — 13,04%, тогда как var. galleriae была выявлена в 6,52% случаев. var. finitimus обнаружена не была; доля var. tolworthi и var. entomocidus составила по 2,17%, а var. kenyae, var. sotto и var. aizawae — по 4,34% каждая.

Ключевые слова: *энтомопатогенные бактерии, Bacillus thuringiensis, озимая совка, хлопковая совка, колорадский жук, galleriae, thuringiensis, kurstaki, dendrolimus, finitimus, tolworthi, entomocidus, kenyae, sotto, aizawae.*

Screening of the Entomopathogenic Bacterium Bacillus thuringiensis under Natural Conditions of the Fergana Region

Khujamshukurov N.A.[1], Khaknazarova M.Sh.[2], Khamroeva N.F.[3]
[1]Tashkent Institute of Chemical Technology; Integral University (India); [2]Karshi State Technical University, [3]econdary School No. 19, Jizzakh City, Uzbekistan.
nkhujamshukurov@mail.ru

Abstract *This article presents the results of a study on the screening of the entomopathogenic bacterium Bacillus thuringiensis under the ecological conditions of the Fergana Region, Uzbekistan. Specifically, the occurrence of B. thuringiensis in populations of major insect pests was investigated in the Fergana District of the Fergana Region. The bacterium was detected in 29.0% of 296 samples of the turnip moth (Agrotis segetum), 35.0% of 240 samples of the cotton bollworm (Helicoverpa armigera), and 20.1% of 228 samples of the Colorado potato beetle (Leptinotarsa decemlineata). Furthermore, B. thuringiensis strains were detected in 35.5% of 180 soil samples collected from cotton fields and in 25.8% of soil samples collected from potato fields in the same area. The occurrence of B. thuringiensis var. galleriae in the turnip moth was 4.43% higher than that observed in the cotton bollworm. The distribution profile of B. thuringiensis varieties isolated from the Colorado potato beetle showed both marked differences and certain similarities compared with those isolated from the aforementioned lepidopteran pests. In particular, the frequencies of occurrence of the different B. thuringiensis varieties were as follows: var. thuringiensis, 19.56%; var. kurstaki, 23.90%; var. dendrolimus, 13.04%; and var. galleriae, 6.52%. Var. finitimus was not detected, whereas var. tolworthi and var. entomocidus each accounted for 2.17%, and var. kenyae, var. sotto, and var. aizawae each accounted for 4.34%.*

Keywords: *entomopathogenic bacteria, Bacillus thuringiensis, turnip moth, Agrotis segetum, cotton bollworm, Helicoverpa armigera, Colorado potato beetle, Leptinotarsa decemlineata, galleriae, thuringiensis, kurstaki, dendrolimus, finitimus, tolworthi, entomocidus, kenyae, sotto, aizawae.*

Кириш. БМТ берган статитик маълумотларига кўра ер юзида инсонлар сони кундан кунга ошиб бормоқда. Жумладан, 2050 йилгача йилига 2,4 фоиздан, 2050 йилдан 2100 йилгача 0,7 фоиздан инсонлар сони ошиб бориши кузатилади. Дунё бўйича инсонлар сони биргина 2011 йилда 510 млн. кишига кўпайиб 6,7 млрд. кишини ташкил этган бўлса, ушбу сон 2050 йилга бориб, 1,6 млрд. га 2100 йилда эса 2,4 млрд. кишига ошиши, натижада 2100 йилда инсонлар сони 10,12 млрд. кишига етиши башарот қилинмоқда [1].

Бу эса ер шари аҳолисининг қишлоқ хўжалик маҳсулотларга талабнинг, бир неча юз баробарга ошишини кўрсатади. Айниқса, кундан кунга экологик тоза маҳсулотларга бўлган талабнинг ошиб бориши, қишлоқ хўжалик маҳсулотларини етиштириш давомида кимёвий препаратларнинг миқдорини камайтириш ва унинг ўрнига экологик тоза биологик усулларда олинадиган препаратларни қўллашни талаб қилмоқда [2-5].

Маълумки, қишлоқ хўжалик экинларини зараркунанда ҳашаротлардан ҳимоя қилишда фойдаланишда асосан кимёвий препаратлардан фойдаланилади [3]. Аммо, кейинги йилларда энг долзарб муаммолардан бирига айланаётган экологик ҳолатнинг бузилиб бориши, тупроқ микрофлораси, унинг физик кимёвий таркиби, сув ҳавзаларининг ифлосланиши, булар оқибатида инсонлар ва иссиқ қонли ҳайвонлар организмида кескин салбий оқибатлар ҳосил бўлаётганлиги кимёвий препаратлардан фойдаланиш имкониятларини чегаралаб бормоқда [4]. Бу эса қишлоқ хўжалиги ўсимликлари зараркунанда ҳашаротлари ва касалликларига қарши курашишнинг муқобил усулларини ишлаб чиқиш ва амалиётда қўллаш каби вазифаларни қўйилмоқда. Худди шундай муқобил усуллардан бири микробиологик препаратлар асосида зараркунанда ҳашаротларга қарши кураш ҳисобланади [5].

Бу усулнинг кимёвий усулга нисбатан бир қанча афзалликлари мавжуд бўлиб, улардан қуйидагиларини келтириш мумкин: экологик тозалиги, тупроқда тўпланиб қолмаслиги, уларни тайёрлаш, сақлаш, ташиш ва қўллашнинг қулайлиги, иқтисодий самарадорлиги ва айниқса иссиқ қонли ҳайвонларги нисбатан зарарсизлиги олимлар эътиборини тортиб келмоқда [5]. *Bacillus thuringiensis* бактерия асосида тайёрланган биологик препаратларни қишлоқ хўжалик зараркунанда ва касалликларига қарши курашиш тизимида муваффақиятли қўллаш мумкин [5].

Шу боисдан ушбу тадқиқот ишида Ўзбекистон шароитида (Фарғона вилояти, Фарғона тумани мисолида) *Bacillus thuringiensis* энтомопатоген бактерияси изолятларини скринг қилиш юзасидан изланишлар олиб бориш мақсад қилиб қўйилди.

Фойдаланилган манба ва усуллар.

***Bacillus thuringiensis* энтомопатоген бактериясини ажратиш**. Умумқабул қилинган усулларга баъзи бир ўзгартиришлар киритган ҳолда фойдаланилди [6], ҳашаротларни стерилизациялаш учун умумқабул қилинган усулга [7] баъзи бир ўзгартиришлар киритилган ҳолда фойдаланилди. Ушбу модификация личинкалари жуда кичик бўлган, устки қисмини тозалашнинг имкони йўқ бўлган личинкалар учун қўлланилди. Кейинги ишлар уч босқичда амалга оширилди: дастлаб, 70% ли спиртда 2 секунд, натрий гипохлоратнинг 5% ли эритмасида 3 минут, натрий тиосульфатнинг 10% ли эритмасида 5 минут давомида ушлаб турилди. Сўнгра намуналар 3 маротобадан дистилланган сувда ювиб олинди. *B.thuringiensis* намуналарини ажратиш учун икки хил усулдан фойдаланилди. Ҳар иккаласида ҳам личинкалар асептик шароитда стерил ҳавончаларга солиб олинди. Сўнгра уларга 10 мл дан дистилланган сув солиб суюлтирилди. Биринчи усулда суспензия трубасимон пробиркага солиб олинди ва 65˚С ҳароратда 12 минутгача ушлаб турилди сўнгра 1×10^{-2} дан 1×10^{-4} гача суюлтирилиб агарли қаттиқ озуқа муҳитига экилди. Культуралар 24 соат давомида 28-32˚С ҳароартда ўстириб олинди.

Намуналарни идентификацияси. Бактерия культуралари агарли озуқа муҳитида ўстирилиб, NaCl нинг 0,7% эритмасида ювиб олинди ва микроскоп остида *B.thuringiensis* энтомопатоген бактериясига хос бўлган кристалл токсин ҳосил қилиши ўрганилди. Биокимёвий ва физиологик хусусиятлари эса Берги кўрсатмаларига асосан аниқланди [8], шунингдек, культураларнинг биокимёвий хусусиятлари *Bacillus thuringiensis* бактерияси турларини идинтификация қилиш схемасига мувофиқ ўрганилди [9].

Культураларни ўстириш ва сақлаш. Асосан пептонли стандарт озиқа муҳити [(%) Пептон-1,0; NaCl-0,05; K_2HPO_4-0,05; $MgSO_4$- 0,02; pH 7,0] дан фойдаланилди [10]. Текширишларни асосан МБИ-3 ёруғлик микроскопида олиб борилди (ЛОМО, Россия). Культураларни бўяшда фуксин бўёғидан фойдаланилди. Бактериал культуралар суюқ озиқа муҳитига экиб, 28-30^{0}С ҳароратда, 36-48 соат давомида микробиологик чайқатгич ёрдамида минутига 180-200 айланма ҳаракатда ўстирилди.

Олинган натижалар ва уларнинг мухокамаси.

Ўзбекистон шароитида табиий ҳолатда касаллик келтириб чиқарувчи штаммларни излаб топиш, уларни скрининг қилиш, морфо-физиологик ва биокимёвий хусусиятларини

ўрганган ҳолда, улар асосида ишлаб чиқариш шароитларини танлаш муҳим аҳамият касб этади деган хулосага келиш мумкин. Шу боис, мазкур тадқиқот ишимизда, Ўзбекистоннинг Фарғона вилояти шароити мисолида *Bacillus thuringiensis* бактериясининг, айнан, маълум турга мансуб ҳашаротлар ва майдонларда тарқалиш ареалини ўрганишни мақсад қилиб қўйдик.

Илмий тадқиқот ишларини амалга ошириш учун экспедициянинг намунавий харитаси (чизмаси) асосида тадқиқот манбалари йиғилди (1-жадвал). Ушбу намунавий тадқиқот харитаси асосида, объектлар йиғилиб, улардан *Bacillus thuringiensis* бактериясига хос бўлган спора-кристалл ҳосил қилишига кўра штаммлар ананавий усуллар асосида ажратилди.

1-жадвал

Тадқиқотлар экспедициясининг намунавий чизмаси

№	Танланган ҳудудлар	Тадқиқот асоси	Объектлар	Манбалар	Экспедиция вақти
1	Фарғона вилояти, Фарғона тумани	Мўътадил тупроқ шароити (шўрланмаган)	Ғўза майдонлари-даги тупроқ ва нобуд бўлган ҳашаротлар	Кузги тунлам, кўсак қурти	июль- август
			Картошка майдонларидаги тупроқ ва нобуд бўлган ҳашаротлар	Колорадо қўнғизи	май-июнь

Тадқиқотнинг ҳудудидан спора-кристалл ҳосил қилишига кўра ажратилган штаммлар ҳақидаги маълумотлар 2-жадвалда акс эттирилган.

2-жадвал

Фарғона вилояти, Фарғона туманида *Bacillus thuringiensis* бактериясининг учраши

№	Тадқиқот объектлари	Ўрганилган намуналар сони, дона	Ажратилган штаммлар сони, дона	*Bacillus thuringiensis* бактериясининг учраши, %
Ғўза майдонларида бактериал касалланиш белгиси билан нобуд бўлган ҳашаротлар (июл-август)				
Кузги тунлам (*Agrotis segetum* Den.et Schiff.)				
1	II-III-ёшли личинкалар	112	43	38,3
2	IV- V ёшли личинкалар	137	36	26,2
3	Ғумбак	47	7	14,8
Жами:		296	86	29,0
Кўсак қурти (*Heliothis armigera* Hb.)				
1	II-III-ёшли личинкалар	113	37	32,7
2	IV- V ёшли личинкалар	91	34	37,3
3	Ғумбак	36	13	36,0
Жами:		240	84	35,0
Пахта майдонларидан йиғилган тупроқ намуналари				
1	Тупроқ	180	64	35,5
Картошка майдонларида бактериал касалланиш белгиси билан нобуд бўлган ҳашаротлар (май, июнь)				
Колорадо қўнғизи (*Leptinotarsa decemlineata Say.*)				
1	II-III-ёшли личинкалар	78	19	24,3
2	III-IV-ёшли личинкалар	113	24	21,2
3	Қўнғиз	37	3	8,1
Жами:		228	46	20,1
Картошка майдонларидан йиғилган тупроқ намуналари				
1	Тупроқ	124	32	25,8

Олинган натижалардан кўриниб турибдики, Фарғона вилояти, Фарғона тумани шароитида *Bacillus thuringiensis* бактериясининг зараркунанда ҳашаротларда, жумладан, кузги тунламнинг 296 та намунасида ўртача 29,0%, кўсак қуртининг 240 та намунасида ўртача 35,0%, колорадо қўнғизининг 228 та намунасида эса ўртача 20,1% миқдорида учраганлиги қайд этилди. Пахта майдонларидан йиғилган 180 та тупроқ намуналарида эса 35,5%, картошка майдонларида эса 25,8% миқдорида *Bacillus thuringiensis* бактерияси штаммлари учраганлиги аниқланди.

Ажратилган *Bacillus thuringiensis* бактерияси штаммлари биокимёвий хусусиятларига асосан, вариациялар бўйича турлараро классификацияланди. Олинган натижалар 3-жадвалда акс эттирилган. Кузги тунламдан ажратилган *Bacillus thuringiensis* бактерияси вариацияларининг учраш даражаси бўйича бир-биридан кескин фарқ қилиши кузатилди.

3-жадвал

Фарғона вилояти, Фарғона туманидан ажратилган *Bacillus thuringiensis* бактериясининг турлар бўйича тарқалиши

Манбалар	*Bacillus thuringiensis* subsp. (дона, %)												Жами
	thuringiensis H-1	*kenyae* H-4a4c	*alesti* H-3a3b	*sotto* H-4a4b	*galleriae* H-5a5b	*tolworthi* H-9	*kurstaki* H-3a3b3c	*entomocidus* H-6	*finitimus* H-2	*aizawae* H-7	*dendrolimus*	Ноаниқ	
Кузги тунлам	13 (15,11)	7 (8,13)	4 (4,65)	2 (2,32)	12 (13,95)	7 (8,13)	8 (9,30)	6 (6,97)	4 (4,65)	3 (3,48)	13 (15,11)	7 (8,13)	86
Кўсак қурти	10 (11,90)	6 (7,14)	7 (8,33)	3 (3,57)	8 (9,52)	6 (7,14)	13 (15,47)	7 (8,33)	5 (5,95)	6 (7,14)	9 (10,7)	4 (4,76)	84
Ғўза майдони тупроғи	7 (10,9)	2 (3,12)	8 (12,5)	1 (1,56)	6 (9,37)	9 (14,06)	11 (17,18)	3 (4,68)	2 (3,12)	5 (7,81)	8 (12,5)	2 (3,12)	64
Колорадо қўнғизи	9 (19,56)	2 (4,34)	3 (6,52)	2 (4,34)	3 (6,52)	1 (2,17)	11 (23,9)	1 (2,17)	0	2 (4,34)	6 (13,04)	6 (13,04)	46
Картошка майдони тупроғи	4 (12,5)	2 (6,25)	0	1 (3,12)	5 (15,6)	3 (9,37)	7 (21,87)	0	2 (6,25)	0	4 (12,5)	4 (12,5)	32
Жами:	43 (13,78)	19 (6,08)	22 (7,05)	9 (2,88)	34 (10,89)	26 (8,33)	50 (16,02)	17 (5,44)	13 (4,16)	16 (5,12)	40 (12,8)	23 (7,37)	312 (100)

Жумладан, ажратилган штаммлар орасида *thuringiensis* вариацияси 15,11%, *galleriae* 13,95%, *kurstaki* 9,30%, *dendrolimus* 15,11% ни ташкил этганлиги қайд этилди. Кўсак қуртида эса *thuringiensis* -11,90%, *galleriae* -9,52%, *kurstaki* - 15,47%, *dendrolimus* 10,7% ни ташкил этиши кузатилди. Ҳар иккала ҳашаротларда вариацияларнинг учраш даражаси қиёсий таҳлил қилинганда, кузги тунламда кўпроқ *thuringiensis* вариацияси (15,11%) учраган бўлса, кўсак қуртида *kurstak*i вариацияси (15,47%) учраганлиги қайд этилди. Бундан ташқари, айнан нобуд бўлган ҳашаротлар, ғўза ва картошка майдонларидан йиғилган тупроқлар асосидаги барча намуналардан энг кўп миқдорда учраган вариация сифатида *galleriae* H-5a5b вариацияси қайд этилди.

Хулоса. Тадқиқотлар давомида кузги тунлам зараркунанда ҳашаротида *Bacillus thuringiensis* бактериясининг *galleriae* вариациясининг учраши кўсак қуртига нисбатан 4,43% га кўплиги аниқланди. Колорадо қўнғизида штаммларнинг вариация бўйича учраши юқорида келтирилган ҳашаротлардан кескин фарқ қилиши ҳамда ўхшаш томонлари борлиги кузатилди. Жумладан, *Bacillus thuringiensis* бактериясининг *thuringiensis* 19,56%, *kurstaki* 23,9%, *dendrolimus* 13,04% учраган бўлса, *galleriae* вариацияси 6,52% учраши аниқланган бўлса, *finitimus* вариацияси учрамаганлиги, *tolworthi* ва *entomocidus* вариациялари 2,17% дан, *kenyae*, *sotto* ва *aizawae* вариациялари эса 4,34% дан учраши қайд этилди. Ғўза майдонларидан олинган тупроқ намуналарида эса, кўп миқдорда *kurstaki* (17,18%), *tolworthi* (14,06%) вариациялари аниқланган бўлса, *galleriae* (9,37%) *thuringiensis* (10,9%) ва *dendrolimus* (12,5%) вариациялари камроқ нисбатда учраганлиги қайд этилди. Картошка майдонларидан йиғилган тупроқ намуналарида эса *alesti*, *entomocidus* ва *aizawae* вариациялари учрамаган бўлса, энг кўп миқдорда *kurstaki* (21,87%) ва *galleriae* (15,6%) вариациялари, тенг миқдорда *thuringiensis* ва *dendrolimus* (12,5% дан) вариациялари учраши кузатилди. Олинган натижаларга кўра Ўзбекистон шароитида аниқ турдаги зараркунандалар ва тупроқ намуналари асосида *Bacillus thuringiensis* бактериясининг энг кўп учрайдиган

вариацияси сифатида thuringiensis H-1 (16,1%), *kurstaki* H-3a3b3c (14,0%), *galleriae* H-5a5b (13,2%), *dendrolimus* (11,6%) вариацияларини қайд этиш мумкин. Ушбу вариацияларнинг кўп миқдорда учрашини, собиқ иттифоқ даврида (1978-1988 йй.) Ўзбекистон республикаси ҳудудларида айнан шу вариациялар асосидаги энтомопатоген биопрепаратларнинг катта миқдорда қўлланилганлиги натижасида, биоценозда уларнинг миқдори нисбатан кўпроқ учраган бўлиши мумкин.

Фойдаланилган адабиётлар.

1. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2011). World Population Prospects: The 2010 Revision, Volume I: Comprehensive Tables. ST/ESA/SER.A/313. New York. P. 460.
2. Khujamshukurov N.A. Efficiency of Antibac Uz Biopesticide against Colorado potato beetle// International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR). Vol-7, Issue-2, 2016, pp.605-608.
3. Xo‘jamshukurov N.A. O‘simliklarni himoya qilishda mikrobiologik preparatlar ishlab chiqarish muammo va istiqbollari. Kimyo va kimyo texnologiyasi. 3(33).2011. –66-75 b.
4. Xo‘jamshukurov N.A., Bababekov Q., Agzamova X.K., Toshmuxamedov M.S. G‘o‘za zararkunandalariga qarshi mikrobiologik kurash istiqbollari// Agro ilm. 1(45) 2017. –56-57 b.
5. Хужамшукуров Н.А. Влияния биопрепарата «Antibac-Uz» на хлопковую совку (*Helicoverpa armigera* Hb.) хлопчатника в условиях Узбекистана// Вестник Алтайского государственного аграрного университета. №12 (146), 2016. –С. 18-25.
6. Скворцова М.М. Усовершенствование питательных сред для культивирования Bacillus thuringiensis var.galleriae при промышленном производстве энтобактерина. Автореф. канд. дисс. Л., 1977.- С.23.
7. Каменёк Л.К. Дельта-эндотоксин Bacillus thuringiensis: строение, свойства и использование для защиты растений. Дисс. докт. биол. наук. М., 1998. -345с.
8. Определитель бактерий Берджи: в 2 томах / под.ред. Дж.Хоулта, Н.Крига, П.Снита и др. – 9е издание. –М.: Мир. 1997.
9. de Barjak H., Bonnefoi A. Classification des souches de Bacillus thuringiensis // C.R.Acad.Sci., Paris, 1968. Pp.1811-1818.
10. Xo‘jamshukurov N.A., Bababekov Q., Agzamova X.K., Toshmuxamedov M.S. G‘o‘za zararkunandalariga qarshi mikrobiologik kurash istiqbollari// Agro ilm. 1(45) 2017. –56-57 b.

Сурхондарё вилояти табиий шароитида *Bacillus thuringiensis* энтомопатоген бактериясининг скрининги

Хўжамшукуров Н.А.[1], Хамроева Н.Ф.[2] Хақназарова М.Ш.[3]
[1]Тошкент кимё-технология институти, Интеграл Университети (Ҳиндистон);
[2]Жиззах шаҳар 19-сонли умумий ўрта таълим мактаби, [3]Қарши давлат техника университети.
nkhujamshukurov@mail.ru

Аннотация. *Ушбу тадқиқотда Ўзбекистоннинг Сурхондарё вилояти агроценозларида табиий тарқалган энтомопатоген* Bacillus thuringiensis *бактерияси штаммларининг хилма-хиллиги ва уларнинг турли манбалар бўйича тақсимланиш хусусиятлари ўрганилди. Кузги тунлам (*Agrotis segetum*), кўсак қурти (*Helicoverpa armigera*), колорадо қўнғизи (*Leptinotarsa decemlineata*), шунингдек, ғўза ва картошка майдонлари тупроқ намуналаридан ажратилган жами 79 та* B. thuringiensis *штамми таҳлил қилинди. Ажратилган штаммлар таркибида var. galleriae ва var. kurstaki энг юқори улушни ташкил этиб, ҳар бири 18,98% дан қайд этилган. var. thuringiensis ва var. dendrolimusнинг улуши 12,65% дан, var. alesti — 7,59%, var. sotto, var. tolworthi ва var. aizawae — 3,79% дан, var. finitimus эса 1,26% ни ташкил этди. Штаммларнинг 16,46 фоизи аниқланмаган гуруҳга мансуб бўлиб, var. kenyae ва var. entomocidus аниқланмади. Штаммларнинг манбалар бўйича тақсимланишида ўзига хос фарқлар аниқланди. Кузги тунламдан ажратилган штаммларда var. kurstaki ва var. dendrolimus (16,66% дан), кўсак қуртида var. galleriae ва var. kurstaki (26,31% дан) нисбатан юқори улушга эга бўлди. Колорадо қўнғизидан ажратилган штаммлар таркибида var. thuringiensis, var. galleriae ва var. kurstakiнинг ҳар бири 21,42% ни ташкил этди. Тупроқ изолятларида ҳам хилма-хиллик кузатилиб, ғўза майдони тупроғида var. alesti, var. kurstaki ва var. dendrolimus 17,64% дан, картошка майдони тупроғида эса var. galleriae 27,27% билан нисбатан юқори кўрсаткични намоён этди. Аниқланган маҳаллий изолятлар хилма-хиллиги уларнинг энтомопатоген фаоллигини кейинги босқичда қиёсий баҳолаш, истиқболли штаммларни саралаш ва маҳаллий биологик ҳимоя воситаларини яратиш учун муҳим бошланғич манба ҳисобланади.*

Калит сўзлар: *Bacillus thuringiensis, энтомопатоген бактерия, galleriae, kurstaki, thuringiensis, dendrolimus, Agrotis segetum, Helicoverpa armigera, Leptinotarsa decemlineata.*

Скрининг энтомопатогенной бактерии *Bacillus thuringiensis* в естественных условиях Сурхандарьинской области

Хужамшукуров Н.А.[1], Хамроева Н.Ф.[2], Хакназарова М.Ш.[3]
[1]Ташкентский химико-технологический институт, Университет Интеграл (Индия);
[2]Общеобразовательная школа № 19, г. Джизак, [3]Каршинский государственный технический университет E-mail: nkhujamshukurov@mail.ru

Аннотация *В данном исследовании изучены разнообразие и особенности распределения штаммов энтомопатогенной бактерии* Bacillus thuringiensis*, естественно распространённых в агроценозах Сурхандарьинской области Узбекистана, в зависимости от источника их выделения. Всего было проанализировано 79 штаммов* B. thuringiensis*, выделенных из озимой совки (*Agrotis segetum*), хлопковой совки (*Helicoverpa armigera*), колорадского жука (*Leptinotarsa decemlineata*), а также из образцов почвы, отобранных на хлопковых и картофельных полях. Среди выделенных штаммов наибольшую долю составили var.* galleriae *и var.* kurstaki *— по 18,98%. Доля var.* thuringiensis *и var.* dendrolimus *составила по 12,65%, var.* alesti *— 7,59%, var.* sotto*, var.* tolworthi *и var.* aizawae *— по 3,79%, а var.*

finitimus — *1,26%. Неидентифицированные штаммы составили 16,46% от их общего числа, тогда как var.* kenyae *и var.* entomocidus *обнаружены не были. Установлены различия в распределении штаммов в зависимости от источника их выделения. Среди штаммов, выделенных из озимой совки, наибольшую долю среди идентифицированных вариантов составили var.* kurstaki *и var.* dendrolimus *— по 16,66%, тогда как среди изолятов из хлопковой совки преобладали var.* galleriae *и var.* kurstaki *— по 26,31%. Среди штаммов, выделенных из колорадского жука, доля var.* thuringiensis, *var.* galleriae *и var.* kurstaki *составила по 21,42%. Значительное разнообразие отмечено и среди почвенных изолятов: в почве хлопковых полей доля var.* alesti, *var.* kurstaki *и var.* dendrolimus *составила по 17,64%, тогда как в почве картофельных полей наибольшая доля приходилась на var.* galleriae *— 27,27%. Выявленное разнообразие местных штаммов* B. thuringiensis *создаёт основу для последующей сравнительной оценки их энтомопатогенной активности, отбора перспективных штаммов и разработки на их основе отечественных микробиологических средств биологической защиты растений.*

Ключевые слова: Bacillus thuringiensis, *энтомопатогенные бактерии,* galleriae, kurstaki, thuringiensis, dendrolimus, Agrotis segetum, Helicoverpa armigera, Leptinotarsa decemlineata.

Screening of the Entomopathogenic Bacterium *Bacillus thuringiensis* under Natural Conditions of the Surkhandarya Region

Khujamshukurov N.A.[1], Khamroeva N.F.[2], Khaknazarova M.Sh.[3]
[1]Tashkent Institute of Chemical Technology; Integral University (India); [3]Secondary School No. 19, Jizzakh City, [3]Karshi State Technical University,
nkhujamshukurov@mail.ru

Abstract *In this study, the diversity and source-specific distribution of naturally occurring strains of the entomopathogenic bacterium* Bacillus thuringiensis *were investigated in agrocenoses of the Surkhandarya Region, Uzbekistan. A total of 79* B. thuringiensis *strains isolated from the turnip moth (*Agrotis segetum*), cotton bollworm (*Helicoverpa armigera*), Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*), and soil samples collected from cotton and potato fields were analyzed. Among the isolated strains, var.* galleriae *and var.* kurstaki *were the most abundant, each accounting for 18.98%. Var.* thuringiensis *and var.* dendrolimus *each accounted for 12.65%, followed by var.* alesti *(7.59%), var.* sotto, *var.* tolworthi, *and var.* aizawae *(3.79% each), and var.* finitimus *(1.26%). Unidentified strains accounted for 16.46% of the total, whereas var.* kenyae *and var.* entomocidus *were not detected. Distinct differences in strain distribution were observed depending on the source of isolation. Among strains isolated from the turnip moth, var.* kurstaki *and var.* dendrolimus *were the most abundant identified varieties (16.66% each), whereas var.* galleriae *and var.* kurstaki *predominated among isolates from the cotton bollworm (26.31% each). Among strains isolated from the Colorado potato beetle, var.* thuringiensis, *var.* galleriae, *and var.* kurstaki *each accounted for 21.42%. Considerable diversity was also observed among soil isolates: var.* alesti, *var.* kurstaki, *and var.* dendrolimus *each accounted for 17.64% of isolates from cotton-field soil, whereas var.* galleriae *was the most abundant variety (27.27%) in potato-field soil. The diversity of indigenous* B. thuringiensis *strains identified in the study provides a valuable basis for subsequent comparative assessment of their entomopathogenic activity, selection of promising strains, and development of locally adapted microbial agents for biological pest control.*

Keywords: Bacillus thuringiensis, *entomopathogenic bacteria,* galleriae, kurstaki, thuringiensis, dendrolimus, Agrotis segetum, Helicoverpa armigera, Leptinotarsa decemlineata.

Кириш. Дунё бўйича амалга оширилаётган “Органик қишлоқ хўжалиги” тенденцияси асосида амалга оширилаётган чора-тадбирлар натижасида, дунё қишлоқ хўжалигида кимёвий пестицидларни қўлланилиши 1996-2011 йилларда 473 млн. кг га камайтирилган. Биргина

2011 йилнинг ўзида дунё бўйича 8,9% ёки 37 млн. кг миқдорида пестицидлар кам қўлланилган [1-2]. Бу асосида, нафақат кимёвий пестицидларнинг қишлоқ хўжалигида камроқ зарар етказишига эришилади, балким фермерларнинг кимёвий ҳимоялаш воситаларига сарфланадиган катта миқдордаги молиявий маблағлари ҳам тежаб қолинмоқда [3]. Юқорида келтирилган муаммолар асосида, олимлар олдига, қишлоқ хўжалиги ўсимликлари зараркунанда ҳашаротлари ва касалликларига қарши курашишнинг муқобил усулларини ишлаб чиқиш ва амалиётда қўллаш каби вазифаларни қўйилмоқда. Худди шундай муқобил усуллардан бири микробиологик препаратлар асосида зараркунанда ҳашаротларга қарши кураш ҳисобланади.

Бу усулнинг кимёвий усулга нисбатан бир қанча афзалликлари мавжуд бўлиб, улардан қуйидагиларини келтириш мумкин: экологик тозалиги, тупроқда тўпланиб қолмаслиги, уларни тайёрлаш, сақлаш, ташиш ва қўллашнинг қулайлиги, иқтисодий самарадорлиги ва айниқса иссиқ қонли ҳайвонларги нисбатан зарарсизлиги олимлар эътиборини тортиб келмоқда.

Ҳозиргача дунё бўйича қишлоқ хўжалиги амалиётидаги глобал муаммолардан бири, бу сифатида синтетик усулларда олинадиган фосфорорганик бирикмалар, карбамат, галогенланган кимёвий пестицидлар кенг қўлланилиб келинаётганлигидадир [4]. Ушбу типдаги кимёвий пестицидларнинг меъёридан ортиқ қўлланилиши оқибатида, синтетик пестицидларга чидамли бўлган, зараркунанда ҳашаротлар ва микроорганизмлар популяцияларининг пайдо бўлишига олиб келмоқда [5].

Пестицидлар қўлланилиши давомида зараркунанда ҳашаротлар ёки микроблар организмида уларга қарши рецепторлар ишлай бошлайди, ушбу рецепторларнинг қаршилик қилиш механизмлари очилиши, оқибатида янада кучлироқ, ушбу рецепторни қисқа муддатда ишдан чиқарадиган янги кимёвий синтетик пестицидлар ишлаб чиқарилмоқда. Кимёвий пестицидларнинг ўткир ёки хроник зарарланишни келтириб чиқариши дунёнинг кўплаб давлатларида, жумладан ривожланган Европа давлатларида ҳам катта муаммо бўлиб қолмоқда [6]. Маълумки, замбуруғлар, бактериялар, сув ўтлари, вируслар, нематодалар ва содда организмлар метаболитлари асосида олинадиган биопестицидлар зараркунанда ҳашаротларга қарши курашишда асосий метаболитик манбалар ҳисобланади [7]. Ҳозиргача 300 дан ортиқ микроорганизмларнинг ҳашаротлар организмида турли хилдаги касалликлар келтириб чиқариши аниқланган [8]. Микробиологик препаратлар орасида *Bacillus thuringiensis* спора-кристалл токсин ҳосил қилувчи энтомопатоген бактерияси алоҳида ўрин тутади. Дунё миқёсида ишлаб чиқариладиган микробиологик инсектицид препаратларнинг 90 фоизини *Bacillus thuringiensis* энтомопатоген бактерияси ташкил этиши алоҳида эътиборни тортади.

Шу боисдан ушбу тадқиқот ишида Ўзбекистон шароитида (Сурхондарё вилояти, Музработ тумани мисолида) *Bacillus thuringiensis* энтомопатоген бактерияси изолятларини скринг қилиш юзасидан изланишлар олиб бориш мақсад қилиб қўйилди.

Фойдаланилган манба ва усуллар.

***Bacillus thuringiensis* энтомопатоген бактериясини ажратиш**. Умумқабул қилинган усулларга баъзи бир ўзгартиришлар киритган ҳолда фойдаланилди [9], ҳашаротларни стерилизациялаш учун умумқабул қилинган усулга [10] баъзи бир ўзгартиришлар киритилган ҳолда фойдаланилди. Ушбу модификация личинкалари жуда кичик бўлган, устки қисмини тозалашнинг имкони йўқ бўлган личинкалар учун қўлланилди. Кейинги ишлар уч босқичда амалга оширилди: дастлаб, 70% ли спиртда 2 секунд, натрий гипохлоратнинг 5% ли эритмасида 3 минут, натрий тиосульфатнинг 10% ли эритмасида 5 минут давомида ушлаб турилди. Сўнгра намуналар 3 маротобадан дистилланган сувда ювиб олинди. *B.thuringiensis* намуналарини ажратиш учун икки хил усулдан фойдаланилди. Ҳар иккаласида ҳам личинкалар асептик шароитда стерил ҳавончаларга солиб олинди. Сўнгра уларга 10 мл дан дистилланган сув солиб суюлтирилди. Биринчи усулда суспензия трубасимон пробиркага солиб олинди ва 65°С ҳароратда 12 минутгача ушлаб турилди сўнгра 1×10^{-2} дан 1×10^{-4} гача

суюлтирилиб агарли қаттиқ озуқа муҳитига экилди. Культуралар 24 соат давомида 28-32˚С ҳароартда ўстириб олинди.

Намуналарни идентификацияси. Бактерия культуралари агарли озуқа муҳитида ўстирилиб, NaCl нинг 0,7% эритмасида ювиб олинди ва микроскоп остида *B.thuringiensis* энтомопатоген бактериясига хос бўлган кристалл токсин ҳосил қилиши ўрганилди. Биокимёвий ва физиологик хусусиятлари эса Берги кўрсатмаларига асосан аниқланди [11], шунингдек, культураларнинг биокимёвий хусусиятлари *Bacillus thuringiensis* бактерияси турларини идинтификация қилиш схемасига мувофиқ ўрганилди [12].

Культураларни ўстириш ва сақлаш. Асосан пептонли стандарт озиқа муҳити [(%) Пептон-1,0; NaCl-0,05; K_2HPO_4-0,05; $MgSO_4$- 0,02; pH 7,0] дан фойдаланилди [13]. Текширишларни асосан МБИ-3 ёруғлик микроскопида олиб борилди (ЛОМО, Россия). Культураларни бўяшда фуксин бўёғидан фойдаланилди. Бактериал культуралар суюқ озиқа муҳитига экиб, 28-30^{0}С ҳароратда, 36-48 саот давомида микробиологик чайқатгич ёрдамида минутига 180-200 айланма ҳаракатда ўстирилди.

Олинган натижалар ва уларнинг мухокамаси.

Маълумки, айни вақтда, *Bacillus thuringiensis* бактерияси асосида ташкиллаштирилган, ишлаб чиқариш саноатида қўлланилаётган штаммлар, асосан, табиий фаунадан, бактериал касалликлар белгиси мавжуд ёки нобуд бўлган ҳашаротлардан ажратиб олинган штаммлар ҳисобланади [14]. Илмий манбаларда қайд этилишича, *Bacillus thuringiensis* бактерияси штаммлари, асосан, нобуд бўлган ёки бактериал касаллик белгилари билан касалланган ҳашаротлардан ажратиб олинган бўлса [15], сўнгги йилларда фаол, табиий штаммларни ажратиб олиш учун тупроқ, энг мақбул манба сифатида қайд қилинмоқда [16]. Жумладан, de Leuce ҳамкасблари [17-18] билан берган маълумотга кўра, АҚШ нинг турли ҳудудларидаги тупроқлардан ажратиб олинган 46 мингдан ортиқ бацилла изолятларидан, 0,5% дан кўпроғини *Bacillus thuringiensis* бактерияси штаммлари ташкил этган. Ўзбекистонлик олимлар томонидан ҳам, *Bacillus thuringiensis* энтомопатоген бактериясини табиий манбалардан ажратиш бўйича бир қатор ишлар амалга оширилган [19-22].

Юқоридаги илмий манбаларда келтирилган маълумотлар асосида, Ўзбекистон шароитида табиий ҳолатда касаллик келтириб чиқарувчи штаммларни излаб топиш, уларни скрининг қилиш, морфо-физиологик ва биокимёвий хусусиятларини ўрганган ҳолда, улар асосида ишлаб чиқариш шароитларини танлаш муҳим аҳамият касб этади.

Шу боис, мазкур тадқиқот ишимизда, Ўзбекистоннинг Сурхондарё вилояти, Музработ тумани мисолида *Bacillus thuringiensis* бактериясининг, айнан, маълум турга мансуб ҳашаротлар ва майдонларда тарқалиш ареалини ўрганишни мақсад қилиб қўйдик.

Илмий тадқиқот ишларини амалга ошириш учун экспедициянинг намунавий харитаси асосида тадқиқот манбалари йиғилди (1-жадвал). Ушбу намунавий тадқиқот харитаси асосида, тадқиқот объектлари йиғилиб, улардан *Bacillus thuringiensis* бактериясига хос бўлган спора-кристалл ҳосил қилишига кўра штаммлар ананавий усуллар асосида ажратилди. Тадқиқотнинг ҳудудидан спора-кристалл ҳосил қилишига кўра ажратилган штаммлар ҳақидаги маълумотлар 2-жадвалда акс эттирилган. Татқиқотларда Сурхондарё вилояти, Музработ туманидан олинган жами намуналардан 79 та штамм ажратиб олинди. Йиғилган намуналарнинг бирортасида *kenyae* H-4a4c ва *entomocidus* H-6 вариациялари учрамаганлиги қайд этилди.

1-жадвал

Тадқиқотлар экспедициясининг намунавий чизмаси

№	Танланган ҳудудлар	Тадқиқот асоси	Объектлар	Манбалар	Экспедиция вақти
1	Сурхондарё вилояти, Музработ тумани	Кучли шўрланган тупроқлар ва табиий стресс омиллар (қурғоқчилик, юқори ҳарорат)	Ғўза майдонлари-даги тупроқ ва нобуд бўлган ҳашаротлар	Кузги тунлам, кўсак қурти	июль- август
			Картошка майдонлари-даги тупроқ ва нобуд бўлган ҳашаротлар	Колорадо қўнғизи	май-июнь

Зараркунанда ҳашаротларнинг нобуд бўлган личинкалари ва қўнғизларидан *galleriae* H-5a5b ва *kurstaki* H-3a3b3c вариациялари тенг миқдорда, яъни 18,9% дан учраган бўлса, *thuringiensis* H-1 ва *dendrolimus* вариациялари 12,65% дан учраганлиги аниқланди. Шунингдек, *sotto* H-4a4b вариацияси кузги тунлам ва кўсак қурти намуналарида учрамаган бўлса, *aizawae* H-7 вариацияси, колорадо қўнғизи асосидаги намуналар, ҳамда, картошка майдонларидан йиғилган тупроқ намуналарида учрамаганлиги қайд этилди. *finitimus* H-2 вариацияси эса, фақатгина картошка майдонларидан йиғилган тупроқ намунасидан ажратилди, бу эса умумий сонга нисбатан 1,26% ни ташкил этди. Шунингдек, картошка майдонларидан йиғилган тупроқ намуналарида *alesti* H-3a3b вариацияси ҳам учрамаганлиги қайд этилди. Қолган барча намуналарда *alesti* H-3a3b вариацияси ажратиб олинганлигини инобатга олсак, бу ҳолатни экспериментал хатолик деб қабул қилиш мумкин. Бундан ташқари, айнан нобуд бўлган ҳашаротлар, ғўза ва картошка майдонларидан йиғилган тупроқлар асосидаги барча намуналардан энг кўп миқдорда учраган вариация сифатида *galleriae* H-5a5b вариацияси қайд этилди. Ўзбекистоннинг Сурхондарё вилояти Музработ тумани агроценозларидан олинган намуналар таҳлили *Bacillus thuringiensis* бактериясининг ҳам зараркунанда ҳашаротлар популяцияларида, ҳам экин майдонлари тупроғида учрашини кўрсатди. Ғўза агроценозида кузги тунлам (*Agrotis segetum*)нинг бактериал касалланиш белгилари билан нобуд бўлган 147 та намунаси ўрганилиб, улардан 18 та *B. thuringiensis* изоляти ажратилди ва умумий учраш даражаси 12,2% ни ташкил этди.

2-жадвал

Сурхондарё вилояти, Музработ туманида *Bacillus thuringiensis* бактериясининг учраши

№	Тадқиқот объектлари	Ўрганилган намуналар сони, дона	Ажратилган штаммлар сони, дона	*Bacillus thuringiensis* бактериясининг учраши, %
Ғўза майдонларида бактериал касалланиш белгиси билан нобуд бўлган ҳашаротлар (июл-август)				
Кузги тунлам (*Agrotis segetum*)				
1	II-III-ёшли личинкалар	42	8	19,0
2	IV- V ёшли личинкалар	68	7	10,2
3	Ғумбак	37	3	8,1
	Жами:	147	18	12,2
Кўсак қурти (*Heliothis armigera*)				
1	II-III-ёшли личинкалар	58	11	18,9
2	IV- V ёшли личинкалар	27	5	18,5
3	Ғумбак	17	3	17,6
	Жами:	102	19	18,6
Пахта майдонларидан йиғилган тупроқ намуналари				
1	Тупроқ	120	17	16,6

Картошка майдонларида бактериал касалланиш белгиси билан нобуд бўлган ҳашаротлар (май, июнь)				
Колорадо қўнғизи (*Leptinotarsa decemlineata*)				
1	II-III-ёшли личинкалар	42	5	11,9
2	III-IV-ёшли личинкалар	52	7	13,4
3	Қўнғиз	33	2	6,0
Жами:		127	14	11,02
Картошка майдонларидан йиғилган тупроқ намуналари				
1	Тупроқ	110	11	10,0

Бунда бактериянинг энг юқори учраш кўрсаткичи II–III ёшли личинкаларда — 19,0% бўлиб, IV–V ёшли личинкаларда 10,2% гача, ғумбак босқичида эса 8,1% гача пасайган. Демак, кузги тунлам онтогенезининг ривожланиши билан *B.thuringiensis* аниқланиш динамикасининг изчил пасайиши кузатилди. Кўсак қурти (*Heliothis armigera*) намуналарида эса бошқача ҳолат қайд этилди. Ўрганилган 102 та намунадан 19 та штамм ажратилиб, бактериянинг умумий учраш даражаси 18,6%, II–III ёшли личинкаларда 18,9%, IV–V ёшли личинкаларда 18,5% ва ғумбакларда 17,6% ни ташкил этганлиги қайд этилди.

Шу жиҳатдан кўсак қурти популяциясида *B.thuringiensis*нинг учраши кузги тунламга нисбатан барқарорроқ бўлиб,

3-жадвал

Сурхондарё вилояти, Музработ туманидан ажратилган *Bacillus thuringiensis* бактериясининг турлар бўйича тарқалиши

Манбалар	*Bacillus thuringiensis* subsp.(дона, %)												Жами
	thuringiensis H-1	*kenyae* H-4a4c	*alesti* H-3a3b	*sotto* H-4a4b	*galleriae* H-5a5b	*tolworthi* H-9	*kurstaki* H-3a3b3c	*Entomo-cidus* H-6	*finitimus* H-2	*aizawa e* H-7	*Dendro-limus*	ноаниқ	
Кузги тунлам	2 (11,11)	0	1 (5,55)	0	2 (11,11)	1 (5,55)	3 (16,66)	0	0	1 (5,55)	3 (16,66)	5 (27,77)	18
Кўсак қурти	3 (15,78)	0	1 (5,26)	0	5 (26,31)	0	5 (26,31)	0	0	1 (5,26)	1 (5,26)	3 (15,78)	19
Ғўза майдони тупроғи	1 (5,88)	0	3 (17,64)	1 (5,88)	2 (11,76)	0	3 (17,64)	0	0	1 (5,88)	3 (17,64)	3 (17,64)	17
Колорадо қўнғизи	3 (21,42)	0	1 (7,14)	1 (7,14)	3 (21,42)	0	3 (21,42)	0	0	0	2 (14,28)	1 (7,14)	14
Картошка майдони тупроғи	1 (9,09)	0	0	1 (9,02)	3 (27,27)	2 (18,18)	1 (9,02)	0	1 (9,02)	0	1 (9,02)	1 (9,02)	11
Жами:	10 (12,65)	0	6 (7,59)	3 (3,79)	15 (18,98)	3 (3,79)	15 (18,98)	0	1 (1,26)	3 (3,79)	10 (12,65)	13 (16,4)	79 (100)

умумий кўрсаткич 6,4% юқори бўлганлиги қайд этилди. Картошка агроценозида колорадо қўнғизининг (*Leptinotarsa decemlineata*) 127 та намунасидан 14 та *B. thuringiensis* штамми ажратилиб, умумий учраш даражаси 11,02% ни ташкил этди. Бактерия III–IV ёшли личинкаларда 13,4%, II–III ёшли личинкаларда 11,9% даражада аниқланган бўлса, вояга етган қўнғизларда бу кўрсаткич 6,0% гача камайиб, колорадо қўнғизида *B. thuringiensis* асосан личинкалик босқичларида кўпроқ учрашини кўрсатди

Хулоса. Ўзбекистоннинг Сурхондарё вилояти Музработ тумани агроценозларидан (ҳашаротлардан) олинган намуналар таҳлили 376 та намунадан 51 та *Bacillus thuringiensis* бактериясин изолятлари ажратилиб, учраш даражаси 13,6% ни ташкил этди. Тадқиқ этилган зараркунандалар орасида *Bacillus thuringiensis* бактериясининг энг юқори учраш даражаси кўсак куртида (18,6%), кейин кузги тунламда (12,2%) ва колорадо қўнғизида (11,02%) қайд этилди. Олинган натижалар ушбу ҳудудни маҳаллий *Bacillus thuringiensis* бактериясининг штаммларини ажратиб олиш ва кейинчалик уларнинг энтомопатоген фаоллигини баҳолаш учун истиқболли табиий манба сифатида қараш имконини беради.

Фойдаланилган адабиётлар.

1. Mabubu J.I., Nawaz M., Hua H. Advances of transgenic Bt-crops in insect pest management: An overview/ Journal of Entomology and Zoology Studies. 2016, 4(3): 48-52.
2. Jindal V., Dhaliwal GS., Opender K. (2013) Pest Management in 21st Century: Roadmap for Future. Biopesticides International. 9(1):1-22.
3. Alout H., Labbe P., Berthomieu A., Djogbenou L., Leonetti JP., Fort PH et al. (2012) Novel AChE inhibitors for sustainable insecticide resistance management. PLoS One 2012; 7(10):1-8.
4. Khujamshukurov N.A. Efficiency of Antibac Uz Biopesticide against Colorado potato beetle// International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR). Vol-7, Issue-2, 2016, pp.605-608.
5. Xo‘jamshukurov N.A. O‘simliklarni himoya qilishda mikrobiologik preparatlar ishlab chiqarish muammo va istiqbollari. Kimyo va kimyo texnologiyasi. 3(33).2011. –66-75 b.
6. Khujamshukurov, N.A. The effect of the biopreparation "Antibac-Uz" on the cotton bollworm (*Helicoverpa armigera* Hb.) in cotton crops under the conditions of Uzbekistan. *Bulletin of Altai State Agricultural University*, 2016, 12(146), pp. 18–25.
7. Xo‘jamshukurov N.A., Agzamova X.K., O‘tanazarov A.P. *Bacillus thuringiensis* δ-endotoksinlarining kuzgi tunlamga (*Agrotis segetum* Schiff.) qarshi ta’siri// Kimyo va kimyo texnologiyasi. 2(40).2013. –72-76 b.
8. Xo‘jamshukurov N.A., Bababekov Q., Agzamova X.K., Toshmuxamedov M.S. G‘o‘za zararkunandalariga qarshi mikrobiologik kurash istiqbollari// Agro ilm. 1(45) 2017. –56-57 b.
9. Скворцова М.М. Усовершенствование питательных сред для культивирования Bacillus thuringiensis var.galleriae при промышленном производстве энтобактерина. Автореф. канд. дисс. Л., 1977.- С.23.
10. Каменёк Л.К. Дельта-эндотоксин Bacillus thuringiensis: строение, свойства и использование для защиты растений. Дисс. докт. биол. наук. М., 1998. -345с.
11. Определитель бактерий Берджи: в 2 томах / под.ред. Дж.Хоулта, Н.Крига, П.Снита и др. – 9е издание. –М.: Мир. 1997.
12. de Barjak H., Bonnefoi A. Classification des souches de Bacillus thuringiensis // C.R.Acad.Sci., Paris, 1968. Pp.1811-1818.
13. Xo‘jamshukurov N.A. Bacillus thuringiensis bakteriyasini o‘stirish uchun mo‘tadil ozuqa muhiti tanlash// O‘zbekiston Agrar fani xabarnomasi. 4(14)-2003. –68-73 b.
14. Crickmore N. Using worms to better understand how Bacillus thuringiensis kills insects. Trends in Microbiology 2005;13:347-350.
15. Krieg A. Bacillus thuringiensis Berliner Mitt.Biol. Bundesanstalt Land. // Forst wirtsch. Berlin – Delhem, 1961. Vol. 1. №3. P.3.79.
16. de Leuce A.I., Sinson I., Larson A. Two new servare Bacillus thuringiensis serovar dakota and indiana (serovar 15 and 16). //J/Invertber. Pathol.,1979. 34. P.323-324.
17. Konecka E., Baranek J., Hrycak A., Kaznowski A. Insecticidal activity of Bacillus thuringiensis strains isolated from soil and water. //The Scientific World Journal. Vol. 2012, P.1-5.
18. Hassan A.Ahmed, Salah G.Ali1., Usama M.Abdul-Raouf. Isolation, characterization and molecular identification of Bacillus thuringiensis Alex-13 isolated from Egypt against Spodoptera littoralis. // IJOMAS. November 2015, 2(2):34-44.
19. Xo‘jamshukurov N.A. Bacillus thuringiensis entomopatogen bakteriyasining *Fusarium oxysporum* zamburug‘iga qarshi ta’siri// Kimyo va kimyo texnologiyasi. 4(42).2013. –71-75 b (02.00.00; №3).
20. Khujamshukurov N., Abdullaev Kh., Gazieva Sh. Effect of *Bacillus thuringiensis* on *Fusarium oxysporum* Isolated under the Conditions of Uzbekistan // International Scientific and Practical Internet Conference of Young Scientists and Specialists “Science, Innovation and International

Cooperation of Young Agricultural Scientists" (Orel, December 23–24, 2016). FGBNU VNIIZBK, 2016. pp. 228–231.

21. Khujamshukurov N.A. Effect of the Biopreparation "Antibac-Uz" on *Helicoverpa armigera* Hb. // International Scientific and Practical Internet Conference of Young Scientists and Specialists "Science, Innovation and International Cooperation of Young Agricultural Scientists" (Orel, December 23–24, 2016). FGBNU VNIIZBK, 2016. pp. 223–226.
22. Khujamshukurov N., Nurmukhamedova V., Qobilov G., Mirsagatov M. Efficiency of Antibac-Uz biopesticide against Colorado potato beetle// Materials of symposium. International Symposium "Microorganisms and the biosphere» MICROBIOS-2015. 25-27-November, 2015. Tashkent, Uzbekistan. pp.231-232.

MUNDARIJA

1.	KUNGABOQAR MOYINI FILTRLASH JARAYONI TADQIQOTI **Axmedov Azimjon Normo‘minovich, Haydarova Iroda Baxtiyor qizi**	3
2.	ТОВАРНОЕ КАЧЕСТВО ТОМАТОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ СЫРЬЯ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ **Хужакулов Улугбек Каримкулович, Мажидова Наргиза Кахрамоновна, Мажидов Кахрамон Халимович**	6
3.	ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ИНТЕНСИВНОСТИ ДЫХАНИЯ ПРИ ХРАНЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО СЫРЬЯ **Хужакулов Улугбек Каримкулович, Мажидова Наргиза Кахрамоновна, Мажидов Кахрамон Халимович**	12
4.	ПЭТ ЧИҚИНДИЛАРИНИ ТЭА ИШТИРОКИДА АМИНОЛИЗЛАШ АСОСИДА LS-MTI МИНЕРАЛ ТУЗЛАР ТЎПЛАНИШИ ИНГИБИТОРИНИ ИШЛАБ ЧИҚАРИШ ТЕХНОЛОГИЯСИ **Холматова Фотима Искандар қизи, Раҳимов Ҳусниддин Нурбобоевич, Қодиров Ҳасан Иргашевич, Машаев Элдор Эргашвой ўғли, Мардонов Асрор Ҳасанович, Обидов Шоюнус Ботир ўғли**	16
5.	OZIQ-OVQAT SANOATINING IKKILAMCHI XOMASHYOLARIDAN SAMARALI FOYDALANISHDA BUG‘DOY KEPAKGINING NON SIFATIGA TA’SIRI. **Axmedov Asadbek G‘anisher o‘g‘li, Mirzaev Jamol Dustiyarovich, Uzoqov Yusuf Ahrol o‘g‘li**	24
6.	ANTIOXIDANT ACTIVITY AND PHENOLIC PROFILE OF THREE HONEY TYPES COLLECTED IN KASHKADARYA REGION, UZBEKISTAN **Raximov Yorqinjon Erkinovich**	30
7.	PHYSICAL-CHEMICAL PROPERTIES OF NMgCa-FERTILIZERS OBTAINED ON THE BASIS OF AMMONIUM NITRATE AND VERMICULITE **Madiyar J. JABBARBERGENOV**	36
8.	TURKISTON QIZIL DO’LANASI (CRATAEGUS TURKESTANICA POJARK.) MEVALARINING FUNKSIONAL OZIQ-OVQAT MAHSULOTLARI ISHLAB CHIQARISHDAGI ISTIQBOLLARI (sharh) **A.X. Jabborova, J.B. Farmonov**	44
9.	МИНЕРАЛ ТУЗ ҚАТЛАМЛАРИНИНГ ШАКЛЛАНИШИ, ИДЕНТИФИКАЦИЯСИ ВА ЮВИШ ЖАРАЁНИНИ ТАДҚИҚ ЭТИШ **Жаҳонов Фазлиддин Ҳасанович, Дониёров Ғиёс Тиловович, Раҳимов Ҳусниддин Нурбобоевич, Қодиров Ҳасан Иргашевич, Машаев Элдор Эргашвой ўғли**	50
10.	MIS OKSIDLI NANOTOLALI KATALIZATOR ISHTIROKIDA 1-BENZIL-4-ALMASHINGAN 1,2,3-TRIAZOLLAR SINTEZI **R.M. Egamberdiyeva, F.F. Xoshimov, M.I. Soliyev**	62
11.	SEMENT KOMPOZITSIYALARI SIFATINI OSHIRISHDA PIROLIZ MOYI ASOSIDAGI YUQORI SAMARALI PLASTIFIKATSIYALOVCHI QO’SHIMCHALARNI SINTEZ QILISH **Kamalov Botir Satvaldiyevich, Berdiyev Sanjar Allanazarovich**	67
12.	PLASTIK ALMASHINUV VA BALIQ TANASINING KIMYOVIY TARKIBINI BAHOLASH **To‘ymurodova Shoira Shavkat qizi, Majidov Qahramon Halimovich,**	77

	Saidvaliyev Saidazim Saidamirxanovich	
13.	TURLI MIQDORDAGI SEOLITNING OZUQA XUSUSIYATLARIGA VA BALIQNING O‘SISH SUR’ATIGA TA’SIRI **To‘ymurodova Shoira Shavkat qizi, Majidov Qahramon Halimovich, Saidvaliyev Saidazim Saidamirxanovich**	83
14.	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РЫБНЫХ КОРМОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ, БОГАТОГО БЕЛКАМИ **Атаханов Шухрат Нуриддинович, Тухтабоев Мохиржон Рахимжанович, Азимхожаев Озодбек Йулдошхужа угли, Муҳлиса Абдураҳимова Мирзаакбар кизи**	90
15.	СОСТАВ И СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОБРАБОТАННЫХ ХЛОРИДАМИ МЕТАЛЛОВ **Умматов Обиджон Олимжон угли, Очилов Голиб Мамаюнусович, Матмусаев Абдумуталиб Каххоржон угли, Эшметов Иззат Дусимбатович, Бухоров Шухрат Буриевич**	104
16.	NON ISHLAB CHIQARISHDA QO‘LLANILADIGAN NOVVOYLIK YAXSHILOVCHILARINING TASNIFI VA FUNKSIONAL XUSUSIYATLARI **Vafoyeva Nazira Ismoil qizi, Sadullayev Sirojiddin Xudoyberdi o‘g‘li**	112
17.	KREMNIYLI p^+-n-n^+ VA p^+-p-n^+ TUZILMALARINING CHEGARAVIY EKVIVALENTLIGINI TAQIQLANGAN ZONA TORAYISHI VA LEGIRLASHGA BOG‘LIQ TASHISH JARAYONLARI BELGILAYDI **Xayrullayeva Guljahon, Eshburiyeva Mavjuda Umbarovna**	116
18.	Synthesis and Characterization of Organomineral Fertilizers Based on Local Raw Materials and Agroores: Cattle Manure, Poultry Litter, Bentonite, and Phosphorite Flour **Zuhriddin Vokkosov**	125
19.	ЎСИМЛИК МОЙЛАРИДА 2- ВА 3-МОНОХЛОРПРОПАНДИОЛЛАР ВА ГЛИЦИДОЛЛАР МУАММОСИ ВА УНИНГ ПАЙДО БЎЛИШ АСОСЛАРИ **Робия Базарова, Мадина Хамидова, Қамар Серкаев**	133
20.	ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ НА ОСНОВЕ КОРНЕЙ КУКУРУЗЫ **Исмаилов Ойбек Юлибоевич, Жураев Тўлқинжон Эрмахамадович, Хаджибаев Акбаржон Шавкатович, Шарипов Козимжон Комилжонович**	147
21.	ANALYSIS OF THE HEAT RELEASE IN THE EVAPORATOR OF HEAT PUMPS OPERATING WITH ENVIRONMENTALLY FRIENDLY REFRIGERANTS **Йўллиев Шукурали, Каримов Кудрат**	159
22.	ҚОБИҚ ҚУВУРЛИ ҚУРИЛМАДА ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ЖАРАЁНИНИ ТАДҚИҚ ҚИЛИШ **Юсупов Р.А, Исмаилов О.Ю, Хаджибаев А.Ш, Шарипов К.К**	166
23.	MAHALLIY XOMASHYOLAR ASOSIDA OLINGAN SULFOKATIONITLARNING SORBSION XOSSALARINI TADQIQ QILISH **Usmonova Aziza Barat qizi, Pulatov Xayrulla Lutpullayevich, Igitov Farruh Baxyiyarovich**	173

24.	РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЦУКАТОВ ИЗ ОВОЩЕЙ НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНЫХ ПОДСЛАСТИТЕЛЕЙ **Гуломов Азизбек Бахтиёр угли, Атаханов Шухрат Нуриддинович, Мамаджанов Латифжон,**	181
25.	УНИВЕРСИТЕТИ ИННОВАЦИОН САЛОҲИЯТИ — ЎЗБЕКИСТОН ОЗИҚ-ОВҚАТ САНОАТИНИ СТРАТЕГИК РИВОЖЛАНТИРИШ ВОСИТАСИ **Ботир Шукуриллаевич Усмонов**	187
26.	MAHALLIY GIL-UGLERODLI KOMPOZITSION ADSORBENTLAR YORDAMIDA PAXTA VA KUNGABOQAR MOYLARINI ADSORBSIYALAB OQLASHNI JADALLASHTIRISH **Sadullayeva Maftuna Shavkat qizi**	196
27.	GEOGRAPHICAL VARIATION IN CAMEL MILK COMPOSITION: A CROSS-COUNTRY COMPARISON AND HPLC-BASED AMINO ACID PROFILING **Ahmedova Marhabo Sayidmurod qizi**	202
28.	AMARANT DONINING QAYTA ISHLASH MUHIMLIGI TO‘G‘RISIDA ADABIYOTLAR TAHLILI **AHROR MEYLIYEV SHODIYONOVICH, FARMONOV JASUR BOYQARAYEVICH**	210
29.	FERMENTLANGAN ERUCA SATIVA BIOAKTIV BIRIKMALARINING GO‘SHT TIZIMLARIDA NITROZATSIYANI BOSHQARISH IMKONIYATLARI: MEXANIZMLAR, YETKAZIB BERISH STRATEGIYALARI VA ILMIY BO‘SHLIQLAR **AXMEDOVA OSIYA KAMILOVNA**	215
30.	ХОМАШЁ ГАЗИНИ УЗАТИШ ТИЗИМИНИ ТАКОМИЛЛАШТИРИШ, ҚЎШИМЧА ИССИҚЛИК АЛМАШТИРГИЧНИ ҚЎЛЛАШНИНГ ТЕХНОЛОГИК ВА ИҚТИСОДИЙ САМАРАДОРЛИГИНИНГ АСОСЛАРИ **Б.М.Утемуратов, А.И.Тоғаев, Б.Ж.Сапаров, Т.Б.Тўраев**	221
31.	MOLECULAR DOCKING OF PHENYLGLYOXYLIC ACID THIOSEMICARBAZONE AND ITS NICKEL(II) BIS-CHELATE AGAINST BACTERIAL PROTEIN TARGETS **Akhatov Javokhirkhon, Turaev Khayit, Ashurov Jamshid**	228
32.	FERMENTLANGAN ERUCA SATIVA BIOAKTIV BIRIKMALARINING GO‘SHT TIZIMLARIDA NITROZATSIYANI BOSHQARISH IMKONIYATLARI: MEXANIZMLAR, YETKAZIB BERISH STRATEGIYALARI VA ILMIY BO‘SHLIQLAR **AXMEDOVA OSIYA KAMILOVNA**	238
33.	TEMIR(III) IONINI ANIQLASH UCHUN SPEKTROSKOPIK USULLARINI TANLASHNING NAZARIY ASOSLARI VA SPEKTROFOTOMETRIYA USULINING QO‘LLANILISHI **Xabibullayeva Madina Jalol qizi, Todjiyev Jamoliddin Nasiriddinovich, Turayeva Gulzoda Suyunovna, Tuliyev Bexruz Alimkulovich, Turabov Nurmuxammat Turabovich**	244
34.	EFFECT OF FLAME RETARDANTS ON THE FIRE SAFETY AND MECHANICAL PROPERTIES OF DECORATIVE POLYMER COMPOSITE BUILDING MATERIALS **Rovshan Khasildjanovich Tursunov, Ziyodullo Karimjon o‘g‘li**	249

	Buvaraimov, Fayzulla Nurmuminovich Nurqulov	
35.	ERITMALARNI BUG'LATISHDA IKKILAMCHI BUG'LARNI KONDENSATSIYALASH JARAYONINI FAZALAR GIDRODINAMIKASINI YAXSHILASH BILAN TAKOMILLASHTIRISH **Ramazonov S.S., Xabibov F.Y., Sharipov N.Z.**	257
36.	IKKILAMCHI BUG'LARNI KONDENSATSIYALASH APPARATLARIDA FAZA CHEGARASIDAGI GIDRODINAMIK JARAYONLARNI INTENSIVLASH VA ISSIQLIK UZATISH SAMARADORLIGINI OSHIRISH **Ramazonov S.S., Xabibov F.Y., Sharipov N.Z.**	264
37.	GIDROKSIBENZOY KISLOTALAR, AMINOPROPION KISLOTA VA IMIDAZOL HAMDA PIRAZOL ASOSIDA AMID BIRIKMALARINING SINTEZI VA FIZIK-KIMYOVIY XOSSALARI **Sadullayeva Gulmira G'aybullo qizi, Hafizov Ulug'bek Usmonovich**	270
38.	GIDROKSIBENZOY KISLOTALAR ASOSIDAGI AMID BIRIKMALARINING KVANT-KIMYOVIY PARAMETRLARI VA ELEKTRON TUZILISHI **Sadullayeva Gulmira G'aybullo qizi, Hafizov Ulug'bek Usmonovich**	272
40.	IMIDAZOL VA PIRAZOL SAQLAGAN GIDROKSIBENZOY KISLOTA AMIDLARINING BIOLOGIK FAOLLIGI VA AMALIY AHAMIYATI **Sadullayeva Gulmira G'aybullo qizi, Hafizov Ulug'bek Usmonovich**	275
41.	АЗОТНОКИСЛОТНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ФОСФОРИТОВ **О.С.Бобокулова, Н.Ш.Зулярова, Р.Р.Тожиев, М.А. Самадий**	277
42.	GURUCH KEPAGIDAN VODOROD SAQLASH UCHUN YUQORI SIRTLI UGLEROD MATERIAL OLISH **Azamatov Umid Zokirovich**	282
43.	MAKKAJO'XORI DONINING IKKILAMCHI XOMASHYOSINI KOH BILAN FAOLLASHTIRILGAN BIOKO'MIR OLISH VA UNING VODOROD SAQLASH QOBILIYATINI TADQIQ ETISH **Azamatov Umid Zokirovich**	287
44.	SUBLIMATSIYALANGAN TOPINAMBUR BILAN BOYITILGAN FITOCHOY KOMPOZITSIYASINING LABORATORIYA SHAROITIDA SAQLASH DAVRIDAGI BARQARORLIGI VA BIOFAOL MODDALAR KINETIKASI **Umarova Shoxida Saypulla qizi, Sanayev Ermat Shermatovich, Norov Xurshid Uktam o'g'li**	291
45	SUBLIMATSIYALANGAN TOPINAMBUR ASOSIDA FITOKIMYOVIY BOYITILGAN FUNKSIONAL ICHIMLIK KOMPOZITSIYASINI MODELYASHTIRISH VA UNING LABORATORIYA SHAROITIDAGI SIFAT KO'RSATKICHLARI **Umarova Shoxida Saypulla qizi, Sanayev Ermat Shermatovich, Norov Xurshid Uktam o'g'li**	294
46	INFLUENCE OF SODIUM NITRITE ADDITION ON MEAT COLOR CHARACTERISTICS AND MYOGLOBIN CHEMISTRY DURING RAW AND THERMAL PROCESSING CONDITIONS **Kasun Kumara Dissanayake, Feruza Bekbaeva, Khabibulla Nurmukhamedov, Mohamed Rifky, Murodjon Samadiy**	299
47	ENHANCING BEEF COOKING EFFICIENCY THROUGH OPTIMIZED STEAM PRESSURE: EFFECTS ON THERMAL PROCESSING PERFORMANCE	310

	Kasun Kumara Dissanayake, Feruza Bekbaeva, Khabibulla Nurmukhamedov, Mohamed Rifky, Murodjon Samadiy	
48	MEVA-SABZAVOT QURITISH KORXONALARI OQOVA SUVLARINI KOMPLEKS FIZIK-KIMYOVIY TOZALASH VA QAYTA FOYDALANISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH **Norov Xurshid Uktam o'g'li, Shamuratova Shaxida Mirsagatovna, Igitov Farrux Baxtiyarovich, Umarova Shoxida Saypulla qizi**	316
49	MEVA-SABZAVOT QURITISH KORXONALARI OQAVA SUVLARINI KOMPLEKS FIZIK-KIMYOVIY TOZALASH VA QAYTA FOYDALANISH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH **Norov Xurshid Uktam o'g'li, Shamuratova Shaxida Mirsagatovna, Igitov Farrux Baxtiyarovich, Umarova Shoxida Saypulla qizi**	321
50	Elektrda po‘lat eritish sexi changining kimyoviy tarkibini aniqlash **Xojiyev T.F., Erkayev A.U., Adilova M.Sh., Boboqulov A.N., Mavlyanov M.B.Safarboyev J.**	327
51	DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF REDUCED FAT CHOCOLATE PASTE USING OLEOGEL **Salijonova Shakhnozakhon Dilmurodovna**	332
52	PROBIOTIC SURVIVAL: PROTECTING PROBIOTICS WITHIN AN EMULSION AGAINST PH CHANGES, OXIDATION, AND SHEAR STRESS (A Comprehensive Literature Review) **Ergashova Zilola Avaz kizi, Salijonova Shakhnozakhon Dilmurodovna, Khodjaev Sarvar Fakhreddinovich**	335
53	ADVANCES IN NEXT-GENERATION PROBIOTIC ENCAPSULATION: A BENCHMARK STRAIN PERSPECTIVE **Ergashova Zilola Avaz kizi, Salijonova Shakhnozakhon Dilmurodovna, Abdurakhimova Bakhmaloyi Nuriddin kizi**	351
54	EFFECT OF ALGINATE-MICROENCAPSULATED HYDROGELS ON THE SURVIVAL OF LACTOBACILLUS RHAMNOSUS UNDER SIMULATED GASTROINTESTINAL CONDITIONS **Zilola Ergashova, Shakhnozakhon Salijonova, Nazira Ismailova**	362
55	ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АММОНИЗАЦИИ ФИЛЬТРАТА ПОСЛЕ СЕРНОКИСЛОТНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ СЕРПЕНТИНА **М.С. Джандуллаева, Б.Б. Бекчанов, А.У. Эркаев, С. Шералиева, Б.Х. Кучаров**	366
56	MAHALLIY GIL-UGLERODLI KOMPOZITSION ADSORBENTLAR YORDAMIDA PAXTA VA KUNGABOQAR MOYLARINI ADSORBSIYALAB OQLASHNI JADALLASHTIRISH **Sadullayeva Maftuna Shavkat qizi**	371
57	Фарғона вилояти табиий шароитида Bacillus thuringiensis энтомопатоген бактериясининг скрининги **Хўжамшукуров Н.А.1, Хақназарова М.Ш. 2, Хамроева Н.Ф**	376
58	Сурхондарё вилояти табиий шароитида Bacillus thuringiensis энтомопатоген бактериясининг скрининги **Хўжамшукуров Н.А., Хамроева Н.Ф., Хақназарова М.Ш.**	382

JOURNAL OF FOOD SCIENCE
VOLUME 4, ISSUE 9, 2026 ISSN: 2181-385X

TASHKENT INSTITUTE OF CHAMICAL TECHNOLOGY

TASHKENT CITY, NAVOIY AVENUE 32