

ISSN 1560-9278
eISSN 1997-4736

Вестник МГТУ

ТРУДЫ МУРМАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТОМ 27, № 2 (апрель – июнь), 2024 г.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ
НАУКИ О ЗЕМЛЕ
ТЕХНОЛОГИЯ
ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ
ПРОДУКТОВ



BIOLOGICAL SCIENCES
EARTH SCIENCES
FOOD TECHNOLOGY

Vestnik of MSTU

SCIENTIFIC JOURNAL OF MURMANSK STATE
TECHNICAL UNIVERSITY
VOLUME 27, N 2 (April – June), 2024

16+

ISSN 1560-9278
eISSN 1997-4736

Вестник МГТУ

**ТРУДЫ МУРМАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТОМ 27, № 2 (апрель – июнь), 2024 г.**



Vestnik of MSTU

**SCIENTIFIC JOURNAL OF MURMANSK STATE
TECHNICAL UNIVERSITY
VOLUME 27, N 2 (April – June), 2024**

**Мурманск
2024**

Вестник МГТУ
Том 27, № 2 (апрель – июнь), 2024 г.
Научный журнал
Издается с января 1998 г.
Выходит один раз в три месяца

Учредитель
ФГАОУ ВО "Мурманский государственный
технический университет"

Главный редактор
Власов А. Б., д-р техн. наук, профессор
(Мурманск, Россия)

**Редакционная коллегия
по направлению "Науки о Земле"**

Заместитель главного редактора
Козлов Н. Е., д-р геол.-минерал. наук, профессор
(Апатиты, Россия)

**по направлению "Технология
продовольственных продуктов"**
Заместитель главного редактора
Шокина Ю. В., д-р техн. наук, профессор
(Мурманск, Россия)

по направлению "Биологические науки"

Заместитель главного редактора
Шошина Е. В., д-р биол. наук, профессор
(Мурманск, Россия)

Члены редакционной коллегии:
Долгов А. В., д-р биол. наук
(Мурманск, Россия)
Капков В. И., д-р биол. наук, профессор
(Москва, Россия)
Клочкова Т. А., д-р биол. наук
(Петропавловск-Камчатский, Россия)
Лайус Д. Л., канд. биол. наук
(Санкт-Петербург, Россия)
Макаревич П. Р., д-р биол. наук, профессор
(Мурманск, Россия)
Празукин А. В., д-р биол. наук, доцент
(Севастополь, Россия)
Савинова Т. Н., канд. биол. наук
(Тромсё, Норвегия)
Соколов К. М., канд. биол. наук
(Мурманск, Россия)

Адрес редакции
183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13
Тел.: (8152) 40-33-56
E-mail: redvst@mstu.edu.ru

Vestnik of MSTU
Volume 27, N 2 (April – June), 2024
Scientific journal
Published since January 1998
Issued quarterly

Founder
FSAEI HE "Murmansk State
Technical University"

Editor-in-Chief
Vlasov A. B., Dr Sci. (Engineering),
Professor (Murmansk, Russia)

**The Editorial Board
Earth Sciences**

Deputy Editor
Kozlov N. E., Dr Sci. (Geol.&Min.), Professor
(Apatity, Russia)

Food Technology

Deputy Editor:
Shokina Yu. V., Dr Sci. (Engineering),
Professor (Murmansk, Russia)

Biological Sciences

Deputy Editor
Shoshina E. V., Dr Sci. (Biology), Professor
(Murmansk, Russia)

The Editorial Board Members:
Dolgov A. V., Dr Sci. (Biology)
(Murmansk, Russia)
Karpov V. I., Dr Sci. (Biology), Professor
(Moscow, Russia)
Klochkova T. A., Dr Sci. (Biology)
(Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia)
Lajus D. L., Cand. Sci. (Biology)
(Saint Petersburg, Russia)
Makarevich P. R., Dr Sci. (Biology), Professor
(Murmansk, Russia)
Prazukin A. V., Dr Sci. (Biology), Ass. Professor
(Sevastopol, Russia)
Savinova T. N., Cand. Sci. (Biology)
(Tromsø, Norway)
Sokolov K. M., Cand. Sci. (Biology)
(Murmansk, Russia)

The Editorial Office address
MSTU, Sportivnaya St., 13,
183010, Murmansk, RUSSIA
Phone/ Fax: (8152) 40-33-56
E-mail: redvst@mstu.edu.ru

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-26674 от 22 декабря 2006 г.

ISSN 1560-9278 (Print) © ФГАОУ ВО "Мурманский арктический университет", 2024
ISSN 1997-4736 (Online) © FSAEI HE "Murmansk Arctic University", 2024

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Биологические науки

- Войтеховский Ю. Л., Гунченкова А. Д.** Филлотаксис: расположение листьев на горизонтальной ветке и кристаллографические бордюры..... 119
- Корнеев Е. С., Лабай В. С., Живоглядова Л. А., Березова О. Н., Шарлай О. Б., Абрамова Е. В., Ахмадеева Е. С.** Макрозообентос эстуария малой лососевой реки острова Сахалин на примере р. Горная..... 126

Науки о Земле

- Васильева Ж. В., Тришина А. С.** Оценка эффективности органических материалов в качестве сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти в условиях арктической акватории.... 142
- Гончар Н. В., Макаров А. Б., Гуман О. М., Антонова И. А.** Снеговая съемка в пределах месторождений медных руд в горнопромышленных районах Урала..... 158
- Евдокимова М. Е., Пашкевич М. А.** Применение титансодержащих отходов в цементной промышленности: обзор литературы..... 170

Технология продовольственных продуктов

- Грибкова В. А., Семенов Е. В., Славянский А. А., Митрошина Д. П.** Процесс кристаллизации сахарозы в пересыщенном растворе..... 184
- Донская Г. А., Креккер Л. Г., Колосова Е. В., Бычкова Т. С., Карапетян В. К.** Радиопротекторные ингредиенты композиционного молочного продукта..... 193
- Котова Т. И., Хантургаев А. Г., Цыциков В. А., Хантургаева Н. А.** Получение сухих экстрактов из облепихового сырья: результаты исследования..... 205
- Лескова С. Ю., Федорова Т. Ц., Павлова С. Н., Мерзляков А. А., Пурбуев А. В., Данилов М. Б.** Функциональный продукт из комбинированного сырья животного происхождения для геродиетического питания..... 214
- Новожилова Е. А., Шокина Ю. В., Решетник Е. И., Захарова Л. М., Пакусина А. П., Пашина Л. Л., Школьников П. Н., Тихонова П. А.** Разработка рецептуры и технологии нового рыбного кулинарного изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей", обогащенного йодом ламинарии беломорской..... 229
- Сапожников А. Н., Копылова А. В., Обриков Д. А.** Перспективы использования порошков из мякоти тыквы и плодов шиповника в хлебопечении..... 242
- Соколова О. В., Федотова О. Б.** Базовые аспекты сохранности биологической целостности природных поливидовых симбиотических бактериальных сообществ для производства кефира..... 256

C O N T E N T S**Biological Sciences**

- Voytekhovskiy Yu. L., Gunchenkova A. D.** Phyllotaxis: Leaf arrangement on a horizontal branch and crystallographic borders..... 119
- Korneev E. S., Labay V. S., Zhivoglyadova L. A., Berezova O. N., Sharlay O. B., Abramova E. V., Akhmadeeva E. S.** Macrozoobenthos in the estuary of the small salmon river of Sakhalin Island on example of the Gornaya River..... 126

Earth Sciences

- Vasileva Zh. V., Trishina A. S.** Assessing the effectiveness of local organic materials as sorbents for oil spill response in Arctic waters..... 142
- Gonchar N. V., Makarov A. B., Guman O. M., Antonova I. A.** Snow survey within the copper ore deposits in the mining regions of the Urals..... 158
- Evdokimova M. E., Pashkevich M. A.** Utilisation of titanium-containing wastes in the cement industry: A literature review..... 170

Food Technology

- Gribkova V. A., Semenov E. V., Slavyanskiy A. A., Mitroshina D. P.** The process of sucrose crystallization in the supersaturated solution..... 184
- Donskaya G. A., Krekker L. G., Kolosova E. V., Bychkova T. S., Karapetyan V. K.** Radioprotective ingredients of a composite dairy product..... 193
- Kotova T. I., Khanturgaev A. G., Tsytsykov V. A., Khanturgaeva N. A.** Production of dry extracts from sea buckthorn raw materials: Research results..... 205
- Leskova S. Yu., Fedorova T. Ts., Pavlova S. N., Merzlyakov A. A., Purbuev A. V., Danilov M. B.** Functional product from combined raw materials of animal origin for gerodietetic nutrition..... 214
- Novozhilova E. A., Shokina Yu. V., Reshetnik E. I., Zakharova L. M., Pakusina A. P., Pashina L. L., Shkolnikov P. N., Tikhonova P. A.** Development of the formulation and technology of a new fish culinary product "Cream cheese fish from blue catfish" enriched with iodine of kelp of the White Sea..... 229
- Sapozhnikov A. N., Kopylova A. V., Obrikov D. A.** Prospects for using powders from pumpkin pulp and rose hips in bakery products..... 242
- Sokolova O. V., Fedotova O. B.** The biological integrity of natural poly-species symbiotic bacterial communities for the production of kefir: Basic aspects of the preservation..... 256

УДК 581.41

Филлотаксис: расположение листьев на горизонтальной ветке и кристаллографические бордюры

Ю. Л. Войтеховский*, А. Д. Гунченкова

*Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
г. Санкт-Петербург, Россия;

e-mail: vojtehovskijj@herzen.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5380-9191>

Информация о статье

Поступила
в редакцию
23.01.2024;

получена
после доработки
05.03.2024;

принята
к публикации
29.03.2024

Ключевые слова:

филлотаксис,
лист и ветка,
упорядочение,
симметрия,
кристаллография,
систематика
и иерархия бордюров

Для цитирования

Реферат

Филлотаксис – упорядоченное расположение листьев на стеблях и ветках растений. Естественная причина такого расположения состоит в том, что каждый вид в ходе эволюции решал задачу оптимизации светового потока, достигающего каждого листа и обеспечивающего фотосинтез. Найденный оптимум закрепляется в генотипе и становится видовым фенотипическим признаком. В научном исследовании он фиксируется с достоверностью, допускающей малые флуктуации, присущие формам растений под влиянием среды. Для описания расположения листьев применяются методы кристаллографии. В ходе исследования предложено описывать расположение листьев на горизонтальной ветке и вертикальном стебле, применяя в первом случае теорию кристаллографических бордюров, во втором – винтовых осей. При описании расположения листьев на горизонтальной ветке теоретически непротиворечивыми оказались семь типов кристаллографических бордюров; рассмотрена номенклатура типов по порождающим операциям симметрии, однозначно фиксирующей ортогональное приращение симметричного листа (ПТ, СТ, РПТ, ПТ*) и косое – симметричного и асимметричного (Т, Т*, РТ); установлены их ботанические прототипы. Расположение листьев у многих растений не описывается предложенным аппаратом (они оптимизируют световой поток иначе), что ориентирует ученых на поиск более глубоких закономерностей и способов математического описания.

Войтеховский Ю. Л. и др. Филлотаксис: расположение листьев на горизонтальной ветке и кристаллографические бордюры. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 119–125. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-119-125>.

Phyllotaxis: Leaf arrangement on a horizontal branch and crystallographic borders

Yury L. Voytekhovsky*, Anastasiya D. Gunchenkova

*A. I. Herzen Russian State Pedagogical University, Saint Petersburg, Russia;
e-mail: vojtehovskijj@herzen.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5380-9191>

Article info

Received
23.01.2024;

received
in revised
05.03.2024;

accepted
29.03.2024

Key words:

phyllotaxis,
leaf and branch,
ordering,
symmetry,
crystallography,
systematics and
hierarchy of borders

Abstract

Phyllotaxis is an orderly arrangement of leaves on plant stems and branches. The natural reason of this arrangement is that each species based on the habitat conditions in the course of evolution in one way or another solved the problem of optimising the light flux reaching each leaf and providing photosynthesis. The found optimum was fixed in the genotype and became a species phenotypic trait. In a scientific study, it should be recorded with a reliability that allows for small fluctuations inherent in plant forms under the influence of the environment. Crystallography methods are used to describe the arrangement of leaves. In the course of the study, it has been proposed to describe the arrangement of leaves on a horizontal branch and a vertical stem using the theory of crystallographic borders in the first case, and helical axes – in the second. When describing the arrangement of leaves on a horizontal branch, seven types of crystallographic borders turned out to be theoretically consistent. The nomenclature of types according to the generating operations of symmetry is considered unambiguously fixing the orthogonal increment of a symmetrical sheet (PT, ST, RPT, PT*) and oblique – symmetrical and asymmetrical (T, T*, RT); their botanical prototypes have been established. The arrangement of leaves in many plants is not described by the proposed apparatus (they optimize the light flux differently), which guides scientists to search for deeper patterns and methods of mathematical description.

Voytekhovsky, Yu. L. et al. 2024. Phyllotaxis: Leaf arrangement on a horizontal branch and crystallographic borders. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 119–125. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-119-125>.

For citation

Введение

Филлотаксис – упорядоченное расположение листьев на стеблях и ветках растений. На такое расположение листьев с давних пор обращали внимание наблюдательные ученые. В привычной нам научной форме одним из первых его пытался описать Леонардо да Винчи на рубеже XV–XVI вв. И. Кеплер в 1611 г. упоминает его в сочинении "О шестиугольных снежинках" (Кеплер, 1982). Ш. Бонне в 1754 г. обнаружил в спиральном филлотаксисе некоторых растений золотое сечение. А. Браун в 1830 г. и К. Ф. Шимпер в 1835 г. предприняли систематические измерения. А братья Огюст и Луи Браве в 1837 г. не только связали спиральный филлотаксис с числовыми рядами Фибоначчи, но сформулировали и доказали ряд теорем. В ходе поисков адекватной формы математического описания филлотаксиса ботаники обратили внимание на достижения развивавшейся науки о геометрически правильных формах кристаллов. О. Браве в 1848 г. вывел 14 типов кристаллических решеток (решеток Браве) – фундаментальный результат, описывающий трансляционное упорядочение элементарных ячеек в структуре кристаллов (Браве, 1974).

Естественное объяснение филлотаксиса состоит в том, что каждый вид растения, исходя из условий обитания, в ходе эволюции решал задачу оптимизации светового потока и обеспечения фотосинтеза в каждом листе. Найденный оптимум закреплялся в генотипе и становился видовым фенотипическим признаком. (На феноменологическом уровне локальный энергетический оптимум в расположении атомов также транслируется по всему кристаллу.) В научном исследовании этот признак нужно зафиксировать с достоверностью, допускающей малые флуктуации, присущие формам растений под влиянием среды. Но на практике до сих пор используются вербальные описания прирастаний листьев на стебле и ветке: очередное, супротивное, кососупротивное, кольчатое, мутовчатое и т. д. (Горянинов, 1841; Ванин, 1967; Иллюстрированный определитель..., 2006; Атлас..., 2010; Шишкин, 2020; Пескова, 2022). Если винтовой филлотаксис на стебле описывается с использованием указанной выше математической теории (по сути, сводящейся к винтовым осям разрешенных и запрещенных в кристаллографии рациональных и даже иррациональных порядков), то для листьев на горизонтальной ветке дело заканчивается применением только вербального описания. Между тем для этого случая целесообразно использовать теорию кристаллографических бордюров.

В настоящем исследовании рассматривается описание расположения листьев на горизонтальной ветке и на вертикальном стебле с применением в первом случае теории кристаллографических бордюров, во втором – теории винтовых осей.

Кристаллографические бордюры

В кристаллографии бордюром называется линейно упорядоченный (ритмично повторяющийся) односторонний орнамент (Шубников, 1940; Вайнштейн, 1979). Каждый бордюр состоит из одинаковых кластеров, полученных из асимметричного элемента одной или несколькими операциями симметрии, совместимыми с односторонней полосой: продольной плоскостью P , поперечными плоскостями Π , центрами инверсии C на их пересечении, конечной трансляцией T и плоскостью скользящего отражения T^* (композицией T и отражения в P на половине шага трансляции). Теория сводится к тому, чтобы исходный асимметричный элемент размножить в бордюр всеми возможными комбинациями указанных операций. В двух простейших случаях исходный элемент порождает бордюры операциями T и T^* . Доказано, что возможны бордюры всего 7 типов (рис. 1, а).

Данный факт может показаться невероятным ввиду огромного разнообразия линейных орнаментов, окружающих нас в природе и дизайне. Но причина кроется в устройстве исходного элемента, по традиции обозначенного на рис. 1 асимметричным треугольником. Сплошными линиями на рис. 1 показаны направление трансляции T , совпадающий с ним след P и плоскости Π в кластере; штрихами – дополнительные плоскости Π , появляющиеся между кластерами в силу геометрических теорем. Черными кружками показаны центры инверсии C в кластерах, белыми – дополнительные центры инверсии между ними. Каждый бордюр содержит минимально достаточный или полный список операций симметрии (Войтеховский, 2020).

Наборы элементов симметрии в бордюрах соподчинены нетривиальным образом (рис. 1, б). Соподчинение легко установить при сравнении названий. Следует иметь в виду, что операция T входит в T^* , а T^* – в композицию PT . По стрелкам от высшей группы симметрии PTT (полное название $PTCT$, центр инверсии C появляется автоматически на пересечении P и Π ; аналогично, бордюр PT^* имеет второе название CT^*) можно разными путями спуститься к низшей группе T – самой простой в схеме, но в математическом смысле нетривиальной. Иерархия подгрупп любой математической группы (в нашем случае – группы симметрии) должна завершаться тривиальной группой E (ничего не меняющей, подобно 1 при умножении чисел). В нашем случае она отвечает не бордюру, а любому неупорядоченному узору. Необходимо указать на это обстоятельство потому, что оно имеет очевидную ботаническую интерпретацию –

незакономерное (не отвечающее ни одному из бордюров, представленных на рис. 1) расположение листьев на ветке.

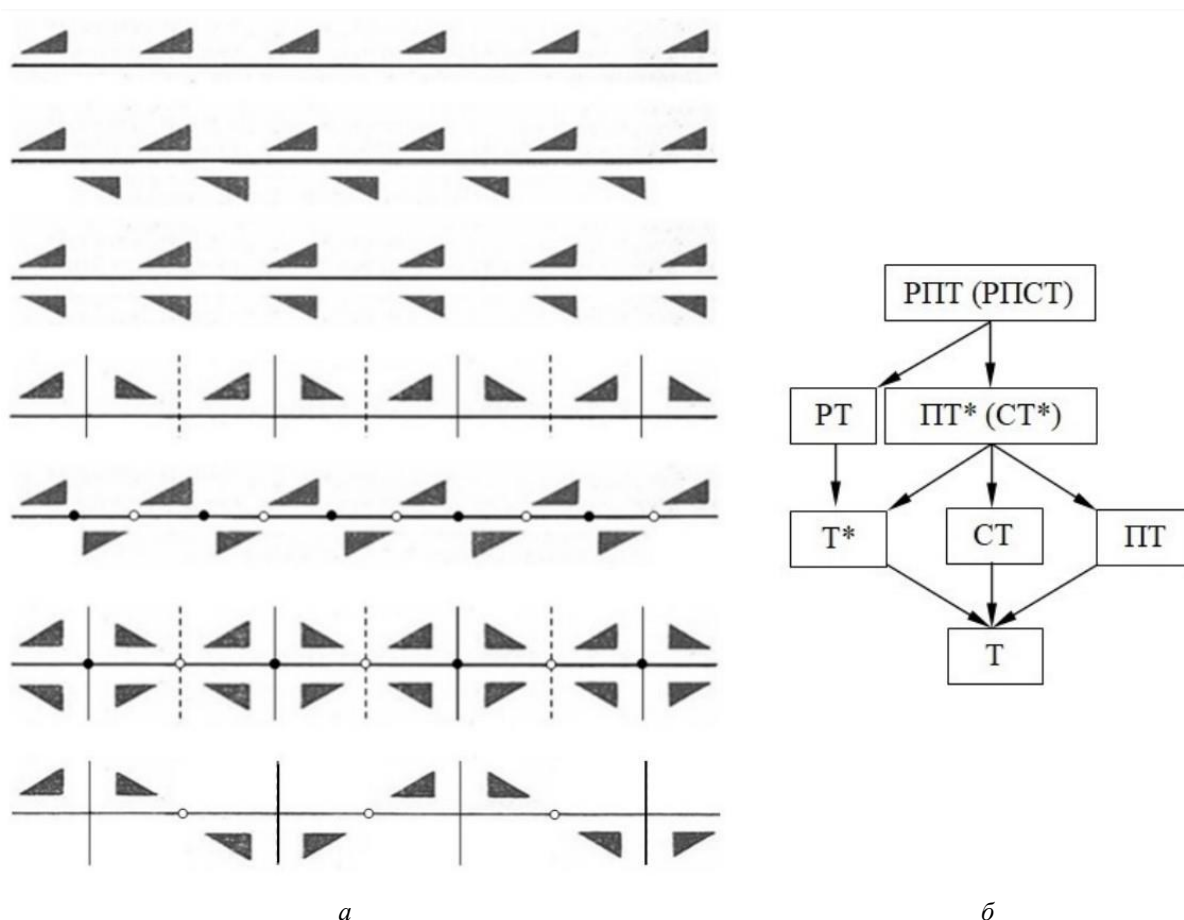


Рис. 1. Типы бордюров (а; сверху вниз): Т, Т*, РТ, ПТ, СТ, РПТ(РПСТ), ПТ*(СТ*); иерархия групп симметрии бордюров (б)
 Fig. 1. *a* – 7 types of borders (from top to bottom): Т, Т*, РТ, ПТ, СТ, РПТ(РПСТ), ПТ*(СТ*); *б* – hierarchy of border symmetry groups

Ботанические бордюры

Кристаллографические бордюры – односторонние орнаменты. Именно это позволяет использовать их для описания ритмичных расположений листьев (у которых верхняя, т. е. обращенная к солнцу, сторона радикально отлична от нижней) на горизонтальной ветке, когда все они условно лежат в одной плоскости. Но и здесь возможны варианты: (1) лист прирастает косо к ветке по ходу ее роста, и тогда неважно, он симметричен или асимметричен; (2) лист ортогонален к ветке, и тогда важно, он симметричен (2а) или асимметричен (2б). Случай (1) согласуется с бордюрами Т, Т* и РТ (рис. 2). (Черным цветом показан лист, с которого начинается построение бордюра.) Другие варианты противоречивы – в них правильное прирастание листа сочетается с обратным. В случае (2а) лист состоит из двух асимметричных половинок, связанных плоскостью П, и с точки зрения теории кристаллографических бордюров должен рассматриваться как кластер. Он сочетается с бордюрами ПТ, ПТ*, СТ и РПТ (рис. 3). Бордюры ПТ* и СТ очень похожи. Но в ПТ* каждый нижний/верхний лист прирастает строго посередине (между верхними/нижними). В СТ кластер из двух противоположно ориентированных листьев транслируется на некоторый (произвольный) шаг. Случай (2б) с точки зрения симметрии сводится к случаю (1).

На рис. 1, б показано, что бордюры различаются по степени симметричности, обычно сопоставляемой с совершенством организации. Но если в кристаллографии это не привносит смысловых искажений, то в ботанике может быть рискованно, а то и недопустимо. Эволюционные стратегии современных растений столь сложны, что, скорее всего, их морфологию нельзя выстраивать на восходящей лестнице совершенства, ориентируясь только на симметрию расположения листьев. Очевидное и, пожалуй, достаточное применение предлагаемого подхода – фиксация таких расположений, если они существуют, в рамках строгой конечной систематики.

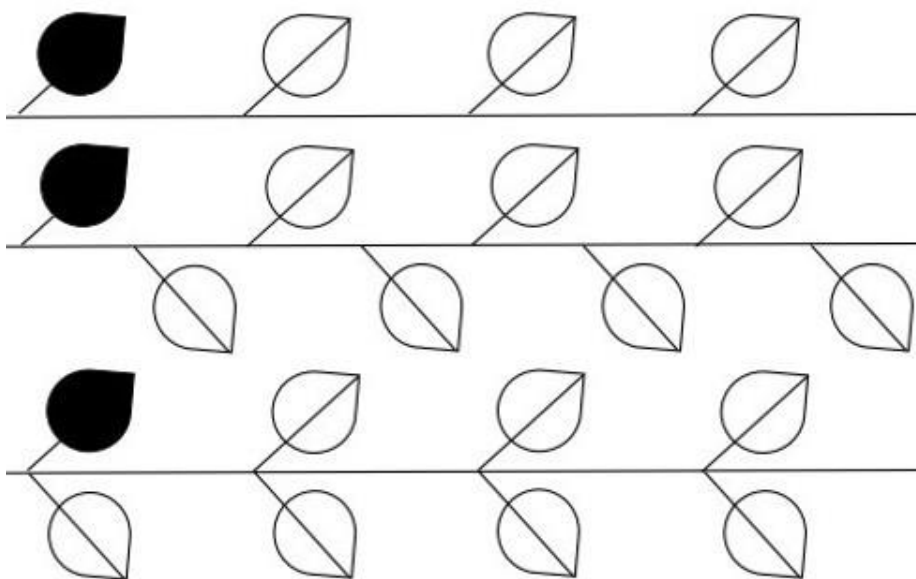


Рис. 2. Симметричный лист, косое соединение с веткой: (сверху вниз) Т, Т* и РТ
Fig. 2. Symmetrical leaf, obliquely connection to the branch. From top to bottom: T, T*, and PT

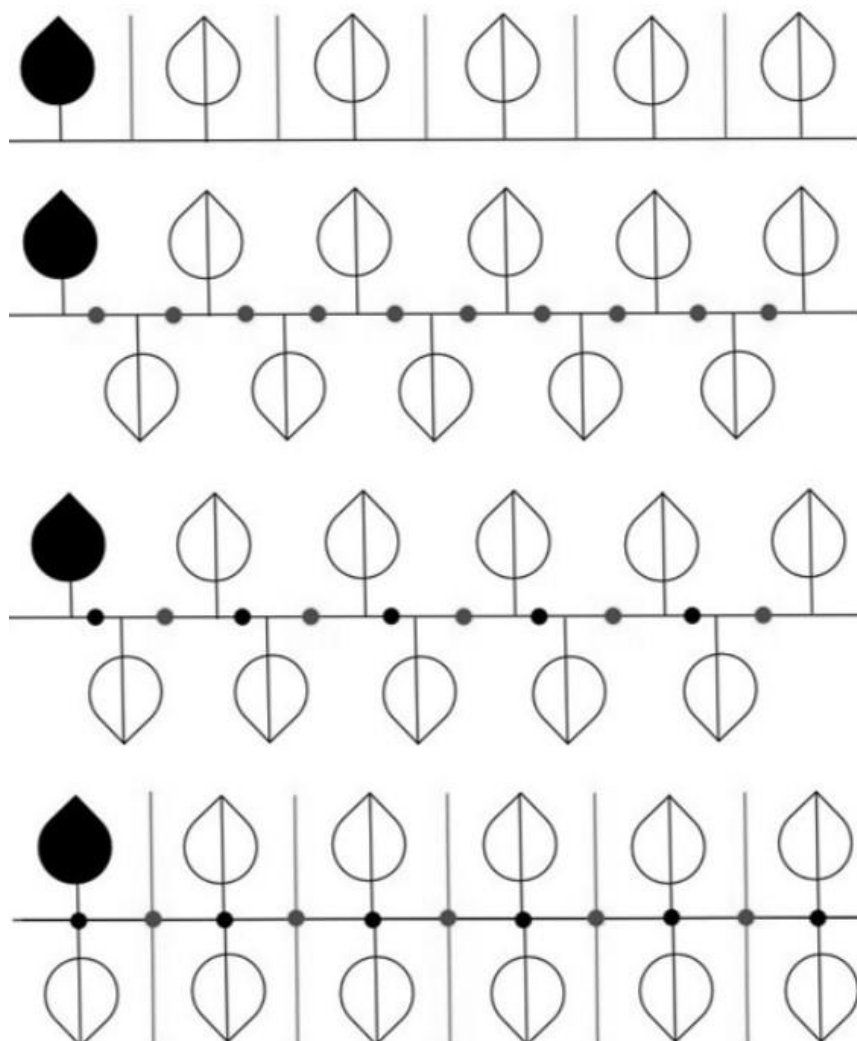


Рис. 3. Симметричный лист, ортогональное соединение с веткой: (сверху вниз) ПТ, ПТ*, СТ и РПТ
Fig. 3. Symmetrical leaf, orthogonal connection to the branch. From top to bottom: ПТ, ПТ*, СТ and РПТ

Реальные прототипы

Оказался несложным поиск реальных прототипов всех ботанических бордюров в парках и ботанических садах Санкт-Петербурга (рис. 4, 5). Заметим, что у хамедореи Зейфрица (рис. 4) за элемент повторяемости объективно следует принять пару листьев, близко прирастающих по разные стороны ветки, но всегда разделенных небольшим интервалом. Более сложная интерпретация состоит в том, чтобы допустить, что изначально листья растут ортогонально ветке (бордюр СТ, рис. 3) и наклоняются к ней по мере роста. Вопрос следует изучить дополнительно. Но весьма показательно и интересно, что точная фиксация ситуации сразу породила вопрос об онтогенезе растения. У вербеника монетного (рис. 5) тип бордюра ПТ принят на том основании, что его мутовки из двух листьев ориентированы всегда вверх и обладают внутренней симметрией, но может быть оспорен. О частоте разных бордюров в мире растений говорить рано. По нашим наблюдениям, тип ПТ наиболее редок, что и не позволило привести более убедительный пример.



Рис. 4. Косое прирастание: (фото автора; слева направо) Т – хамедорея *Chamaedorea seifrizii*;
Т* – кизильник *Cotoneaster sp.*; РТ – церцидифиллум *Cercidiphyllum japonicum*

Fig. 4. Obliquely connection, from left to right: Т – *Chamaedorea seifrizii*;
Т* – *Cotoneaster sp.*; РТ – *Cercidiphyllum japonicum*



Рис. 5. Ортогональное прирастание: (фото автора; слева направо) ПТ – вербеник *Lysimachia nummularia*; ПТ* – кочедыжник *Athyrium filix-femina*;
СТ – zamioculкас *Zamioculcas zamiifolia*; РПТ – вика *Vicia sepium*

Fig. 5. Orthogonal connection, from left to right: ПТ – *Lysimachia nummularia*;
ПТ* – *Athyrium filix-femina*; СТ – *Zamioculcas zamiifolia*; РПТ – *Vicia sepium*

Заключение

Для описания расположений листьев на условно горизонтальной ветке непротиворечивыми оказались все типы кристаллографических бордюров. При этом удобная номенклатура по порождающим операциям симметрии однозначно фиксирует ортогональное прирастание симметричного листа (ПТ, СТ, РПТ, ПТ*) или косое – симметричного и асимметричного листа (Т, Т*, РТ). Сбой периодичности в расположении листьев по шагу трансляции Т или отсутствие листа в нужном месте бордюра (если это представляется принципиально важным, а не флуктуацией) должны означать, что природа избрала другой путь рациональности для достижения своей цели – оптимизации светового потока для каждого листа. Этот тип организации выше отмечен как тривиальная группа симметрии. Все варианты ботанических бордюров установлены авторами в природе.

Выше неявно предполагалось, что листья вдоль ветки имеют одинаковый размер. Это в общем не так – в направлении роста ветки их размер уменьшается. И тогда для описания целесообразно применить симметрию подобия (Шубников, 1960). Плоскость симметрии листа, косо ориентированного к ветке, можно рассмотреть как плоскость гомологии (Михеев, 1961). Листья на дугообразной ветке можно описать в терминах криволинейной симметрии (Наливкин, 1925, 1951; Падуров, 1926; Шафрановский, 1979). Для описания расположений листьев на стеблях следует использовать (по сути, уже используются) винтовые оси. Современная кристаллография предоставляет для этого стройную теорию (Вайнштейн, 1979). Наконец, вместо одного листа природа предлагает разнообразные кластеры-мутовки (соцветия, несколько листьев, лист с иглой и т. д.). Считать их элементами бордюра или относить такую организацию к тривиальной группе симметрии – вопрос открытый. В последнем случае важно понять, как природа решила задачу оптимизации светового потока, избежав в расположении листьев кристаллографического порядка.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Атлас дикорастущих растений Ленинградской области / сост.: И. А. Сорокина, В. А. Бубырева ; науч. ред.: Е. В. Баранова, П. Г. Ефимов. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. 664 с.
- Браве О. Кристаллографические этюды : избранные науч. труды. Л. : Наука, 1974. 419 с.
- Вайнштейн Б. К. Современная кристаллография. В 4 т. Т. 1. Симметрия кристаллов. Методы структурной кристаллографии. М. : Наука, 1979. 383 с.
- Ванин А. И. Определитель деревьев и кустарников. М. : Лесная промышленность, 1967. 236 с.
- Войтеховский Ю. Л. Из опыта преподавания. VI. Симметрия бордюров // Вестник геонаук. 2020. № 8(308). С. 28–31. DOI: <https://doi.org/10.19110/geov.2020.8.4>. EDN: DLRRYV.
- Горянинов П. Ф. Основания ботаники. СПб., 1841. 375 с.
- Иллюстрированный определитель растений Ленинградской области / под ред. А. Л. Буданцева, Г. П. Яковлева. М. : Товарищество науч. изд. КМК, 2006 (М. : Типография "Наука"). 799 с.
- Кеплер И. О шестиугольных снежинках. М. : Наука, 1982. 192 с.
- Михеев В. И. Гомология кристаллов. Л. : Гостехиздат, 1961. 208 с.
- Наливкин Д. В. Криволинейная симметрия // Кристаллография. Труды Федоровской научной сессии 1949 г. : в 5 т. Л. : ЛГИ, 1951. Т. 1. С. 15–23.
- Наливкин Д. В. Элементы симметрии органического мира // Изв. Биол. научно-иссл. ин-та при Пермском ун-те. 1925. Т. 3, Вып. 8. С. 291–297.
- Падуров Н. Н. О криволинейной симметрии // Записки Российского минералогического общества. 1926. Ч. 55, Вып. 2. С. 314–334.
- Пескова И. М. Деревья и кустарники России : определитель. М. : АСТ, Аванта, 2022. 95 с.
- Шафрановский И. И. Учение о криволинейной симметрии по Д. В. Наливину // Записки Горного института. 1979. Т. 81. С. 55–60.
- Шишкин Б. К. Ботанический атлас. Репринт. М. : ЁЁ Медиа, 2020. 499 с.
- Шубников А. В. Симметрия : (Законы и их применение в науке, технике и прикладном искусстве). М. ; Л. : Изд-во Акад. наук СССР, 1940 (Таллин). 176 с.
- Шубников А. В. Симметрия подобия // Кристаллография. 1960. Т. 5, № 4. С. 489–496.

References

- Atlas of wild plants of the Leningrad region. 2010. Eds: I. A. Sorokina, V. A. Bubyreva. Moscow. (In Russ.)
- Bravais, A. 1974. Selected scientific works. Crystallographic etudes. Leningrad. (In Russ.)
- Weinstein, B. K. 1979. Modern crystallography. Vol. 1. Symmetry of crystals, methods of structural crystallography. Moscow. (In Russ.)
- Vanin, A. I. 1967. Identifier of trees and shrubs. Moscow. (In Russ.)

- Voytekhovskiy, Yu. L. 2020. From the experience of teaching. VI. Symmetry of borders. *Vestnik of Geosciences*, 8(308), pp. 28–31. DOI: <https://doi.org/10.19110308/geov.2020.8.4>. EDN: DLRRYV. (In Russ.)
- Goryaninov, P. 1841. Foundations of Botany. Saint Petersburg. (In Russ.)
- Illustrated identifier of plants of the Leningrad region. 2006. Eds: A. L. Budantsev, G. P. Yakovlev. Moscow. (In Russ.)
- Kepler, I. 1982. About hexagonal snowflakes. Moscow. (In Russ.)
- Mikheev, V. I. 1961. Homology of Crystals. Leningrad. (In Russ.)
- Nalivkin, D. V. 1951. Curvilinear symmetry. Crystallography. Proc. Fedorov Sci. Session 1949, Vol. 1, pp. 15–23. Leningrad. (In Russ.)
- Nalivkin, D. V. 1925. Elements of symmetry of the organic world. *Izv. Biol. Sci. Res. Inst. at Perm Univ.*, 3(8), pp. 291–297. (In Russ.)
- Padurov, N. N. 1926. On curvilinear symmetry. *Proc. Russ. Mineral Soc.*, 55(2), pp. 314–334. (In Russ.)
- Peskova, I. M. 2022. Trees and shrubs of Russia. Identifier. Moscow. (In Russ.)
- Shafranovsky, I. I. 1979. The doctrine of curvilinear symmetry by D. V. Nalivkin. *Journal of Mining Institute*, 81, pp. 55–60. (In Russ.)
- Shishkin, B. K. 2020. Botanical atlas. Moscow. (In Russ.)
- Shubnikov, A. V. 1940. Symmetry. Moscow–Leningrad. (In Russ.)
- Shubnikov, A. V. 1960. Symmetry of similarity. *Soviet Physics. Crystallography*, 5(4), pp. 489–496. (In Russ.)

Сведения об авторах

Войтеховский Юрий Леонидович – наб. Мойки, 48, г. Санкт-Петербург, Россия, 191186;
Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
д-р геол.-минерал. наук, профессор;
e-mail: vojtehovskijj@ Herzen.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5380-9191>

Yury L. Voytekhovskiy – 48 Moika Emb., Saint Petersburg, Russia, 191186;
A. I. Herzen Russian State Pedagogical University, Dr Sci. (Geology & Mineralogy), Professor;
e-mail: vojtehovskijj@ Herzen.spb.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5380-9191>

Гунченкова Анастасия Денисовна – наб. Мойки, 48, г. Санкт-Петербург, Россия, 191186;
Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, студент;
e-mail: gunchenkova2000@gmail.com

Anastasiya D. Gunchenkova – 48 Moika Emb., Saint Petersburg, Russia, 191186;
A. I. Herzen Russian State Pedagogical University; Student; e-mail: gunchenkova2000@gmail.com

УДК 574.5 (571.64)

Макрозообентос эстуария малой лососевой реки острова Сахалин на примере р. Горная

Е. С. Корнеев, В. С. Лабай, Л. А. Живоглядова*, О. Н. Березова,
О. Б. Шарлай, Е. В. Абрамова, Е. С. Ахмадеева

*Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства
и океанографии ("СахНИРО"), г. Южно-Сахалинск, Сахалинская обл., Россия;
e-mail: l.zhivoglyadova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2492-1336>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
04.04.2024;

принята
к публикации
03.05.2024

Ключевые слова:

донные сообщества,
молодь лососей,
кормовая база,
гидрологический
режим, эстуарий

Эстуарии как связующее звено между пресноводными и морскими экосистемами в лососевых реках играют особую роль. От условий в эстуарных зонах рек зависит успех адаптации молоди лососевых рыб при переходе к морскому периоду жизни. Работа продолжает начатый ранее цикл публикаций по рекам о-ва Сахалин. На примере одного из малых водотоков юго-восточной части острова рассматриваются гидрологические параметры и особенности структурной организации сообществ макрозообентоса эстуария, не типичного по своим характеристикам. В отсутствии штормовых заплесков проникновения морских вод в эстуарий практически не происходит. Воды с соленостью более 12 psu отмечаются только в устье у дна во время прилива, в отлив эстуарий полностью заполняется водой с соленостью 0,1 psu и ниже. Исследования гидрологического режима и донной фауны были проведены в июле 2022 г. Пробы зообентоса отбирали по продольному профилю эстуария на пяти разрезах (суммарно 75 проб). Работы показали, что большую часть эстуария заселяют виды, характерные для нижней ритрали водотоков острова. Высокая изменчивость среды обуславливает формирование в этом эстуарии молодых и нестабильных сообществ макрозообентоса, представленных быстроразмножающимися мелкоразмерными видами.

Для цитирования

Корнеев Е. С. и др. Макрозообентос эстуария малой лососевой реки острова Сахалин на примере р. Горная. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 126–141. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-126-141>.

Macrozoobenthos in the estuary of the small salmon river of Sakhalin Island on example of the Gornaya River

Egor S. Korneev, Vyacheslav S. Labay, Lyubov A. Zhivoglyadova*, Olga N. Berezova,
Oksana B. Sharlay, Evgeniya V. Abramova, Ekaterina S. Akhmadeeva

*Sakhalin Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("SakhNIRO"),
Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin region, Russia;
e-mail: l.zhivoglyadova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2492-1336>

Article info

Abstract

Received
04.04.2024;

accepted
03.05.2024

Key words:

bottom communities,
juvenile salmon,
food base,
hydrological regime,
estuary

Estuaries as a connecting link between freshwater and marine ecosystems play a special role in salmon rivers. The success of adaptation of juvenile salmonids during the transition to the marine period of life depends on the conditions in estuaries. The work continues the previously started series of publications on the rivers of Sakhalin Island. Using the example of one of the small watercourses in the southeastern part of the island, the hydrological parameters and the structural organization of benthos communities in the atypical estuary have been considered. In the absence of storm surges, penetration of sea water into the water body does not occur; at high tide, water with a salinity of more than 12 psu is observed only at the mouth at the bottom; at low tide, the estuary is completely filled with water with a salinity of 0.1 psu and lower. Studies of the hydrological regime and composition of the bottom fauna were carried out in July 2022. Zoobenthos samples were taken along the longitudinal profile of the estuary at five sections (75 samples in total). Most of the estuarine reach is inhabited by species characteristic of the lower parts of the island watercourses. High environmental variability determines the formation in the estuary of young and unstable benthos communities represented by rapidly reproducing small-sized species.

For citation

Korneev, E. S. et al. 2024. Macrozoobenthos in the estuary of the small salmon river of Sakhalin Island on example of the Gornaya River. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 126–141. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-126-141>.

Введение

В современной терминологии эстуарий рассматривается как водный объект в устьевой области реки, характеризующийся процессами смешения речных и морских водных масс (Михайлов и др., 2009; Колтаков, 2017). Интерес исследователей к этим водным объектам обусловлен их особой функциональной ролью в системе морских и пресных водоемов, а также значением в жизнедеятельности многих морских и проходных видов (Столяров, 2011; Колтаков, 2017). В эстуариях лососевых рек условия нагула и гидрологический режим определяют выживаемость молоди лососевых рыб на одном из важнейших этапов жизненного цикла – переходе из пресноводных систем в морские (Волобуев и др., 2011; Изергин и др., 2018).

Настоящая работа продолжает цикл публикаций, посвященных особенностям организации донной фауны эстуариев лососевых рек о-ва Сахалин. Ранее на примере водотоков с хорошо выраженными эстуарными зонами (р. Мануй, бассейн Охотского моря и р. Сусуя, бассейн залива Анива) были показаны пространственная гетерогенность и изменение структуры сообществ макрозообентоса в градиенте солености и других факторов среды (Лабай и др., 2022). В отличие от указанных водотоков многие малые реки о-ва Сахалин, сохраняющие в нижнем течении характер предгорного водотока, не имеют развитого эстуария. Затока соленых вод в такие водные объекты практически не происходит, структурирующая роль солености в их эстуариях слабо выражена или отсутствует. Работа посвящена описанию гидрологического режима и особенностей организации донных сообществ подобных эстуариев на примере одного из водотоков восточной части острова – реки Горная.

Река Горная является базовой для лососевого рыбозаводного завода "ЛРЗ Горная" со средним выпуском молоди лососевых 25 млн шт., из которых 20 млн шт. приходится на кету. Сведения о гидрологическом режиме ее эстуария, количественных показателях донных сообществ, формирующих основу кормовой базы рыб, могут быть востребованы при оценке приемной емкости и иметь практическое значение при организации выпуска молоди рыб.

Район исследований

Река Горная берет свое начало с западного склона г. Дружеская (высота 523 м) Западно-Лисянского хребта и впадает в зал. Терпения Охотского моря. Протяженность основного русла реки составляет 33 км, площадь бассейна – 138 км².

Долина нижнего течения р. Горная широкая – до полутора километров. Ширина реки на этом участке варьирует от 8 до 45 м. Русло реки извилистое, местами раздваивается, имеются галечные косы длиной от 10 до 50 м. Чередование плесов и перекатов хорошо выражено, скорость течения на плесах достигает 0,6 м/сек, на перекатах – 1,0 м/сек, глубина соответственно 0,15–0,6 м и 0,1–0,4 м.

В роли верхней границы эстуария выступает гравийно-галечный перекат, расположенный в 100 м ниже пересечения с автодорогой (рис. 1). В ходе активных процессов переформирования русла морфология дна и берегов эстуария постоянно меняется. На рис. 1 представлены спутниковые снимки 2005 г. (а) и 2022 г. (б), позволяющие оценить масштаб этих изменений. К 2022 г. в результате спрямления нижнего участка русла протяженность эстуария р. Горная сократилась почти в два раза, в настоящее время длина эстуарной зоны реки составляет 0,3 км.

Материалы и методы

Отбор и обработку проб макрозообентоса проводили в соответствии с принятыми методиками¹. При отборе проб использовали складной бентометр (модификация бентометра Леванидова) с площадью 0,12 м², фильтрующий конус (длина 0,6 м) изготовлен из мельничного газа с размером ячеек 220 мкм.

Бентосная съемка выполнена на пяти разрезах (рис. 2). Каждый разрез включал пять станций – рипаль у правого и левого берегов, фарватер и по обе стороны от фарватера.

¹ Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под ред. В. А. Абакумова. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 240 с. ; Методические рекомендации по сбору и определению зообентоса при гидробиологических исследованиях водотоков Дальнего Востока России : методическое пособие. М. : ВНИРО, 2003. 95 с.

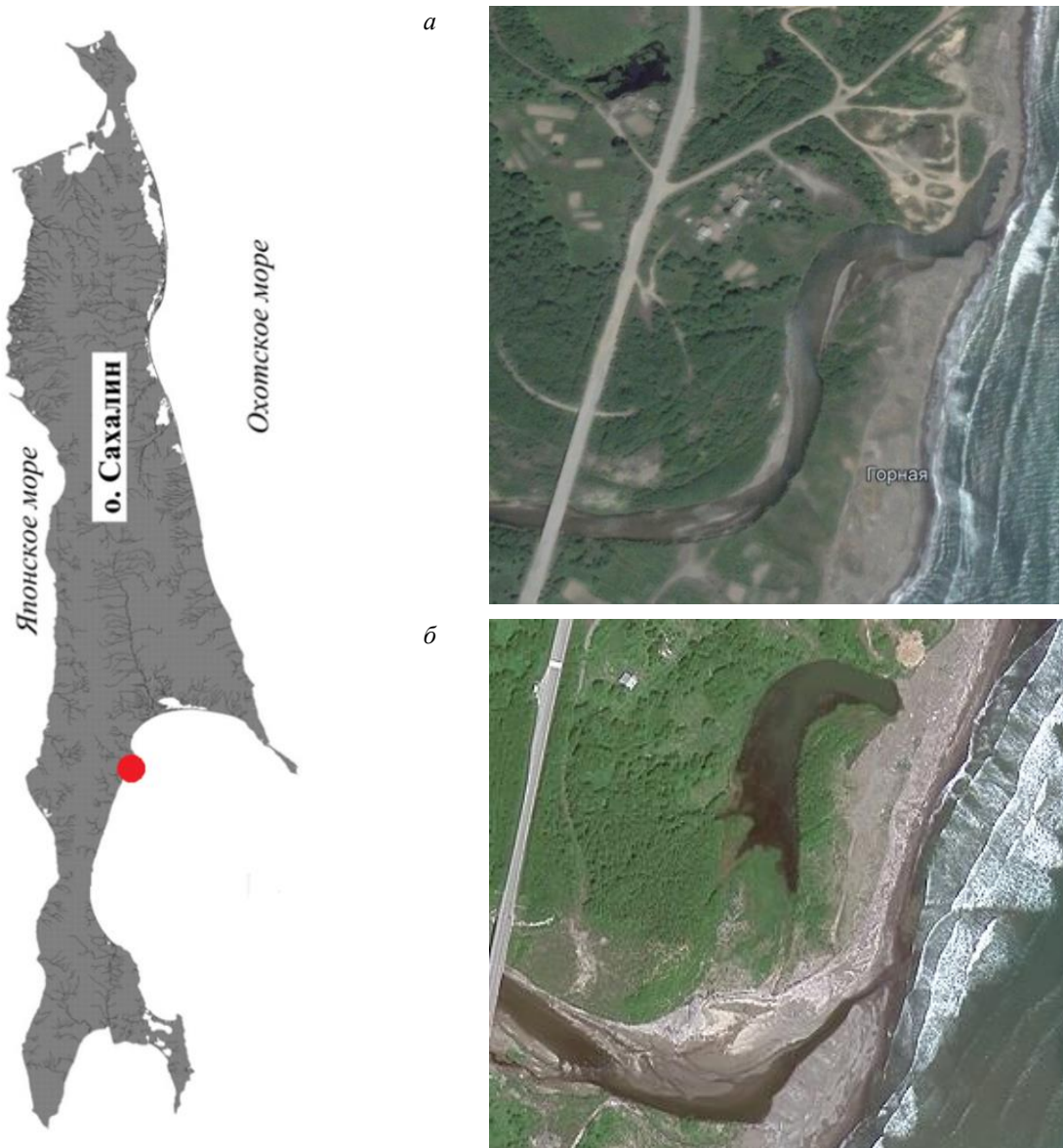


Рис. 1. Район работ, спутниковый снимок эстуария р. Горная: а – 2005 г., б – 2022 г.
Fig. 1. Scheme of the study area, satellite image of the Gornaya River estuary: а – 2005, б – 2022



Рис. 2. Карта-схема разрезов на р. Горная
Fig. 2. Map-scheme of sampling transects of the Gornaya River

Пробы на каждой станции отбирали в трех повторностях. Всего собрано 75 проб макробентоса (табл. 1). Фиксацию бентоса проводили 4%-м нейтрализованным формалином.

Таблица 1. Объем материала, собранного на р. Горная в июле 2022 г.
Table 1. The volume of material collected on the Gornaya River in July, 2022

Разрез	Удаление от устья, км	Максимальная глубина, м	Элемент русла	Количество станций	Количество проб
1	0,00	0,2	устье	5	15
2	0,027	0,43	эстуарный плес	5	15
3	0,075	0,57	эстуарный плес	5	15
4	0,173	0,87	эстуарный плес	5	15
5	0,279	0,62	перекат	5	15
Всего					75

По всей толще воды на каждом разрезе параллельно с отбором проб бентоса с помощью мультипараметрического зонда Horiba U 5000G производили измерения солености водных масс (psu) и температуры (°C).

Структуру донных сообществ характеризовали по следующим параметрам: число видов (S); удельная численность (плотность) (N , экз./м²); биомасса (B , г/м²); частота встречаемости (ЧВ, %). При описании видового состава "видом" обозначали "низший определяемый таксон" (Протасов, 2012). Удельную численность и биомассу определяли с учетом всех проб. Массовыми считались виды при ЧВ более 50 %.

Для классификационных и ординационных процедур в качестве меры обилия видов использовали показатель интенсивности метаболизма Q (кал/м² × ч), связывающий оценки численностей и биомасс в единую переменную. Этот показатель эквивалентен энергетическим затратам на дыхание всех особей и определяется по формуле (Кучерук и др., 1985; Мокиевский и др., 2012)

$$Q = k \cdot B_i^{0.75} \cdot N_i^{0.25},$$

где B_i (г/м²) – удельная биомасса вида; N_i (экз./м²) – удельная плотность вида.

Коэффициент k для разноногих ракообразных (Amphipoda) принят равным 0,302; для равноногих ракообразных (Isopoda) – 0,133; для личинок насекомых (Diptera, Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Coleoptera) – 0,189 (Голубков, 2000; Алимов и др., 2013).

Оценку сходства между станциями и разделение их по сообществам проводили, используя индекс Чекановского (Максимович и др., 1986). Станции отнесены к единому сообществу при превышении значения индекса 40 %. Расчет матриц и их кластеризацию выполняли в программе Statistica version 8. Кластеризацию исходных матриц осуществляли по методу невзвешенных парно-групповых средних (unweighted pair-group average).

Для описания структуры сообщества и определения доминирующих таксонов использовали коэффициент относительности (КО) – произведение относительной средней B (%) или показателя Q (%) на частоту встречаемости (%) (Лайт, 1961). Вид считали доминирующим (превалирующим), если значение КО находилось в интервале 1 000–10 000 (доля доминирующего вида от общей Q сообщества составляла более 10 % при ЧВ 100 %). Названия сообществ приведены по доминирующим видам.

Видовое разнообразие водных сообществ оценивали с использованием индекса видового разнообразия (энтропийного индекса) Шеннона – Винера ($I_{\text{ВВ}}$, бит/экз.) (Shannon, 1948). Размерную структуру сообществ и степень ее трансформации оценивали АВС-методом (abundance-biomass comparison method) (Warwick, 1986) по АВС-индексу (Meire et al., 1990).

Для определения типа питания отдельных видов макрозообентоса применяли следующую номенклатуру трофических группировок: Br – макроизмельчитель, De – грунтофаг, Gr – соскребатель, Dt – собирающий детритофаг, Pr – хищник, Sc – падальщик, Su – сестонофаг (фильтратор). Для некоторых видов характерно совмещение нескольких типов питания, что выражалось в смешанной характеристике, например: De, Dt или Dt, Su или Dt, Br, Sc.

Результаты исследований

Гидрологическая характеристика эстуария р. Горная

В период проведения работ (7.07.2022) скорость течения на обследованном участке русла варьировала от 0,008 до 1,035 м/с. Максимальные значения отмечали в устье. Глубина изменялась от 0,05 до 0,87 м, батиметрический профиль вдоль продольной оси эстуария представлен на рис. 3. Там же показано вертикальное распределение солености водных масс.

В прилив морские воды с соленостью до 12 psu отмечали у дна на первом и втором разрезах. Проникновения морских вод вверх по течению реки выше 20–30 м от устья не происходило. В отлив речной сток полностью вытеснил морские воды с эстуарной зоны и соленость на всех разрезах составляла 0,1 psu.

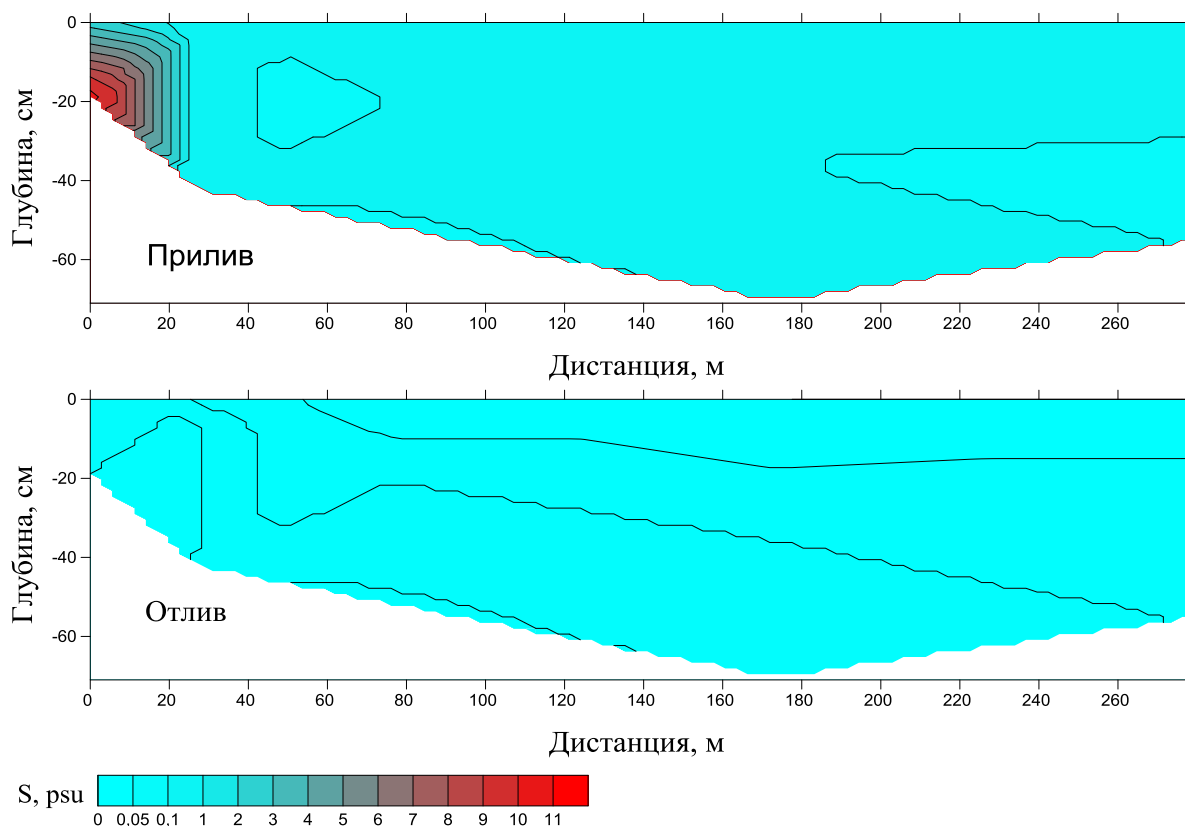


Рис. 3. Батиметрический профиль и вертикальное распределение солености водных масс вдоль эстуария р. Горная, 7 июля 2022 г. во время прилива (вверху) и отлива (внизу)

Fig. 3. Bathymetric profile and vertical distribution of salinity of water masses along the estuary of the Gornaya River, July 7, 2022 during high tide (above) and low tide (below)

Видовой состав и особенности пространственного распределения макробентоса

В составе донной фауны отмечено 44 вида донных беспозвоночных (табл. 2). Основу видового списка формировали личинки и куколки хирономид (22 вида). Второй по значимости группой таксоцена являлись личинки поденок – 10 видов, в составе прочих групп отмечено от 1 до 3 таксонов.

Таблица 2. Видовой состав макрозообентоса эстуария р. Горная, июль 2022 г.

Table 2. Species of macrozoobenthos in the estuary of the Gornaya River, July 2022

№	Группа	Вид	Разрезы				
			1	2	3	4	5
1	Amphipoda	<i>Ampelisca macrocephala</i> Liljeborg, 1852	+	–	–	–	–
2	Amphipoda	<i>Eogammarus kygi</i> (Derzhavin, 1923)	+	+	+	+	+
3	Amphipoda	<i>Photis spasskii</i> Gurjanova, 1951	+	–	–	–	–
4	Coleoptera	<i>Esolus</i> sp. (larv.)	–	–	–	+	–
5	Diptera	Chironomidae gen. sp. (larv.)	+	–	–	–	–
6	Diptera	<i>Chironomus (Lobochironomus) dorsalis</i> Meigen, 1818 (larv.)	–	–	+	+	–
7	Diptera	<i>Chironomus</i> sp. (pup.)	–	–	+	+	–
8	Diptera	<i>Corynoneura arctica</i> Kieffer, 1923 (larv.)	+	–	–	–	+
9	Diptera	<i>Demicryptochironomus vulneratus</i> (Zetterstedt, 1838) (larv.)	–	–	+	–	–
10	Diptera	<i>Doncricotopus bicaudatus</i> Saether, 1981 (larv.)	–	–	+	–	–
11	Diptera	<i>Eukiefferiella</i> gr. <i>gracei</i> (larv.)	–	–	–	+	–
12	Diptera	<i>Glyptotendipes gripekoveni</i> (Kieffer, 1913) (larv.)	–	–	+	–	–
13	Diptera	<i>Hexatoma</i> sp. (larv.)	–	–	+	–	–
14	Diptera	<i>Orthocladius frigidus</i> (Zetterstedt, 1838) (larv.)	–	–	+	–	–

15	Diptera	<i>Orthocladius (Orthocladius) gr. saxicola</i> (larv.)	–	+	+	–	–
16	Diptera	<i>Orthocladius</i> sp. (pup.)	–	–	+	–	–
17	Diptera	<i>Paratanytarsus inopertus</i> Walker, 1856 (larv.)	–	+	–	–	–
18	Diptera	<i>Polypedilum bicrenatum</i> Kieffer, 1921 (larv.)	–	–	+	+	+
19	Diptera	<i>Polypedilum (Polypedilum) pedestre</i> (Meigen, 1830) (larv.)	–	–	+	+	+
20	Diptera	<i>Polypedilum</i> sp. (pup.)	–	–	–	–	+
21	Diptera	<i>Procladius gr. choreus</i> (larv.)	–	–	–	+	+
22	Diptera	<i>Psectrocladius (s. str.) bisetus</i> Goetgh. (larv.)	–	–	+	+	+
23	Diptera	<i>Psectrocladius (s. str.) zetterstedti</i> Brundin, 1949 (larv.)	–	–	+	–	–
24	Diptera	<i>Sergentia baueri</i> Wülker et al., 1998 (larv.)	–	–	+	–	–
25	Diptera	<i>Tanytarsus</i> sp. (larv.)	+	–	+	+	+
	Diptera	<i>Tanytarsus</i> sp. (pup.)	+	–	+	+	+
26	Diptera	<i>Tokunagaia ambigua</i> Makarchenko et Makarchenko, 2006 (larv.)	–	–	+	–	+
27	Ephemeroptera	<i>Baetis (Acentrella) sibiricus</i> (Kazlauskas, 1963) (larv.)	+	–	–	–	+
28	Ephemeroptera	<i>Baetis (Baetis) sp.</i> (larv.)	+	+	+	+	+
29	Ephemeroptera	<i>Baetis ursinus</i> Kazlauskas, 1963 (larv.)	–	–	–	+	+
30	Ephemeroptera	<i>Ecdyogymnurus aspersus</i> Kluge, 1980	+	–	–	–	+
31	Ephemeroptera	<i>Ecdyonurus</i> sp.	–	–	–	–	+
32	Ephemeroptera	<i>Epeorus</i> sp. (larv.)	–	–	–	–	+
33	Ephemeroptera	<i>Epeorus (Belovius) sp.</i> (larv.)	–	–	–	–	+
34	Ephemeroptera	<i>Ephemerella aurivillii</i> Bengtsson, 1908 (larv.)	+	+	+	–	+
35	Ephemeroptera	<i>Neoleptophlebia japonica</i> (Matsumura, 1931) (larv.)	–	–	+	–	+
36	Ephemeroptera	<i>Rhithrogena (Rhithrogena) gr. lepnevae</i> (larv.)	–	+	–	–	–
37	Isopoda	<i>Synidotea cinerea</i> Gurjanova, 1933	+	–	–	–	–
38	Nematoda	Nematoda gen. sp.	+	–	+	–	+
39	Oligochaeta	<i>Specaria josinae</i> (Vejdovský, 1884)	+	+	+	+	+
40	Plecoptera	<i>Amphinemura borealis</i> (Morton, 1894) (larv.)	–	–	–	–	+
41	Plecoptera	<i>Sweltsa</i> sp. (larv.)	–	+	–	–	–
42	Plecoptera	<i>Suwallia</i> sp. (larv.)	+	+	+	–	+
43	Trichoptera	<i>Apatania</i> sp. (larv.)	–	–	+	–	+
44	Trichoptera	<i>Ceratopsyche orientalis</i> Martynov, 1934 (larv.)	–	–	+	–	–
	Итого		15	9	26	14	24

Длина видового списка по разрезам изменялась от 9 до 26 видов – с минимумом на втором и максимумом на третьем створах. В устьевой зоне эстуария были отмечены специфические морские беспозвоночные, занесенные с приливными водами, – амфиподы *Ampelisca macrocephala*, *Photis spasskii* и изопода *Synidotea cinerea*. Все остальные виды являлись обычными представителями нижней ритрали рек о-ва Сахалин. Массовым видом с частотой встречаемости 72 % являлась олигохета *Specaria josinae*.

Распределение количественных показателей вдоль продольной оси эстуария имело схожую динамику как по численности, так и по биомассе (рис. 4). От нижнего створа к верхнему плотность и биомасса беспозвоночных увеличивались. Этот рост достигал одного порядка по численности – с $36 \pm 5,8$ до $342 \pm 47,7$ экз./м², и почти порядка по биомассе – с $0,064 \pm 0,009$ до $0,502 \pm 0,059$ г/м².

В устье реки и на створе выше основу плотности формировали олигохеты (38–70 %). На третьем разрезе наблюдалась смена доминирующих групп и основной вклад в общую плотность вносили двукрылые (63 %). Схожей была ситуация и на четвертом разрезе, где также доминировали двукрылые (78 %). На верхнем створе численность двукрылых резко сократилась и доминирующее положение вновь заняли олигохеты (рис. 4, б).

Структура доминирования по биомассе изменялась аналогичным образом (рис. 4, в, г) с увеличением роли амфипод. В устье реки и створом выше преобладали поденки (49 %) и амфиподы (35 %). На третьем разрезе произошла смена доминант и основной вклад в общую биомассу вносили двукрылые (37–67 %). На верхнем разрезе структура доминирования восстановилась и лидирующее положение вновь заняли амфиподы и поденки.

Расположение критических для макробентоса участков оценивали по распределению вдоль оси эстуария значений индекса Шеннона – Винера (рис. 5). В р. Горная отклонения от стандартного соотношения индексов характеризовали весь эстуарий реки, кроме устьевых разреза.

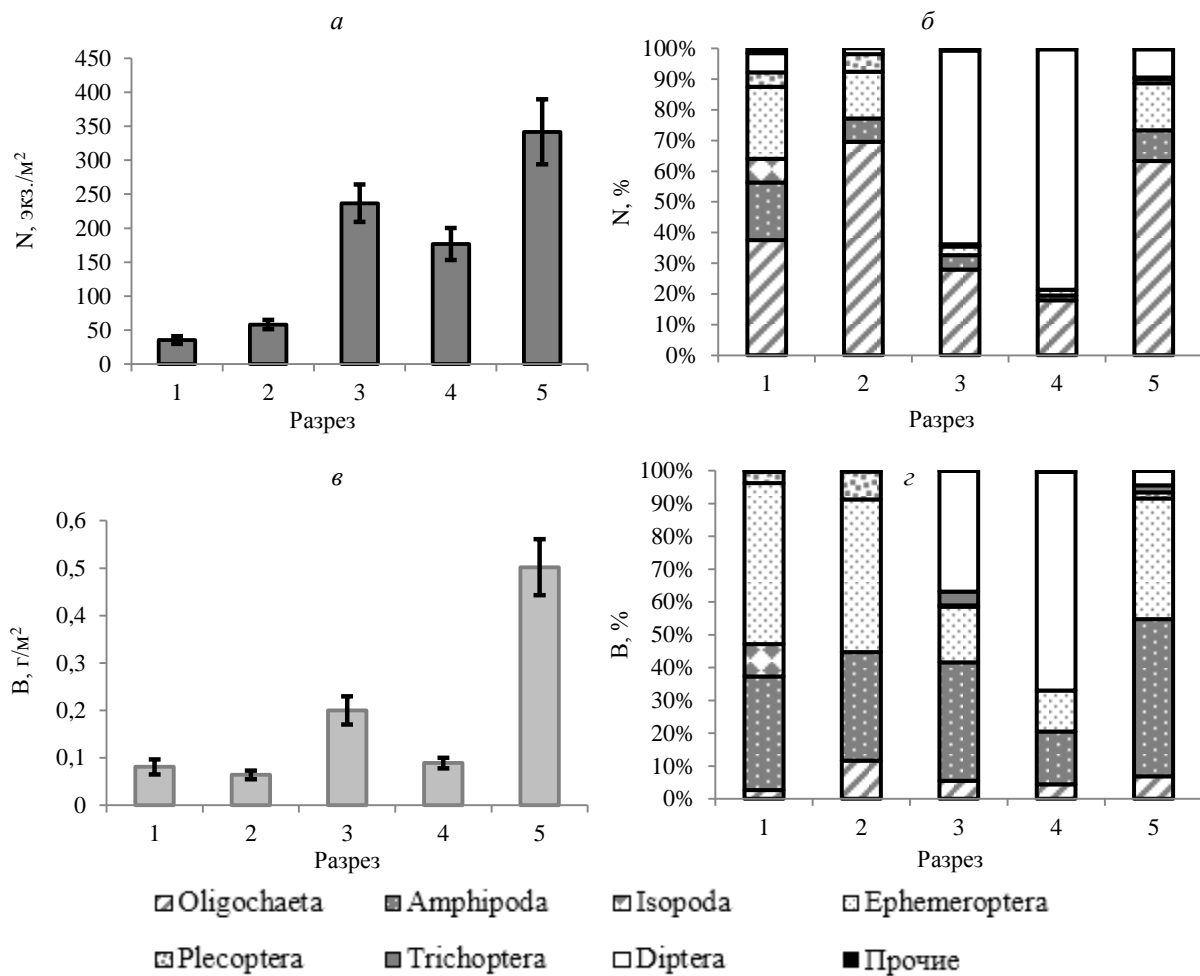


Рис. 4. Изменение общей плотности (а, б) и биомассы (в, з) макробентоса вдоль эстуария р. Горная
 Fig. 4. Changes in the total density (а, б) and biomass (в, з) of macrobenthos along the estuary of the Gornaya River

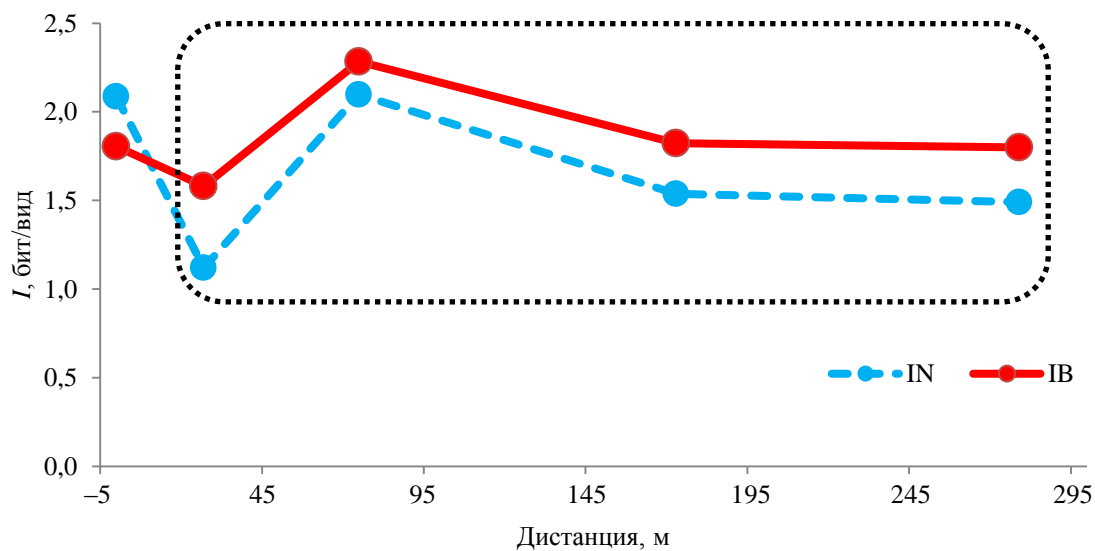


Рис. 5. Динамика индекса видового разнообразия по численности (IN) и биомассе (IB) макробентоса вдоль эстуария р. Горная
 Fig. 5. Dynamics of the index of species diversity in terms of abundance (IN) and biomass (IB) of macrobenthos along the estuary of the Gornaya River

В распределении ABC-индекса (рис. 6) наблюдалось снижение на границах переходных зон. Положение нижней критической (граничной) точки на приустьевом створе закономерно показывало границу с морским прибрежьем. Критическая точка на разрезе 4 отмечала границу перехода эстуария к нижней ритрали реки.

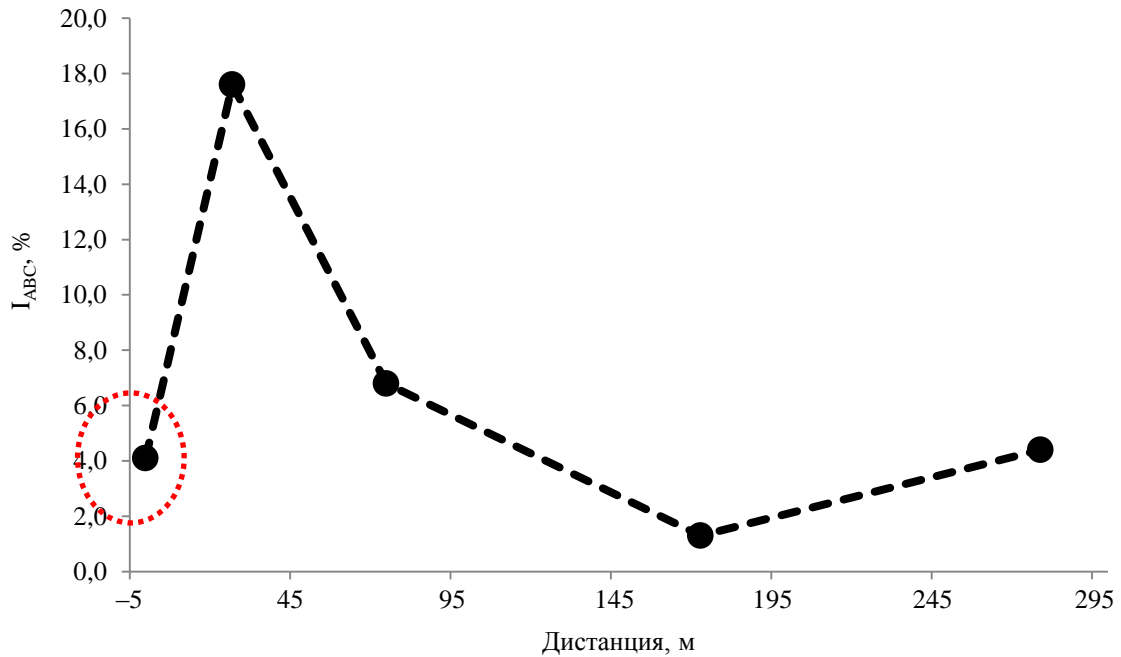


Рис. 6. Динамика ABC-индекса I_{ABC} макробентоса вдоль эстуария р. Горная
 Fig. 6. Dynamics of the ABC-index I_{ABC} of macrobenthos along the estuary of the Gornaya River

Основные сообщества

На дендрограмме сходства станций по структуре макробентоса выделено шесть кластеров (рис. 7). Кластер "А" соответствовал донному сообществу с доминированием ракообразных *Eogammarus kugi*, доля доминанта от общей биомассы составляла 46 %. Диапазон глубин, на котором было выделено данное сообщество, варьировал от 0,1 до 0,87 м. Структура грунтов кластера включала мелкий песок с алевритом, мелкую и крупную гальку и булыжники (табл. 3).

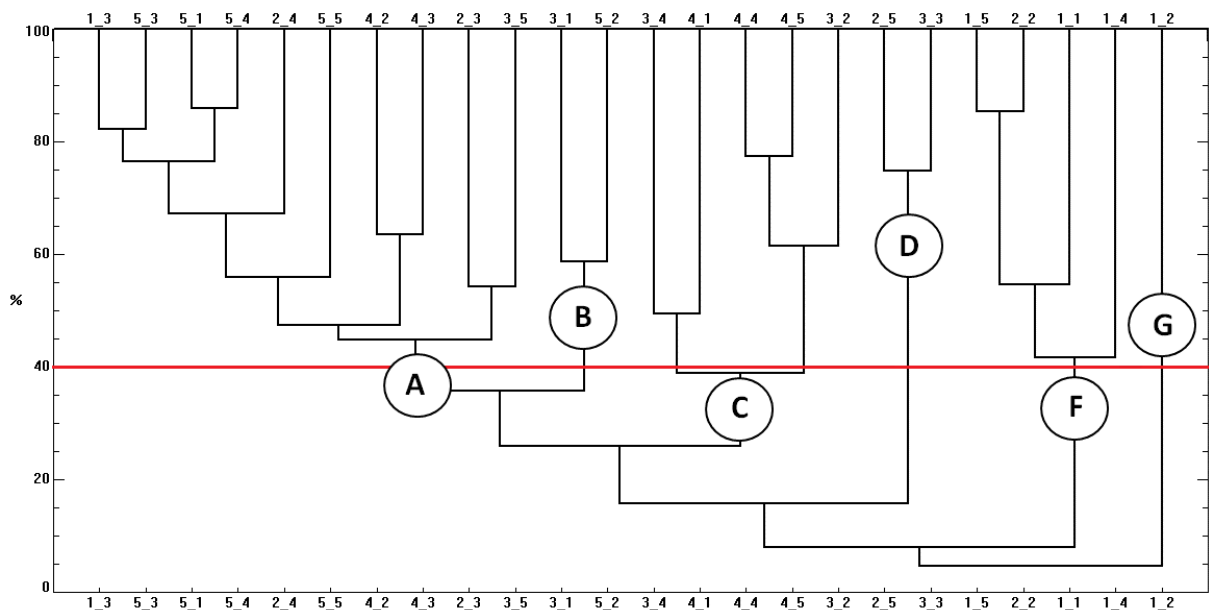


Рис. 7. Дендрограмма сходства станций макрозообентоса эстуария р. Горная
 Fig. 7. Dendrogram of similarity of macrozoobenthos stations in the estuary of the Gornaya River

Таблица 3. Показатели обилия макробентоса донных сообществ эстуария р. Горная
 Table 3. Abundance of macrobenthos in benthic communities of the estuary of the Gornaya River

Сообщество (по доминанту)	<i>Eogammarus kygi</i>	<i>Ephemera aurivillii</i> + <i>Baetis</i> sp.	<i>Tanytarsus</i>	<i>Specaria josinae</i>	<i>Baetis</i> sp.	<i>Baetis (Acentrella) sibiricus</i>	
Номер станций	1_3, 5_3, 5_1, 5_4, 2_4, 5_5, 4_2, 4_3, 2_3, 3_5	3_1, 5_2	3_4, 4_1, 4_4, 4_5, 3_2	2_5, 3_3	1_5, 2_2, 1_1, 1_4	1_2	
Глубина, м	0,1–0,87	0,32–0,62	0,24–0,57	0,15–0,48	0,05–0,4	0,15	
Тип грунта	от мелкого песка с алевритом до крупной гальки	от гальки с алевритом до крупной гальки	алеврит, песок	песок, алеврит, мелкая галька	галька, песок	галька	
<i>S</i> , psu	0,1–12	0,1	0,1	0,1	0,1–12	6	
<i>S</i> , видов	34	15	21	4	8	2	
<i>N</i> , экз./м ²	226 ± 32	165 ± 16,6	253 ± 31	101 ± 11,5	29 ± 39	6	
<i>B</i> , г/м ²	0,280 ± 0,039	0,201 ± 0,020	0,130 ± 0,015	0,017 ± 0,002	0,51 ± 0,007	0,016	
<i>B</i> _{доминанты} , %	46,2	51,4	56,5	88,8	68,9	96,6	
В отдельных группах, %	Oligochaeta	5,5	6,0	5,6	88,8	1,9	3,4
	Amphipoda	46,2	10,7	6,6	0,0	5,5	0,0
	Isopoda	0,0	0,0	0,0	0,0	19,6	0,0
	Ephemeroptera	30,6	56,9	17,1	0,0	68,9	96,6
	Plecoptera	2,0	2,8	0,0	0,0	3,8	0,0
	Trichoptera	1,4	14,5	1,7	0,0	0,0	0,0
	Diptera	14,2	9,2	68,7	11,2	0,3	0,0
<i>I</i> , бит/вид	<i>N</i>	2,00	1,98	1,60	0,45	1,66	0,69
	<i>B</i>	2,04	2,04	2,11	0,45	0,98	0,15
<i>I</i> _{ABC}	4,1	17,6	–1,1	0,1	16,8	23,3	

Следующий кластер "В" идентифицирован как сообщество поденок *Ephemerella aurivillii* и *Baetis* (*Baetis*) sp., в котором на долю доминирующих видов приходилось 51 % от общей биомассы. Состав грунтов сообщества был представлен галькой, алевритом, крупным песком и булыжниками на глубинах 0,32–0,62 м.

Кластер "С" объединял станции, локализованные на мелкодисперсных грунтах (алеваит, песок) с диапазоном глубин от 0,24 до 0,57 м. Доминировали в данном сообществе личинки и куколки двукрылых *Tanytarsus* sp., которые в сумме составляли 57 % от общей биомассы.

Следующий кластер "D" соответствовал сообществу малощетинковых червей *Specaria josinae*, которые формировали основную часть биомассы (89 %) на глубинах 0,15–0,48 м. Структура грунтов, на которых располагалось сообщество, включала песок, алеврит и мелкую гальку.

Сообщество личинок поденок *Baetis* sp. "F" было зафиксировано на глубинах 0,05–0,4 м преимущественно на галечных грунтах с небольшой примесью песка. Биомасса доминирующего вида составила 69 % от общей.

Последнее выделенное сообщество с доминированием личинок поденок *Baetis* (*Acentrella*) *sibiricus* – кластер "G" – располагалось на галечных грунтах на глубине 0,15 м. Они же слагали основу биомассы (96,6 %).

Распределение основных сообществ макробентоса в эстуарии р. Горная показано на рис. 8.

Рис. 8. Распределение основных сообществ макробентоса в эстуарии р. Горная, обозначения сообществ см. на рис. 7

Fig. 8. Distribution of main macrobenthos communities in the estuary of the Gornaya River, for community designations see Fig. 7

135

На ординационном плоте, показывающем сходство в распространении массовых видов бентоса, показателей обилия макробентоса в целом и известных абиотических факторов, большинство видов объединяются в одну группу (рис. 9), биомасса которых возрастает с уменьшением глубины.

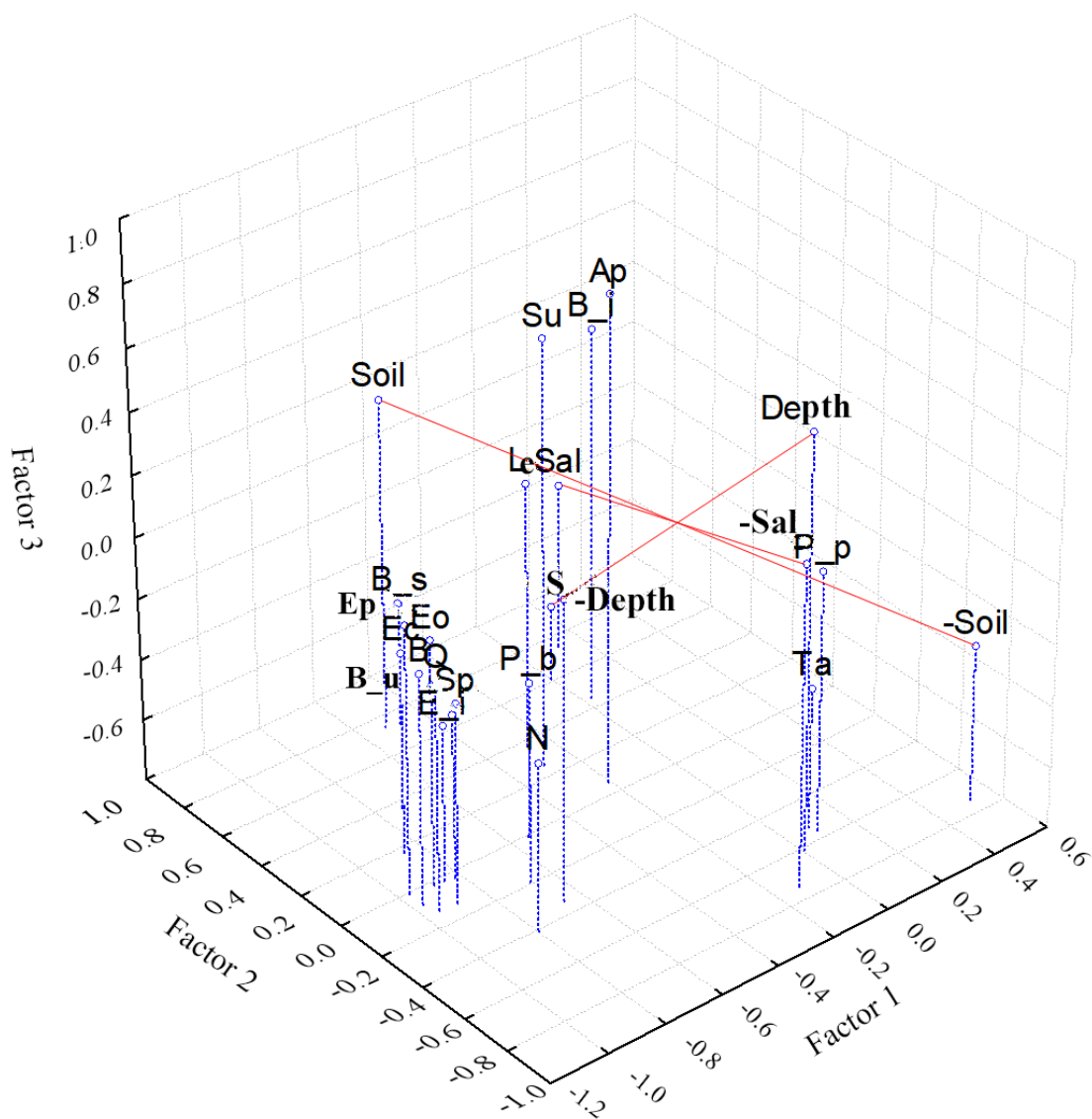


Рис. 9. Ординационный плот сходства массовых видов макробентоса, показателей обилия макробентоса и факторов среды; сокращения: Eo – *Eogammarus kygi*, P-b – *Polypedilum bicrenatum*, P-p – *Polypedilum (Polypedilum) pedestre*, Ta – *Tanytarsus* sp., B-i – *Baetis* sp., B-s – *Baetis (Acentrella) sibiricus*, Ec – *Ecdyogymnurus aspersus*, E-i – *Epeorus* sp., Ep – *Ephemerella aurivillii*, Le – *Neoleptophlebia japonica*, B-u – *Baetis ursinus*, Sp – *Specaria josinae*, Su – *Suwallia* sp., Ap – *Apatania* sp., Sol – солёность воды, Temp – температура воды, Depth – глубина, Soil – тип грунта, S – количество видов, N – плотность, B – биомасса, Q – эквивалент энергетических затрат бентоса на дыхание

Fig. 9. Ordination raft of similarity between mass species of macrobenthos, indicators of macrobenthos abundance and environmental factors; abbreviations: Eo – *Eogammarus kygi*, P-b – *Polypedilum bicrenatum*, P-p – *Polypedilum (Polypedilum) pedestre*, Ta – *Tanytarsus* sp., B-i – *Baetis* sp., B-s – *Baetis (Acentrella) sibiricus*, Ec – *Ecdyogymnurus aspersus*, E-i – *Epeorus* sp., Ep – *Ephemerella aurivillii*, Le – *Neoleptophlebia japonica*, B-u – *Baetis ursinus*, Sp – *Specaria josinae*, Su – *Suwallia* sp., Ap – *Apatania* sp., Sol – water salinity, Temp – water temperature, Depth – depth, Soil – soil type, S – number of species, N – density, B – biomass, Q – equivalent energy expenditure of benthos for respiration

Трофическая характеристика

Из семи выявленных трофических групп основу биомассы макрозообентоса формировали всего три группы (рис. 10). В устье р. Горная "собирающие детритофаги", к которым относятся два вида поденок, четыре вида двукрылых и один вид изопод, создавали основу биомассы. Группа со смешанным типом питания "собирающие детритофаги + макроизмельчители + падальщики" была представлена одним видом амфипод *Eogammarus kygi* и имела второй по значимости вклад в общую биомассу. Третья по значимости группа "соскребатели" была представлена двумя видами поденок *Ephemerella aurivillii* и *Ecdyogymnurus aspersus*. Прочие группы – "грунтофаги", "микроизмельчители" и "сестонофаги" вносили наименьший вклад в общую биомассу как на устьевом разрезе, так и по всему эстуарию в целом. Выше по течению основные группы, которые доминировали в устье реки, сохраняли свой вклад в общую биомассу, меняя пропорции. Хищники в эстуарии р. Горная были представлены только на двух разрезах (3, 4 разрезы) и вносили незначительный вклад в биомассу – от 0,8 до 2,8 %.

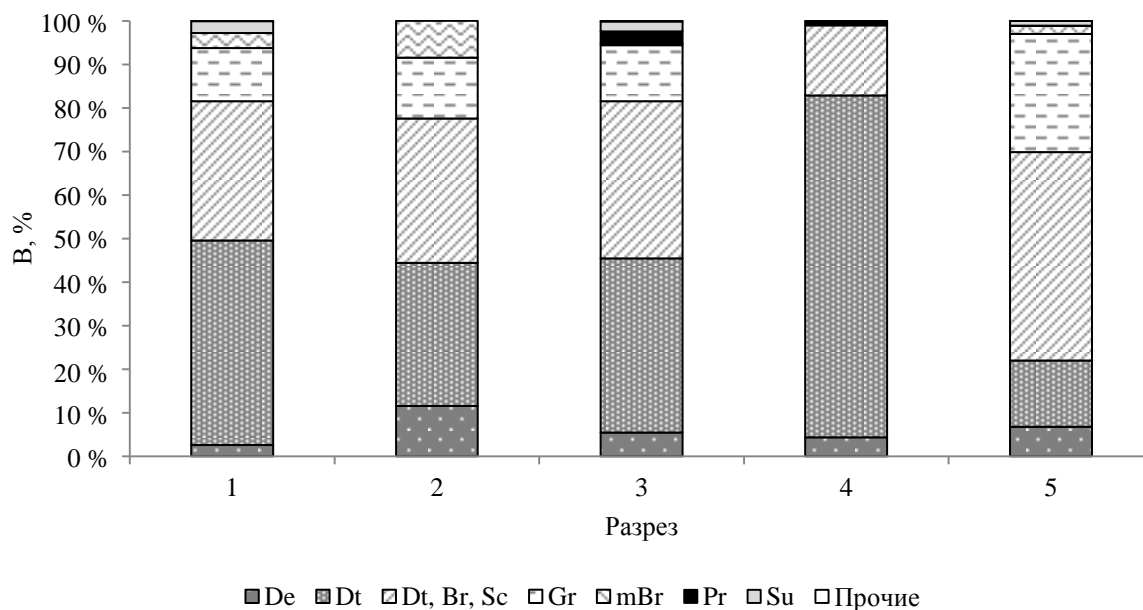


Рис. 10. Изменчивость биомассы (B , $г/м^2$) трофических групп макробентоса вдоль эстуария р. Горная
Fig. 10. Variability of biomass (B , $г/м^2$) of trophic groups of macrobenthos along the estuary of the Gornaya River

Обсуждение результатов

Исследования гидрологических характеристик р. Горная в июле 2022 г. показали нетипичную для эстуарных зон ситуацию по солености. Здесь практически отсутствовал градиент солености как вертикальный, так и в направлении от устья к верхней части. В прилив морские соленые воды проникали только в приустьевую часть, в отлив из-за сильного речного стока эстуарий полностью заполнялся пресной водой. По нашим наблюдениям, заплеск морских вод в эстуарий р. Горная происходит только под действием нагонных и штормовых волн, что сопровождается резким, но кратковременным увеличением солености. Согласно гидролого-морфологической типизации (Михайлов и др., 2009) данный эстуарий можно отнести к типу русловых эстуариев без устьевого расширения. Гидрологические процессы в таких эстуариях преимущественно находятся под влиянием речного стока, а влияние моря ограничивается сгонно-нагонными явлениями. Для данного случая, который нередко встречается в Сахалино-Курильском регионе, мы предлагаем ввести название "заплесковый эстуарий".

Несмотря на сравнительно малую протяженность эстуария, здесь был зарегистрирован внушительный видовой список донных беспозвоночных (44 вида). Для сравнения в эстуарии р. Мануй (протяженность 6,0 км) длина видовой списка составляла 23 вида, в эстуарии р. Сусуя (8,5 км) – 57 видов. Большая часть представленных в эстуарии р. Горная беспозвоночных являлись типичными обитателями ритрала сахалинских рек (Живоглядова и др., 2012; Лабай и др., 2015). Личинки поденок рода *Vaetis* известны как обычная форма дрефта беспозвоночных (Живоглядова и др., 2015) и, по-видимому, были снесены в эстуарий речным потоком.

Изменения в качественном и количественном составе донной фауны по продольному профилю определялись особенностями гидрологического режима створов. Структурирующая роль солености

прослеживалась только на первых двух створах. Морские виды выше первого створа не проникали. На втором створе (27 м от устья), представляющим границу приливных вод, был отмечен минимум по числу видов. Здесь на одной из станций донные организмы вовсе отсутствовали. Третий створ (75 м от устья) характеризовался резкой сменой доминирующих групп. Четвертый и пятый створы (280 м от устья) представляли же типичную нижнюю ритраль с преобладанием сообщества *Eogammarus kygi* (Живоглядова и др., 2012; Лабай и др., 2015). Бокоплав *Eogammarus kygi* – реликт солоноватоводных плейстоценовых морей Японского и Охотского (Лабай, 2011), широко распространенный в низовьях сахалинских рек, где часто образует одноименное сообщество на участках, богатых детритом (Живоглядова и др., 2012).

Нестандартное соотношение индексов Шеннона – Винера характеризовало весь эстуарий реки, кроме устья. Это указывает на нестабильные условия эстуария, при которых формируются только молодые сообщества, представленные быстроразмножающимися мелкоразмерными видами.

Область критически низкой биомассы в эстуарии р. Горная находилась в приустьевой зоне, максимальная биомасса была отмечена на верхнем створе.

Трофическая структура является важным аспектом организации сообществ, позволяющим определить границы основных функциональных зон эстуариев. В эстуарии р. Горная при сравнительно небольшом числе групп – 7 (в рр. Мануй и Сусуя – 10) на всех разрезах наблюдалась схожая картина с доминированием одних и тех же трофических группировок и сменой вдоль оси эстуария только пропорциональных отношений друг к другу.

Гидрологический режим эстуариев имеет важное значение для молоди лососевых рыб в период ската, поскольку в условиях увеличения солености происходит осморегуляторная адаптация молоди к солености морской воды. Молодь горбуши в начальный период смолтификации более резистентна к условиям резко увеличивающейся солености воды, чем молодь кеты. Для молоди кеты при быстром переходе из пресной воды в морскую с соленостью около 30 ‰ гибель может достигать от 30 до 40 % (Волобуев и др., 2011). Полученные данные по солености указывают на неблагоприятные условия в эстуарии р. Горная для выпуска кеты.

Заключение

На примере р. Горная рассмотрены особенности гидрологического режима и сообществ макрозообентоса эстуария руслового типа, в который в отсутствие штормовых заплесков проникновения морских вод практически не происходит. В прилив только в устье у дна отмечаются воды с соленостью более 12 psu, в отлив эстуарий полностью заполняется пресной водой. Влияние солености прослеживается на расстоянии не более 20–30 м от устья.

Показатели обилия зообентоса увеличиваются от устья эстуария к гравийно-галечному перекату, который является верхней границей эстуария. Нестабильные условия среды определяют существование в эстуарии молодых сообществ, представленных быстроразмножающимися мелкоразмерными видами.

Поскольку от условий эстуариев зависит успех адаптации молоди лососевых рыб в наиболее критический период онтогенеза, мониторинговые исследования гидрологии и кормовых ресурсов эстуарных зон лососевых рек о-ва Сахалин необходимо продолжить.

Благодарности

Авторы работы выражают свою искреннюю благодарность сотрудникам Сахалинского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("СахНИРО"), принимавшим участие в полевом этапе исследований и камеральной обработке проб.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Алимов А. Ф., Богатов В. В., Голубков С. М. Продукционная гидробиология / под ред. В. В. Хлебовича. СПб. : Наука, 2013. 342 с.
- Волобуев В. В., Марченко С. Л. Тихоокеанские лососи континентального побережья Охотского моря (биология, популяционная структура, динамика численности, промысел). Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2011. 303 с.
- Голубков С. М. Функциональная экология личинок амфибиотических насекомых / под ред. А. Ф. Алимова. СПб. : Зоол. ин-т, 2000. 294 с. (Труды Зоологического института ; т. 284).
- Живоглядова Л. А., Даирова Д. С., Лабай В. С. Состав, структура и сезонная динамика макрозообентоса рек восточного Сахалина // Известия ТИНРО. 2012. Т. 171. С. 199–209. EDN: PWWJAL.
- Живоглядова Л. А., Даирова Д. С., Лабай В. С. Состав сиртона и суточная динамика дрефта донных беспозвоночных в р. Тымь и ее верхнем притоке – руч. Угловом (о-в Сахалин) // Труды ВНИРО. 2015. Т. 154. С. 57–69. EDN: UADJVL.

- Изергин Л. И., Изергина Е. Е. Использование гематологических показателей молоди кеты и горбуши для оценки их адаптационного статуса в ранний морской период // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2018. № 46. С. 66–72. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-46-66-72>. EDN: VQQVTA.
- Колпаков Н. В. Структурно-функциональная организация эстуарных экосистем северо-западной части Японского моря : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Владивосток, 2017. 48 с.
- Кучерук Н. В., Савилова Т. А. Количественная и экологическая характеристики донной фауны шельфа и верхнего склона района североперуанского апвеллинга // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. 1985. Т. 90, № 6. С. 70–79.
- Лабай В. С. Зоогеографический очерк фауны высших раков (Crustacea, Malacostraca) пресных и солоноватых вод острова Сахалин // Труды СахНИРО. 2011. Т. 12. С. 131–151. EDN: PCUKVB.
- Лабай В. С., Живоглядова Л. А., Полтева А. В. [и др.]. Водотоки острова Сахалин: жизнь в текучей воде. Южно-Сахалинск : Сахалинский областной краеведческий музей, 2015. 236 с.
- Лабай В. С., Корнеев Е. С., Абрамова Е. В., Ушаков А. А. [и др.]. Макробентос эстуария типичной "лососевой" реки острова Сахалин (на примере р. Мануй) // Известия ТИНРО. 2022. Т. 202, № 3. С. 640–660. DOI: <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2022-202-640-660>. EDN: FNQCDV.
- Максимович Н. В., Погребов В. Б. Анализ количественных гидробиологических материалов. Л. : ЛГУ, 1986. 97 с.
- Михайлов В. Н., Горин С. Л., Михайлова М. В. Новый подход к определению и типизации эстуариев // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2009. № 5. С. 3–11. EDN: KZAPMH.
- Мокиевский В. О., Будаева Н. Е., Цетлин А. Б. Сообщества бентоса на модельном полигоне по данным дночерпательных съемок // Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2012. С. 41–63. (Труды Беломорской биологической станции МГУ ; т. 11).
- Палий В. Ф. О количественных показателях при обработке фаунистических материалов // Зоологический журнал. 1961. Т. 40, № 1. С. 3–6.
- Протасов А. А. О взаимосвязи разнообразия со структурными показателями сообществ гидробионтов // Биология внутренних вод. 2012. № 4. С. 5–10. EDN: PFEZMD.
- Столяров А. П. Структурно-функциональная организация эстуарных экосистем Белого моря: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Москва, 2011. 44 с.
- Meire P. M., Dereu J. Use of the abundance/biomass comparison method for detecting environmental stress: Some considerations based on intertidal macrozoobenthos and bird communities // Journal of Applied Ecology. 1990. Vol. 27, N 1. P. 210–223. DOI: <https://doi.org/10.2307/2403579>.
- Shannon C. E. A mathematical theory of communication // The Bell System Technical Journal. 1948. Vol. 27. P. 379–423, 623–656.
- Warwick R. M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities // Marine Biology. 1986. Vol. 92, Iss. 4. P. 557–562. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00392515>.

References

- Alimov, A. F., Bogatov, V. V., Golubkov, S. M. 2013. Productive hydrobiology. St. Petersburg. (In Russ.)
- Volobuev, V. V., Marchenko, S. L. 2011. Pacific salmon of the continental coast of the Okhotsk Sea (biology, population structure, population dynamics, fishery). Magadan. (In Russ.)
- Golubkov, S. M. 2000. Functional ecology on aquatic insects. Ed. A. F. Alimov. Saint Petersburg. (In Russ.)
- Zhivoglyadova, L. A., Dairova, D. S., Labay, V. S. 2012. Composition, structure and seasonal dynamics of macrozoobenthos in rivers of eastern Sakhalin. *Izvestiya TINRO*, 171, pp. 199–209. EDN: PWWJAL. (In Russ.)
- Zhivoglyadova, L. A., Dairova, D. S., Labay, V. S. 2015. Composition of sirtan and daily dynamics of drift of benthic invertebrates in the Tym River and its upper tributary – Uglovoy Stream (Sakhalin Island). *Trudy VNIRO*, 154, pp. 57–69. EDN: UADJVL. (In Russ.)
- Izergin, L. I., Izergina, E. E. 2018. Using hematological parameters of juvenile chum salmon and pink salmon to assess their adaptive status in the early marine period. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 46, pp. 66–72. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-46-66-72>. EDN: VQQVTA. (In Russ.)
- Kolpakov, N. V. 2017. Structural and functional organization of estuarine ecosystems in the northwestern part of the Japan Sea. Ph.D. Thesis. Vladivostok. (In Russ.)
- Kucheruk, N. V., Savilova, T. A. 1985. Quantitative and ecological characteristics of the bottom fauna of the shelf and upper region of the Northern Peruvian upwelling. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological Series*, 90(6), pp. 70–79. (In Russ.)
- Labay, V. S. 2011. Zoogeographical survey of the fauna of crayfish (Crustacea, Malacostraca) of fresh and brackish waters of Sakhalin Island. *Trudy SakhNIRO*, 12, pp. 131–151. EDN: PCUKVB. (In Russ.)
- Labay, V. S., Zhivoglyadova, L. A., Polteva, A. V. et al. 2015. Watercourses of the Sakhalin Island: Life in the running water. Yuzhno-Sakhalinsk. (In Russ.)

- Labay, V. S., Korneev, E. S., Abramova, E. V., Ushakov, A. A. et al. 2022. Macrobenthos of the estuary of a typical "salmon" river of Sakhalin Island (on example of the Manuy River). *Izvestiya TINRO*, 202(3), pp. 640–660. DOI: <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2022-202-640-660>. EDN: FNQCDV. (In Russ.)
- Maksimovich, N. V., Pogrebov, V. B. 1986. Analysis of quantitative hydrobiological materials. Leningrad. (In Russ.)
- Mikhaylov, V. N., Gorin, S. L., Mikhaylova, M. V. 2009. A new approach to the definition and typification of estuaries. *Lomonosov Geography Journal*, 5, pp. 3–11. EDN: KZAPMH. (In Russ.)
- Mokievskiy, V. O., Budaeva, N. E., Tsetlin, A. B. 2012. Benthic communities at the model site according to bottom-drawn survey data. *Trudy Belomorskoj biostantsii MGU. Kompleksnye issledovaniya podvodnykh landshaftov v Belom more s primeneniem distantsionnykh metodov*. Moscow, pp. 41–63. (In Russ.)
- Paliy, V. F. 1961. On quantitative indicators in the processing of faunal materials. *Zoologicheskij zhurnal*, 40(1), pp. 3–6. (In Russ.)
- Protasov, A. A. 2012. On the relationship between diversity and structural indicators of aquatic communities. *Inland Water Biology*, 4, pp. 5–10. EDN: PFEZMD. (In Russ.)
- Stolyarov, A. P. 2011. Structural and functional organization of estuarine ecosystems of the White Sea. Ph.D. Thesis. Moscow. (In Russ.)
- Meire, P. M., Dereu, J. 1990. Use of the abundance/biomass comparison method for detecting environmental stress: Some considerations based on intertidal macrozoobenthos and bird communities. *Journal of Applied Ecology*, 27(1), pp. 210–223. DOI: <https://doi.org/10.2307/2403579>.
- Shannon, C. E. 1948. A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical Journal*, 27, pp. 379–423, 623–656.
- Warwick, R. M. 1986. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities. *Marine Biology*, 92(4), pp. 557–562. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf00392515>.

Сведения об авторах

Корнеев Егор Сергеевич – ул. Комсомольская, 196, г. Южно-Сахалинск, Сахалинская обл., Россия, 693023; Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("СахНИРО");
e-mail: egorich96052@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7701-9979>

Egor S. Korneev – 196 Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin region, Russia, 693023; Sakhalin Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("SakhNIRO");
e-mail: egorich96052@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7701-9979>

Лабай Вячеслав Степанович – ул. Комсомольская, 196, г. Южно-Сахалинск, Сахалинская обл., Россия, 693023; Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("СахНИРО"), д-р биол. наук, вед. науч. сотрудник;
e-mail: v.labaj@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0845-6059>

Vyacheslav S. Labay – 196 Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin region, Russia, 693023; Sakhalin Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("SakhNIRO"), Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher;
e-mail: v.labaj@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0845-6059>

Живоглядова Любовь Александровна – ул. Комсомольская, 196, г. Южно-Сахалинск, Сахалинская обл., Россия, 693023; Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("СахНИРО"), гл. специалист;
e-mail: l.zhivoglyadova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2492-1336>

Lyubov A. Zhivoglyadova – 196 Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin region, Russia, 693007; Sakhalin Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("SakhNIRO"), Researcher; e-mail: L.zhivoglyadova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2492-1336>

Березова Ольга Николаевна – ул. Комсомольская, 196, г. Южно-Сахалинск, Сахалинская обл., Россия, 693023; Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("СахНИРО"), специалист;
e-mail: olga.berezova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5656-4599>

Olga N. Berezova – 196 Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin region, Russia, 693007; Sakhalin Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("SakhNIRO"), Researcher; e-mail: olga.berezova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5656-4599>

Шарлай Оксана Борисовна – ул. Комсомольская, 196, г. Южно-Сахалинск, Сахалинская обл., Россия, 693023; Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("СахНИРО"), специалист;
e-mail: oksana.sharlay@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1126-238X>

Oksana B. Sharlay – 196 Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin region, Russia, 693007; Sakhalin Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("SakhNIRO"), Researcher; e-mail: oksana.sharlay@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1126-238X>

Абрамова Евгения Владимировна – ул. Комсомольская, 196, г. Южно-Сахалинск, Сахалинская обл., Россия, 693023; Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("СахНИРО"), ст. специалист;
e-mail: evgesha.abramova.76@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7095-4980>

Evgeniya V. Abramova – 196 Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin region, Russia, 693007; Sakhalin Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("SakhNIRO"), Senior Researcher; e-mail: evgesha.abramova.76@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7095-4980>

Ахмадеева Екатерина Сергеевна – ул. Комсомольская, 196, г. Южно-Сахалинск, Сахалинская обл., Россия, 693007; Сахалинский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии ("СахНИРО"), специалист;
e-mail: katerina1894@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7274-1826>

Ekaterina S. Akhmadeeva – 196 Komsomolskaya Str., Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalin region, Russia, 693007; Sakhalin Branch of All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography ("SakhNIRO"), Researcher; e-mail: katerina1894@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7274-1826>

УДК 628.16.081.3:665.61

Оценка эффективности органических материалов в качестве сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти в условиях арктической акватории

Ж. В. Васильева*, А. С. Тришина

*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;
e-mail: vasilevazhv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2254-1152>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
11.12.2023;

получена
после доработки
07.03.2024;

принята к публикации
12.03.2024

Ключевые слова:

сорбенты,
сорбционные
характеристики,
ликвидация аварийных
разливов нефти,
Арктический регион,
мох сфагнум, фукус
пузырчатый, торф

Результаты сравнительной оценки сорбционных характеристик регионального природного сырья органического происхождения (мха сфагнума, фукуса пузырчатого, композита на их основе, торфа) представлены в сравнении с синтетическим сорбентом OilSorb, используемым в практике аварийно-спасательных подразделений для ликвидации аварийных разливов нефти. Экспериментальные данные в отношении потенциальных загрязнителей акватории Баренцева моря (нефти сорта ARCO, судового дизельного топлива) и показатели водоемкости сорбентов получены для стандартных условий при температуре 21–23 °С (согласно ГОСТ 33627-2015) и температуре 10–12 °С, характерной для летнего периода на Кольском полуострове. Оценка сорбционных характеристик исследуемых материалов проведена для системы "морская вода – нефтепродукт", моделирующей реальный разлив нефти в морской акватории. Испытания в модельной системе, имитирующей реальные условия, демонстрируют существенные изменения эффективности использования сорбционных материалов, показанной ими при стандартных условиях. В ходе исследования установлена динамика распределения сорбированных нефтепродуктов и воды в рассматриваемых материалах, а также остаточных нефтепродуктов – в воде систем "морская вода – нефть ARCO" и "морская вода – дизельное топливо" при различном времени экспозиции. В течение времени экспозиции 30, 60, 90 мин в условиях системы, моделирующей реальный разлив нефти в акватории, наиболее эффективными и устойчивыми во времени показателями сорбции нефтепродуктов обладает материал на основе мха сфагнума.

Для цитирования

Васильева Ж. В. и др. Оценка эффективности органических материалов в качестве сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти в условиях арктической акватории. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 142–157. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-142-157>.

Assessing the effectiveness of local organic materials as sorbents for oil spill response in Arctic waters

Zhanna V. Vasileva*, Anastasia S. Trishina

*Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;
e-mail: vasilevazhv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2254-1152>

Article info

Received
11.12.2023;

received
in revised
07.03.2024;

accepted
12.03.2024

Key words:

sorbents, sorption
characteristics,
oil spill response,
Arctic region,
sphagnum moss,
fucus algae, peat

Abstract

The paper presents the results of a comparative assessment of the sorption characteristics of regional natural raw materials of organic origin: sphagnum moss (*Sphagnum palustre* L.), fucus algae (*Fucus vesiculosus*), a composite based on them and peat in comparison with the synthetic sorbent OilSorb used in the practice of emergency rescue units to eliminate accidental oil spills. Experimental data have been obtained on potential pollutants in the Barents Sea (oil ARCO and diesel fuel) and the water capacity of sorbents for standard conditions at temperatures of 21–23 °C according to GOST 33627-2015 and in the temperature range of 10–12 °C typical for the summer period on the Kola Peninsula. The sorption characteristics of the materials under study have been evaluated in the "sea water – petroleum product" system, which simulates a real oil spill in the marine area. Tests in a model system simulating real conditions demonstrate significant changes in the efficiency of using sorption materials shown by them under standard conditions. The study has established the dynamics of the distribution of sorbed oil products and water in the materials under consideration, as well as residual oil products in the water of the "sea water – ARCO oil" and "sea water – diesel fuel" systems at different exposure times. During an exposure time of 30, 60, 90 minutes under the conditions of a system simulating a real oil spill in the water area, the material based on sphagnum moss has the most effective and time-stable indicators of sorption of oil products.

For citation

Vasileva, Z. V. et al. 2024. Assessing the effectiveness of local organic materials as sorbents for oil spill response in Arctic waters. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 142–157. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-142-157>.

Введение

Экосистемы Арктического региона характеризуются высокой восприимчивостью к антропогенному влиянию, сложным и хрупким экологическим балансом, медленными процессами естественного восстановления.

Основным источником риска для окружающей среды в Арктике является транспортировка нефти и нефтепродуктов (НП), которая несет потенциальную угрозу критического ущерба уязвимой окружающей среде в случае чрезвычайных ситуаций. В настоящее время наблюдается тенденция к наращиванию грузооборота и увеличению объемов транспортировки нефти по заполярным акваториям (Транспортная стратегия РФ на период до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г.; государственная программа РФ "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации"; федеральный проект "Северный морской путь" в составе Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 г.; план развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 г.). Объем морских грузоперевозок по Северному морскому пути (СМП) к концу 2024 г. должен достичь 80 млн т, а после 2035 г. планируется его увеличение до 160 млн т. Рост интенсивности судоходства, расширение сети судоходных маршрутов круглогодичного режима плавания и решение сопутствующих задач по обеспечению развития СМП также увеличивают риск, связанный с аварийными разливами транспортируемой нефти и нефтепродуктов.

Одним из важных факторов успешного устранения разливов нефти является скорость удаления нефтепродуктов с поверхности воды. В качестве перспективного метода решения указанной задачи следует отметить использование природных сорбентов ввиду их эффективности, низкой стоимости, доступности, биodeградебельности. В настоящее время особое внимание уделяется исследованиям возможности применения органических материалов природного происхождения в качестве сорбентов (*Sidik et al., 2012; Razavi et al., 2015; Choi et al., 1992; Kobayashi et al., 1977; Kudaibergenov et al., 2012; Zhao et al., 2013; Li et al., 2013*).

Природными материалами, рассматриваемыми в качестве сорбентов нефти, являются крупнотоннажные отходы промышленности и сельского хозяйства. Отходы сельского хозяйства штатов юго-восточной Америки [волокна молочая *Asclepias*, волокна гибискуса конопляного (кенаф), хлопок] показывают более высокие результаты в отношении сорбции нефти, чем традиционные синтетические сорбенты (*Choi et al., 1992*). В ходе исследований выявлены сорбирующие качества волокна хлопкового дерева (капок), что обуславливает возможность их использования в районах юго-восточной и центральной Азии (*Kobayashi et al., 1977; Lim et al., 2007; Huang et al., 2006*). Доступным природным материалом для этого региона являются также отходы масличной пальмы (лигноцеллюлозная биомасса) и отходы кокосовой пальмы (кокосовая шелуха) (*Sidik et al., 2012; Khan et al., 2004; Ifelebuegu et al., 2015*), а также волокна камыша (*Khan et al., 2004; Ribeiro et al., 2003*). В регионах Азии в качестве сырья для сорбентов рассматривают отходы лесного хозяйства (волокна пихты *Abies sachalinensis Fr. Schm*) (*Inagaki et al., 2002; Иванов и др., 2011*). Характерными природными материалами для района Персидского залива (*Razavi et al., 2015*), юго-восточной Азии (*Khan et al., 2004*), а также регионов Прикаспия (*Kudaibergenov et al., 2012*) являются отходы рисоперерабатывающей промышленности (шелуха белого и черного риса). Применение отходов сахарного тростника характерно для территорий с концентрацией соответствующего производства – южной Америки (*Díaz et al., 2022; Guilharduci et al., 2017*) и Азии (*Behnood et al., 2016*). Доступными природными материалами Балтийского и Скандинавского регионов являются местная шерсть, мох, солома, торф и отход при добыче торфа – волокна пушицы (*Paulauskienė et al., 2015; Suni et al., 2005*).

В различных регионах мира в качестве сорбентов нефти и нефтепродуктов для ликвидации аварийных разливов используют кору и волокно древесины (*Inagaki et al., 2002; Saito et al., 2001; Teas et al., 2001; Haussard et al., 2003; Banerjee et al., 2006; Семенович и др., 2008*), солому злаковых (*Ibrahim et al., 2010; Tijani et al., 2016; Witka-Jeżewska et al., 2003*), а также местные разновидности торфа (*Paulauskienė et al., 2015; Ribeiro et al., 2003; Liu et al., 2022*). Менее распространены и изучены такие материалы, как стебли кукурузы (*Husseien et al., 2015*), люффа (*Annunciado et al., 2005*), апельсиновая цедра (*El Gheriany et al., 2020*) и др.

Поиск возможностей использования природных сорбционных материалов на основе органического сырья для ликвидации аварийных разливов нефти (ЛАРН) является актуальным направлением исследований, реализуемых в различных регионах мира.

Организация регионального производства нефтяных сорбентов из местного сырья позволяет обеспечить доступность эффективных сорбционных материалов и существенно снизить затраты на транспортировку, так как ввиду низкой объемной массы нефтяных сорбентов доставка их на дальние расстояния экономически невыгодна.

Следует отметить, что профессиональные аварийно-спасательные формирования (ПАСФ) и другие аварийно-спасательные подразделения регионов в соответствии с постановлением Правительства РФ № 2124 обязаны быть оснащены достаточными количествами сорбента. Согласно действующему законодательству,

организации, осуществляющие оборот, хранение, использование, перевалку нефтепродуктов, должны иметь на балансе определенное количество сорбента для первоначальных действий по ликвидации аварийного разлива. К таким организациям относятся предприятия, занимающиеся морехозяйственной деятельностью в арктической акватории (в том числе в акватории Кольского залива, Кандалакшского залива, Двинской губы и др.), а также иные предприятия, осуществляющие перевалку, хранение, использование НП. Предприятия, не относящиеся к вышеперечисленным категориям, согласно внутренним регламентирующим документам, организуют мобильный пост ЛАРН, оснащенный установленным запасом сорбционного материала.

Таким образом, поиск потенциально эффективных сорбционных материалов на основе регионального сырья, их изучение и последующее производство не только снижают риски, связанные с нефтяными разливами, но и имеют экономическую значимость вследствие обоснованного сформированного спроса на конкурентоспособный сорбционный материал для реализации природоохранных мероприятий на предприятиях регионов, использующих НП, а также осуществляющих добычу, переработку, утилизацию обработанных нефтепродуктов.

Целью настоящего исследования являлась оценка возможности применения региональных природных материалов органического происхождения в качестве сорбентов для ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов в условиях Арктического региона.

Материалы и методы

В качестве сорбентов нефти и нефтепродуктов в настоящей работе были исследованы образцы природного сырья Кольского полуострова органического происхождения: мох сфагнум *Sphagnum palustre* L., торф (месторождение Катка-2, Мурманская область), фукус пузырчатый *Fucus vesiculosus*, композит сорбционных материалов, состоящий из мха сфагнума (50 %) и фукуса пузырчатого (50 %). Для сравнения был использован коммерческий синтетический сорбент OilSorb (Absorbent Servis OÜ, Эстония) с заявленной нефтеемкостью 10 г/г. Синтетический сорбент OilSorb выбран по рекомендации представителей ПАСФ как материал, имеющий высокую эффективность сорбции, но при этом низкую технологическую готовность к использованию при ЛАРН в арктических условиях (высокая дисперсность, легучесть, неудобство использования при ветровых нагрузках и др.).

Подготовка природных сорбционных материалов заключалась в высушивании в естественных условиях (влажность окружающего воздуха 60 %, температура 20 ± 2 °C) с последующим измельчением образцов до крупности частиц $1 \pm 0,5$ см. Композит "мох – фукус" был изготовлен путем смешения равных долей измельченного мха сфагнума *Sphagnum palustre* L. и водорослей – фукуса пузырчатого *Fucus vesiculosus*.

В отношении оценки сорбционных свойств материалов необходимо отметить следующее. На практике применяют различные способы определения сорбционной емкости (ГОСТ 33622-2015; ГОСТ 33627-2015; ТУ 214-10942238-03-95) (Нифталиев и др., 2019; Телушкина и др., 2013; Цомбуева, 2014; Денисова и др., 2015), заключающиеся в экспозиции сорбента в объеме нефти или нефтепродукта и последующем вычислении массы сорбата, удерживаемого 1 г сорбента. Сорбент для удобства извлечения удерживается медной сеткой диаметром 30–80 мм (ТУ 214-10942238-03-95) (Каменищиков и др., 2005); хлопчатобумажной тканью (Телушкина и др., 2013); сетчатой корзинкой без требований к размеру отверстий (ГОСТ 33627-2015) (Денисова и др., 2015); фильтрующими секциями (Евстигнеев и др., 2016), в некоторых описанных случаях сорбент размещался на ровную поверхность и искусственно загрязнялся до полного насыщения (Цомбуева, 2014). К времени экспозиции либо не установлено требований (Евстигнеев и др., 2016; Цомбуева, 2014), либо указаны диапазоны в промежутках от 1 до 30 мин (ТУ 214-10942238-03-95, ГОСТ 33627-2015) (Телушкина и др., 2013; Денисова и др., 2015) и от 30 до 120 мин (ГОСТ 33622-2015). Время стекания нефти также учитывается лишь при использовании некоторых способов, в частности, описанных в ТУ 214-10942238-03-95, ГОСТ 33627-2015, ГОСТ 33622-2015. В то же время при недостаточном времени стекания нефтепродуктов перед взвешиванием или в случае неудачной конструкции удерживающего сорбент устройства, которое не обеспечивает свободное стекание, результат будет завышенным (Лим и др., 2018).

Необходимо отметить иные факторы, значительно влияющие на результаты измерений. Так, при недостаточном времени контакта "сорбент – сорбат" результат может быть заниженным вследствие неполного проникновения нефтепродуктов в поры сорбента. Небольшой размер испытываемой навески сорбента для вязких нефтепродуктов также дает искаженный результат (Лим и др., 2018). Значительное влияние на сорбцию оказывает температура окружающей среды (Левченко, 2008). Для оценки характеристик сорбционных материалов важным условием является определение их водоемкости ввиду того, что поглощение воды и ее паров материалом приводит к уменьшению его нефтеемкости, а также способности удерживаться на поверхности воды при проведении ликвидации аварийных разливов нефти. Поэтому результативными в разделении водонефтяной эмульсии, как правило, являются материалы, обладающие низкой водоемкостью, которая также обеспечивает плавучесть сорбента.

Характеристики сорбирующих материалов (нефтеемкость и водоемкость) оценивались согласно ГОСТ 33627-2015 с учетом всех факторов при определении показателей. Навеска сорбента массой $4 \pm 0,01$ г с помощью сетчатой корзинки помещалась в слой испытуемого нефтепродукта. Время экспозиции составляло

15, 30, 60, 90 мин. По истечении контактного периода корзинку с адсорбентом вынимали, чтобы дать возможность стечь не закрепленной в структуре сорбента жидкости. Время стекания составляло 30 ± 3 с для оценки водоемкости и $2 \text{ мин} \pm 3 \text{ с}$ – для оценки нефтеемкости сорбционных материалов; затем определялась масса сорбента с поглощенным им сорбатом. Испытания проводились в трех повторностях.

Оценка производилась в отношении потенциальных загрязнителей арктической акватории: дизельного топлива судового маловязкого (плотность 850 кг/м^3) и нефти сорта ARCO (плотность 906 кг/м^3). Выбор данных НП в качестве загрязнителей обусловлен наиболее вероятными их разливами при бункеровке судов и перевалке арктической нефти в акватории Кольского залива. Анализ водоемкости сорбентов осуществлялся с использованием проб воды Кольского залива.

Исследование проводилось в рамках двух температурных режимов: 1) в стандартных условиях при температуре $21\text{--}23 \text{ }^\circ\text{C}$ (согласно ГОСТ 33627-2015); 2) при температуре $10\text{--}12 \text{ }^\circ\text{C}$, характерной для летнего периода на Кольском полуострове (по данным средних многолетних значений температуры воздуха) (Яковлев, 1972).

Сорбционные материалы также оценивались в условиях, моделирующих реальный разлив нефтепродукта на поверхность акватории Кольского залива. Исследования сорбционных характеристик в системе "морская вода – нефтепродукт" проводили следующим образом: стеклянную емкость заполняли морской водой (температура $10\text{--}12 \text{ }^\circ\text{C}$) и устанавливали сетку (рис. 1). Поверхность воды покрывали $7,0 \text{ мл}$ нефти/дизельного топлива (температура $10\text{--}12 \text{ }^\circ\text{C}$) с целью полного покрытия площади поперечного сечения емкости пленкой нефтепродукта толщиной 1 мм ; после чего по поверхности нефтяного пятна распределялся предварительно взвешенный сорбент массой $1,0 \text{ г}$; время экспозиции составляло 30, 60, 90 мин. Сорбционный материал извлекался с помощью металлической сетки, взвешивался после стекания нефтепродуктов в течение $2 \text{ мин} \pm 3 \text{ с}$. Количество нефтепродуктов, оставшееся в воде, определялось согласно методике ПНД Ф 14.1: 2.116-97; количество поглощенного нефтепродукта и воды рассчитывалось в соответствии с общим балансом массы; каждое испытание проводили в трех повторностях.

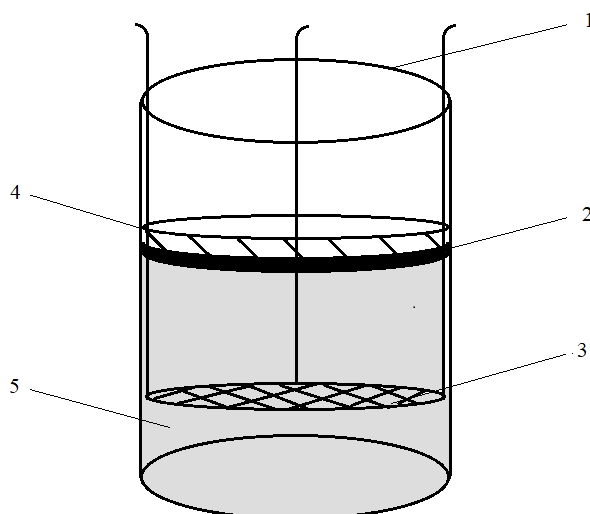


Рис. 1. Модель для анализа сорбционных характеристик в системе "морская вода – нефтепродукт":

1 – лабораторный стакан; 2 – нефтепродукт; 3 – металлическая сетка;
4 – сорбционный материал; 5 – морская вода

Fig. 1. Model for analyzing sorption in the "sea water – oil product" system:

1 – glass container; 2 – petroleum product; 3 – metal mesh; 4 – sorption material; 5 – sea water

Результаты и обсуждение

Результаты исследования нефтеемкости сорбционных материалов

Сорбционная емкость – максимальное количество сорбата, которое может быть поглощено и удержано сорбентом. Согласно ГОСТ 33627-2015 сорбционная емкость по отношению к нефтепродуктам (нефтеемкость) – максимально возможная адсорбционная способность материала полностью насытиться НП при определенном времени насыщения. На величину этого показателя оказывают действие температура окружающей среды, тип нефтепродукта и другие факторы, которые потенциально могут изменить эффективность проводимых работ по ЛАРН. Температура является одним из важных факторов ликвидации АРН в условиях северных регионов. В данном эксперименте необходимо было оценить, каким образом влияет на сорбционные способности материалов снижение температуры от диапазона $21\text{--}23 \text{ }^\circ\text{C}$, при котором проводится предписанная ГОСТ 33627-2015 оценка, до диапазона $10\text{--}12 \text{ }^\circ\text{C}$, свойственного для летнего периода на Кольском полуострове.

Результаты сравнительной оценки характеристик нефтеемкости природных органических и синтетического сорбционных материалов в условиях температурных режимов 10–12 и 21–23 °С (согласно ГОСТ 33627-2015 время экспозиции составляло 15 мин) представлены на рис. 2.

В ходе проведенных исследований установлено, что изменение температуры от 21–23 °С, моделирующей стандартные условия испытаний сорбентов по ГОСТу, до температуры 10–12 °С, характерной для летнего периода на Кольском полуострове, незначительно влияет на нефтеемкость исследованных сорбционных материалов. Несколько бóльшая сорбционная емкость материалов была отмечена при температуре 10–12 °С в отношении дизельного топлива в сравнении с аналогичными показателями при испытаниях в предписанной стандартом более высокой лабораторной температуре 21–23 °С (рис. 2, *а*). Этот факт объясняется повышением вязкости нефтепродукта при понижении температуры окружающей среды, следовательно, большей способностью удерживаться на поверхности сорбента. Следует отметить незначительную разницу значений показателя нефтеемкости, в целом укладывающуюся в пределы стандартной ошибки опыта, при испытаниях в исследованных диапазонах температуры. Возможно, более низкие температурные значения, свойственные условиям окружающей среды Арктической зоны, могут оказывать более значимое воздействие на нефтеемкость исследуемых сорбентов, что может являться одной из исследовательских задач дальнейших экспериментов в данной области.

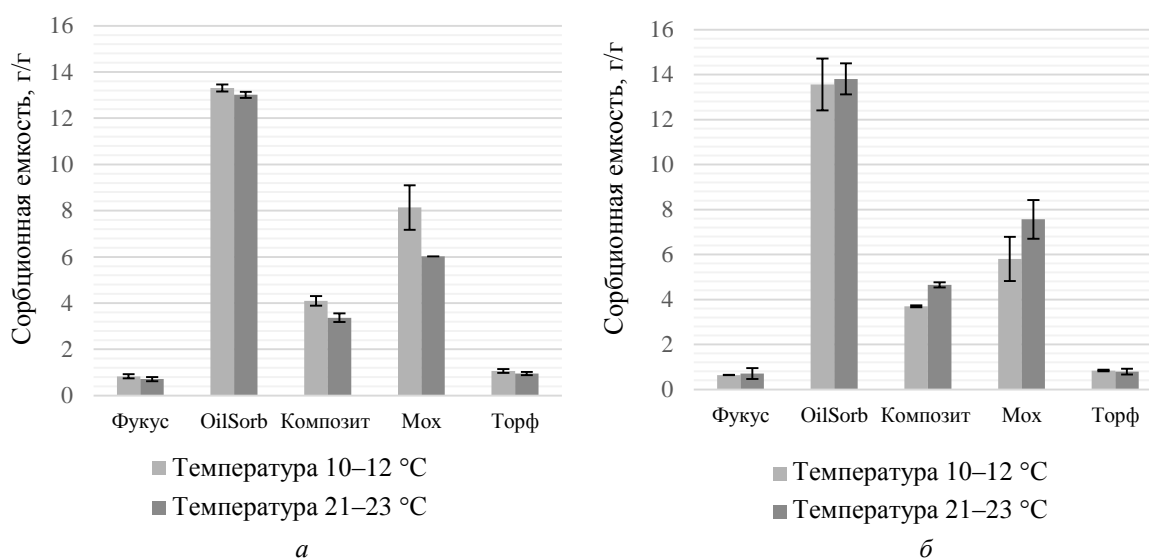


Рис. 2. Сорбционная емкость материалов в зависимости от температуры окружающей среды: *а* – дизельное топливо; *б* – нефть
Fig. 2. Sorption capacity of sorbents depending on the ambient temperature: *а* – diesel fuel; *б* – oil

В отношении сорбции нефти марки ARKO в условиях более низких температур природные сорбенты по сравнению со стандартными условиями показали несколько меньшую нефтеемкость (рис. 2, *б*), значения которой находились в пределах стандартной ошибки опыта, что свидетельствует об отсутствии значимого влияния выбранного диапазона температуры на сорбцию этого типа нефтепродуктов.

При сравнении показателей нефтеемкости природных сорбционных материалов с коммерческим образцом при температуре 21–23 °С в отношении дизельного топлива (рис. 2, *а*) отмечено, что сорбционные материалы на основе мха сфагнума, композит "мох – фукус", торф, фукус пузырчатый характеризуются меньшей сорбционной способностью, чем OilSorb, на 53,7; 74,0; 92,6 и 94,5 % соответственно. Для нефти марки ARCO (рис. 2, *б*) в этих же условиях сорбционная емкость мха сфагнума, композита "мох – фукус", торфа и фукуса буроого ниже на 45,2; 66,4; 94,4 и 94,3 %, чем исследуемого синтетического сорбента.

Результаты исследования сорбционной емкости материалов при температуре 10–12 °С показывают аналогичные результаты: наибольшей сорбционной емкостью обладает коммерческий сорбент OilSorb (дизельное топливо – $13,3 \pm 0,15$ г/г, нефть ARCO – $13,6 \pm 1,15$ г/г); высокой нефтеемкостью обладает мох сфагнум (дизельное топливо – $8,1 \pm 0,96$ г/г, нефть ARCO – $5,8 \pm 0,98$ г/г); в меньшей степени в этих условиях нефтесорбирующими свойствами обладают торф (дизельное топливо – $1,1 \pm 0,08$ г/г, нефть ARCO – $0,8 \pm 0,03$ г/г) и композит "мох – фукус" (дизельное топливо – $4,1 \pm 0,21$ г/г, нефть ARCO – $3,7 \pm 0,04$ г/г). Наименьшие показатели нефтеемкости были отмечены для фукуса (дизельное топливо – $0,8 \pm 0,09$ г/г, нефть ARCO – $0,6 \pm 0,003$ г/г). Фукус за счет менее развитой поверхности и практически полного отсутствия пористой структуры не может рассматриваться в качестве сорбционного материала без возможной дополнительной обработки. Фукус пузырчатый был выбран в качестве составной части композита "мох – фукус"

с учетом его гидрофобных свойств и плавучести. Низкие показатели нефтеемкости данного композита, очевидно, обусловлены присутствием в составе фукуса, что не позволило композиту "мох – фукус" достичь значений, близких к максимальной сорбционной емкости мха сфагнома.

Полученные результаты испытаний свидетельствует о достаточно высоком потенциале использования сорбирующего материала на основе мха сфагнома *Sphagnum palustre* L. для ликвидации аварийных разливов дизельного топлива и нефти сорта ARCO в Арктическом регионе.

Результаты исследования зависимости нефтеемкости сорбционных материалов от времени контакта с сорбатом

Динамику изменения нефтеемкости при различном времени экспозиции в отношении нефти и дизельного топлива оценивали с учетом времени экспозиции 15, 30, 60, 90 мин (рис. 3, а и б).

При температуре 10–12 °С показатели нефтеемкости по отношению к нефти сорта ARCO для материала OilSorb несколько возрастали с 15 по 30 мин экспозиции, а затем снижались, показывая незначительную десорбцию поглощенного вещества обратно в окружающую среду. Сорбционные материалы на основе мха сфагнома, его композит, материалы на основе торфа и фукуса в течение всех периодов экспозиции показали незначительные колебания нефтеемкости в условиях температуры 10–12 °С. Нефтеемкость этих материалов практически не менялась от времени сорбции. Сорбенты из этих видов природного сырья могут находиться в контакте с пленками нефтепродуктов при ликвидации аварийных разливов нефти в течение исследованного диапазона времени, не возвращая в окружающую среду сорбированный нефтепродукт.

В условиях температуры 21–23 °С (рис. 3, б) сорбция нефти синтетическим сорбентом практически не меняется. Сорбционные материалы на основе мха сфагнома, композит "мох – фукус", торф, фукус пузырчатый в данном диапазоне значений температуры показали незначительную динамику, изменения которой в целом находятся также в пределах стандартной ошибки опыта, следовательно, сорбционная емкость этих материалов в отношении нефти ARCO не зависит от количества времени, проведенного в сорбате (рис. 3, а и б) в условиях стандартного эксперимента.

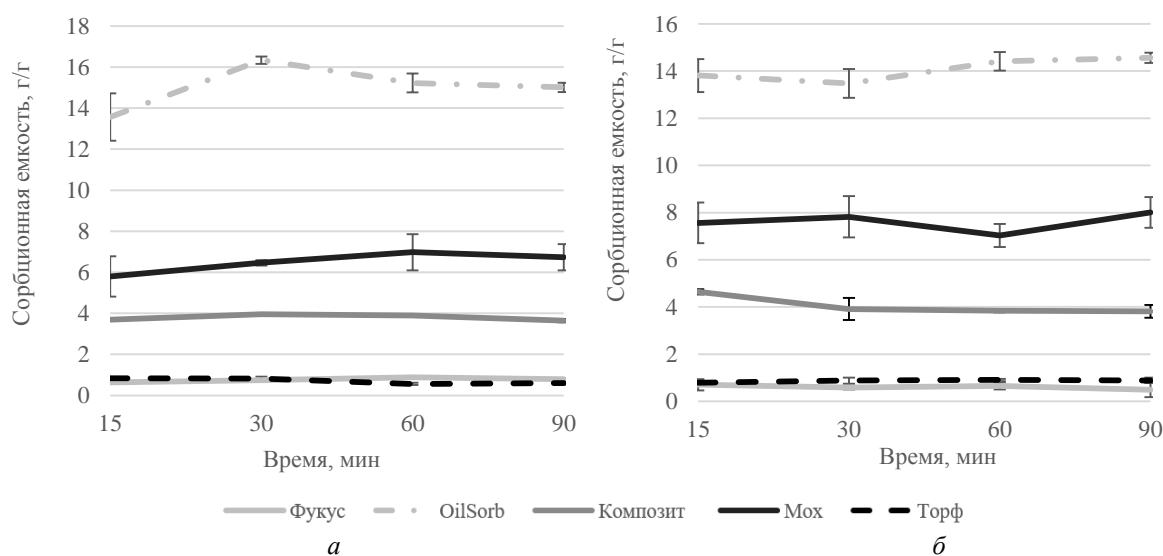


Рис. 3. Динамика сорбционной емкости сорбентов в зависимости от экспозиции в нефти:

а – при 10–12 °С; б – при 21–23 °С

Fig. 3. Dynamics of the sorption capacity of sorbents depending on exposure to oil:

а – under 10–12 °С; б – under 21–23 °С

Аналогичные эксперименты по оценке динамики сорбционной емкости материалов в отношении дизельного топлива (рис. 4, а и б) показали в случае использования сорбентов OilSorb, мха сфагнома и композита некоторую динамику снижения показателя сорбционной емкости, отражающую небольшую десорбцию нефтепродукта обратно в окружающую среду. Сорбент на основе мха сфагнома практически не изменял свою емкость в отношении дизельного топлива (в пределах стандартной ошибки опыта), что характеризует его как сорбционный материал, надежно удерживающий нефтепродукт на протяжении 30–90 мин.

В исследованных диапазонах температуры более выраженная динамика десорбции дизельного топлива при увеличении времени экспозиции наблюдалась в отношении коммерческого сорбента OilSorb, что накладывает определенные обязательства ко времени его использования, особенно в Арктическом регионе.

Сорбционная емкость природных материалов на основе торфа и фукуса практически не менялась от времени сорбции.

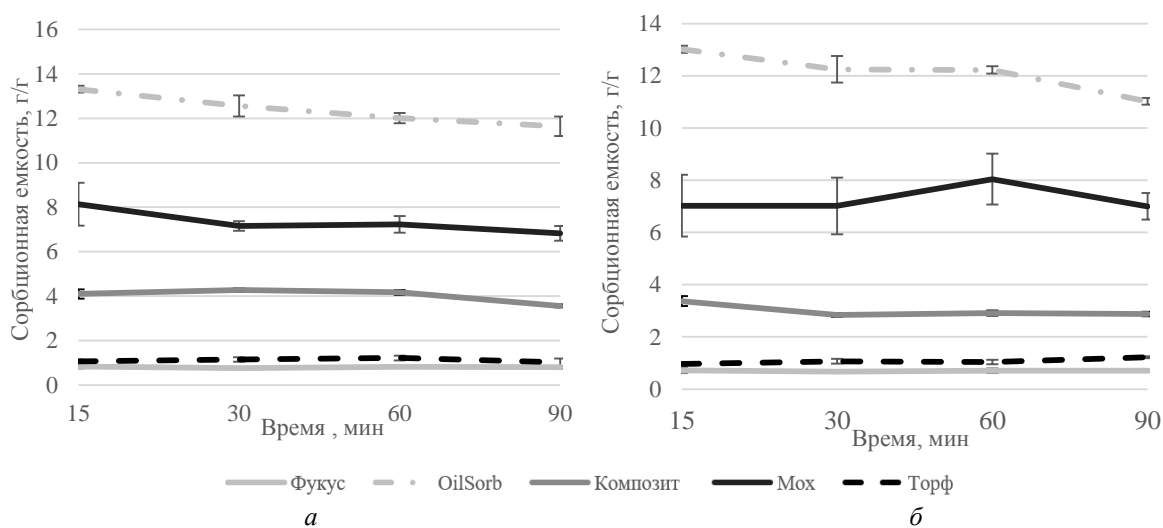


Рис. 4. Динамика сорбционной емкости сорбентов в зависимости от экспозиции в дизельном топливе: *a* – при 10–12 °С; *б* – при 21–23 °С
 Fig. 4. Dynamics of the sorption capacity of sorbents depending on exposure to diesel fuel: *a* – under 10–12 °С; *б* – under 21–23 °С

Результаты исследования водоемкости сорбционных материалов

Показатель водоемкости (водопоглощения) является одним из критериев качества сорбента. Считается, что чем ниже водоемкость сорбента, тем эффективнее он будет работать в отношении поглощения нефтепродуктов. Поглощение воды и ее паров материалом приводит к уменьшению его нефтеемкости, а также способности удерживаться на поверхности воды при проведении ликвидации аварийных разливов нефти.

Результаты оценки водоемкости сорбционных материалов представлены на рис. 5. Наибольшее значение водоемкости в стандартных лабораторных условиях показал синтетический образец OilSorb ($12,16 \pm 0,1$ г/г). Наименьшей водоемкостью, как и предполагалось, обладал фукус пузырчатый ($0,34 \pm 0,1$ г/г). При моделировании условий окружающей среды, характерных для летнего периода на Кольском полуострове (рис. 5, *a*), сорбционная емкость исследуемых сорбентов по отношению к воде несколько возрастает.

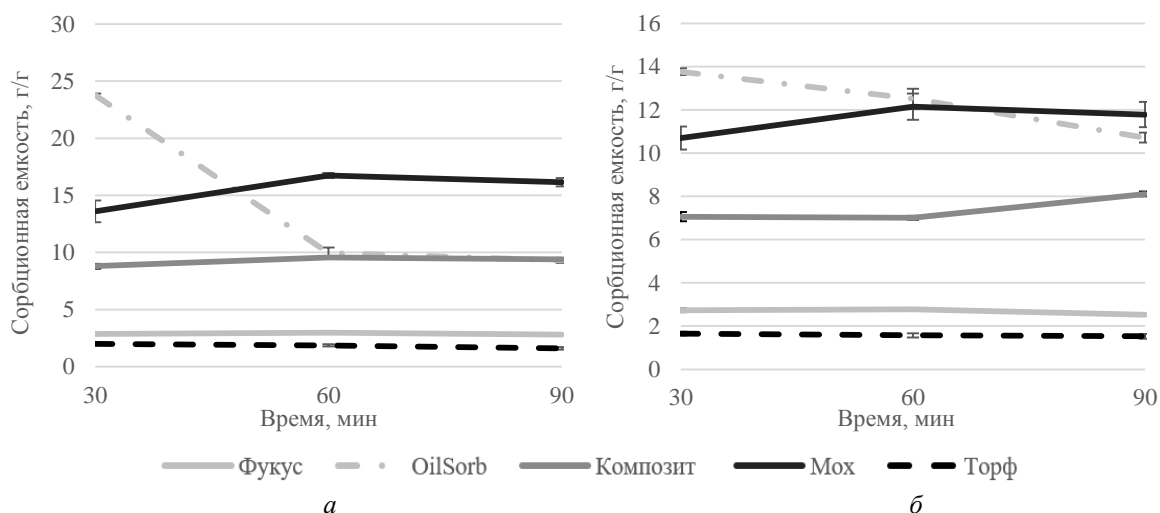


Рис. 5. Динамика водоемкости сорбентов: *a* – при 10–12 °С; *б* – при 21–23 °С
 Fig. 5. Dynamics of water capacity of sorbents:
a – the temperature is 10–12 °С, *б* – the temperature is 21–23 °С

Несмотря на показанную выше высокую эффективность в отношении нефтепоглощения (рис. 2, 3), синтетический образец показал также высокую водоемкость. С увеличением времени экспозиции отмечается

десорбция воды из структуры сорбента начиная с экспозиции в течение 60 мин; одновременно показатели нефтеемкости в этот же период времени в стандартных условиях несколько возрастают (рис. 3).

Необходимо отметить, что сорбция воды для исследуемых природных материалов сопоставима с их емкостью в отношении нефти и нефтепродуктов: чем больше водоемкость, тем больше нефтеемкость. Следовательно, такие природные сорбенты при испытаниях на пленке нефтепродуктов в реальных условиях ЛАРН будут поглощать и воду, тем самым снижая эффективность сорбции НП.

Результаты оценки сорбционных характеристик материалов в системе "морская вода – нефтепродукт"

Рассмотренные выше испытания сорбционных материалов проводятся по стандартным методикам ГОСТ 33627-2015 в отношении однокомпонентных систем "нефтепродукт" и "вода", что оказывает влияние на оценку фактических сорбционных свойств материалов, которые в случае использования в операциях ЛАРН на морской акватории попадают в двухкомпонентную систему "морская вода – нефтепродукт", способствующую изменению поведения сорбционных материалов и их эффективности в условиях реальной системы. В настоящем исследовании ставилась цель определить фактические сорбционные характеристики материалов в условиях, моделирующих реальный разлив нефти в морской акватории.

Результаты оценки эффективности использования сорбционных материалов в системе "морская вода – нефтепродукт" приведены на рис. 6, 7 и в табл. 1, 2.

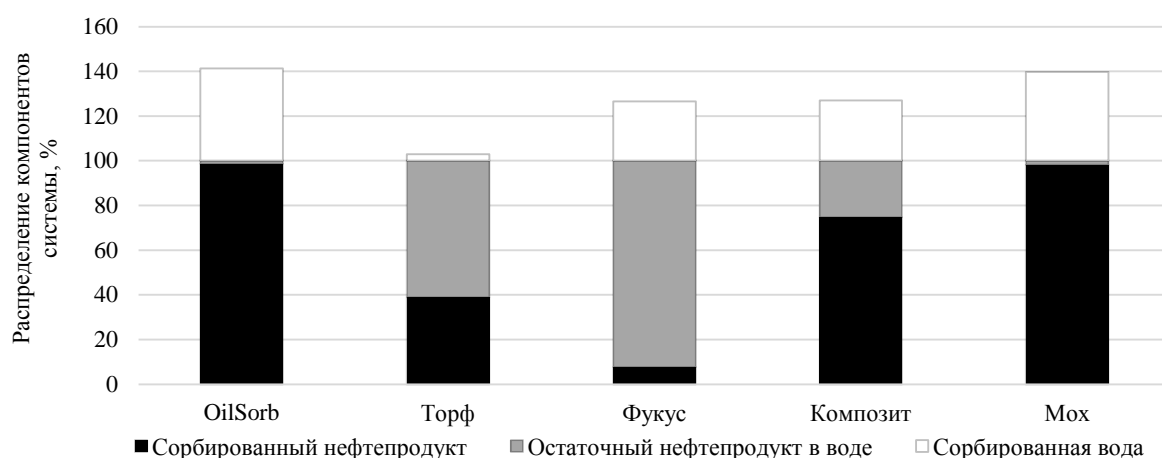


Рис. 6. Распределение сорбированных воды и НП в материалах и остаточного НП в воде системы "морская вода – нефть ARCO" при времени экспозиции 30 мин
Fig. 6. Distribution of the sorbed components of the "sea water – ARCO oil" system at the exposure time equal to 30 minutes

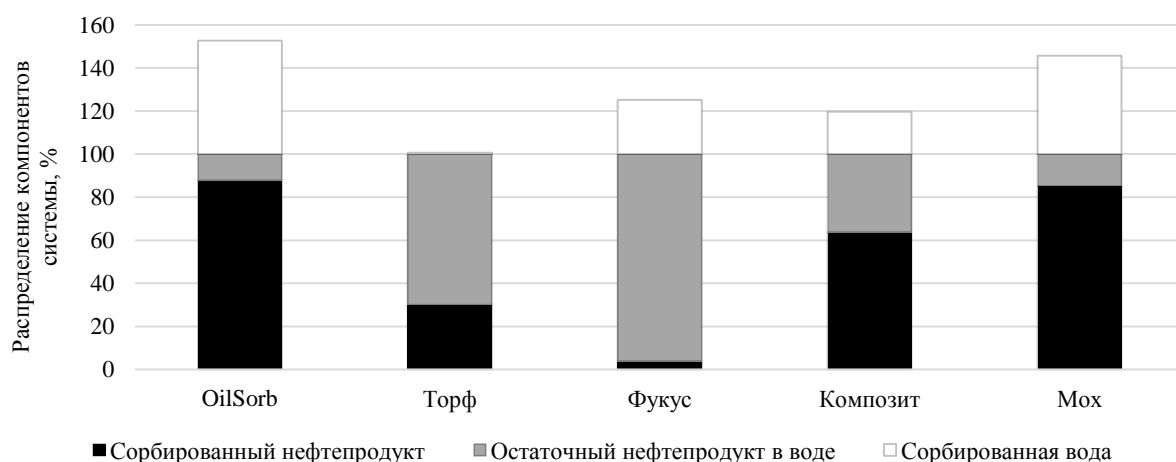


Рис. 7. Распределение сорбированных воды и НП в материалах и остаточного НП в воде системы "морская вода – дизельное топливо" при времени экспозиции 30 мин
Fig. 7. Distribution of the sorbed components of the "sea water – diesel fuel" system at the exposure time equal to 30 minutes

Таблица 1. Распределение сорбированной воды и НП в материалах и остаточного НП в воде системы "морская вода – нефть ARCO" при различном времени экспозиции
Table 1. Distribution of the sorbed components of the "sea water – ARCO oil" system at different exposures

Сорбционный материал	Экспозиция, мин	Количество остаточного нефтепродукта в воде, г	Количество сорбированного нефтепродукта, г	Количество сорбированной воды, г
OilSorb	30	0,09 ± 0,11	6,21	9,13
	60	0,07 ± 0,35	6,23	9,36
	90	0,34 ± 0,21	5,96	9,65
Торф (месторождение Катка-2, Мурманская область)	30	3,85 ± 0,14	2,45	0,28
	60	5,41 ± 0,17	0,89	0,76
	90	5,22 ± 0,17	1,08	0,64
Фукус пузырчатый (<i>Fucus vesiculosus</i>)	30	5,82 ± 0,19	0,48	2,69
	60	6,24 ± 0,14	0,06	2,86
	90	5,42 ± 0,18	0,88	2,92
Композит [мох сфагнум (50 %) и фукус пузырчатый (50 %)]	30	1,59 ± 0,24	4,71	4,23
	60	5,02 ± 0,13	1,28	5,79
	90	6,09 ± 0,22	0,21	6,65
Мох сфагнум (<i>Sphagnum palustre</i> L.)	30	0,11 ± 0,24	6,19	8,51
	60	0,09 ± 0,34	6,21	8,70
	90	0,10 ± 0,35	6,20	9,14

Таблица 2. Распределение сорбированной воды и НП в материалах и остаточного НП в воде системы "морская вода – дизельное топливо" при различном времени экспозиции
Table 2. Distribution of the sorbed components of the "sea water – diesel fuel" system at different exposures

Сорбционный материал	Экспозиция, мин	Количество остаточного нефтепродукта в воде, г	Количество сорбированного нефтепродукта, г	Количество сорбированной воды, г
OilSorb	30	0,72 ± 0,14	5,23	13,56
	60	0,94 ± 0,10	5,01	13,2
	90	0,98 ± 0,29	4,97	14,31
Торф (месторождение Катка-2, Мурманская область)	30	4,16 ± 0,10	1,79	0,05
	60	4,20 ± 0,13	1,75	0,54
	90	4,28 ± 0,19	1,67	0,44
Фукус пузырчатый (<i>Fucus vesiculosus</i>),	30	5,72 ± 0,21	0,23	2,35
	60	5,64 ± 0,20	0,31	2,28
	90	5,71 ± 0,18	0,24	2,30
Композит [мох сфагнум (50 %) и фукус пузырчатый (50 %)]	30	2,15 ± 0,20	3,80	2,59
	60	2,04 ± 0,19	3,91	2,77
	90	2,01 ± 0,20	3,94	2,90
Мох сфагнум (<i>Sphagnum palustre</i> L.)	30	0,88 ± 0,34	5,07	10,13
	60	0,78 ± 0,23	5,17	11,37
	90	0,77 ± 0,29	5,18	11,41

Анализ результатов показал, что испытания в модельной системе, имитирующей реальные условия, показали существенные изменения эффективности использования сорбционных материалов, продемонстрированной ими при стандартных условиях. Так, сорбент OilSorb, ранее значительно опережавший по показателям нефтеемкости остальные материалы (рис. 2, 3), показал сопоставимые результаты с материалом на основе мха сфагнума по количеству сорбированной нефти – 6,21 и 6,19 г соответственно при времени экспозиции 30 мин (рис. 6, табл. 1). Композитный материал "мох – фукус" сорбировал 74,8 % от имеющейся нефти, торф и фукус в модельной системе "морская вода – нефть ARCO" удалили менее половины разлитой нефти – 38,9 и 7,6 % соответственно (рис. 6). Очевидно, фукус за счет менее развитой поверхности и практически полного отсутствия пористой структуры не может рассматриваться в качестве сорбционного материала без возможной дополнительной обработки, что показали исследования как в стандартных условиях, так и в условиях, моделирующих реальный разлив нефти. Торф в данном эксперименте не показал себя в качестве эффективного сорбционного материала, но может рассматриваться потенциально как дешевый и достаточно доступный материал для сорбции нефти в условиях ЛАРН. Наиболее эффективными в условиях

системы "морская вода – нефть ARCO", моделирующих реальный разлив в акватории, в отношении сорбции сырой нефти оказались сорбционные материалы OilSorb (98,6 %) и мох сфагнум (98,3 %).

Наличие в моделируемой системе водной компоненты привело к тому, что сорбционные материалы продемонстрировали более низкие результаты, чем при сорбции в однокомпонентной системе только с нефтепродуктом. Так, определенная общая сорбционная емкость (нефте- и водоемкость) OilSorb в системе "морская вода – нефть ARCO" при экспозиции 30 мин составила $15,34 \pm 0,11$ г и превысила заявленную производителем (10 г), но при этом 60,0 % сорбата составила вода (табл. 1). Аналогичные результаты наблюдались и для других сорбционных материалов независимо от типа НП в системе "морская вода – нефтепродукт" (табл. 1, 2). Следовательно, для расчета количества сорбционного материала при ЛАРН необходимо учитывать не только количество разлитой нефти и показатель сорбционной емкости, определенный по ГОСТу, но принимать во внимание снижение селективности сорбции материалов в отношении нефтепродуктов в реальной системе "морская вода – нефтепродукт".

Проведенная ранее оценка водоемкости природных материалов коррелирует с их способностью поглощать воду в модельной системе "морская вода – нефтепродукт". Так, торф и фукус сорбировали наименьшее количество воды при определении водоемкости (рис. 5), и эти же сорбционные материалы показали соответственно наименьшие величины поглощенной воды в системе "морская вода – нефтепродукт" (табл. 1, 2). Но для синтетического образца OilSorb эта зависимость не соблюдалась в условиях экспозиции 60 и 90 мин (рис. 5, табл. 1, 2). Предположительно, модифицирование исследуемых природных сорбционных материалов в отношении повышения их гидрофобности может привести к более высоким показателям нефтеемкости.

При этом в условиях, моделирующих разлив нефтепродукта на поверхности морской акватории, наблюдалась определенная ранее способность сорбентов эффективнее поглощать дизельное топливо (табл. 2), что коррелирует с вышеприведенными результатами стандартной оценки показателей сорбционной емкости при температуре окружающей среды 10–12 °С (рис. 2, 3). Наиболее эффективными в сорбции дизельного топлива также оказались OilSorb (87,9 %) и мох сфагнум (85,2 %), наименее результативными – сорбенты торф (30,1 %) и фукус (3,9 %) (рис. 7, табл. 2). Тенденция к большему поглощению воды у материалов с ранее отмеченной высокой водоемкостью сохранялась в системе "вода – дизельное топливо" как для природных, так и для синтетических сорбентов.

В системе "морская вода – нефть ARCO" результаты исследования сорбции в динамике (табл. 1) свидетельствуют об увеличении нефтеемкости OilSorb при экспозиции 60 мин, однако при экспозиции 90 мин наблюдается десорбция нефти. Сорбционные материалы на основе торфа и фукуса в этих же условиях показывают некоторые колебания сорбции/десорбции нефти в течение экспозиции 30, 60, 90 мин. Сорбционный материал на основе мха демонстрировал стабильную сорбцию нефти на протяжении всего периода экспозиции.

В системе "морская вода – дизельное топливо" динамика сорбции материалами дизельного топлива (табл. 2) в целом аналогична динамике сорбции материалами сырой нефти. Однако в данной системе в целом эффективный сорбционный материал OilSorb уже при достижении времени экспозиции 60 мин показывает некоторую десорбцию поглощенного нефтепродукта, а сорбция им воды становится более интенсивной, что влечет за собой рекомендации выдерживать этот сорбент на поверхности воды, загрязненной нефтью или дизельным топливом, не более 60 мин. Сорбционные материалы на основе торфа и фукуса также показали снижение сорбции дизельного топлива и повышение процессов сорбции воды по достижении времени экспозиции 60 мин. В отношении композита "мох – фукус" и сорбционного материала на основе мха установлена стабильная динамика возрастания сорбции дизельного топлива на протяжении всего времени экспозиции в течение 30, 60 и 90 мин. В отношении сорбционного материала на основе мха можно отметить, что по истечении времени экспозиции 60 мин его способность поглощать дизельное топливо стала превышать аналогичный показатель у коммерческого синтетического сорбента OilSorb (5,17 г против 5,01 г соответственно); при увеличении времени экспозиции это преимущество сохранялось.

Заключение

Проведенное исследование сорбционных характеристик природных материалов органического происхождения на основе регионального сырья: мха сфагнума *Sphagnum palustre* L., торфа (месторождение Катка-2, Мурманская область), фукуса пузырчатого *Fucus vesiculosus*, композита [мох сфагнум (50 %) и фукус пузырчатый (50 %)] – в сравнении с используемым в практике аварийно-спасательных подразделений региона синтетическим сорбентом OilSorb позволило оценить возможность их использования в качестве сорбентов для ЛАРН в условиях арктической акватории.

Экспериментальные данные сорбционной емкости природных материалов определены в отношении нефтеемкости потенциальных загрязнителей акватории Баренцева моря (нефти сорта ARCO, судового дизельного топлива) и показателя водоемкости сорбентов для стандартных условий при температуре 21–23 °С (согласно ГОСТ 33627-2015) и в условиях диапазона значений температуры 10–12 °С, характерных для

летнего периода на Кольском полуострове. Полученные результаты сопоставлены в отношении различного времени экспозиции сорбционных материалов в нефтепродуктах и морской воде.

Наибольшие показатели нефтеемкости, определяемые стандартными методами, в отношении как нефти сорта ARCO, так и в отношении дизельного топлива установлены для коммерческого сорбента OilSorb и материала на основе мха сфагнома при всех исследованных диапазонах температуры и времени экспозиции. Отмечено, что в этих случаях сорбционный материал на основе мха сфагнома уступал в эффективности сорбции коммерческому сорбенту OilSorb на 38,3–50,7 % в отношении дизельного топлива и на 32,5–46,8 % – в отношении нефти, при этом его абсолютные показатели нефтеемкости находились в диапазоне 6,0–9,0 г/г, что соответствует аналогичным показателям для высоковольтостребованных коммерческих сорбентов.

В ходе исследования проведена оценка сорбционных характеристик рассматриваемых материалов в системе "морская вода – нефтепродукт", моделирующей реальный разлив нефти в морской акватории. Испытания в модельной системе, имитирующей реальные условия, показывают существенные изменения эффективности использования сорбционных материалов, продемонстрированной ими при стандартных условиях. Так, коммерческий сорбент OilSorb, значительно опережавший по стандартным показателям нефтеемкости остальные сорбционные материалы, показал сопоставимые результаты по количеству извлеченной нефти с материалом на основе мха сфагнома.

Наличие в реальной системе водной компоненты приводит к более низким результатам извлечения НП, чем при сорбции в идеальных лабораторных условиях однокомпонентной системы согласно ГОСТ 33627-2015. Для расчета количества сорбционного материала при ЛАРН рекомендуется учитывать не только количество разлитой нефти и показатель сорбционной емкости, определенный по ГОСТу, но и принимать во внимание снижение селективности сорбции материалов в отношении нефтепродуктов в реальной системе "морская вода – нефтепродукт".

Динамика распределения сорбированной НП и воды в материалах, а также остаточного НП в воде в системах "морская вода – нефть ARCO" и "морская вода – дизельное топливо" установлена при различном времени экспозиции. В течение времени экспозиции 30, 60, 90 мин в условиях системы, моделирующей реальный разлив нефти в акватории, наиболее эффективными и устойчивыми во времени показателями сорбции нефтепродуктов обладает сорбционный материал на основе мха сфагнома.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке научно-образовательного центра "Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования", а также в рамках НИОКР Мурманского арктического университета № 124041100087-0 "Мониторинг антропогенного воздействия на экосистемы и разработка подходов, технологий и материалов восстановления и сохранения природных сред в условиях Арктического региона".

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Денисова Т. Р., Шайхiev И. Г., Сиппель И. Я., Кузнецова Н. П. [и др.]. Влияние кислотной обработки опилок липы на нефтеемкость // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т. 18, № 20. С. 275–277. EDN: VBWOXD.
- Евстигнеев В. Д., Графова Е. О. Перспективы применения древесных отходов для обеспечения экологической безопасности лесозаготовительных предприятий // Resources and Technology. 2016. Т. 13, № 3. С. 63–70. DOI: <https://doi.org/10.15393/j2.art.2016.3341>. EDN: XRZMZT.
- Иванов И. П., Судакова И. Г., Иванченко Н. М., Кузнецов Б. Н. Изучение свойств активных углей из зерновой коры лиственницы // Химия растительного сырья. 2011. № 1. С. 81–86. EDN: NJBFKB.
- Каменщиков Ф. А., Богомольный Е. И. Нефтяные сорбенты. М. : Регулярная и хаотическая динамика, 2005. С. 265–267.
- Левченко М. Л. Состояние сырьевой базы и возможности использования глауконитов в России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2008. № 2. С. 27–31. EDN: JXSWHF.
- Лим Л. А., Реутов В. А., Руденко А. А., Чудовский А. С. Нефтеемкость сорбента: проблема выбора методики определения // Успехи современного естествознания. 2018. № 10. С. 144–150.
- Нифталиев С. И., Перегудов Ю. С., Мокшина Н. Я., Мэжри Р. Влияние термической активации глауконита на его влаго- и нефтеемкость // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23, № 7. С. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-7-42-47>. EDN: RXYAKA.
- Семенович А. В., Лоскутов С. Р. Сбор проливов нефтепродуктов модифицированной корой хвойных пород // Химия растительного сырья. 2008. № 2. С. 113–117. EDN: JSIRBL.

- Телушкина Т. Ю., Медведев А. В. Фракционный состав и нефтеемкость глауконитового песка // Новые технологии – нефтегазовому региону : материалы Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 50-летию ТИИ-ТюмГНГУ. Т. 1. Тюмень : ТюмГНГУ, 2013. С. 69–71.
- Цомбуева Б. В. Применение природных материалов в качестве сорбентов для очистки почв от нефтяного загрязнения // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. EDN: TGRGZL. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15695>.
- Яковлев Б. А. Климат Мурманска. Ленинград : Гидрометеиздат, 1972. 106 с.
- Annunciado T. R., Sydenstricker T. H. D., Amico S. C. Experimental investigation of various vegetable fibers as sorbent materials for oil spills // Marine Pollution Bulletin. 2005. Vol. 50, Iss. 11. P. 1340–1346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.043>.
- Banerjee S. S., Joshi M. V., Jayaram R. V. Treatment of oil spill by sorption technique using fatty acid grafted sawdust // Chemosphere. 2006. Vol. 64, Iss. 6. P. 1026–1031. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.01.065>.
- Behnood R., Anvaripour B., Jaafarzadeh N., Farasati M. Oil spill sorption using raw and acetylated sugarcane bagasse // Journal of Central South University. 2016. Vol. 23. P. 1618–1625. DOI: [10.1007/s11771-016-3216-8](https://doi.org/10.1007/s11771-016-3216-8).
- Choi H. M., Cloud R. M. Natural sorbents in oil spill cleanup // Environmental Science & Technology. 1992. Vol. 26, Iss. 4. P. 772–776. DOI: <https://doi.org/10.1021/es00028a016>.
- Díaz M. A. D., Frómata A. E. N., Muñoz C. L. S. Improved sorbent for the removal of hydrocarbons spilled in water // Frontiers in Sustainability. 2022. Vol. 3. Article number: 962215. DOI: <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.962215>.
- El Gheriany I. A., El Saqa F. A., El Razek Amer A. A., Hussein M. Oil spill sorption capacity of raw and thermally modified orange peel waste // Alexandria Engineering Journal. 2020. Vol. 59, Iss. 2. P. 925–932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.03.024>.
- Guilharduci V. V. da Silva, Martelli P. B., Gorgulho H. de Fátima. Efficiency of sugarcane bagasse-based sorbents for oil removal from engine washing wastewater // Water Science and Technology. 2017. Vol. 75, Iss. 1. P. 173–181. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2016.476>.
- Haussard M., Gaballah I., Kanari N., de Donato Ph. [et al.]. Separation of hydrocarbons and lipid from water using treated bark // Water Research. 2003. Vol. 37, Iss. 2. P. 362–374. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(02\)00269-5](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(02)00269-5).
- Huang X., Lim T.-T. Performance and mechanism of a hydrophobic-oleophilic kapok filter for oil/water separation // Desalination. 2006. Vol. 190, Iss. 1–3. P. 295–307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.09.009>.
- Hussein M., Amer A. A., El-Maghraby A., Hamedallah N. Oil spill removal from water by using corn stalk: Factors affecting sorption process // International Journal of Environment and Waste Management. 2015. Vol. 16, Iss. 4. P. 281–292. DOI: <https://doi.org/10.1504/ijewm.2015.074907>.
- Ibrahim S., Wang S., Ang H. M. Removal of emulsified oil from oily wastewater using agricultural waste barley straw // Biochemical Engineering Journal. 2010. Vol. 49, Iss. 1. P. 78–83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2009.11.013>.
- Ifelebuegu A. O., Momoh Z. An evaluation of the adsorptive properties of coconut husk for oil spill cleanup // Proc. of the Intern. Conf. on *Advances in Applied Science and Environmental Technology – ASET 2015*. Bangkok, Thailand, 2015. P. 33–37.
- Inagaki M., Toyoda M., Iwashita N., Nishi Y. [et al.]. Sorption, recovery and recycle of spilled heavy oils using carbon materials // TANSO. 2002. Vol. 2002, Iss. 201. P. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.7209/tanso.2002.16>.
- Khan E., Virojnagud W., Ratpukdi T. Use of biomass sorbents for oil removal from gas station runoff // Chemosphere. 2004. Vol. 57, Iss. 7. P. 681–689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.06.028>.
- Kobayashi Y., Matsuo R., Nishiyama M. Method for absorption of oils. Japanese Patent 52,138,081, November 17, 1977.
- Kudaybergenov K., Ongarbayev Y., Mansurov Z., Doszhanov Y. Study on the effectiveness of thermally treated rice husks for petroleum adsorption // Journal of Non-Crystalline Solids. 2012. Vol. 358, Iss. 22. P. 2964–2969. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2012.07.017>.
- Li D., Zhu F. Z., Li J. Y., Na P. [et al.]. Preparation and characterization of cellulose fibers from corn straw as natural oil sorbents // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2013. Vol. 52, Iss. 1. P. 516–524. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie302288k>.
- Lim T.-T., Huang X. Evaluation of kapok (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) as a natural hollow hydrophobic-oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup // Chemosphere. 2007. Vol. 66, Iss. 5. P. 955–963. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.05.062>.
- Liu J., Chen Y., Zhang B., Zhang Q. [et al.]. Superhydrophobic straw felt for oil absorption // Results in Engineering. 2022. Vol. 13. Article number: 100370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100370>.
- Paulauskienė T., Jucikė I. Aquatic oil spill cleanup using natural sorbents // Environmental Science and Pollution Research. 2015. Vol. 22, Iss. 19. P. 14874–14881. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4725-y>.

- Razavi Z., Mirghaffari N., Rezaei B. Performance comparison of raw and thermal modified rice husk for decontamination of oil polluted water // *CLEAN – Soil, Air, Water*. 2015. Vol. 43, Iss. 2. P. 182–190. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.201300753>.
- Ribeiro T. H., Rubio J., Smith R. W. A dried hydrophobic aquaphyte as an oil filter for oil/water emulsions // *Spill Science & Technology Bulletin*. 2003. Vol. 8, Iss. 5–6. P. 483–489. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1353-2561\(03\)00130-0](https://doi.org/10.1016/s1353-2561(03)00130-0).
- Saito M., Ishii N., Ogura S., Maemura S. Development and water tank tests of SBS (*Sugi* Bark Sorbent) // *International Oil Spill Conference Proceedings*. 2001. Vol. 2. P. 1485–1495. DOI: <https://doi.org/10.7901/2169-3358-2001-2-1485>.
- Sidik S. M., Jalil A. A., Triwahyono S., Adam S. H. [et al.]. Modified oil palm leaves adsorbent with enhanced hydrophobicity for crude oil removal // *Chemical Engineering Journal*. 2012. Vol. 203. P. 9–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.06.132>.
- Suni S., Kosunen A.-L., Hautala M., Pasila A. [et al.]. Use of a by-product of peat excavation, cotton grass fibre, as a sorbent for oil-spills // *Marine Pollution Bulletin*. 2005. Vol. 49, Iss. 11–12. P. 916–921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.06.015>.
- Teas Ch., Kalligeros S., Zanicos F., Stournas S. [et al.]. Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spills clean up // *Desalination*. 2001. Vol. 140, Iss. 3. P. 259–264. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0011-9164\(01\)00375-7](https://doi.org/10.1016/s0011-9164(01)00375-7).
- Tijani M. M., Aqsha A., Mahinpey N. Development of oil-spill sorbent from straw biomass waste: Experiments and modeling studies // *Journal of Environmental Management*. 2016. Vol. 171. P. 166–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.010>.
- Witka-Jeżewska E., Hupka J., Pieniżek P. Investigation of oleophilic nature of straw sorbent conditioned in water // *Spill Science & Technology Bulletin*. 2003. Vol. 8, Iss. 5–6. P. 561–564. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1353-2561\(03\)00069-0](https://doi.org/10.1016/s1353-2561(03)00069-0).
- Zhao J., Xiao C., Xu N. Evaluation of polypropylene and poly (butylmethacrylate-co-hydroxyethylmethacrylate) nonwoven material as oil absorbent // *Environmental Science and Pollution Research*. 2013. Vol. 20, Iss. 6. P. 4137–4145. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1397-8>.

References

- Denisova, T. R., Shaykhiyev, I. G., Sippel, I. Ya., Kuznetsova, N. P. et al. 2015. Influence of acid processing of sawdust of a linden on oil capacity. *Bulletin of the Technological University*, 18(20), pp. 275–277. EDN: VBWOXD. (In Russ.)
- Evstigneev, V. D., Grafova, E. O. 2016. Prospects for the use of wood waste to ensure environmental safety of logging enterprises. *Resources and Technology*, 13(3), pp. 63–70. DOI: <https://doi.org/10.15393/j2.art.2016.3341>. EDN: XRZMT. (In Russ.)
- Ivanov, I. P., Sudakova, I. G. 2011. Study of the properties of active carbons from granulated larch bark. *Khimiya Rastitelnogo Syr'ya*, 1, pp. 81–86. EDN: NJBFKB. (In Russ.)
- Kamenshchikov, F. A., Bogomolny, E. I. 2005. Oil sorbents. Moscow, pp. 265–267. (In Russ.)
- Levchenko, M. L. 2008. State of the raw material base and the possibility of using glauconites in Russia. *Mineral Resources of Russia. Economics and management*, 2, pp. 27–31. EDN: JXSWHF. (In Russ.)
- Lim, L. A., Reutov, V. A., Rudenko, A. A., Chudovsky, A. S. 2018. Oil capacity of the sorbent: The problem of choosing a determination method. *Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya*, 10, pp. 144–150. (In Russ.)
- Niftaliev, S. I., Peregudov, Yu. S., Mokshina, N. Ya., Mazhri, R. 2019. The influence of thermal activation of glauconite on its moisture and oil capacity. *Ekologiya i Promyshlennost Rossii*, 23(7), pp. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-7-42-47>. EDN: RXYAKA. (In Russ.)
- Semenovich, A. V., Loskutov, S. R. 2008. Collection of oil spills with modified coniferous bark. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2, pp. 113–117. EDN: JSIRBL. (In Russ.)
- Telushkina, T. Yu., Medvedev, A. V. 2013. Fractional composition and oil capacity of glauconite sand. *Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference New technologies for the oil and gas region*. Tyumen, pp. 69–71. (In Russ.)
- Tsombueva, B. V. 2014. The use of natural materials as sorbents for cleanup of soils from oil pollution. *Modern Problems of Science and Education*, 6. EDN: TGRGZL. URL: <https://science-education.ru/article/view?id=15695>. (In Russ.)
- Yakovlev, B. A. 1972. Climate of Murmansk. Leningrad. (In Russ.)
- Annunciado, T. R., Sydenstricker, T. H. D., Amico, S. C. 2005. Experimental investigation of various vegetable fibers as sorbent materials for oil spills. *Marine Pollution Bulletin*, 50(11), pp. 1340–1346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.043>.
- Banerjee, S. S., Joshi, M. V., Jayaram, R. V. 2006. Treatment of oil spill by sorption technique using fatty acid grafted sawdust. *Chemosphere*, 64(6), pp. 1026–1031. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.01.065>.

- Behnood, R., Anvaripour, B., Jaafarzadeh, N., Farasati, M. 2016. Oil spill sorption using raw and acetylated sugarcane bagasse. *Journal of Central South University*, 23, pp. 1618–1625. DOI: 10.1007/s11771-016-3216-8.
- Choi, H. M., Cloud, R. M. 1992. Natural sorbents in oil spill cleanup. *Environmental Science & Technology*, 26(4), pp. 772–776. DOI: <https://doi.org/10.1021/es00028a016>.
- Díaz, M. A. D., Frómeta, A. E. N., Muñoz, C. L. S. 2022. Improved sorbent for the removal of hydrocarbons spilled in water. *Frontiers in Sustainability*, 3. Article number: 962215. DOI: <https://doi.org/10.3389/frsus.2022.962215>.
- El Gheriany, I. A., El Saqa, F. A., El Razek Amer, A. A., Hussein, M. 2020. Oil spill sorption capacity of raw and thermally modified orange peel waste. *Alexandria Engineering Journal*, 59(2), pp. 925–932. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.03.024>.
- Guilharduci, V. V. da Silva, Martelli, P. B., Gorgulho, H. de Fátima. 2017. Efficiency of sugarcane bagasse-based sorbents for oil removal from engine washing wastewater. *Water Science and Technology*, 75(1), pp. 173–181. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2016.476>.
- Haussard, M., Gaballah, I., Kanari, N., de Donato, Ph. et al. 2003. Separation of hydrocarbons and lipid from water using treated bark. *Water Research*, 37(2), pp. 362–374. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(02\)00269-5](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(02)00269-5).
- Huang, X., Lim, T.-T. 2006. Performance and mechanism of a hydrophobic-oleophilic kapok filter for oil/water separation. *Desalination*, 190(1–3), pp. 295–307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.09.009>.
- Hussein, M., Amer, A. A., El-Maghraby, A., Hamedallah, N. 2015. Oil spill removal from water by using corn stalk: Factors affecting sorption process. *International Journal of Environment and Waste Management*, 16(4), pp. 281–292. DOI: <https://doi.org/10.1504/ijewm.2015.074907>.
- Ibrahim, S., Wang, S., Ang, H. M. 2010. Removal of emulsified oil from oily wastewater using agricultural waste barley straw. *Biochemical Engineering Journal*, 49(1), pp. 78–83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2009.11.013>.
- Ifelebuegu, A. O., Momoh, Z. 2015. An evaluation of the adsorptive properties of coconut husk for oil spill cleanup. Proc. of the Intern. Conf. on *Advances in Applied Science and Environmental Technology – ASET 2015*. Bangkok, Thailand, pp. 33–37.
- Inagaki, M., Toyoda, M., Iwashita, N., Nishi, Y. et al. 2002. Sorption, recovery and recycle of spilled heavy oils using carbon materials. *TANSO*, 2002(201), pp. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.7209/tanso.2002.16>.
- Khan, E., Virojnagud, W., Ratpukdi, T. 2004. Use of biomass sorbents for oil removal from gas station runoff. *Chemosphere*, 57(7), pp. 681–689. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.06.028>.
- Kobayashi, Y., Matsuo, R., Nishiyama, M. 1977. Method for absorption of oils. Japanese Patent 52,138,081, November 17, 1977.
- Kudaybergenov, K., Ongarbayev, Y., Mansurov, Z., Doszhanov, Y. 2012. Study on the effectiveness of thermally treated rice husks for petroleum adsorption. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 358(22), pp. 2964–2969. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2012.07.017>.
- Li, D., Zhu, F. Z., Li, J. Y., Na, P. et al. 2013. Preparation and characterization of cellulose fibers from corn straw as natural oil sorbents. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(1), pp. 516–524. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie302288k>.
- Lim, T.-T., Huang, X. 2007. Evaluation of kapok (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.) as a natural hollow hydrophobic-oleophilic fibrous sorbent for oil spill cleanup. *Chemosphere*, 66(5), pp. 955–963. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.05.062>.
- Liu, J., Chen, Y., Zhang, B., Zhang, Q. et al. 2022. Superhydrophobic straw felt for oil absorption. *Results in Engineering*, 13. Article number: 100370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100370>.
- Paulauskienė, T., Jucikė, I. 2015. Aquatic oil spill cleanup using natural sorbents. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(19), pp. 14874–14881. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4725-y>.
- Razavi, Z., Mirghaffari, N., Rezaei, B. 2015. Performance comparison of raw and thermal modified rice husk for decontamination of oil polluted water. *CLEAN – Soil, Air, Water*, 43(2), pp. 182–190. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.201300753>.
- Ribeiro, T. H., Rubio, J., Smith, R. W. 2003. A dried hydrophobic aquaphyte as an oil filter for oil/water emulsions. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(5–6), pp. 483–489. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1353-2561\(03\)00130-0](https://doi.org/10.1016/s1353-2561(03)00130-0).
- Saito, M., Ishii, N., Ogura, S., Maemura, S. 2001. Development and water tank tests of SBS (*Sugi* Bark Sorbent). *International Oil Spill Conference Proceedings*, 2, pp. 1485–1495. DOI: <https://doi.org/10.7901/2169-3358-2001-2-1485>.
- Sidik, S. M., Jalil, A. A., Triwahyono, S., Adam, S. H. et al. 2012. Modified oil palm leaves adsorbent with enhanced hydrophobicity for crude oil removal. *Chemical Engineering Journal*, 203, pp. 9–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.06.132>.

- Suni, S., Kosunen, A.-L., Hautala, M., Pasila, A. et al. 2005. Use of a by-product of peat excavation, cotton grass fibre, as a sorbent for oil-spills. *Marine Pollution Bulletin*, 49(11–12), pp. 916–921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.06.015>.
- Teas, Ch., Kalligeros, S., Zankos, F., Stournas, S. et al. 2001. Investigation of the effectiveness of absorbent materials in oil spills clean up. *Desalination*, 140(3), pp. 259–264. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0011-9164\(01\)00375-7](https://doi.org/10.1016/s0011-9164(01)00375-7).
- Tijani, M. M., Aqsha, A., Mahinpey, N. 2016. Development of oil-spill sorbent from straw biomass waste: Experiments and modeling studies. *Journal of Environmental Management*, 171, pp. 166–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.010>.
- Witka-Jeżewska, E., Hupka, J., Pieniżek, P. 2003. Investigation of oleophilic nature of straw sorbent conditioned in water. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8(5–6), pp. 561–564. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1353-2561\(03\)00069-0](https://doi.org/10.1016/s1353-2561(03)00069-0).
- Zhao, J., Xiao, C., Xu, N. 2013. Evaluation of polypropylene and poly (butylmethacrylate-co-hydroxyethylmethacrylate) nonwoven material as oil absorbent. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(6), pp. 4137–4145. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1397-8>.

Сведения об авторах

Васильева Жанна Вячеславовна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: vasilevazhv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2254-1152>

Zhanna V. Vasileva – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: vasilevazhv@mstu.edu.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2254-1152>

Тришина Анастасия Сергеевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, зав. лабораторией;
e-mail: trishinaas@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2557-8816>

Anastasia S. Trishina – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University;
e-mail: trishinaas@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2557-8816>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 33627-2015	Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик адсорбентов. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200133296 .
ГОСТ 33622-2015	Уголь активированный. Стандартный метод определения сорбционных характеристик абсорбентов. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200133295 .
Распоряжение Правительства РФ № 3363-р от 27.11.2021 г.	Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. URL: https://docs.cntd.ru/document/727294161 .
Федеральный закон № 459-ФЗ от 29.11.2018 (ред. от 02.12.2019 г.)	О федеральном бюджете на 2019 г. и на плановый период 2020 и 2021 гг. URL: https://docs.cntd.ru/document/551785929 . (В этом законе представлена государственная программа РФ "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации").
Распоряжение Правительства РФ № 2101-р от 30.09.2018 г.	Об утверждении Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 г. URL: https://docs.cntd.ru/document/551365461 . (Федеральный проект "Северный морской путь" рассмотрен в составе Комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 г.).
Распоряжение Правительства РФ № 1103-р от 28.04.2023	О внесении изменений в план развития Северного морского пути на период до 2035 г., утв. распоряжением Правительства РФ от 01.08.2022 № 2115-р. URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202305020028 .
ТУ 214-10942238-03-95	Оценка эффективности сорбента. М. : Стандартиформ, 1995. 24 с.
ПНД Ф 14.1: 2.116-97	Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных и сточных вод методом колоночной хроматографии с гравиметрическим методом. Введен 21 марта 1997 г. URL : https://docs.cntd.ru/document/1200066876 .
Постановление Правительства РФ № 2124 от 16.12.2020 г.	"Об утверждении требований к составу и оснащению аварийно-спасательных служб и (или) аварийно-спасательных формирований, участвующих в осуществлении мероприятий по ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов". URL: https://base.garant.ru/75083147/ .

УДК 550.42

Снеговая съемка в пределах месторождений медных руд в горнопромышленных районах Урала

Н. В. Гончар, А. Б. Макаров, О. М. Гуман*, И. А. Антонова

*ООО "Уралгеопроект", г. Екатеринбург, Россия;

e-mail: guman2007@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7078-6916>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
06.02.2024;

получена
после доработки
29.05.2024;

принята
к публикации
31.05.2024

Ключевые слова:

месторождения меди,
снеговая съемка,
пылевые остатки,
сульфиды,
тяжелые металлы

В работе представлены результаты исследований пылевых остатков снегового покрова в пределах различных природно-климатических зон и месторождений меди Уральского региона. Исследование снегового покрова является одним из методов экологической оценки территорий. Это касается изучения пылевых остатков проб снегового покрова, что показано на примере территорий Северного и Южного Урала на разных стадиях работ на месторождениях меди. Начальная стадия изучения и разработки рассмотрена на примере медно-порфировых месторождений в Челябинской области, где для снеговых проб в пылевых остатках характерны семена березы, выявляется органика, очень незначительное количество минеральной части при низкой пылевой нагрузке ($P < 100$ кг/сут на км²). Для месторождений Ивдельского района (Северный Урал) в пылевых остатках в значительной мере присутствует органическая труха, обломки рудных минералов (пирита, халькопирита) и минералы вулканогенных пород и метасоматитов. Максимальное значение пылевой нагрузки установлено для отрабатываемого в настоящее время Ново-Шемурского месторождения. Изучение пылевых остатков в зоне влияния Карабашского медеплавильного комбината (до его реконструкции) показало, что в некоторых частях санитарно-защитной зоны уровень загрязнения снегового покрова очень высокий при значениях пылевой нагрузки до 12 633 кг/сут на км², что определяется прежде всего широким использованием дробленых медеплавильных шлаков. В целом изучение пылевых остатков снежного покрова дает информацию как об экологическом состоянии территорий, так и минеральном составе остатков, что необходимо использовать в практических целях.

Для цитирования

Гончар Н. В. и др. Снеговая съемка в пределах месторождений медных руд в горнопромышленных районах Урала. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 158–169. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-158-169>.

Snow survey within the copper ore deposits in the mining regions of the Urals

Natalia V. Gonchar, Anatoly B. Makarov, Olga M. Guman*, Irina A. Antonova

*Uralgeoproekt LLC, Yekaterinburg, Russia;

e-mail: guman2007@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7078-6916>

Article info

Received
06.02.2024;

received
in revised form
29.05.2024;

accepted
31.05.2024

Key words:

copper deposits,
snow survey,
dust residues,
sulfides,
heavy metals

Abstract

The paper presents the results of studies of dust residues of snow cover within various climatic zones and copper deposits of the Ural region. Snow cover research is one of the methods for environmental assessment of territories. This concerns the study of dust residues from snow cover samples, as shown by the example of the territories of the Northern and Southern Urals at different stages of work on copper deposits. The initial stage of study and development is considered using the example of porphyry copper deposits in the Chelyabinsk region, where snow samples reveal organic matter in dust residues, typical birch seeds, a small amount of minerals at a low dust load ($P < 100$ kg/day per km²). For the deposits of the Ivdel region (Northern Urals), the dust residues largely contain organic dust, fragments of ore minerals (pyrite, chalcopyrite) and minerals of volcanic rocks and metasomatic rocks. The maximum value of the dust load is set for the Novo-Shemurskoye deposit currently being developed. A study of dust residues in the zone of influence of the Karabash copper smelter (before its reconstruction) has shown that in some parts of the sanitary protection zone the level of snow cover pollution is very high with dust load values up to 12,633 kg/day per km², which is determined primarily by the widespread use of crushed copper smelting slag. In general, the study of dust residues of snow cover provides information about both the ecological state of the territories and the mineral composition of the residues, which must be used for practical purposes.

For citation

Gonchar, N. V. et al. 2024. Snow survey within the copper ore deposits in the mining regions of the Urals. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 158–169. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-158-169>.

Введение

Снеговая съемка является одним из методов оценки степени загрязнения атмосферного воздуха в течение зимнего периода (*Василенко и др., 1985; Гончар и др., 2023*). Снежный покров обладает рядом свойств, делающих его удобным индикатором загрязнения природной окружающей среды. Это обусловлено тем обстоятельством, что концентрации загрязняющих веществ в нем обычно в два-три раза выше, чем в атмосферном воздухе. Особенности снежного покрова, устанавливающие его важную роль в решении экологических задач, определяются следующими факторами: в пределах Уральского региона – это длительность его существования (до 5 месяцев), которого хватает для накопления поллютантов в объеме, достаточном для количественного определения стандартными методами анализа (гидрохимического, атомной абсорбции, нейтронной активации). Снежный покров является накопителем витающей пыли, не осаждающейся гравитационным путем. Накопление снега сопровождается захватом аэрозольных частиц, что дает возможность определения поллютантов в каждом горизонте своеобразной пробы, отобранной в течение снегопада, а низкие температуры обеспечивают консервацию химических соединений, захваченных снегом в течение всего зимнего сезона, и чем длительнее существование снежного покрова, тем большее количество пыли в нем накапливается. Немаловажно и то, что опробование снежного покрова можно произвести в сжатые сроки на большой площади, определяя интегральное загрязнение, накопленное за весь зимний период. При этом учитывается, что снег перекрывает открытую поверхность почвы, поэтому исключается естественное пылевыведение и частицы, находящиеся в воздухе, имеют техногенное происхождение. В то же время картирование загрязнения снежного покрова обуславливает в ряде случаев структуру зимних воздушных потоков (преобладающих ветров) и горизонтальные перемещения снега в метель и вьюгу, что необходимо учитывать при интерпретации полученных данных¹ (*Большаков и др., 1993; Макаров, 1997; Сергеев и др., 2002; Таловская и др., 2009; Таловская, 2022; Федоров и др., 1996*).

Исследования снежного покрова в пределах Уральского региона выполнялись неоднократно (*Макаров и др., 2017; Удачин и др., 2014; Масленников и др., 2016; Udachin et al., 2003*). Выполненные нами ранее исследования снежного покрова (*Макаров и др., 2017*) на примере прилегающих к шлаковому отвалу Нижнетагильского металлургического комбината (НТМК) территорий показали, что пылевая нагрузка на снеговой покров при разработке шлакового отвала составляет от 69,2 кг/км² в сутки в юго-юго-западном направлении до 1 544,7 кг/км² в сутки в северо-западном направлении. Очевидно, что основная пылевая нагрузка здесь связана как с разработкой отвала, так и общим воздействием металлургического производства. В отобранных на участках с максимальной пылевой нагрузкой пробы почв в магнитной фракции были выявлены магнитные сферулы, отражающие техногенную составляющую выбросов. Следует лишь отметить, что эти исследования проводились преимущественно для урбанизированных территорий² (*Емлин, 1984а; б*), а для г. Екатеринбурга А. А. Селезнев и др. (*Selesnev et al., 2021*) изучен состав и особенности снеготрясовой смеси. При этом снеговая съемка являлась элементом комплексных геоэкологических исследований. Особенности снеговой съемки в пределах зоны воздействия горнопромышленных предприятий исследовались в данной работе.

Цель работы – минералогическое изучение пылевых остатков проб снежного покрова вблизи действующих горнорудных предприятий для оценки их воздействия на природную окружающую среду.

Материалы и методы

В процессе выполнения снеговой съемки в пределах горнорудных и металлургических предприятий Урала нами был изучен минеральный состав твердой нерастворимой фракции с целью получения данных об источнике и интенсивности поступления пыли в течение зимнего периода. Изучение проведено визуально под биноклюром с выделением природных и техногенных частиц.

Исследования снегового покрова вблизи месторождений меди выполнялись в два этапа. На первом было выполнено опробование снегового покрова как депонирующей среды вблизи карьеров по добыче руд, что представляется необходимым для определения состава аэрозольных выпадений из атмосферы и последующей оценки экологического состояния этих территорий. В качестве методических указаний на этом этапе использовались "Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды ИМГРЭ", "Требования к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых"³, достаточно известные методические предпосылки в работах А. В. Таловской и других исследователей сибирского региона (*Таловская и др., 2009; Таловская, 2022*), а также РД 52.04.186-89 "Руководство по контролю

¹ Островский В. Н., Островский Л. А. Методические рекомендации по составлению эколого-геологических карт масштаба 1 : 200 000 – 1 : 100 000. М. : ВСЕГИНГЕО, 1996. 61 с.

² Оценка геохимического рассеяния рудных элементов при промышленном освоении колчеданных месторождений : (метод. рекомендации) / сост. : Э. Ф. Емлин. Свердловск : НТО Горное, 1983. 41 с.

³ Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды / Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов; сост. Ю. Е. Саг и др. М. : ИМГРЭ, 1982. 66 с. ; Требования к мониторингу месторождений полезных ископаемых / утв. первым зам. МПР РФ 04.08.2000. М. : 2000. 31 с.

загрязнения атмосферы⁴. Опробование снежного покрова выполняется либо по определенной сети, которая равномерно покрывает исследуемую территорию, либо по определенным профилям с учетом расположения возможных источников загрязнения, расстояние между пробами определяется масштабом исследований. Пример отбора проб снежного покрова по профилям, расположенным в направлении преобладающих ветров, для Карабашского медеплавильного завода показан на рис. 1. Опробование снежного покрова проводилось из шурфов, вскрывающих снеговой покров на всю мощность с размером сечения 25×25 см с отбором снега в полиэтиленовые пакеты.

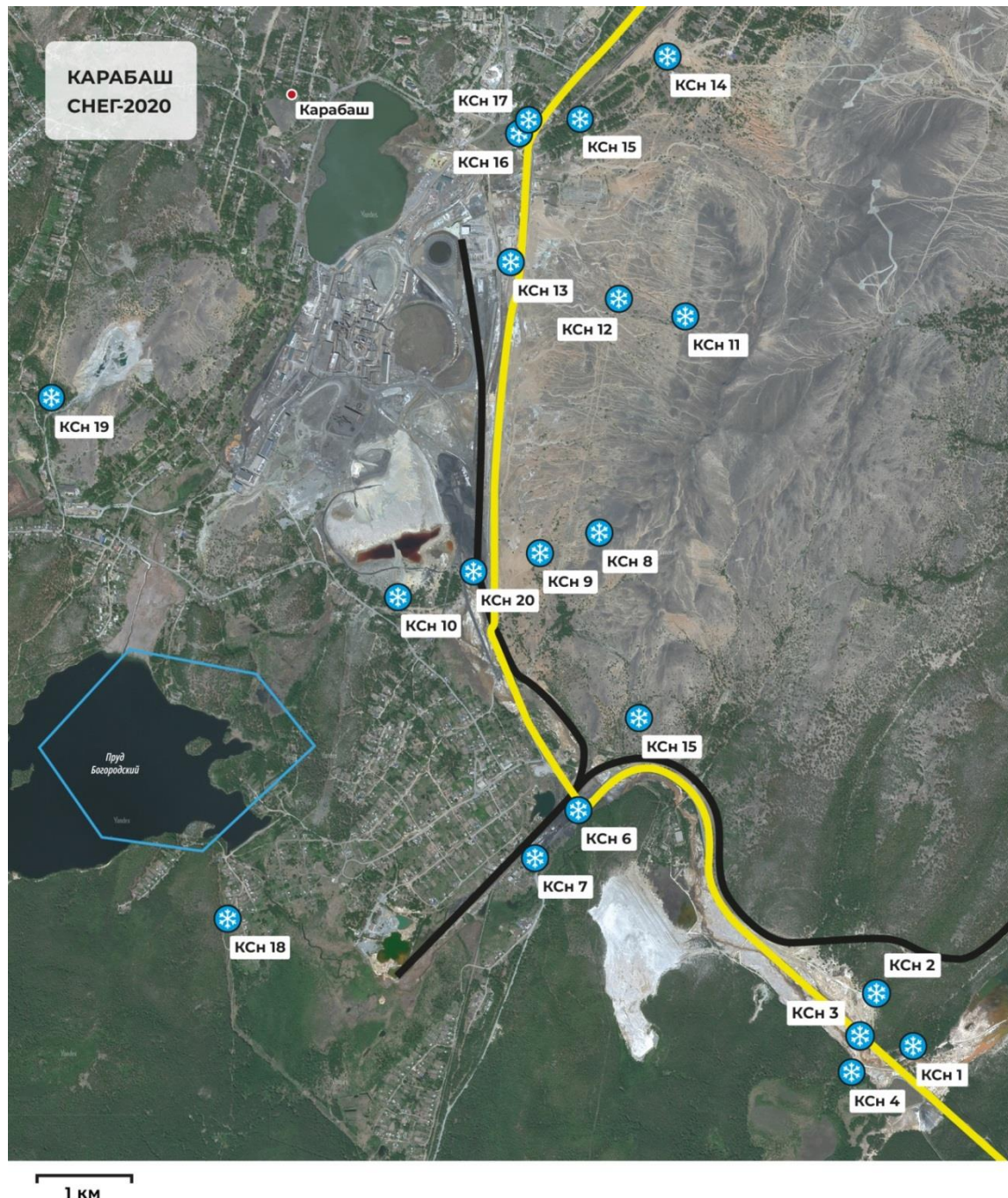


Рис. 1. Схема отбора проб снега по профилям от источников пыления по направлению преобладающих ветров (Источник: URL:

https://yandex.ru/maps/?l=sat&ll=60.225438%2C55.459698&source=serp_navig&z=14)

Fig. 1. Snow sampling scheme by profiles from dust sources in the direction of prevailing winds (Resource: URL: https://yandex.ru/maps/?l=sat&ll=60.225438%2C55.459698&source=serp_navig&z=14)

⁴ Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. М. : Госкомитет СССР по гидрометеорологии, Министерство здравоохранения, 1991.

Оттаивание снега производилось при комнатной температуре. Твердая нерастворимая фракция выделялась путем фильтрования, просушивалась и взвешивалась. Масса полученной пыли в пробе служила основой для определения пылевой нагрузки (P_n) в мг/м^2 в сутки, расчет проводился по стандартной формуле (МР 5174-90 "Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве"⁵)

$$P_n = m/S \times t,$$

где m – масса пыли в пробе, г; S – площадь шурфа, м^2 ; t – время от начала снегостава, сутки.

Снеговая вода, полученная при оттаивании, после фильтрования подвергалась химическому анализу с определением ее макрокомпонентного состава и растворимых форм металлов.

В процессе выполнения исследований в пределах горнорудных и металлургических предприятий Урала особое внимание уделялось изучению минерального состава твердой нерастворимой фракции с целью оценки поступления пыли в течение зимнего периода и ее вещество-минерального состава. Для этого нерастворимый остаток подвергался стандартному минералогическому анализу под бинокулярным микроскопом с оценкой минерального состава и наличия техногенных частиц.

Было проанализировано 36 проб пылевых остатков различных территорий и медных месторождений Уральского региона. В результате был выделен ареал механического золотого рассеяния, сформированного воздушными потоками при осаждении взвешенной пыли и фиксируется распределение тяжелых металлов в метеорных осадках.

Результаты и обсуждение

Для Уральского региона в настоящее время характерно освоение и разработка значительного количества сульфидных залежей медных руд различного генезиса, которые расположены в различных физико-географических зонах, различных климатических условиях и разрабатываются преимущественно открытым способом (рис. 2).

При этом главным эффектом техногенного воздействия является резкое увеличение дисперсности рудной и горной массы в результате механического разрушения на разных стадиях работ: бурение, взрывные работы, экскавация, транспортировка, погрузка и разгрузка. Мелкие фракции (менее 30 мкм) часто обогащаются рудными элементами: цинком, медью, кадмием (*Емлин, 1984а*). Таким образом, при разработке сульфидных залежей появляется минеральная пыль, обогащенная металлами в метастабильной сульфидной форме, миграция которых определяется воздушными и водными потоками. Интенсивность пылевыведения определяется не столько скоростью ее образования, сколько активацией пыли, накопленной в карьерах.

В пределах Ивдельского района Свердловской области, в Северо-Уральской предгорно-среднегорной северо-таежной области велась разработка Тарньерского медноколчеданного (законсервированное), Шемурского (отработанное, рекультивируемое) и Ново-Шемурского (отрабатываемое) месторождений. При разработке колчеданных залежей появляется минеральная пыль, обогащенная тяжелыми металлами (Zn, Cu, Cd, Pb) в метастабильной сульфидной форме, миграция которых осуществляется воздушными и водными потоками.

Исследования твердой нерастворимой фракции (пыли) в пределах этих месторождений показали, что во всех пробах в значительном количестве фиксируется труха – тонкий органический материал разложения растительных остатков (серая пыль) (табл. 1). Остальную, более значительную, массу пылевого остатка составляют рудные минералы (пирит и халькопирит), минералы метасоматитов (полевые шпаты, кварц, слюда) и темноцветные минералы вмещающих пород (амфибол, эпидот, хлорит и др.), в пяти пробах выявлен карбонат меди. Очевидна унаследованность пылевой фракцией снегового покрова минерального состава пород медноколчеданных месторождений.

Наиболее высокое содержание пыли обнаружено в пределах законсервированного Тарньерского месторождения, также здесь наблюдаются и низкие значения рудных минералов (пирит, халькопирит), что соответствует незначительной техногенной нагрузке. Более высокие содержания рудных минералов в пылевом остатке снега Шемурского и Ново-Шемурского месторождений (до 40–45 %). Техногенное воздействие фиксируется появлением единичных черных сфер и обломков шлака.

⁵ МР 5174-90. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. М. : ИМГРЭ, 1990. 16 с.

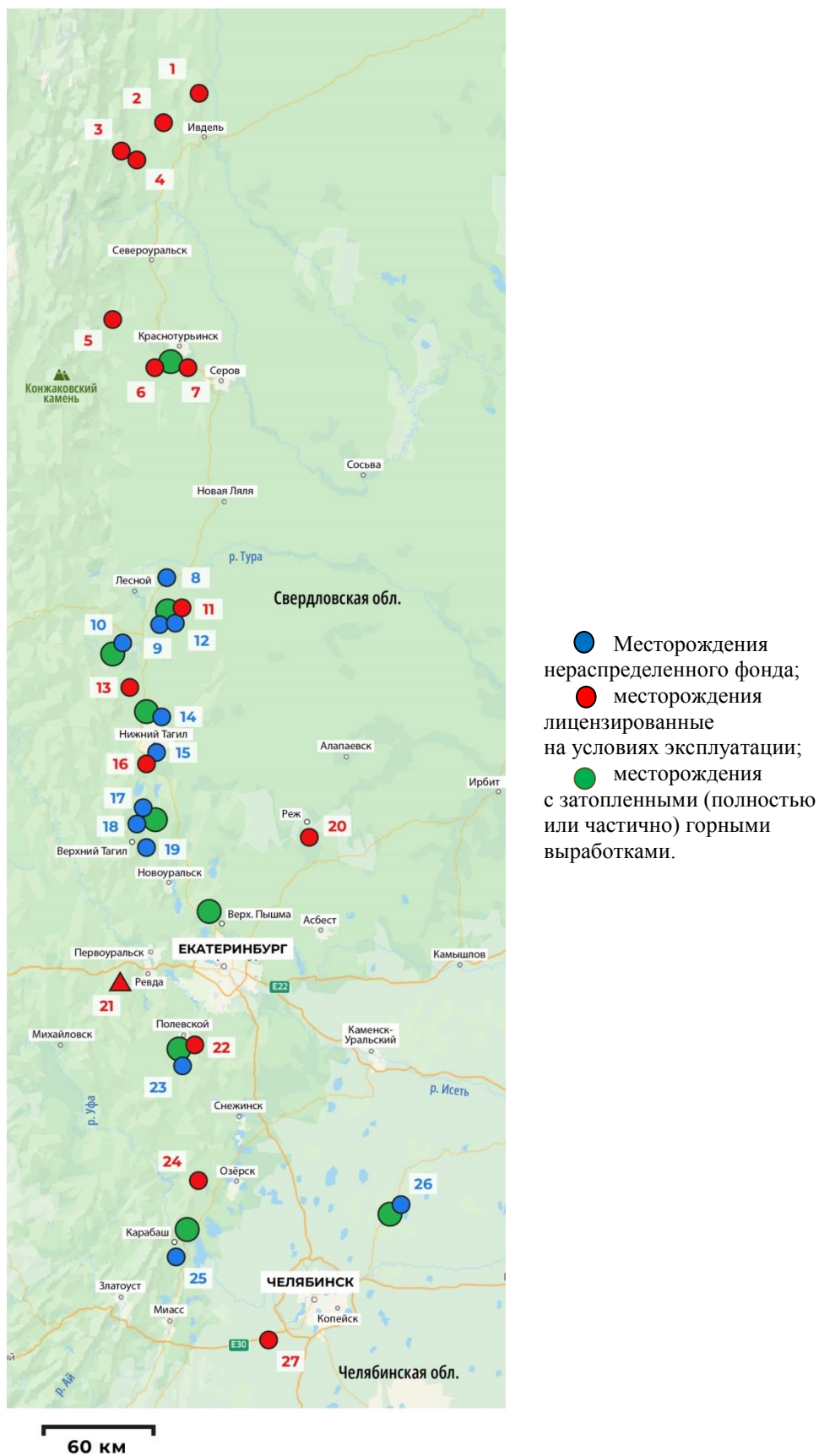


Рис. 2. Месторождения меди Уральского региона

(Источник: URL: https://yandex.ru/maps/?ll=62.113661%2C56.975234&source=serp_navig&z=7.43)

Fig. 2. Copper deposits of the Ural region

(Resource: URL: https://yandex.ru/maps/?ll=62.113661%2C56.975234&source=serp_navig&z=7.43)

Таблица 1. Минеральный состав пылевых остатков в зоне влияния участков разработки медноколчеданных месторождений
Table 1. Mineral composition of dust residues in the zone of influence of mining sites of copper-pyrite deposits

Материал	Номер пробы, содержание в %				
	Тарньерское месторождение (законсервированное)		Шемурское месторождение (отработанное, рекультивируемое)	Ново-Шемурское месторождение (отрабатываемое)	
	ТС-4	ТС-5	ШС-3	НШС-1	НШС-2
Труха	50–55	100	10–12	10–15	10–15
Пирит, халькопирит	1–2	Ед. зн.	40–45	35–40	5–7
Полевые шпаты, кварц, редко – слюда	40–45	Ед. зн.	40–45	45–50	55–60
Темноцветные минералы: амфибол, эпидот, хлорит и т. п.	2–3	Отс.	1–2	2	10–15
Карбонат меди	Ед. зн.	Отс.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.
Шлак	Отс.	Отс.	Ед. зн.	Отс.	Отс.
Черные сферы	Отс.	Отс.	Ед. зн.	Отс.	Отс.
Пылевая нагрузка, мг/м ² в сутки	20,97	78,63	32,26	129,03	72,58

В целом, запыленность снегового покрова в зоне влияния объектов разработки медноколчеданных месторождений согласно МР 5174-90⁶ оценивается как низкая (менее 250 мг/м² в сутки). Максимальное значение пылевой нагрузки установлено для отрабатываемого в настоящее время Ново-Шемурского месторождения (129,03 мг/м² в сутки).

На Южном Урале с 1933 г. работает Карабашский медеплавильный комбинат, что привело к значительной трансформации природной окружающей среды. Изучение состава пылевых остатков выполнено по лучам по направлению преобладающих ветров на расстоянии до 1,5 км от источников воздействия. В минеральном составе пылевой составляющей выбросов ранее (*Удачин и др., 2014*) выделены "первичные" минералы перерабатываемых медных концентратов (пирит, халькопирит, галенит, кварц, слюда, хлорит и др.) и минералы, образование которых обусловлено металлургическим процессом. К последним относятся металлургические шлаки, состоящие из железо-силикатного стекла и шпинелеподобных фаз медно-цинкового состава: цинкит, англезит, ганнингит.

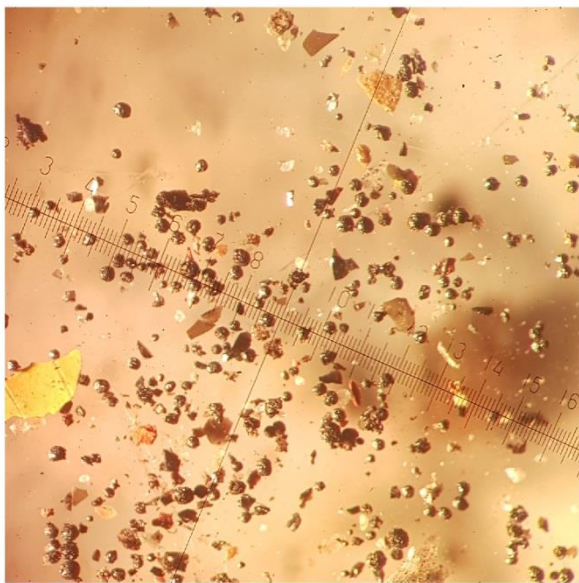
В пределах территории воздействия медеплавильного производства в результате проведения снеговой съемки получены данные, отраженные в табл. 2. Состав пылевых остатков определяется источником выбросов: вблизи автодороги в них фиксируются минералы, входящие в состав пескосоляной смеси и щебня, применяемых для дорожного покрытия (пробы КС-1, КС-3, КС-12 и др.). Другим компонентом, изученным в направлении ветра, являются частицы черных металлургических шлаков медеплавильного производства, часть из которых – магнитные (рис. 3).

Таблица 2. Состав пылевых остатков в снеговых пробах в зоне воздействия медеплавильного комбината
Table 2. Composition of dust residues in snow samples in the impact zone of the copper smelter

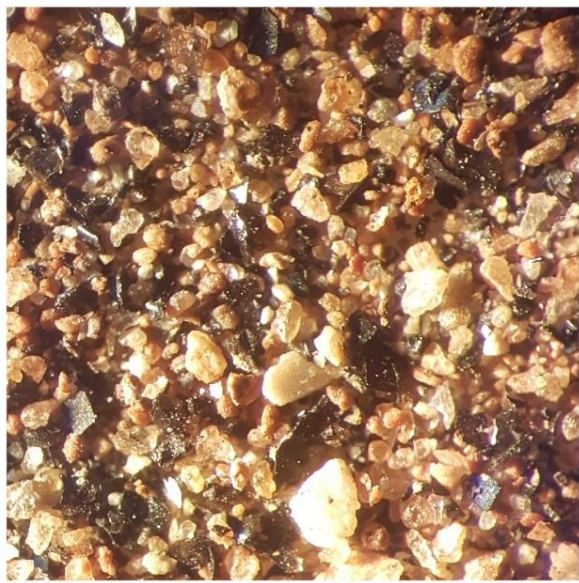
Номер пробы	Пылевая нагрузка P, кг/сут·км ²	Состав пылевой фазы снегового покрова
КС-1	110,14	Кварц ~60 %, полевые шпаты ~35 %, слюды (биотит, мусковит) < 1 %, обломки желтого пластика, стекловатых черных шлаков
КС-2	2 926,90	Пирит 20 %, кварц ~70 %, глина ~10 %, мелкие (< 0,1 мм) черные магнитные частицы (шлак?) < 1 %, полевые шпаты (< 1 %), слюда ~ < 1 %, органика ~ < 1 %
КС-3	398,03	Кварц ~80 %, полевые шпаты ~15 %, слюда ~5 %
КС-4	6,06	Труха (серая пыль) с частичками сосновой коры, иголок ~100 %, обломки металла (< 0,1 мм)
КС-5	75,11	Кварц ~20 %, шлак стекловатый, остроугольные обломки ~80 %, единичные магнитные сферулы (< 0,1 мм)
КС-6	811,89	Обломки стекловатых шлаков черного цвета, в тонких сколах прозрачные. Небольшое количество (5 %) шлаков магнитных
КС-7	96,49	Кварц ~20 %, остроугольные обломки стекловатых шлаков черного цвета ~80 %, единичные немагнитные сферулы и листья растений

⁶ МР 5174-90. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. М. : ИМГРЭ, 1990. 16 с.

КС-8	425,26	Кварц ~50 %, полевые шпаты ~30 %, обломки стекловатых черных шлаков ~20 %
КС-9	12 632,98	Кварц ~70 %, обломки стекловатых черных шлаков ~30 %
КС-10	99,78	Кварц ~70 %, полевые шпаты ~10 %, слюда ~10 %, пирит ~5 %, обломки шлака ~5 %, магнитные мелкие сферулы (0,1 мм) и частички < 1 %
КС-11	225,96	Кварц (зерна полуокатанные до 1 мм, прозрачные, желтоватые и мелкие, остроугольные) ~60 %, слюда ~10 %, полевые шпаты ~10 %, пирит (светлый, желтый) ~10 %, обломки черных шлаков ~10 %
КС-12	629,47	Кварц ~60 %, полевые шпаты ~35 %, слюда ~5 %
КС-13	6 964,47	Черная пыль – частицы шлаков, кварца < 1 %, единичные черные сферулы. Магнитная фракция ~5 %
КС-14	84,80	Черная пыль с редкими зернами кварца, магнитная фракция ~20 %, в ней как угловатые зерна, так и редкие сферулы
КС-15	150,77	50 % труха (серая пыль), кварц (полуокатанные угловатые зерна) ~30 %, обломки черных шлаков ~20 %
КС-16	2 393,13	Кварц ~100 %, ед. зерна гранат, роговая обманка, магнетит, стекловатые шлаки
КС-17	154,61	Кварц ~90 %, черные стекловатые шлаки ~10 %
КС-18	6,03	Шлак стекловатый (обломки 0,1 мм) ~100 %, мелкие сферулы, немного органики и кварца
КС-19	8,77	Кварц ~60 %, полевые шпаты ~10 %, обломки стекловатых шлаков ~30 %, единичные черные сферулы
КС-20	2 945,96	Кварц ~80 %, обломки стекловатых шлаков ~20 %



Пылевые остатки пробы КС-7 под бинолупой.
Ув. 12



Пылевые остатки пробы КС-9 под бинолупой.
Ув. 12

Рис. 3. Дробленые стекловатые черные шлаки медеплавильного производства в пылевом остатке талого снега

Fig. 3. Crushed glassy black slag of copper smelting production in the dust phase of snowmelt

Наличие дробленых стекловатых черных шлаков медеплавильного производства в пылевых остатках снеговых проб обусловлено их использованием как для отсыпки дорожного полотна, так и для планировки ландшафта, реже отмечается наличие сульфидов (воздействие обогатительной фабрики).

Медеплавильное производство определяет наличие в шести пробах мелких черных металлических сферул, ареал этих частиц соответствует зоне воздействия. Расчет пылевой нагрузки показал, что ее значения вне зоны влияния медеплавильного комбината и сопутствующих объектов составляют 6,03–8,77 кг/сут·км², что характеризует наличие на территории незагрязненного снежного покрова.

Таким образом, изучая минералогию и состав пылевых остатков, достаточно четко можно установить источник выбросов, а по характерным образованиям (черные сферулы) – и зону воздействия некоторых видов производства.

Снеговая съемка может проводиться и для установления выбросов и состава пылевых остатков вновь осваиваемых месторождений медно-порфировой рудной формации (Гончар и др., 2023). Выполненные исследования в пределах Биргильдинского, Зеленодольского и Томинского участков показали, что основную массу пылевых остатков составляет органика, представленная семенами трав, березы в виде характерных "бабочек" (рис. 4), обломки стеблей. В виде мелких обломков в единичных пробах встречены зерна пирита, обычно в ассоциации с кварцем (табл. 3).

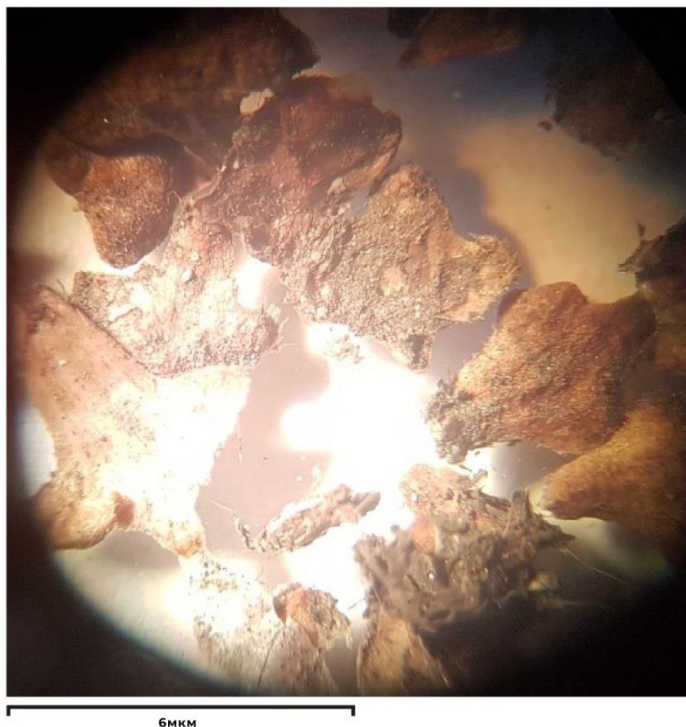


Рис. 4. Отсутствие техногенной составляющей в пылевом остатке (семена березы). Ув.12
 Fig. 4. Absence of a technogenic component in the dust residue (birch seeds)

Таблица 3. Состав пылевых остатков в снеговых пробах на территории месторождений медно-порфировой рудной формации
 Table 3. Composition of dust residues in snow samples on the territory of deposits of the porphyry copper ore formation

Номер пробы	Пылевая нагрузка P , кг/сут·км ²	Состав пылевой фазы снегового покрова
Биргильдинское месторождение		
СБ-1	5,2	Семена трав – вытянутые удлиненные зерна, берез – "бабочки"; неорганическая пыль – кварц прозрачный, карбонат, пирит (немного)
СБ-2	2,1	Семена трав ~80 %, вытянутая удлиненная форма, мелкие зерна кварца, ед. хлорит, уголь
СБ-3	3,5	Преобладают семена трав, по массе ~70 %, мелкая пыль, состоящая из кварца, очень мелких обломков пирита
СБ-4	5,2	Органика – обломки стеблей, трав ~70 %, мелкая пыль, серая, различаются тонкие зерна кварца
СБ-5	11,4	Органика – обломки стеблей, растений, немного семян березы ~60 %, пыль – тонкие зерна кварца и карбонатов
Зеленодольское месторождение		
CZ-1	4,7	Органика, представленная обломками стеблей и ед. семечком березы, тонкая пыль, в которой немного кварца и чешуйки биотита

CZ-2	8,1	Серая черная пыль – округлые комочки почвы, в которой зерна кварца, окатанные, железненные ~20 %, немного органики – обломки стеблей и семечко березы
CZ-3	6,7	Семена березы, немного зерен кварца и пирита (мелкий)
CZ-4	41,7	Комочки серой почвы ~80 %, кварц ~20 %, немного семян березы, обломков стеблей
CZ-5	83,4	Тонкая серая пыль с частицами кварца и биотита, семена березы до 30 %
Томинское месторождение		
СТ-1	8,5	Органические остатки – тонкие обломки стеблей растений, семена березы; пыль тонкая – кварц. Биотит, редко карбонат, сульфиды (пирит)
СТ-2	26,5	Органические остатки – семена березы составляют ~50 %, тонкая серая пыль, в которой по цвету и блеску выделяются кварц и сульфиды (пирит)
СТ-3	50,8	Органические остатки – семена березы ~60 %, тонкая пыль серого цвета с обломками кварца и сульфидов (пирит)
СТ-4	19,0	Органические остатки семена березы ~50 %, тонкая пыль серого цвета с обломками кварца и сульфидов (пирит)

Фоновое значение пылевой нагрузки на территории разведываемых Биргильдинского и Зеленодольского участков медно-порфировых руд оценивается как низкое ($P < 100$ кг/сут на км²) и определяется наличием вблизи объектов транспортной инфраструктуры. В зоне влияния отрабатываемого с 2017 г. Томинского месторождения в пылевых остатках фиксируются частицы техногенного происхождения, соответствующие минеральному составу пород месторождения, при этом на данном этапе разработки уровень загрязнения снегового покрова характеризуется как низкий ($P < 100$ кг/сут на км²) при значениях пылевой нагрузки до 26,5–50,8 кг/сут на км².

Начало отработки Томинского месторождения – 2017 г.; проектная производственная мощность Томинского ГОКа по сырой руде 45 млн т. К наиболее значимым достоинствам этого проекта можно отнести использование хвостов обогащения в производстве закладочного материала для заполнения и рекультивации Коркинского разреза, в последние годы являющегося источником техногенных, экологических и социальных проблем. Размещение закладочного материала в выработанном пространстве разреза позволит ликвидировать эндогенные пожары, снизить риск оползневых явлений, сократить размеры карьерной выемки, глубина которой достигает около 500 м (Алтушкин и др., 2017).

Результаты исследований снегового покрова вблизи Коркинского разреза показали унаследованность пылевой фракцией снегового покрова минеральному составу пород разреза. Это объясняется тем, что закладочный материал подается в виде смеси с водой (табл. 4) и пыление тонкой фракции закладочного материала отсутствует, но вблизи разреза идут планировочные работы, экскавация горных пород, выбросы в атмосферу при горении как отвалов, так и пород карьера. В целом, уровень загрязнения снегового покрова отработанной выработки угольного разреза согласно МР 5174-90⁷ – низкий ($P < 250$ кг/сут на км²).

Таблица 4. Состав пылевой фазы снегового покрова вблизи Коркинского угольного разреза

Table 4. Composition of the dust phase of the snow cover near the Korkinsky coal mine

Номер пробы	Пылевая нагрузка P , кг/сут·км ²	Состав пылевой фазы снегового покрова
СК-1	63,5	Пыль тонкая, серая ~90 %, в пыли различаются угловатые зерна прозрачного кварца, редкие черные обломки угля, органика (кроме пыли, в которой следы горения) – семена березы ~5 %, тонкие нити и мелкий кусочек синего пластика
СК-2	120,8	Основной материал пробы – пыль тонкая, серая, в которой присутствуют зерна кварца и редкие обломки черного угля. Довольно много органики – обломки стеблей, семян ~40 %, единичная сфера – металл

⁷ МР 5174-90. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. М. : ИМГРЭ, 1990. 16 с.

Заключение

Результаты выполненного исследования показали, что специфика снеговой съемки в пределах осваиваемых и действующих горнопромышленных районов может сопровождаться детальным, на первой стадии визуальным, изучением пылевых остатков. Для месторождений меди Уральского региона различного генезиса на разных этапах освоения в пылевых остатках снега фиксируется новая тонкодисперсная фаза механического рассеяния – минеральная пыль, обогащенная металлами в метастабильной сульфидной форме (пирит, халькопирит). Количество пыли в пределах вновь осваиваемых и законсервированных месторождений незначительно, как и значение пылевой нагрузки. Материала для аналитических исследований здесь немного, поэтому главная роль принадлежит минералогическим исследованиям.

В пределах техногенно-измененной территории Карабашского медеплавильного комбината для пылевых остатков снегового покрова характерно наличие многочисленных техногенных частиц. В этом случае появляется возможность не только изучить вещественно-минералогический состав пыли с выделением техногенного материала (дробленные стекловатые шлаки медеплавильного производства, магнитные сферулы), но и определить источник их происхождения и ареал пылевых выбросов. Это может определять практическую значимость исследований, которая сводится к изучению фоновой нагрузки до разработки месторождений, и может служить основой для последующего мониторинга месторождений.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Алтушкин И. А., Левин В. В., Сизиков А. В., Король Ю. А. Опыт освоения месторождений медно-порфирового типа на Урале // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 641–648. EDN: YQCXGT.
- Большаков В. А., Краснова Н. М., Борисочкина Т. И., Сорокин С. Е. [и др.]. Аэротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация. М. : Почв. ин-т, 1993. 91 с.
- Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л. : Гидрометеиздат, 1985. 181 с.
- Гончар Н. В., Макаров А. Б., Гуман О. М., Антонова И. А. Пылевые остатки снеговых проб как индикатор экологической ситуации // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности : материалы V Всерос. науч.-практ. конф., Оренбург, 24 ноября 2023 г. Оренбург : ОГУ, 2023. С. 79–83. EDN: DMRTNC.
- Емлин Э. Ф. Активно разрабатываемое колчеданное месторождение как геотехническая система // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 1984а. № 9. С. 1–7.
- Емлин Э. Ф. Геодинамические процессы на активно разрабатываемых колчеданных месторождениях Урала. Свердловск : НТО Горное, 1984б. 72 с.
- Макаров А. Б. Геоэкологическое исследование территорий. Экологический аудит месторождений полезных ископаемых // Обеспечение радиационной безопасности. Екатеринбург : Уральское о-во горных инженеров. 1997. С. 117–125.
- Макаров А. Б., Гуман О. М., Антонова И. А., Захаров А. В. Трансформация геологической среды при разработке медноколчеданных месторождений Урала // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 6. С. 98–106. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-6-0-98-106>. EDN: XSMANF.
- Макаров А. Б., Осовецкий Б. М., Антонова И. А. Магнитные сферулы из почв вблизи шлакового отвала Нижнетагильского металлургического комбината // Известия Уральского государственного горного университета. 2017. Вып. 4(48). С. 42–45. DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-42-45. EDN: YLSKTM.
- Маслеников В. В., Мелекесцева И. Ю., Масленикова С. П., Масленикова А. В. [и др.]. Дифференциация токсичных элементов в условиях литогенеза и техногенеза колчеданных месторождений. Екатеринбург : РИО УрО РАН, 2016. 368 с.
- Сергеев А. П., Буевич А. Г. Снегомерная оценка на малой площадке // Техногенез и экология. Информационно-тематический сб. Екатеринбург : УГГГА, 2002. С. 73–80.
- Таловская А. В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири : по данным изучения состава нерастворимого осадка снежного покрова : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Томск, 2022. 46 с.
- Таловская А. В., Язиков Е. Г. Методические основы изучения минерально-геохимических особенностей пылеаэрозолей на урбанизированных территориях (на примере г. Томска) // Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий : материалы Второй Всерос. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 2009. С. 68–71.
- Удачин В. Н., Аминов П. Г., Филлипова К. А. Геохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала. Екатеринбург : РИО УрО РАН, 2014. 252 с.

- Федоров Ю. Н., Макаров А. Б., Талалай А. Г. Некоторые аспекты геоэкологических исследований (на примере составления карты экологического аудита одного из районов Западной Сибири) // Испытательный центр: возможности и перспективы. Екатеринбург, 1996. С. 84–86.
- Seleznev A., Ilgasheva E., Yarmoshenko I., Malinovsky G. Coarse technogenic material in urban surface deposited sediments (USDS) // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, Iss. 6. Article number: 754. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12060754>.
- Udachin V., Williamson B. J., Purvis O. W., Spiro B. [et al.]. Assessment of environmental impacts of active smelter operations and abandoned mines in Karabash, Ural Mountains of Russia // *Sustainable Development*. 2003. Vol. 11, Iss. 3. P. 133–142. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.211>.

References

- Altushkin, I. A., Levin, V. V., Sizikov, A. V., Korol, Yu. A. 2017. Experience in the development of copper-porphyrty deposits in the Urals. *Zapiski Gornogo instituta*, 228, pp. 641–648. EDN: YQCXGT. (In Russ.)
- Bolshakov, V. A., Krasnova, N. M., Borisochkina, T. I., Sorokin, S. E. et al. 1993. Aerotechnogenic pollution of soil cover with heavy metals: sources, scales, reclamation. Moscow. (In Russ.)
- Vasilenko, V. N., Nazarov, I. M., Friedman, S. D. 1985. Monitoring of snow cover pollution. Leningrad. (In Russ.)
- Gonchar, N. V., Makarov, A. B., Guman, O. M., Antonova, I. A. 2023. Dust residues of snow samples as an indicator of the ecological situation. Proceedings of V All-Russ. scien.-techn. conf. *Regional problems of geology, geography, technosphere and environmental safety*, Orenburg, 24 November, 2023. Orenburg, pp. 79–83. EDN: DMRTHC. (In Russ.)
- Emlin, E. F. 1984a. Actively developed pyrite deposit as a geotechnical system. *Minerals and Mining Engineering*, 9, pp. 1–7. (In Russ.)
- Emlin, E. F. 1984b. Geodynamic processes in the actively developed pyrite deposits of the Urals. Sverdlovsk. (In Russ.)
- Makarov, A. B. 1997. Geoecological study of territories. Environmental audit of mineral deposits. In *Ensuring radiation safety*. Yekaterinburg, pp. 117–125. (In Russ.)
- Makarov, A. B., Guman, O. M., Antonova, I. A., Zakharov, A. V. 2018. Transformation of the geological environment during the development of copper-crusted deposits in the Urals. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 6, pp. 98–106. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-6-0-98-106>. EDN: XSMANF. (In Russ.)
- Makarov, A. B., Osovetsky, B. M., Antonova, I. A. 2017. Magnetic spheres from soils near the slag dump of the Nizhny Tagil Metallurgical Plant. *Izvestiâ Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 4(48), pp. 42–45. DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-42-45. EDN: YLSKTM. (In Russ.)
- Maslennikov, V. V., Melekesseva, I. Yu., Maslennikova, S. P., Maslennikova, A. V. et al. 2016. Differentiation of toxic elements in the conditions of lithogenesis and technogenesis of pyrite deposits. Yekaterinburg. (In Russ.)
- Sergeev, A. P., Buevich, A. G. 2002. Snow-dimensional assessment on a small site. Technogenesis and Ecology: Inf.-thematic collection. Yekaterinburg, pp. 73–80. (In Russ.)
- Talovskaya, A. V. 2022. Ecogeochemistry of atmospheric aerosols in urbanized areas of southern Siberia (submitted by studying the composition of insoluble snow cover sediment). Abstract of Ph.D. dissertation. Tomsk. (In Russ.)
- Talovskaya, A. V., Yazikov, S. G. 2009. Methodological foundations for the study of mineral and geochemical features of dust aerosols in urbanized territories (on the example of Tomsk). Proceedings of II All-Russ. scien.-techn. conf. *Ecological and geological problems of urbanized territories*. Yekaterinburg, pp. 68–71. (In Russ.)
- Udachin, V. N., Aminov, P. G., Fillipova, K. A. 2014. Geochemistry of mining and industrial technogenesis of the Southern Urals. Yekaterinburg. (In Russ.)
- Fedorov, Yu. N., Makarov, A. B., Talalai, A. G. 1996. Some aspects of geoecological research (on the example of drawing up an environmental audit map of one of the regions of Western Siberia). In *Test Center: Opportunities and prospects*. Yekaterinburg, pp. 84–86. (In Russ.)
- Seleznev, A., Ilgasheva, E., Yarmoshenko, I., Malinovsky, G. 2021. Coarse technogenic material in urban surface deposited sediments (USDS). *Atmosphere*, 12(6). Article number: 754. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12060754>.
- Udachin, V., Williamson, B. J., Purvis, O. W., Spiro, B. et al. 2003. Assessment of environmental impacts of active smelter operations and abandoned mines in Karabash, Ural Mountains of Russia. *Sustainable Development*, 11(3), pp. 133–142. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.211>.

Сведения об авторах

Гончар Наталия Валерьевна – ул. Горького, стр. 57, г. Екатеринбург, Россия, 620075;
АО "Русская медная компания", канд. техн. наук;
e-mail: info@rcc-group.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0180-9592>

Natalia V. Gonchar – 57 Gorkogo Str., Yekaterinburg, Russia, 620075;
JSC "Russian Copper Company", Cand. Sci. (Engineering);
e-mail: info@rcc-group.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0180-9592>

Макаров Анатолий Борисович – ул. Куйбышева, 30, г. Екатеринбург, Россия, 620144;
Уральский государственный горный университет, д-р геол.-минерал. наук, доцент;
e-mail: fgg.gpr@m.ursmu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4687-4857>

Anatoly B. Makarov – 30 Kuibysheva Str., Yekaterinburg, Russia, 620144;
Ural State Mining University, Dr Sci. (Geology & Mineralogy), Associate Professor;
e-mail: fgg.gpr@m.ursmu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4687-4857>

Гуман Ольга Михайловна – ул. Академика Бардина, 48а, г. Екатеринбург, Россия, 620146;
ООО "Уралгеопроект", д-р геол.-минерал. наук, профессор;
e-mail: guman2007@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7078-6916>

Olga M. Guman – 48a Academician Bardin Str., Yekaterinburg, Russia, 620146;
Uralgeoproekt LLC, Dr Sci. (Geology & Mineralogy), Professor;
e-mail: guman2007@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7078-6916>

Антонова Ирина Александровна – ул. Академика Бардина, 48а, г. Екатеринбург, Россия, 620146;
ООО "Уралгеопроект", канд. геол.-минерал. наук;
e-mail: dolinina_ira@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2749-1957>

Irina A. Antonova – 48a Academician Bardin Str., Yekaterinburg, Russia, 620146;
Uralgeoproekt LLC, Cand. Sci. (Geology & Mineralogy);
e-mail: dolinina_ira@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2749-1957>

УДК 658.567.1

Применение титансодержащих отходов в цементной промышленности: обзор литературы

М. Е. Евдокимова*, М. А. Пашкевич

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
г. Санкт-Петербург, Россия;
e-mail: s235011@stud.spmi.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8184-7595>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
30.01.2024;

получена
после доработки
20.03.2024;

принята
к публикации
26.03.2024

Ключевые слова:

титановый шлам,
цементный клинкер
утилизация отходов,
снижение температуры
обжига,
интенсификация
реакций
кальцинации

Для цитирования

Металлургическая промышленность является одной из лидирующих отраслей по образованию отходов, которые имеют высокий потенциал вторичного использования. В работе рассматриваются проблемы обращения с отходами металлургической промышленности и возможные пути их решения. Отработанные кислые травильные растворы титана (титановый шлам) могут быть использованы в качестве добавки к цементным клинкерам как для улучшения характеристик строительных материалов, так и для эффективности процесса их производства. Изучено влияние фторида кальция (CaF_2) и диоксида титана (TiO_2) на цементные клинкеры при различных концентрациях веществ и температурах спекания. Приведены данные изменения содержания свободной извести ($f\text{-CaO}$), закономерности образования и распределения клинкерных фаз: алита, белита, целита и алюмоферита кальция. Изложены механизмы включения CaF_2 и TiO_2 в состав различных цементных фаз. Таким образом, использование титансодержащих отходов позволяет не только их утилизировать, но и получать строительные материалы с улучшенными характеристиками.

Евдокимова М. Е. и др. Применение титансодержащих отходов в цементной промышленности: обзор литературы. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 170–183. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-170-183>.

Utilisation of titanium-containing wastes in the cement industry: A literature review

Maria E. Evdokimova*, Maria A. Pashkevich

*Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia;
e-mail: s235011@stud.spmi.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8184-7595>

Article info

Received
30.01.2024;

received
in revised form
20.03.2024;

accepted
26.03.2024

Key words:

titanium sludge,
cement clinker,
waste utilization,
reduction of firing
temperature,
intensification of
calcination reactions

Abstract

The metallurgical industry is among the leaders in waste production which has a high potential for recycling. The review paper considers the problems of metallurgical industry waste management and some possible ways of their solution. Waste acidic pickling solutions of titanium (titanium sludge) can be used as an additive to cement clinkers both to improve the characteristics of building materials and the efficiency of their production process. The influence of calcium fluoride (CaF_2) and titanium dioxide (TiO_2) on cement clinkers at different concentrations of substances and sintering temperatures has been reviewed. The data on changes in the content of free lime ($f\text{-CaO}$), patterns of formation and distribution of clinker phases: alite, belite, celite and calcium aluminiferite have been presented. Mechanisms of CaF_2 and TiO_2 inclusion in the composition of various cement phases have been explained. The conclusion has been made that the application of titanium-containing wastes allows not only to recycle them, but also to obtain construction materials with improved characteristics.

For citation

Evdokimova, M. E. et al. 2024. Utilisation of titanium-containing wastes in the cement industry: A literature review. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 170–183. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-170-183>.

Введение

Цементная промышленность является развитой и востребованной отраслью как в России, так и в мире. Цемент – основной материал строительной индустрии, из которого изготавливают вяжущие цементные растворы для бетонов и бетонных конструкций. Лидирующее место в мире по производству цемента занимает Китай (более 2 млрд т в год), следом с большим отрывом идут Индия и Вьетнам (*Силенок и др., 2020*).

Российская Федерация входит в топ-10 крупнейших производителей цемента в мире, занимая 8 место. По данным Росстата, за 2022 г. в России выпуск цемента составил 60,7 млн т (*Василик и др., 2022*). Причем спрос на цемент в 2023 г. повысился на 12 %, что привело к необходимости импортировать цемент.

В последние несколько лет отмечается рост интереса к разработке инновационных строительных материалов (*Стрижкова и др., 2021*). Этому способствуют такие факторы, как рост урбанизации, истощение природных ресурсов и ухудшение экологического состояния окружающей среды. Известно, что для производства одной тонны цемента необходимо 1,6 т карбонатных и алюмосиликатных пород и 0,4 т топлива, выбросы углекислого газа при производстве сопоставимы с объемом получаемой продукции (*Коровкин и др., 2017*). Эти выбросы углекислого газа обоснованы обжигом карбоната кальция для получения цементного клинкера, поэтому экологический контроль выбросов и их сокращение является актуальным (*Корельский и др., 2018*).

В настоящее время существует тенденция к дефициту нерудных стройматериалов, используемых в качестве инертных наполнителей (песок, гравий и щебень). Вместе с тем восполнение этого дефицита возможно путем переработки многотоннажного низкосортного неиспользуемого техногенного сырья (*Литвинова и др., 2023*).

Рост спроса на цемент в условиях современного индустриального мира заставляет производителей искать способы улучшения его свойств. Материалы для улучшения свойств цементных смесей может предоставлять металлургическая промышленность.

Металлургическая промышленность, и в частности титановое производство, является одной из лидирующих по количеству образующихся отходов, которые являются опасными загрязнителями природной среды (*Лытаева et al., 2017*). Россия располагает одной из крупнейших в мире сырьевых баз титана – на ее долю приходится 15 % запасов мира¹. Одними из многотоннажных отходов титанового производства являются отработанные кислые травильные растворы (ОКТР), насыщенные ионами металлов (титановый шлам), формирующиеся при травлении в кислотах деталей машин и механизмов для уменьшения шероховатостей их поверхностей, удаления с поверхности окалина и следов смазочных материалов (*Zheng et al., 2009; Rogener et al., 2019*). Самым распространенным и экономически выгодным методом обращения с ОКТР является его нейтрализация известковым молоком ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) (*Доронкина и др., 2022*); результат взаимодействия – образование суспензионного отхода, где металлы находятся во взвешенном состоянии, именно твердая часть представляет интерес в качестве вторичного сырья.

Опираясь на данные зарубежных ученых и результаты собственных экспериментов, можно сделать вывод, что в основном титановый шлам предприятий металлургической промышленности состоит из фторида кальция (CaF_2) и титановой кислоты ($\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), кроме того, при хранении отхода на открытых территориях в его составе появляется и карбонат кальция (CaCO_3) (*Евдокимова и др., 2023; Da et al., 2021a*). Карбонат кальция является основополагающим компонентом цементной сырьевой муки, поэтому его содержание в отходе негативного влияния на клинкер не окажет. При этом стоит заметить, что фторид кальция и диоксид титана являются нетипичными веществами в цементном клинкере, поэтому их влияние на сырьевую муку будет описано в обзоре.

Теоретические основы

Изучением влияния различных веществ на цементные сырьевые смеси начали заниматься во второй половине XX в., но в силу различных факторов широкого масштаба исследования не получили. Однако с ростом технических и технологических возможностей, а также увеличением образования отходов различного генезиса, нужда в новых инновационных строительных материалах создает почву для глубоких исследований влияния различных добавок на качество строительных материалов.

Обзор существующих научных и фондовых литературных источников позволяет выделить два основных направления исследований: 1) работы, изучающие влияние фторида кальция и иных соединений на цементы; 2) работы, посвященные свойствам диоксида титана в цементных клинкерах.

Механизм влияния фторида кальция на цементный клинкер

Исследования показывают, что фторид кальция является экспериментальным минерализатором цементной сырьевой смеси. Химическое вещество обладает способностью снижения температуры спекания цементного клинкера и стимулирования его образования.

¹ О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году. Государственный доклад. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Москва, 2021. URL: <https://vims-geo.ru/ru/activity/iacn/russia/gosdokladi/>.

Механизм интенсифицирующего действия фтористых минерализаторов сложен и требует рассмотрения на широком диапазоне температур: от низких (от 600 °С) до области образования заметных количеств эвтектических расплавов (выше 1300 °С) для выведения зависимости между температурой обжига и степенью связывания свободной извести в сырьевых смесях.

Существует ряд работ, исследовавших влияние CaF_2 на цементные клинкеры, однако в этих работах приведены результаты экспериментов, где использовался фторид кальция высокой чистоты, а не отходы, содержащие соединение в большом количестве. Увеличение процентного содержания (от 0,5 до 3 %) фторида кальция в сырьевой смеси приводит к снижению содержания свободной извести, а значит, и к прекращению процесса клинкерообразования при температуре 1200°, в то время как без добавления CaF_2 такое содержание свободной извести достигается только при 1350° (рис. 1) (Odler et al., 1980). Следовательно, фторид кальция способствует снижению температуры образования клинкерных минералов.

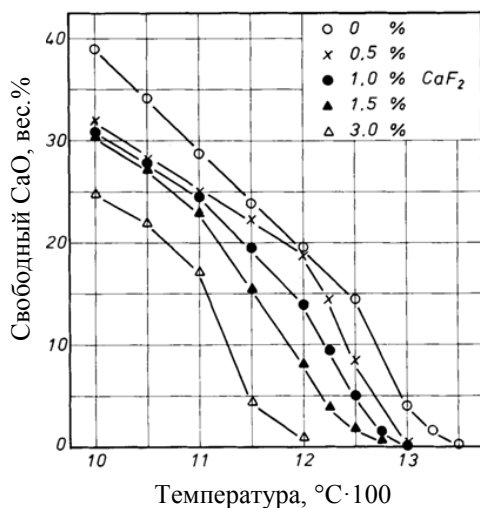


Рис. 1. Содержание свободной извести в клинкерах (указанные количества CaF_2 добавлены в сырую муку) в зависимости от температуры обжига (время обжига 1 ч) (Odler et al., 1980)
 Fig. 1. Free lime in clinkers (indicated amount of CaF_2 is added to raw meal) as a function of firing temperature (firing time 1 h) (Odler et al., 1980)

Изготовленные клинкеры с содержанием 1 и 3 % CaF_2 и обожженные при 1350 °С при исследовании на микроскопе показывают, что средний размер кристаллов алита (C_3S) и белита (C_2S) значительно уменьшался с увеличением легирования CaF_2 (рис. 2). В то же время отмечается уменьшение пористости клинкера, вызванное легированием CaF_2 .

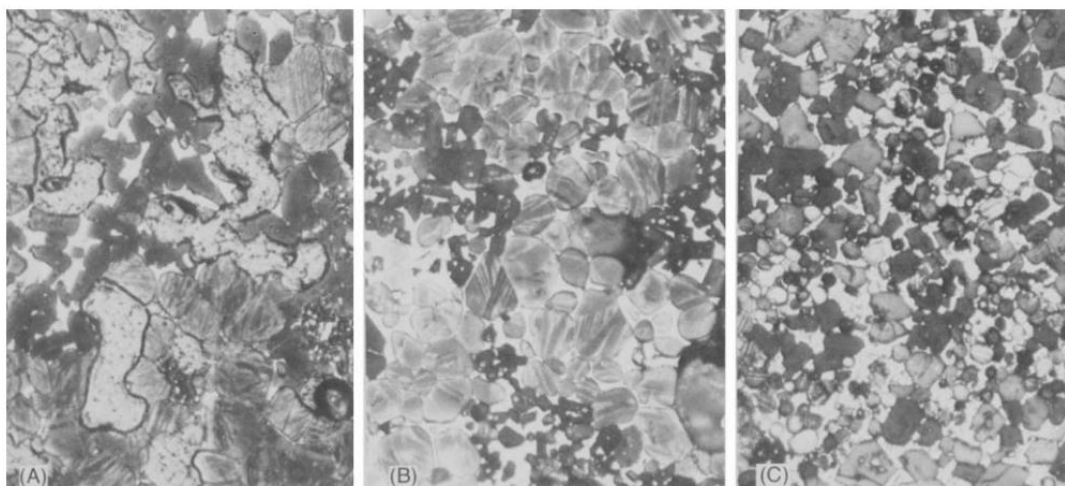


Рис. 2. Фотографические изображения клинкеров, обожженных при 1350 °С в течение 1 ч, где (А) 0,0, (В) 1,0 и (С) 3,0 % CaF_2 добавлен в сырую муку (полированные поверхности протравлены водным раствором диметилцитрата аммония) (Odler et al., 1980)
 Fig. 2. Photomicrographs of clinkers fired at 1350 °С for 1 h for which (A) 0.0, (B) 1.0, and (C) 3.0 % CaF_2 was added to raw meal (polished surfaces etched with an aqueous solution of ammonium dimethyl citrate) (Odler et al., 1980)

В статье (Odler *et al.*, 1980) отмечено, что фаза C_3A присутствовала только в клинкерах, содержащих малое количество CaF_2 и обожженных при более высоких температурах, в то время как в клинкерах, обожженных при более низких температурах и содержащих больше CaF_2 , эта фаза целита (C_3A) была заменена на $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$. Подчеркивается, что ионы фтора неравномерно распределены между целитовыми и силикатными фазами. В клинкерах, где присутствовала фаза $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$, большинство фтора аккумулировалось в алюминатной фазе, в то время как в клинкерах без $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ его было больше в силикатной фазе.

В работе Йохансена В., Кристенсена Н. Х. описывается использование в качестве добавки чистого фторида кальция в количествах 0,5, 1 и 2 % в сырьевую муку. При этом сырьевые смеси обжигались при температуре 1500° (Johansen *et al.*, 1979).

С добавлением 0,5 % CaF_2 в реагирующую систему скорость реакции клинкерообразования увеличивалась в 2,4 раза при температуре реакции 1350 °С, и в 1,2 раза при 1500 °С. Добавление 1 % CaF_2 увеличило скорость реакции в 2,8 раза при 1350 °С и в 1,7 раза при 1500 °С. Таким образом, присутствие в сырьевой муке до 2 % CaF_2 приводит к значительному увеличению скорости реакции при спекании при температуре 1350 °С.

Размеры кристаллов фазы алита C_3S при обжиге также значительно увеличиваются. При рассмотрении кристаллов под микроскопом фаза алита в 5–10 раз крупнее, чем в образце без добавления фторида кальция (Johansen *et al.*, 1979). Наиболее ярко это проявляется в реакционной зоне диффузионной пары, в которую добавляется 2 % CaF_2 . Кроме того, кристаллы имеют тенденцию к межзерновому спеканию. При этом существуют и противоположные результаты, показывающие уменьшение размеров кристаллов алита с повышением содержания фторида кальция, но объяснить рост кристаллов можно межзерновым спеканием (Odler *et al.*, 1980).

Применяемый в качестве минерализатора фторид кальция может быть использован не только в виде чистого вещества. Для тех же целей могут применяться и фторсодержащие отходы, формирующиеся на предприятиях по производству интегральных микросхем, полупроводников, гальванических пластин, солнечных батарей. Эти отходы содержат в виде примесей соединения хлора и тяжелых металлов, что может вызвать серьезное загрязнение окружающей среды, если не утилизировать их должным образом (Brar *et al.*, 2010).

Основными компонентами осадка являются оксид кальция (CaO , 34,59 %), фтор (F, 15,32 %), диоксид кремния (SiO_2 , 9,14 %) и оксид фосфора (V) (P_2O_5 , 9,68 %), потери массы при прокаливании составили 15,83 % (из которых 9,67 % – органическое вещество). Удельная площадь поверхности – 8,96 м²/г. Содержание тяжелых металлов: никеля (Ni) – 137,92 ppm, меди (Cu) – 181,14 ppm, цинка (Zn) – 145,78 ppm (Da *et al.*, 2021e).

Для изучения влияния фторсодержащих осадков на цементный клинкер были приготовлены образцы сырьевой муки с добавлением осадка в количестве 1, 2, 3 и 5 %, которые спекались при температурах 1350°, 1400° и 1450° с обеспечением одинаковой скорости нагрева 5°/мин в течение 180 мин. Полученные клинкеры измельчали с природным гипсом до значений удельной поверхности по Блейну примерно 4500 см²/г.

Добавление фторсодержащего осадка заметно улучшает способность клинкера к обжигаемости и снижает содержание свободной извести (f-CaO). Содержание f-CaO с добавлением 2,0 % фторсодержащего осадка достигает 1,13 % (1350 °С), 0,50 % (1400 °С) и 0,26 % (1450 °С). Также отмечено, что определенное добавление фторсодержащего шлама позволяет снизить эффективную температуру обжига клинкера на 100° (рис. 3).

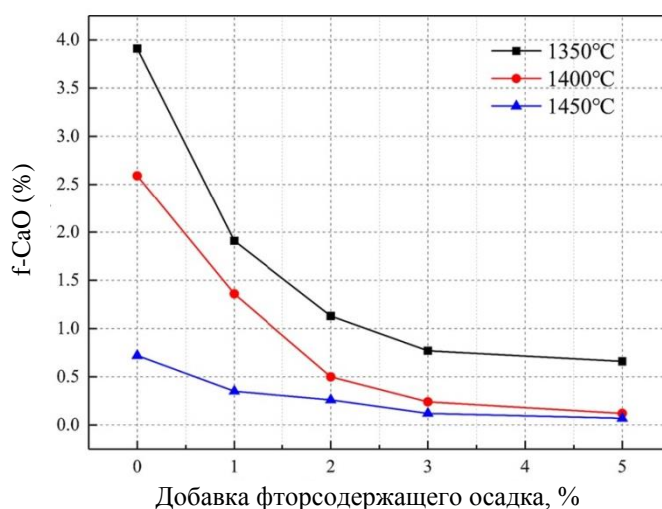


Рис. 3. Содержание f-CaO в произведенном цементном клинкере (Da *et al.*, 2021e)
Fig. 3. The f-CaO content of produced cement clinker (Da *et al.*, 2021e)

Фторид кальция способен усилить диффузию в твердом состоянии и снизить вязкость в жидком состоянии. Изучая результаты химического анализа, можно прийти к выводу, что содержание CaO увеличивается с добавлением фторсодержащего шлама, что приводит к образованию большего количества силикатных фаз в полученных клинкерах. Соотношение Al_2O_3/Fe_2O_3 (глиноземный модуль) оставалось практически постоянным, т. е. жидкостные свойства при высокой температуре прокаливания теоретически не изменяются, и это становится ограничением образования большего количества силикатных фаз (Da et al., 2021b).

Стоит обратить внимание на достаточно высокое содержание оксида фосфора (V) в составе осадка – 9,68 %, поскольку при нагревании он взаимодействует с CaO и образует ортофосфат кальция, который является стабилизатором β - C_2S . Присутствие P_2O_5 в алите в количествах больших 0,5 % может тормозить образование трехкальциевого силиката, однако вредное действие фосфора снижается в присутствии фтористого кальция (Рояк и др., 1983, с. 17–18).

По результатам измерений коэффициентов иммобилизации фтора, меди, цинка и никеля, которые превышают 99,5 % при всех температурах обжига, можно сделать вывод о том, что фтор и тяжелые металлы включаются в состав клинкерных фаз и не способны к выщелачиванию, значит, данные элементы обладают низкой летучестью при высокотемпературном обжиге.

Минеральный состав клинкера без фторсодержащего шлама был таким же, как и с его добавлением, дифракционные пики фаз алита, белита, алюмината кальция и алюмоферриты кальция четко различимы на дифрактограммах (рис. 4).

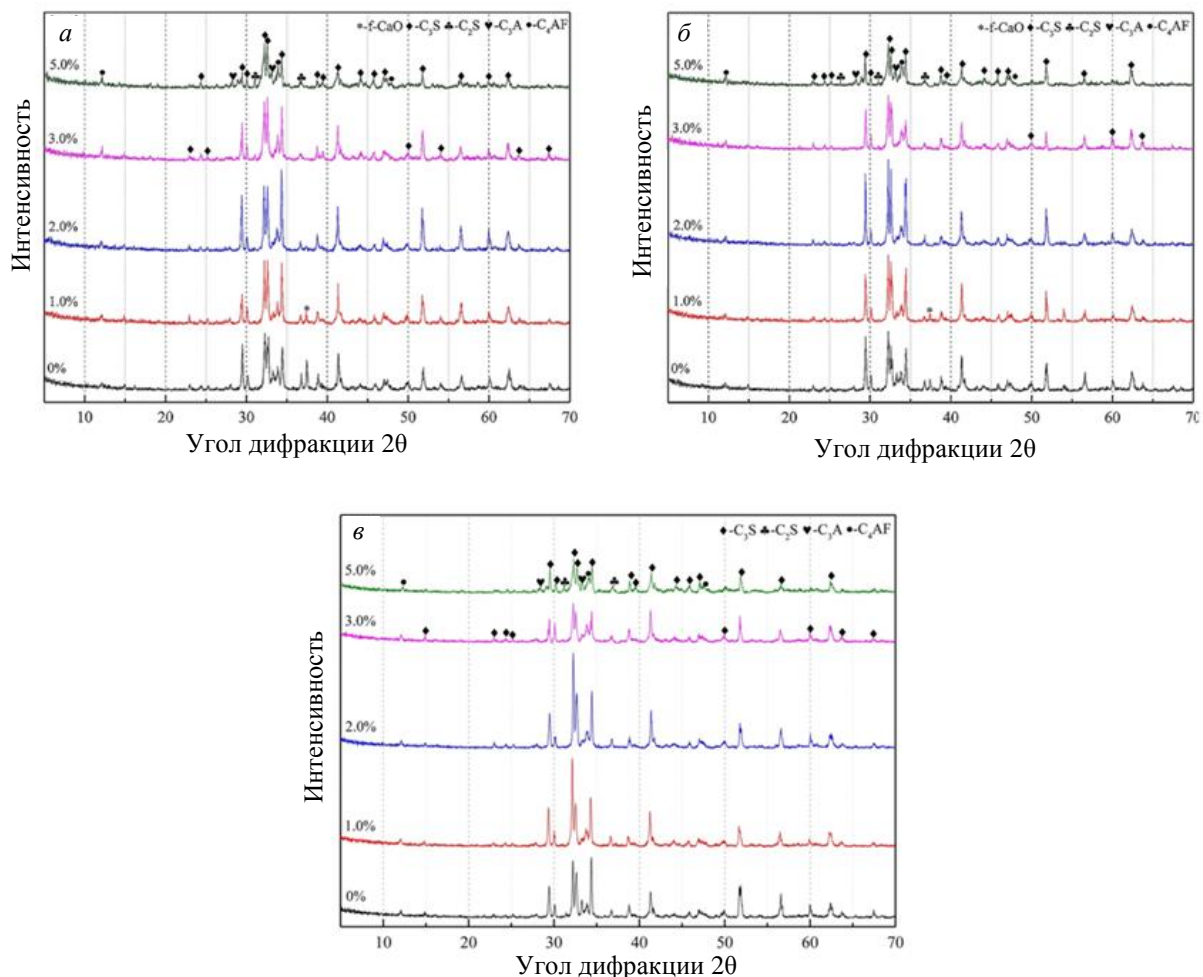


Рис. 4. Минеральный состав полученного клинкера: *a* – температура кальцинации 1 350°; *б* – температура кальцинации 1 400°; *в* – температура кальцинации 1 450° (Da et al., 2021b)

Fig. 4. Mineral compositions of the produced clinker: *a* – calcination temperature is 1 350°; *б* – calcination temperature – 1 400°; *в* – calcination temperature – 1 450° (Da et al., 2021b)

Анализ этих графиков показывает, что при добавлении 1 % фторсодержащего осадка наблюдается увеличение интенсивности дифракции C_3S и уменьшение интенсивности дифракции CaO. Интенсивность дифракции C_3S достигла максимума и начала уменьшаться при увеличении добавки осадка с 2 до 5 %,

также стоит заметить, что при добавлении осадка 5 % можно наблюдать увеличение интенсивности дифракции C_3A и C_4AF . При повышении температуры спекания клинкера интенсивность пика C_3S при добавлении до 2 % отхода усиливалась, а при больших добавках снижалась, в то время как пики интерстициальных фаз становились более четкими.

Следовательно, добавление фторсодержащего осадка до 2 % будет способствовать образованию C_3S , а избыточное его добавление (более 3 %) – препятствовать образованию алита и улучшать образование целитовых фаз (C_3A и C_4AF).

Обычно фазы алита имеют четкую шести- или четырехугольную геометрическую форму, белит представлен в виде округлых зерен (Торопов, 1956, с. 37, 46). При добавлении 2 % фторсодержащего осадка количество кристаллов алита и белита возрастает, они становятся более мелкими и имеют тенденцию к группировке. Вместе с тем при добавлении 5 % фторсодержащего шлама кристаллы алита и белита становятся крупнее, но их распределение неравномерно, а алюминаты и алюмоферриты, расположенные в пространстве между силикатными фазами, препятствуют дальнейшему образованию C_3S , C_2S . С увеличением температуры до 1450° тенденция образования фаз не менялась.

Рассматривая данные рентгеновской спектроскопии, можно заключить, что фтор преимущественно распределялся в алитовой и белитовой фазах ближе к границе раздела силикатных и целитовой фаз. Распределение Cu, Zn и Ni наблюдалось во всех фазах, и четкой закономерности их распределения выявить невозможно (рис. 5).

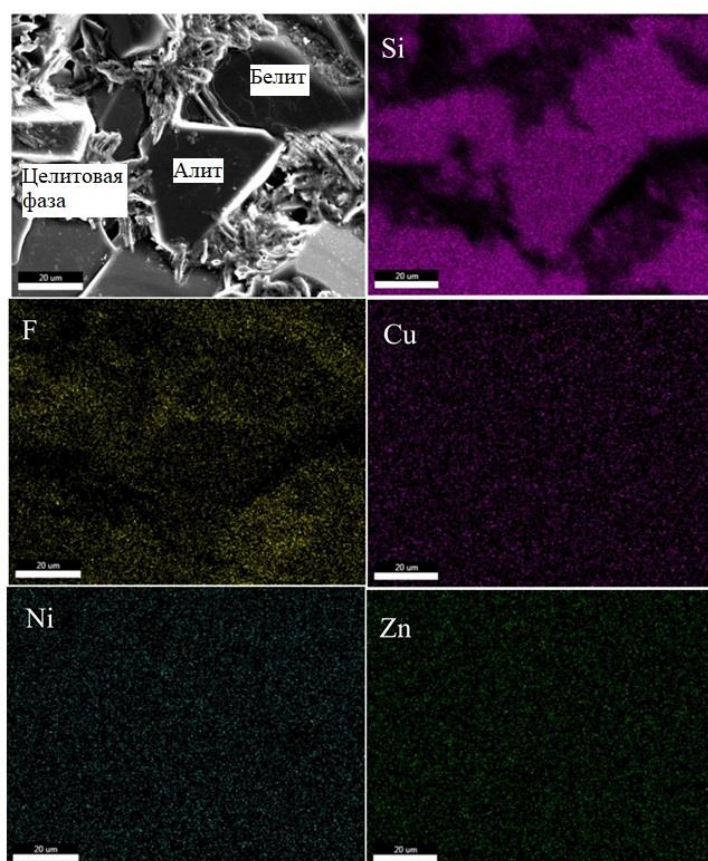


Рис. 5. Распределение некоторых элементов в произведенном клинкере (Da et al., 2021a)
Fig. 5. The distribution of some elements in the produced clinker (Da et al., 2021a)

Быстрое образование и рост кристаллов трехкальцевого силиката начинаются в области низких температур и обусловлены активным воздействием газообразных гидрофторидов, возникающих при нагревании фтористых соединений и находящихся в присутствии водяного пара в определенной степени диссоциации, а в области высоких температур – в снижении вязкости и облегчении диффузии (Торопов, 1956, с. 143, 186). CaF_2 снижает температуру образования алита за счет улучшения именно твердофазной диффузии. CaF_2 также снижает вязкость и поверхностное натяжение жидкой фазы, что положительно сказывается на скорости реакции. Низкое поверхностное натяжение приводит к образованию пористого и мелкозернистого клинкера. Этот тип клинкера имеет низкую усадку при спекании и хорошую размалываемость (Altun et al., 1999). Кроме того, присутствие фтористых солей ускоряет образование клинкерных минералов, снижая нижний предел устойчивости фаз в смеси. Эта эффективность обусловлена, прежде всего, присутствием фторид-

анионов, которые характеризуются высокой электроотрицательностью и взаимодействуют с ионами (Ca^{2+} , Si^{4+}) на поверхности твердого тела. Эта поверхность поддерживается в высокоэнергетическом состоянии, приводящем к поляризации и перегруппировке атомов, что повышает активность твердого тела и ведет либо к образованию новых фаз, либо к плавлению (*Kacimi et al.*, 2006). Также стоит отметить, что ионы фтора способны к разрушению комплексных кремниевокислородных ионов типа $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$, $[\text{SiO}_3]^{2-}$ и других в результате разрыва связей кремний – кислород с образованием SiF_4 и SiO_4 . В твердой фазе разрушение комплексных анионов облегчает условия для образования новых, более устойчивых соединений – клинкерных минералов. Но нужно отметить, что стабильность новых соединений во многом определяется структурой образования новых кристаллов.

Торопов Н. А., академик РАН, в своих исследованиях отмечает, что "применение фтористых минерализаторов интенсифицирует образование $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (алита), но трехкальциевый алюминат в присутствии CaF_2 является совершенно неустойчивым соединением". Исследования, проведенные в Институте силикатов Е. Р. Скуе, также показали, что "введение фтористого кальция вызывает распад сложных алюмоферритов кальция на более простые по составу алюминаты и ферриты кальция. Разрушение же комплексных кремниевокислородных и алюминиевокислородных анионов при введении фторидов в основные алюмосиликатные расплавы, к числу которых может быть отнесена и жидкая фаза цементного клинкера, приводит к образованию более простых по строению анионных групп, облегчающих процессы кристаллообразования ряда клинкерных минералов, путем ионного переноса в расплаве" (*Торопов*, 1956, с. 187).

В работе Алтуна И. А. отмечается, что фтор при термическом разложении может переходить в газовую фазу и циркулировать в печи. В холодной части печи происходит конденсация, и фтор реагирует с избытком CaO , образуя CaF_2 (*Altun et al.*, 1999). Такие реакции могут обусловить снижение $f\text{-CaO}$, но не за счет включения CaO в клинкерные минералы, а за счет вторичного образования фторида кальция.

Механизм влияния оксидов титана на цементный клинкер

В научной литературе содержатся данные о том, что $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ способен растворять некоторое количество оксидов титана (*Торопов и др.*, 1961). Определенное добавление фторида кальция (CaF_2) ускоряет достижение предела раствора диоксида титана (TiO_2) для образования CaTiO_3 в допированном $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Фазовые составы различных образцов C_3S при допировании показывают, что добавление CaF_2 от 1,0 до 2,0 % не влияет на формирование фазы C_3S , но совместное присутствие CaF_2 и TiO_2 оказывает заметное влияние на формирование данной фазы. Появление CaTiO_3 указывает на предел растворения TiO_2 в легированных образцах C_3S , кроме того при приближении к пределу растворимости происходит образование $b\text{-C}_2\text{S}$ (*Da et al.*, 2021б).

Группа индийских ученых пришла к выводу, что диоксид титана, содержащийся в некоторых глинах в большом количестве, способен благоприятно влиять на цементные клинкеры. Так, содержание 1–4 % TiO_2 в сырьевой смеси может обладать свойствами минерализатора и приводить к снижению содержания свободной извести при обжиге клинкеров при 1450° до 0,1 %. Однако при больших добавках TiO_2 концентрация свободной извести растет. Это объясняется тем, что при обжиге при высоких температурах TiO_2 соединяется с CaO , вытесняя SiO_2 и образуя кристаллический продукт $\text{CaO} \cdot \text{TiO}_2$ (*Katyal et al.*, 1999). Также отмечается увеличение размера кристаллов алита при содержании TiO_2 в клинкере на уровне 1 %.

Влияние диоксида титана на цементные клинкеры изучалось при добавлении титанового шлака к сырьевой муке. Содержание TiO_2 в шлаке составило 39,86 %, SiO_2 – 13,5, CaO – 12,12 %, потери массы при прокаливании – 8,15 %. Содержание TiO_2 в образцах составило 0,5, 1 и 2 %. Сырьевые смеси нагревались со скоростью 5 °С/мин до 900 °С, выдерживались при этой температуре в течение 30 мин, а затем снова нагревались со скоростью 5 °С/мин до конечной температуры 1340 °С и были оставлены еще на 15 мин. Далее образцы закаливались на воздухе, в результате чего получались экспериментальные клинкеры, которые измельчались и перемешивались с гипсом (*Andrade Neto et al.*, 2019).

Изучая химический состав смесей, можно сделать вывод, что глиноземный модуль с добавлением диоксида титана снижается, обуславливая благоприятные условия для образования и роста кристаллов алита. Отмечается, что оптимальное содержание TiO_2 в образцах равно 2 %, поскольку такой клинкер демонстрировал концентрацию алита (58,49 %), близкую к референтному значению (57,71 %) (*Andrade Neto et al.*, 2019).

Существуют также научные работы, исследовавшие цементный клинкер, полученный в результате смешения основных веществ сырьевой муки высокой степени чистоты: карбонат кальция, оксид алюминия и гипс. К перечисленным оксидам добавляли фторид кальция и диоксид титана высокой чистоты. Стоит отметить отсутствие оксида кремния в составе сырьевой муки (*Wang et al.*, 2021).

В вышеуказанной научной работе отмечается снижение содержания свободной извести в присутствии CaF_2 в количестве 0,5 %. Наличие в составе смесей CaF_2 (0,5 %) и TiO_2 (0,2 %) совместно способствует снижению $f\text{-CaO}$ до 0,04 %. Таким образом, добавление TiO_2 в исследуемые образцы может способствовать дальнейшему поглощению $f\text{-CaO}$.

Кроме того, добавление CaF_2 и TiO_2 в качестве минерализаторов может эффективно содействовать образованию сульфоалюмината кальция ($\text{C}_4\text{A}_3\text{S}$) при более низкой температуре спекания ($1\ 100^\circ$) (Wang et al., 2021).

Китай как лидер производства изделий из сплавов титана является и лидером по образованию титаносодержащих отходов. Отходы травильного этапа не являются исключением. Необходимость утилизации отходов травления обуславливается их размещением в шламохранилищах, из которых с инфильтрующимися сточными водами происходит миграция меди, цинка и никеля. Большой вклад в изучение применения травильного шлама в строительной промышленности внесла группа ученых из Сианьского университета архитектуры и технологий. Данное исследование отличается тем, что в качестве добавки используются не чистые вещества CaF_2 и TiO_2 , а непосредственно шлам кислотного травления изделий из сплавов титана.

Ученые использовали титаносодержащий травильный шлам, который представлен следующими соединениями: оксид кальция (CaO – 35,21 %), диоксид титана (TiO_2 – 14,03 %) и фтор (F – 18,95 %), остальное – оксиды кремния, алюминия, железа, кальция и натрия. Потери массы при прокаливании составили 18,10 %, а содержание органического вещества – около 9 %. Также отмечено наличие меди, никеля и цинка в количествах 198,56, 189,72 и 120,71 ppm соответственно (Da et al., 2021a).

Титаносодержащий травильный шлам (ТТШ) приведенного состава использовался в качестве добавки в сырьевую муку для изготовления цементного клинкера. Отход предварительно был высушен до постоянной массы при температуре 105° , а затем в количествах 1, 2, 3 и 5 % от общего объема добавлен в сырьевую муку. Состав сырьевой муки: 42,75 % – CaO , 13,96 % – SiO_2 , 3,33 % – Al_2O_3 , 2,35 % – Fe_2O_3 , 36,49 % – потери массы при прокаливании. Приготовленные смеси прокаливались при максимальной температуре $1\ 350^\circ\text{C}$, затем измельчались с гипсом до достижения содержания SO_3 – 3,5 %, значение удельной поверхности по Блейну приближалось к $450\ \text{m}^2/\text{kg}$ (Da et al., 2021a).

Результаты испытаний показали, что содержание свободного оксида кальция f-CaO снижается с увеличением травильного шлама в составе клинкера (рис. 6). Это объясняется присутствием атомов фтора и титана, которые способствуют процессам кальцинации клинкера (Paceagiu et al., 2017).

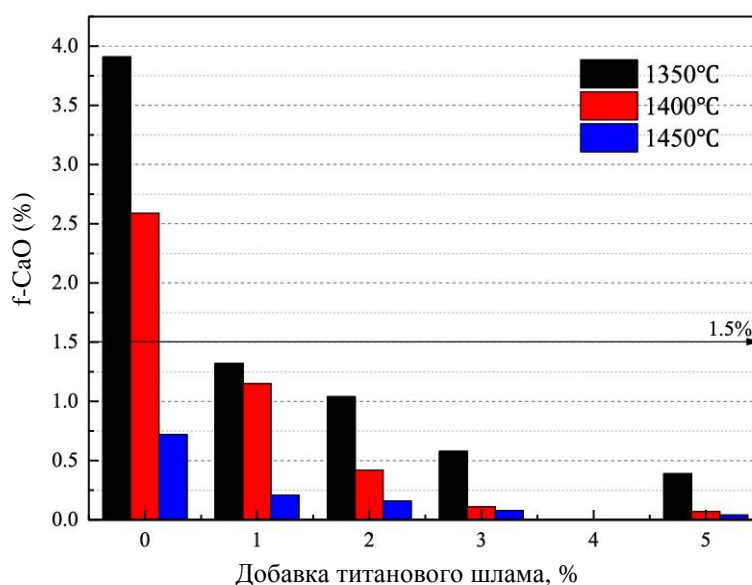


Рис. 6. Содержание f-CaO в прокаленном цементном клинкере (Da et al., 2021a)
Fig. 6. The f-CaO content of the calcined cement clinker (Da et al., 2021a)

Использование титанового шлама в качестве добавки в цементный клинкер позволяет иммобилизовать тяжелые металлы, находящиеся в составе сырьевой смеси и способные к миграции. Результаты показали, что иммобилизация фтора, титана, меди, цинка и никеля в клинкере составляет более 99,5 %, этот вывод подтверждает и другое исследование (Gineys et al., 2011).

Внесение титанового шлама в цементный клинкер существенно не изменяет его фазовый состав: фазы алита, белита, целита и четырехкальциевого алюмоферрита присутствуют во всех образцах. Однако соотношение этих фаз меняется. При добавлении 1 % шлама фаза алита на дифрактограммах становится более выраженной, но с увеличением содержания шлама тенденция меняется. Добавление отхода в количестве 5 % способствует образованию C_3A и C_4AF , о чем свидетельствуют пики дифрактограмм.

Электронная микроскопия позволяет подтвердить, что при добавлении отхода получающиеся кристаллы алита и белита имеют неорганизованное распределение, а промежутки между кристаллами заняты алюминатными и ферроалюминатными фазами. Кроме того, добавление 1 % титанового шлама существенно

изменяет морфологию клинкерных минералов, причем силикатные кристаллы имеют более мелкую и разрозненную форму. Вместе с тем в клинкере с добавкой 5 % отхода силикатные кристаллы имеют более однородную форму, но отмечается обилие жидкостных фаз в промежутках силикатных фаз, препятствующих образованию алита (*Da et al., 2021a*), это противоречит описанным выше данным (*Katyal et al., 1999*).

Результаты сканирующей электронной микроскопии показали, что концентрация фтора в фазах алита и белита выше, чем в других фазах. Также обнаружено, что фтор в основном аккумулируется на границе раздела фаз алита и белита. Более высокая концентрация атомов титана, напротив, отмечается в алюминатных и ферроалюминатных фазах. Распределение тяжелых металлов, таких как Cu, Ni и Zn, характеризуется слабым преимущественным включением в силикатные или целитовые фазы, что может быть связано с образованием твердых растворов с Ca (рис. 7) (*Kolovos et al., 2005*), а характеристики распределения этих элементов сходны с данными исследований (*Stephan et al., 1999*).

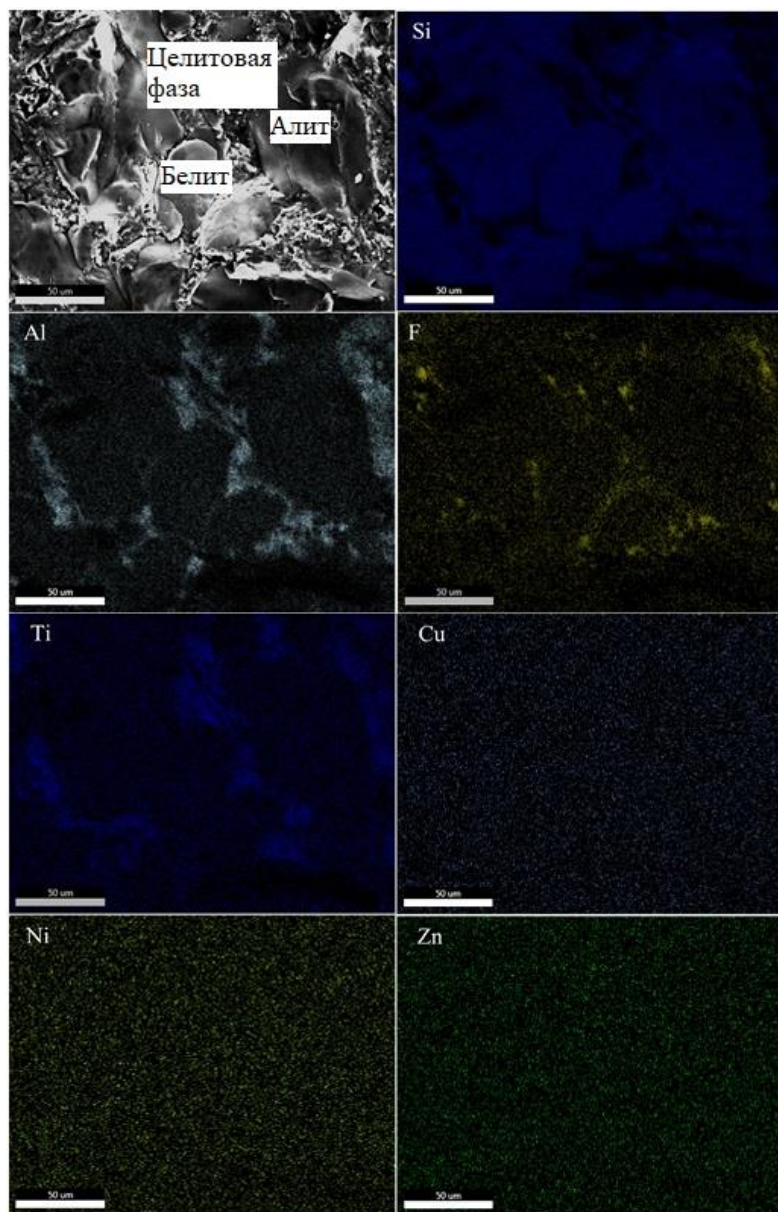


Рис. 7. Распределение основных элементов в кальцинированном клинкере с 5,0 % ТТШ (*Da et al., 2021a*)
 Fig. 7. The distribution of key elements in the calcined clinker with 5.0 % titanium-containing pickling sludge (*Da et al., 2021a*)

По результатам измерений коэффициентов иммобилизации фтора, меди, цинка и никеля, которые превышают 99,5 % при всех температурах обжига, можно говорить о том, что фтор и тяжелые металлы включаются в состав клинкерных фаз и не способны к выщелачиванию. Такие результаты позволяют сделать вывод, что эти элементы обладают низкой летучестью при высокотемпературном обжиге.

Тенденция последних лет – разработка фотокаталитических материалов, которые содержат в своем составе диоксид титана (TiO_2) и активно используются для уменьшения загрязнения окружающей среды. Технология фотокаталитических материалов имеет большой потенциал развития и применения в восстановлении окружающей среды, но теоретическая база их получения на сегодняшний день недостаточна, что приводит к необходимости проведения эмпирических исследований (*Yadav et al., 2016*).

Диоксид титана находит широкое применение в фотокаталитической области, такой, как разложение различных сложных загрязнений окружающей среды (*Zhong et al., 2015*). Такой катализатор обладает характеристиками долговечности, стабильности и эффективности протекания процесса фотокатализа. При попадании кванта света с энергией, превышающей полосу пропускания (ПП), электроны из валентной полосы (ЭП) возбуждаются и переходят в полосу проводимости, что приводит к образованию пар $e\text{-ПП}/h\text{+ВП}$, т. е. пар электронов и "дырок". Электроны и "дырки" вступают в окислительно-восстановительные реакции с кислородом и парами воды воздуха, в результате чего образуются сильные окислители (O_2 , -OH , и др.), которые непосредственно взаимодействуют с различными органическими загрязнениями, позволяя разлагать их до безопасных H_2O и CO_2 (*Demeestere et al., 2008*).

Облицовочные части зданий из материалов, способных к фотокатализу, подвергаются воздействию солнечного света и являются источником окисляющих радикалов, которые позволяют окислять городские органические загрязнители атмосферного воздуха, что будет актуально в районах с развитой урбанизацией. Поэтому титансодержащие отходы находят широкое применение как добавка в строительный материал (*Lei et al., 2021*).

Кроме того, фотокаталитические материалы обладают устойчивостью к выцветанию и могут длительное время сохранять чистоту поверхности в условиях городской среды и инфраструктуры. Концентрация оксидов азота (NO_x), летучих органических соединений (ЛОС) и оксидов серы (SO_x) может быть снижена с помощью фотокаталитического окислительно-восстановительного действия TiO_2 в воздухе, находящемся в непосредственной близости к поверхности (*Антоненко и др., 2020*).

Заключение

Цементная промышленность – одна из крупнейших, развивающихся, ресурсоемких отраслей, которая нуждается в постоянном совершенствовании композиционных материалов.

Металлургическое производство является одним из основных загрязнителей окружающей среды отходами разного рода.

Грамотно используя многотоннажные отходы металлургических предприятий, можно разрабатывать инновационные строительные материалы, которые будут отвечать требованиям современности и минимизировать загрязнение отходами компонентов окружающей среды.

Нейтрализованные известковым молоком осадки кислотного травления титана содержат в своем составе большое количество химических соединений, входящих в состав сырьевой муки для производства цементного клинкера, а также веществ, обладающих свойствами минерализаторов. Таким образом, можно снизить удельную теплоту сгорания без ухудшения качества клинкера.

Фторид кальция обладает свойством снижения температуры спекания цементного клинкера и увеличения интенсификации реакций кальцинации. Кроме того, присутствие в расплаве ионов фтора снижает вязкость и облегчает твердофазную диффузию. Такое свойство может существенно снизить выбросы углекислого газа в атмосферу. Диоксид титана способствует более быстрому образованию и росту кристаллов алита. Совместное нахождение данных химических веществ в цементном клинкере не нейтрализует действие компонентов, а усиливает его.

Кроме того, титановый шлам содержит в составе и ряд тяжелых металлов, которые могут нанести ущерб водоемам и водотокам и живущим в них организмам. При включении титанового шлама в состав цемента, тяжелые металлы спекаются и теряют способность к миграции. Присутствие в составе клинкера тяжелых металлов не оказывает негативного воздействия на формирование фаз клинкера и не характеризуется преимущественным включением в одну из них, а равномерно распределяется по всему объему.

Изучение научных источников позволяет отметить и недостатки имеющихся на сегодняшний день исследований. Существует ряд противоречий касательно размера и распределения силикатных фаз клинкера при включении титанового шлама в клинкер. Кроме того, в большинстве исследований рассматривается добавление в цементный клинкер не более 10 % отходов, что в рамках утилизации отхода является небольшой его долей. Хочется заметить, что научных работ, изучающих титансодержащие отходы, образующиеся на территории Российской Федерации, крайне мало, хотя объем образования отходов достаточно высок.

Изучение свойств и методов применения титанового шлама требует не только теоретического, но и экспериментального исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Антоненко М. В., Огурцова Ю. Н., Строкова В. В., Губарева Е. Н. Фотокаталитически активные самоочищающиеся материалы на основе цемента. Составы, свойства, применение // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2020. № 3. С. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-3-16-25>. EDN: AFKXKM.
- Василик Г. Ю., Еремина Е. М. Цементная промышленность России в 2022 году // Цемент и его применение. 2022. № 6. С. 18–24. EDN: JCVQMI.
- Доронкина И. Г., Голуб О. В. Реагентная очистка сточных вод // Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология-2022) : материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. Уфа, 01–15 мая 2022 г. : в 2 т. Уфа : УГАТУ, 2022. Т. 1. С. 256–262. EDN: GPHACK.
- Евдокимова М. Е., Пашкевич М. А. Использование осадка нейтрализации отработанных кислых травильных растворов титана в качестве компонента строительной смеси // Управление техносферой. 2023. Т. 6, № 2. С. 222–233. DOI: 10.34828/UdSU.2023.97.94.008. EDN: UYHYBS. URL: <https://technosphere-ing.ru>.
- Корельский Д. С., Стриженов А. В., Имашова С. Н. Экологический мониторинг и оценка состояния природно-территориальных комплексов, подвергающихся воздействию цементной промышленности // Московский экономический журнал. 2018. № 5(1). DOI: 10.24411/2413-046X-2018-15006. EDN: YPNRCH.
- Коровкин М. О., Гринцов Д. М., Ерошкина Н. А. "Зеленые" технологии бетона // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2017. № 3(10). С. 169–179. EDN: YKOBVT.
- Литвинова Т. Е., Сучков Д. В. Получение легкого золотобетона как перспективное направление утилизации техногенных продуктов (на примере отходов водоотведения) // Записки Горного института. 2023. Т. 264. С. 906–918. EDN: LMZCWZ.
- Рояк С. М., Рояк Г. С. Специальные цементы. М. : Стройиздат, 1983. 279 с.
- Силенок А. Р., Ветрова О. Б. Современное состояние и текущие тенденции развития цементной промышленности России // Успехи в химии и химической технологии. 2020. Т. 34. № 12. С. 61–64. EDN: SCXMYB.
- Стрижкова Л. А., Медведев В. П., Сотников А. В. Развитие рынка цемента и цементных стройматериалов России // Российский внешнеэкономический вестник. 2021. № 3. С. 77–86. DOI: 10.24412/2072-8042-2021-3-77-86. EDN: YJAXXS.
- Торопов Н. А. Химия цементов. М. : Промстройиздат, 1956. 271 с.
- Торопов Н. А., Бойкова А. И., Иевиньш А. Ф., Апинитис С. К. Об образовании твердых растворов между трехкальциевым и трехстронциевым силикатами // Доклады Академии наук. 1961. Т. 137, № 4. С. 882–884.
- Akin Altun I. Effect of CaF₂ and MgO on sintering of cement clinker // Cement and Concrete Research. 1999. Vol. 29, Iss. 11. P. 1847–1850. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(99\)00151-9](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(99)00151-9).
- Brar S. K., Verma M., Tyagi R. D., Surampalli R. Y. Engineered nanoparticles in wastewater and wastewater sludge – Evidence and impacts // Waste Management. 2010. Vol. 30, Iss. 3. P. 504–520. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.012>.
- Da Y., He T., Shi C., Lin Y. Utilizing titanium-containing pickling sludge to prepare raw meal for clinker production // Construction and Building Materials. 2021a. Vol. 268. Article number: 121216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121216>.
- Da Y., He T., Shi C., Wang M. [et al.]. Studies on the formation and hydration of tricalcium silicate doped with CaF₂ and TiO₂ // Construction and Building Materials. 2021b. Vol. 266, Part B. Article number: 121128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121128>.
- Da Y., He T., Shi C., Wang M. [et al.]. Potential of preparing cement clinker by adding the fluorine-containing sludge into raw meal // Journal of Hazardous Materials. 2021в. Vol. 403. Article number: 123692. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123692>.
- Demeestere K., Dewulf J., De Witte B., Beeldens A. [et al.]. Heterogeneous photocatalytic removal of toluene from air on building materials enriched with TiO₂ // Building and Environment. 2008. Vol. 43, Iss. 4. P. 406–414. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.016>.
- Gineys N., Aouad G., Sorrentino F., Damidot D. Incorporation of trace elements in Portland cement clinker: Thresholds limits for Cu, Ni, Sn or Zn // Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41, Iss. 11. P. 1177–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.07.006>.
- Johansen V., Christensen N. H. Rate of formation of C3S in the system CaO-SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-MgO with addition of CaF₂ // Cement and Concrete Research. 1979. Vol. 9, Iss. 1. P. 1–5. DOI: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(79\)90089-9](https://doi.org/10.1016/0008-8846(79)90089-9).
- Kacimi L., Simon-Masseron A., Ghomari A., Derriche Z. Influence of NaF, KF and CaF₂ addition on the clinker burning temperature and its properties // Comptes Rendus Chimie. 2006. Vol. 9, Iss. 1. P. 154–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crci.2005.10.001>.
- Katyal N. K., Parkash R., Ahluwalia S. C., Samuel G. Influence of titania on the formation of tricalcium silicate // Cement and Concrete Research. 1999. Vol. 29, Iss. 3. P. 355–359. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(98\)00231-2](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(98)00231-2).

- Kolovos K., Tsvivilis S., Kakali G. SEM examination of clinkers containing foreign elements // *Cement and Concrete Composites*. 2005. Vol. 27, Iss. 2. P. 163–170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.003>.
- Lei H., Tan C., Fan G., Huang D. [et al.]. The crystallization behavior of TiO₂-CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO pentabasic slag with a basicity of 1.1–1.4 // *Crystals*. 2021. Vol. 11, Iss. 6. Article number: 583. DOI: <https://doi.org/10.3390/cryst11060583>.
- Lytaeva T. A., Isakov A. E. Environmental impact of the stored dust-like zinc and iron containing wastes // *Journal of Ecological Engineering*. 2017. Vol. 18, Iss. 3. P. 37–42. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/69355>.
- Neto J. da S. A., Mariani B. B., de Amorim Júnior N. S., Ribeiro D. V. Characterization of cements produced from clinker co-processed with TiO₂ waste (UOW) // *Key Engineering Materials*. 2019. Vol. 803. P. 278–283. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.803.278>.
- Odler I., Abdul-Maula S. Structure and properties of portland cement clinker doped with CaF₂ // *Journal of the American Ceramic Society*. 1980. Vol. 63, Iss. 11–12. P. 654–659. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1980.tb09855.x>.
- Pacegiu J., Voicu G. Performances evaluation of portland cement produced from doped clinkers // *Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ)*. 2017. Vol. 16, N 12. P. 2673–2684. DOI: <https://doi.org/10.30638/eemj.2017.278>.
- Rögener F., Lednova Yu. A., Andrianova M. Yu., Lednov A. V. Sustainable stainless steel – A review on acid regeneration systems for application in continuous pickling lines // *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*. 2019. Т. 17, № 2. С. 38–48. DOI: <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-2-38-48>. EDN: ZYGOBV.
- Stephan D., Mallmann R., Knöfel D., Härdtl R. High intakes of Cr, Ni, and Zn in clinker: Part I. Influence on burning process and formation of phases // *Cement and Concrete Research*. 1999. Vol. 29, Iss. 12. P. 1949–1957. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(99\)00195-7](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(99)00195-7).
- Wang K., Dong J., Zhang T., Deng X. [et al.]. Adding effects of CaF₂ and TiO₂ as mineralizers on the sintering temperature and hardening properties of calcium sulfoaluminate cement // *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2021. Vol. 19, Iss. 12. P. 1309–1317. DOI: <https://doi.org/10.3151/jact.19.1309>.
- Yadav H. M., Kim J. S., Pawar S. H. Developments in photocatalytic antibacterial activity of nano TiO₂: A review // *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2016. Vol. 33, Iss. 7. P. 1989–1998. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11814-016-0118-2>.
- Zheng F., Cheng T., Zhang Q. Pickling technology of titanium and titanium alloy // *Rare Metals and Cemented Carbides*. 2009. Vol. 37, Iss. 3. P. 26–28.
- Zhong L., Haghghat F. Photocatalytic air cleaners and materials technologies – Abilities and limitations // *Building and Environment*. 2015. Vol. 91. P. 191–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.033>.

References

- Antonenko, M. V., Ogurtsova, Yu. N., Strokova, V. V., Gubareva, E. N. 2020. Photocatalytically active self-cleaning cement-based materials. Compositions, properties, application. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov*, 3, pp. 16–25. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-3-16-25>. EDN: AFKXKM. (In Russ.)
- Vasilik, G. Yu., Eremina, E. M. 2022. Cement industry in Russia in 2022. *Journal Cement and its Applications*, 6, pp. 18–24. EDN: JCVQMI. (In Russ.)
- Doronkina, I. G., Golub, O. B. 2022. Reagent wastewater treatment. Proceedings of XVIII Intern. scien.-tech. conf. *Science, education, production in solving environmental problems (Ecology–2022)*. Ufa, 01–15 May, 2022. In 2 Vols. Ufa, Vol. 1, pp. 256–262. EDN: GPHACK. (In Russ.)
- Evdokimova, M. E., Pashkevich, M. A. 2023. Using sediment from the neutralization of spent acid etching solutions of titanium as a component of a building mixture. *Management of the Technosphere*, 6(2), pp. 222–233. DOI: 10.34828/UdsU.2023.97.94.008. EDN: UYHYBS. URL: <https://technosphere-ing.ru>. (In Russ.)
- Korel'skij, D. S., Strizhenok, A. V., Imashova, S. N. 2018. Environmental monitoring and assessment of the state of natural-territorial complexes exposed to the influence of the cement industry. *Moscow Economic Journal*, 5(1). DOI: 10.24411/2413-046X-2018-15006. EDN: YPNRCH. (In Russ.)
- Korovkin, M. O., Grincov, D. M., Eroshkina, N. A. 2017. "Green" concrete technologies. *Obrazovaniye i nauka v sovremennom mire. Innovatsii*, 3(10), pp. 169–179. EDN: YKOBVT. (In Russ.)
- Litvinova, T. E., Suchkov, D. V. 2023. Lightweight ash-based concrete production as a promising way of technogenic productutilization (on the example of sewage treatment waste). *Journal of Mining Institute*, 264, pp. 906–918. EDN: LMZCWZ. (In Russ.)
- Royak, S. M., Royak, G. S. 1983. Special cements. Moscow. (In Russ.)
- Silenok, A. R., Vetrova, O. B. 2020. Current state and current trends in the development of the Russian cement industry. *Uspekhi v Khimii i Khimicheskoy Tekhnologii*, 34(12), pp. 61–64. EDN: SCXMYB. (In Russ.)

- Strizhkova, L. A., Medvedev, V. P., Sotnikov, A. V. 2021. Development of the cement and cement building materials market in Russia. *Russian Foreign Economic Journal*, 3, pp. 77–86. DOI: 10.24412/2072-8042-2021-3-77-86. EDN: YJAUXS. (In Russ.)
- Toropov, N. A. 1956. Chemistry of cements. Moscow. (In Russ.)
- Toropov, N. A., Boikova, A. I., Ievinsh, A. F., Apinitis, S. K. 1961. On the formation of solid solutions between tricalcium and tristrontium silicates. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 137(4), pp. 882–884. (In Russ.)
- Akin Altun, I. 1999. Effect of CaF₂ and MgO on sintering of cement clinker. *Cement and Concrete Research*, 29(11), pp. 1847–1850. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(99\)00151-9](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(99)00151-9).
- Brar, S. K., Verma, M., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y. 2010. Engineered nanoparticles in wastewater and wastewater sludge – Evidence and impacts. *Waste Management*, 30(3), pp. 504–520. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.10.012>.
- Da, Y., He, T., Shi, C., Lin, Y. 2021a. Utilizing titanium-containing pickling sludge to prepare raw meal for clinker production. *Construction and Building Materials*, 268. Article number: 121216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121216>.
- Da, Y., He, T., Shi, C., Wang, M. et al. 2021b. Studies on the formation and hydration of tricalcium silicate doped with CaF₂ and TiO₂. *Construction and Building Materials*, 266, Part B. Article number: 121128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121128>.
- Da, Y., He, T., Shi, C., Wang, M. et al. 2021в. Potential of preparing cement clinker by adding the fluorine-containing sludge into raw meal. *Journal of Hazardous Materials*, 403. Article number: 123692. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123692>.
- Demeestere, K., Dewulf, J., De Witte, B., Beeldens, A. et al. 2008. Heterogeneous photocatalytic removal of toluene from air on building materials enriched with TiO₂. *Building and Environment*, 43(4), pp. 406–414. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.016>.
- Gineys, N., Aouad, G., Sorrentino, F., Damidot, D. 2011. Incorporation of trace elements in Portland cement clinker: Thresholds limits for Cu, Ni, Sn or Zn. *Cement and Concrete Research*, 41(11), pp. 1177–118. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.07.006>.
- Johansen, V., Christensen, N. H. 1979. Rate of formation of C3S in the system CaO-SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-MgO with addition of CaF₂. *Cement and Concrete Research*, 9(1), pp. 1–5. DOI: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(79\)90089-9](https://doi.org/10.1016/0008-8846(79)90089-9).
- Kacimi, L., Simon-Masseron, A., Ghomari, A., Derriche, Z. 2006. Influence of NaF, KF and CaF₂ addition on the clinker burning temperature and its properties. *Comptes Rendus Chimie*, 9(1), pp. 154–163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crci.2005.10.001>.
- Katyal, N. K., Parkash, R., Ahluwalia, S. C., Samuel, G. 1999. Influence of titania on the formation of tricalcium silicate. *Cement and Concrete Research*, 29(3), pp. 355–359. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(98\)00231-2](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(98)00231-2).
- Kolovos, K., Tsvivilis, S., Kakali, G. 2005. SEM examination of clinkers containing foreign elements. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), pp. 163–170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.003>.
- Lei, H., Tan, C., Fan, G., Huang, D. et al. 2021. The crystallization behavior of TiO₂-CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO pentabasic slag with a basicity of 1.1–1.4. *Crystals*, 11(6). Article number: 583. DOI: <https://doi.org/10.3390/cryst11060583>.
- Lytaeva, T. A., Isakov, A. E. 2017. Environmental impact of the stored dust-like zinc and iron containing wastes. *Journal of Ecological Engineering*, 18(3), pp. 37–42. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/69355>.
- Neto, J. da S. A., Mariani, B. B., de Amorim, Júnior N. S., Ribeiro, D. V. 2019. Characterization of cements produced from clinker co-processed with TiO₂ waste (UOW). *Key Engineering Materials*, 803, pp. 278–283. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.803.278>.
- Odler, I., Abdul-Maula, S. 1980. Structure and properties of portland cement clinker doped with CaF₂. *Journal of the American Ceramic Society*, 63(11–12), pp. 654–659. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1980.tb09855.x>.
- Paceagiu, J., Voicu, G. 2017. Performances evaluation of portland cement produced from doped clinkers. *Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ)*, 16(12), pp. 2673–2684. DOI: <https://doi.org/10.30638/eemj.2017.278>.
- Rögener, F., Lednova, Yu. A., Andrianova, M. Yu., Lednov, A. V. 2019. Sustainable stainless steel – A review on acid regeneration systems for application in continuous pickling lines. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 17(2), pp. 38–48. DOI: <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-2-38-48>. EDN: ZYG0BV.
- Stephan, D., Mallmann, R., Knöfel, D., Härdtl, R. 1999. High intakes of Cr, Ni, and Zn in clinker: Part I. Influence on burning process and formation of phases. *Cement and Concrete Research*, 29(12), pp. 1949–1957. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0008-8846\(99\)00195-7](https://doi.org/10.1016/s0008-8846(99)00195-7).

- Wang, K., Dong, J., Zhang, T., Deng, X. et al. 2021. Adding effects of CaF₂ and TiO₂ as mineralizers on the sintering temperature and hardening properties of calcium sulfoaluminate cement. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 19(12), pp. 1309–1317. DOI: <https://doi.org/10.3151/jact.19.1309>.
- Yadav, H. M., Kim, J. S., Pawar, S. H. 2016. Developments in photocatalytic antibacterial activity of nano TiO₂: A review. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 33(7), pp. 1989–1998. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11814-016-0118-2>.
- Zheng, F., Cheng, T., Zhang, Q. 2009. Pickling technology of titanium and titanium alloy. *Rare Metals and Cemented Carbides*, 37(3), pp. 26–28.
- Zhong, L., Haghghat, F. 2015. Photocatalytic air cleaners and materials technologies – Abilities and limitations. *Building and Environment*, 91, pp. 191–203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.01.033>.

Сведения об авторах

Евдокимова Мария Евгеньевна – 21 линия Васильевского острова, 2, г. Санкт-Петербург, Россия, 199106; Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, аспирант;
e-mail: s235011@stud.spmi.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8184-7595>

Maria E. Evdokimova – 2, 21 Line of Vasilievsky Island, St. Petersburg, Russia, 199106;
Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Ph.D. Student;
e-mail: s235011@stud.spmi.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8184-7595>

Пашкевич Мария Анатольевна – 21 линия Васильевского острова, 2, г. Санкт-Петербург, Россия, 199106; Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, д-р техн. наук, профессор; e-mail: mpash@spmi.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7020-8219>

Maria A. Pashkevich – 2, 21 Line of Vasilievsky Island, St. Petersburg, Russia, 199106;
Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: mpash@spmi.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7020-8219>

УДК 544.778.3

Процесс кристаллизации сахарозы в пересыщенном растворе

В. А. Грибкова, Е. В. Семенов, А. А. Славянский, Д. П. Митрошина*

**Московский государственный университет технологий и управления
им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), г. Москва, Россия;
e-mail: d_mitr96@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>*

Информация о статье *Реферат*

Поступила
в редакцию
29.03.2024;

принята
к публикации
13.05.2024

Ключевые слова:

кристаллизация,
сахароза,
уваривание,
сахар,
кристаллы

Процессы кристаллизации твердой фазы в пересыщенных растворах продуктов растительного происхождения применяются в технологиях перерабатывающих производств. Широкое распространение при решении задач усовершенствования технологий получила теория диффузионного (молекулярного) переноса массы целевой субстанции. Движущей силой данного процесса является перепад концентрации твердой фазы в растворе в направлении к центру кристаллизации, где концентрация твердой фазы понижена. В ходе аналитического и количественного исследования процесса осаждения твердой фазы в центре кристаллизации использованы диффузионные законы Фика; рассмотрено влияние на протекание данного процесса температуры раствора, концентрации твердой фазы, ее геометрии и дисперсного состава. На основе диффузионной модели процесса кристаллообразования сахарозы в вакуум-аппарате представлен численный анализ не освещенных в литературе факторов технологии получения сахара. Проблема количественного анализа процесса кристаллизации сахарозы в рабочем объеме вакуум-аппарата для получения сахара и других продуктов растительного происхождения высоких товарных кондиций требует дальнейшего углубленного изучения.

Для цитирования

Грибкова В. А. и др. Процесс кристаллизации сахарозы в пересыщенном растворе. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 184–192. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-184-192>.

The process of sucrose crystallization in the supersaturated solution

Vera A. Gribkova, Eugene V. Semenov, Anatoly A. Slavyanskiy, Daria P. Mitroshina*

**Razumovsky Moscow State University of Technology and Management
(First Cossack University), Moscow, Russia;
e-mail: d_mitr96@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>*

Article info

Received
29.03.2024;

accepted
13.05.2024

Key words:

crystallization,
sucrose,
boiling,
sugar,
crystals

Abstract

Crystallization processes of the solid phase in supersaturated solutions of products of plant origin are used in processing technologies. The theory of diffusion (molecular) mass transfer of the target substance has become widespread when solving problems of technology improvement. The driving force of this process is the difference in the concentration of the solid phase in the solution towards the crystallization center, where the concentration of the solid phase is reduced. During the analytical and quantitative study of the process of solid phase deposition in the crystallization center, Fick's diffusion laws have been used. The influence of solution temperature, concentration of the solid phase, its geometry and dispersed composition on the course of this process have been considered. Based on a diffusion model of the process of crystal formation of sucrose in a vacuum apparatus, a numerical analysis of factors in sugar production technology not covered in the literature has been presented. The problem of quantitative analysis of the process of sucrose crystallization in the working volume of a vacuum apparatus for the production of sugar and other products of plant origin of high commercial standards requires further in-depth study.

For citation

Gribkova, V. A. et al. 2024. The process of sucrose crystallization in the supersaturated solution. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 184–192. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-184-192>.

Введение

Процессы кристаллизации твердой фазы целевой субстанции (ЦС) в пересыщенных растворах продуктов растительного происхождения широко распространены в технологиях перерабатывающих производств агропромышленного комплекса (АПК). В области исследования процессов химической технологии известен ряд теорий, объясняющих явление конденсации твердой фазы (сахарозы, соли и др.) в водном растворе: ортокинетическая коагуляция, диффузионный перенос и др.

Молекулярно-кинетическая теория термофлуктуационного зародышеобразования, основанная на термодинамических представлениях о возникновении новой фазы и законах физико-химической кинетики, рассматривается в работах (*Хворова и др., 2019; Семенов и др., 2004, 2003; Славянский и др., 1996, 2005; Штерман и др., 2010*). Проблеме анализа процесса кристаллизации сахарозы посвящены исследования (*Jun et al., 2022; Karthika et al., 2016; Wu et al., 2022; Sosso et al., 2016; Osman et al., 2023* и др.).

В ряде работ (*Семенов и др., 2021; Kim et al., 2023; Ibis et al., 2024*) проблема кристаллообразования исследуется с использованием закона Фика и уравнения диффузионного массопереноса. На основе вытекающих из данной математической модели аналитических зависимостей дается количественная оценка некоторых технологических особенностей явления кристаллообразования в сахарном растворе в промышленных условиях: степени обессахаривания раствора в процессе кристаллообразования; скорости роста кристаллов сахара (значит, и производительности вакуум-аппарата) в зависимости от фактора времени; пересыщения раствора и др. (*Лебедева, 2013*).

В настоящее время в рамках такого подхода не выяснены вопросы воздействия на кристаллообразование процесса уменьшения объема межкристалльного раствора вследствие роста в нем кристаллов; установления расчетной зависимости времени кристаллизации раствора от относительной концентрации и влияния качества сиропа на расчет процесса кристаллизации.

Согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям рост кристаллов сахарозы при температуре $T > 50$ °С происходит в диффузионно-контролируемой области процесса, что обусловлено диффузионным массопереносом вещества в межкристалльном растворе к поверхности кристалла. Затем на поверхности кристалла адсорбируются молекулы сахарозы, развиваются процессы поверхностной диффузии и встраивания (дислокации) в кристаллическую решетку этих кристаллов (*Лебедева, 2013*).

С целью интенсификации процесса кристаллообразования в неустойчивую систему (коэффициент пересыщения $K_{пер} = 1,25-1,3$) вводят центры кристаллизации сахарозы в виде тонкоизмельченной сахарной пудры, в результате чего образуются новые центры кристаллизации. При этом для получения кристаллов сахара среднего размера (3 000 шт в 1 г) необходимо, чтобы центры кристаллизации располагались примерно на расстоянии $2h = 0,2$ мм друг от друга (*Штерман и др., 2010; Лебедева, 2013*). При обосновании научных положений представленной работы указанный геометрический фактор по распределению частиц сахарозы в вакуум-аппарате по их крупности и концентрации в утфеле полагается в основу количественного анализа изучаемого процесса.

На основе количественного анализа диффузионной модели процесса кристаллообразования сахарозы в вакуум-аппарате представлен анализ не освещенных ранее в литературных источниках особенностей технологии получения сахара, таких как количественное влияние чистоты сахарсодержащего раствора (собственно несахаров) на процесс кристаллизации белого сахара, а также зависимость скорости роста кристаллов сахара от времени протекания этого процесса.

Материалы и методы

При решении поставленной задачи приняты в качестве исходных данных интервал между пробными частицами $h = 5 \cdot 10^{-5}$ м; коэффициенты насыщения и пересыщения $c_n = 0,7$ и $c_{п} = 0,8$ соответственно; коэффициент диффузии $D = 10^{-10} \cdot 20$ м²/с.

В настоящее время в силу относительной простоты и ясности методического подхода к решению исследуемой проблемы при выявлении особенностей процесса кристаллообразования использовалось научное положение, основанное на концепции диффузионного переноса молекул из области раствора с высокой концентрацией сахарозы в область с более низким ее содержанием (*Лебедева, 2013*).

При формализации физической модели поставленной задачи дополнительно исходили из допущения о том, что кристаллы сахарозы в процессе роста имеют форму удлиненного параллелепипеда и сохраняют примерно одинаковые размеры. Предположительно, исходный пересыщенный раствор содержит большое количество молекул и частиц сахарозы настолько малого размера (порядка ангстрема и менее), чтобы они диффундировали к поверхности кристалла.

Согласно принятым предположениям, приближенным к реальным условиям, истощение раствора сахарозой за счет роста массы сахара на кристаллах обусловлено в основном явлением диффузионного переноса.

Пренебрегая анизотропией роста кристалла по различным направлениям, в качестве приближенной модели кристалла выбрали ограниченное плоскостью $x = h$ полупространство $x > h$, к которому из полупространства $0 \leq x \leq h$ мигрируют за счет диффузии молекулы сахарозы из раствора (рис. 1).

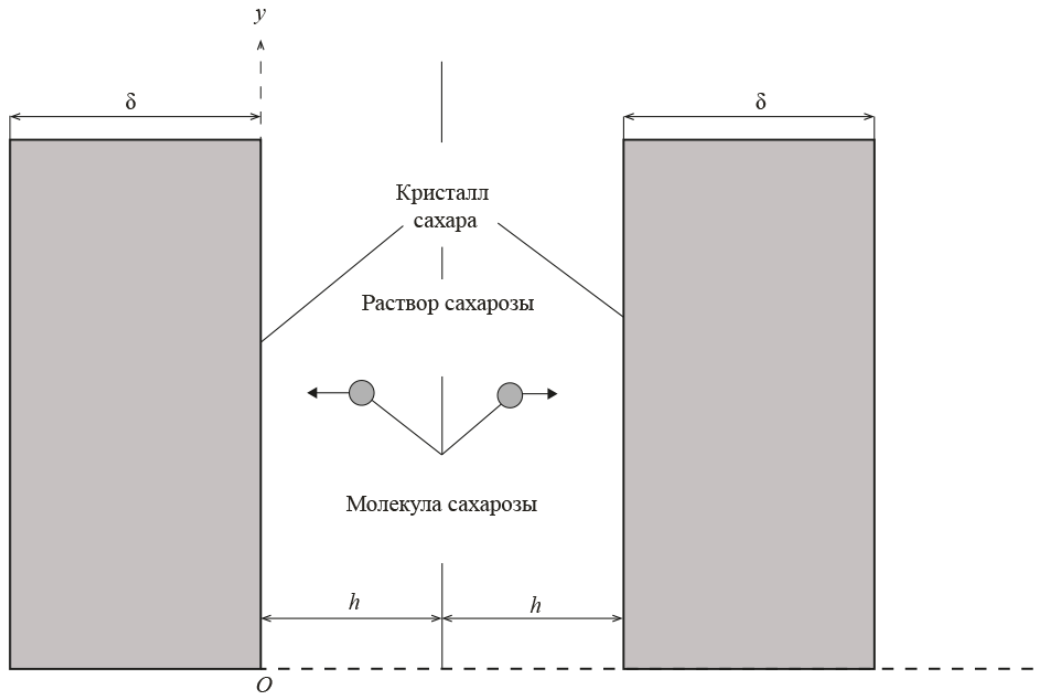


Рис. 1. Схема к расчету диффузионного осаждения молекул сахарозы на поверхности кристаллов
 Fig. 1. Scheme for calculating the diffusion deposition of sucrose molecules on the surface of their crystals

Тогда на базе принятой модели массопереноса в качестве расхода (потока концентрации) сахарозы по оси x приняли условие (Семенов и др., 2002)

$$J = -D\partial c/\partial x, \quad (1)$$

где c – объемная концентрация сахарозы; D – коэффициент диффузии.

На основе закона сохранения массы и с учетом выражения (1) для исследования задачи о росте кристалла сахарозы в направлении оси x пришли к кинетическому уравнению диффузии по концентрации c

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где t – время.

В ходе исследования приняли начальное условие для концентрации c

$$c(x, 0) = c_n \quad (0 < x < h), \quad (3)$$

где c_n – концентрация пересыщенного раствора.

Граничные условия по c выбирали в виде

$$c(0, t) = c_n \quad (0 < t < \infty), \quad \partial c(h, t) / \partial x = 0, \quad (4)$$

где c_n – концентрация насыщенного раствора.

Решением краевой задачи (2)–(4) является выражение (Сапронов, 1999)

$$c(x, t) = c_n + \Delta c \varphi(x, t), \quad (5)$$

где

$$\varphi(x, t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{2n+1} \exp\left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D t}{4h^2}\right] \sin \frac{(2n+1)\pi x}{2h}; \quad (6)$$

$\Delta c = c_n - c_n > 0$ – концентрация пересыщения (разность концентраций); $\varphi(x, t)$ – приведенная объемная концентрация сахарозы.

Входящее в формулу (1) и используемое в дальнейших расчетах выражение производной $\partial c / \partial x$ в соответствии с решением (5), (6) имеет вид

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \Delta c \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad (7)$$

где

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = \frac{2}{h} \sum_{n=0}^{\infty} \exp \left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D t}{4h^2} \right] \cos \frac{(2n+1)\pi x}{2h}. \quad (8)$$

В работе (Семенов и др., 2002) показано, что приращение в результате диффузионного переноса ΔR приведенного к размеру кристалла радиуса R частицы сахарозы за время τ подчиняется зависимости

$$\Delta R = D \int_0^{\tau} \frac{\partial c(0, t)}{\partial x} dt, \quad (9)$$

где в соответствии с формулами (7), (8)

$$\frac{\partial c(0, t)}{\partial x} = \frac{2}{h} \sum_{n=0}^{\infty} \exp \left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D t}{4h^2} \right] \quad (10)$$

или вследствие зависимости (9)

$$\Delta R = \frac{8h\Delta c}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D \tau}{4h^2} \right] \right\}, \quad (11)$$

откуда рассчитали удельное приращение (относительный рост) приведенного радиуса кристалла

$$\eta = \frac{\Delta R}{h} = \frac{8\Delta c}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D \tau}{4h^2} \right] \right\}. \quad (12)$$

Отметим, что полагаемое (по умолчанию) в формулах (5), (7), (11) выражение разности $\Delta c = \text{const}$ справедливо лишь в условиях реализации процесса кристаллизации для чистого раствора.

Принимая во внимание тот факт, что влияние на расчет процесса кристаллизации в сахаросодержащем растворе несахаров в дальнейшем учитывается, входящее в формулу $\Delta c = c_{\text{п}} - c_{\text{н}}$ значение $c_{\text{п}}$ концентрации пересыщения корректируется с учетом фактора чистоты Ч раствора.

Поскольку предметом исследования в настоящей статье является количественный анализ влияния несахаров на развитие процесса кристаллизации в сахаросодержащем растворе вакуум-аппарата, то этот фактор преобразуем с учетом зависимости (Сапронов, 1999) по определению так называемого коэффициента насыщения

$$K_{\text{нас}} = H / H_0, \quad (13)$$

где H – коэффициент пересыщения реального раствора, обогащенного редуцирующими веществами и другими несахарами; H_0 – коэффициент пересыщения идеального (чистого) раствора.

В рамках принятых в работе обозначений на основе формулы (13) использовали зависимость

$$c_{\text{п}} = H = H_0 K_{\text{нас}}, \quad (14)$$

и поэтому в расчетах по формулам (11), (12) вместо Δc приняли $\Delta c'$:

$$\Delta c' = H_0 K_{\text{нас}} - c_{\text{н}}. \quad (15)$$

Величины, показанные в зависимости (14) и заимствованные в работе (Сапронов, 1999), приведены в таблице.

Таблица. Коэффициенты насыщения сахарных растворов при температуре $T = 70$ °С

Table. Saturation coefficients of sugar solutions at temperature $T = 70$ °С

Чистота раствора, %	100,0	81,0	78,0	75,0	72,0
Коэффициент насыщения $K_{\text{нас}}$	1,0	1,0	1,03	1,07	1,13

Зависимости (11)–(15) и данные таблицы полагаются в основу количественного анализа при решении поставленной в ходе исследования задачи.

Результаты и обсуждение

Результаты расчетов зависимостей величины роста ΔR кристалла сахарозы от времени t (с учетом параметрической зависимости процесса кристаллизации от коэффициента $K_{\text{нас}}$ насыщения и чистоты Ч раствора) в графическом виде приведены на рис. 2 (температура раствора $T = 70$ °С; номера графиков: 1 – $\text{Ч} = 100$ %, $K_{\text{нас}} = 1,0$; 2 – $\text{Ч} = 81$ %, $K_{\text{нас}} = 1,00$; 3 – $\text{Ч} = 78$ %, $K_{\text{нас}} = 1,03$; 4 – $\text{Ч} = 75$ %, $K_{\text{нас}} = 1,07$; 5 – $\text{Ч} = 72$ %, $K_{\text{нас}} = 1,13$).

Результаты расчетов зависимостей относительной величины роста кристалла сахарозы $\Delta R \cdot 100/h$ от времени t (с учетом параметрической зависимости процесса кристаллизации от коэффициента насыщения

$K_{\text{нас}}$ и чистоты раствора Ч) в графическом виде приведены на рис. 3 (температура раствора $T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$; номера графиков: 1 – $\text{Ч} = 100 \%$, $K_{\text{нас}} = 1,0$; 2 – $\text{Ч} = 81 \%$, $K_{\text{нас}} = 1,00$; 3 – $\text{Ч} = 78 \%$, $K_{\text{нас}} = 1,03$; 4 – $\text{Ч} = 75 \%$, $K_{\text{нас}} = 1,07$; 5 – $\text{Ч} = 72 \%$, $K_{\text{нас}} = 1,13$).

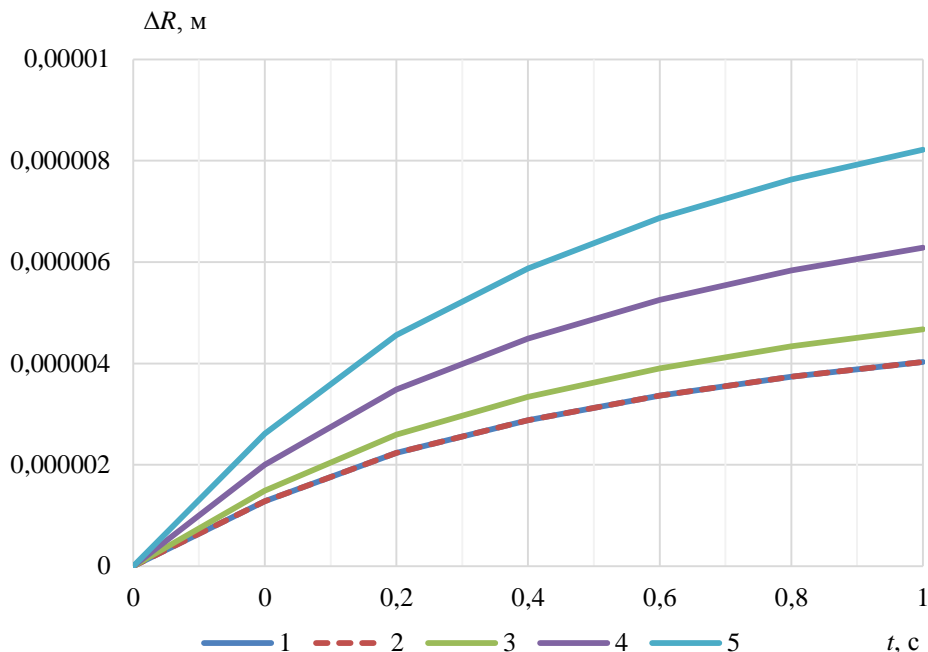


Рис. 2. Зависимости величины роста кристалла сахарозы от времени протекания этого процесса (с учетом параметрической зависимости процесса кристаллизации от коэффициента насыщения и чистоты раствора)
 Fig. 2. Dependences of the sucrose crystal growth rate on the time of this process (taking into account the parametric dependence crystallization process on the saturation coefficient and purity of the solution)

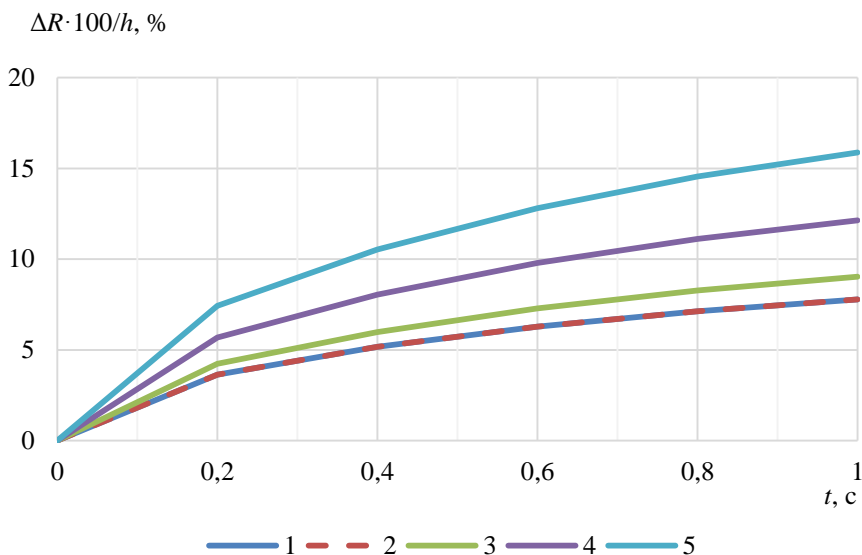


Рис. 3. Зависимости относительной величины роста кристалла сахарозы от времени протекания этого процесса (с учетом параметрической зависимости процесса кристаллизации от коэффициента насыщения и чистоты раствора)
 Fig. 3. Dependence of the relative magnitude of sucrose crystal growth on the time of this process (taking into account the parametric dependence of the crystallization process on the saturation coefficient and purity of the solution)

Найденная численным путем закономерность поведения кривых (рис. 2 и 3) соответствует физическому смыслу исследуемого явления. Так, отмечается экспоненциальный рост кривых, когда входящий в выражение (14) коэффициент насыщения $K_{\text{нас}} = H / H_0$, фактически характеризующий содержание несахаров в растворе, увеличивается с течением времени проведения процесса кристаллизации.

Для оценки времени τ роста кристалла до заданного размера в зависимости от чистоты раствора требуется выразить τ из формулы (11), что может быть выполнено лишь численным путем, например, с использованием программных продуктов современных информационных технологий.

Данная задача решается с использованием уравнения

$$\Phi(\tau, D, K_{\text{нас}}, t, \varepsilon) = \Delta R(\tau, D, K_{\text{нас}}, t) - \varepsilon = 0, \quad (16)$$

где t – пробный момент времени.

В соответствии с уравнением (16) определим τ в символьном виде

$$\tau = \Phi^{-1}(\tau, D, K_{\text{нас}}, t, \varepsilon). \quad (17)$$

В алгоритмической системе Mathcad уравнение (17) разрешается на базе алгоритма *root* (Vasileva et al., 2023).

По аналогии с численным моделированием кривых (рис. 2 и 3) проведем расчеты на базе зависимости (17).

Результаты оценки времени τ роста кристалла до заданного размера в зависимости от чистоты раствора отражены в графическом виде на рис. 4 (температура раствора $T = 70$ °С; номера графиков: 1 – Ч = 81 %, $K_{\text{нас}} = 1,00$; 2 – Ч = 78 %, $K_{\text{нас}} = 1,03$; 3 – Ч = 75 %, $K_{\text{нас}} = 1,07$).

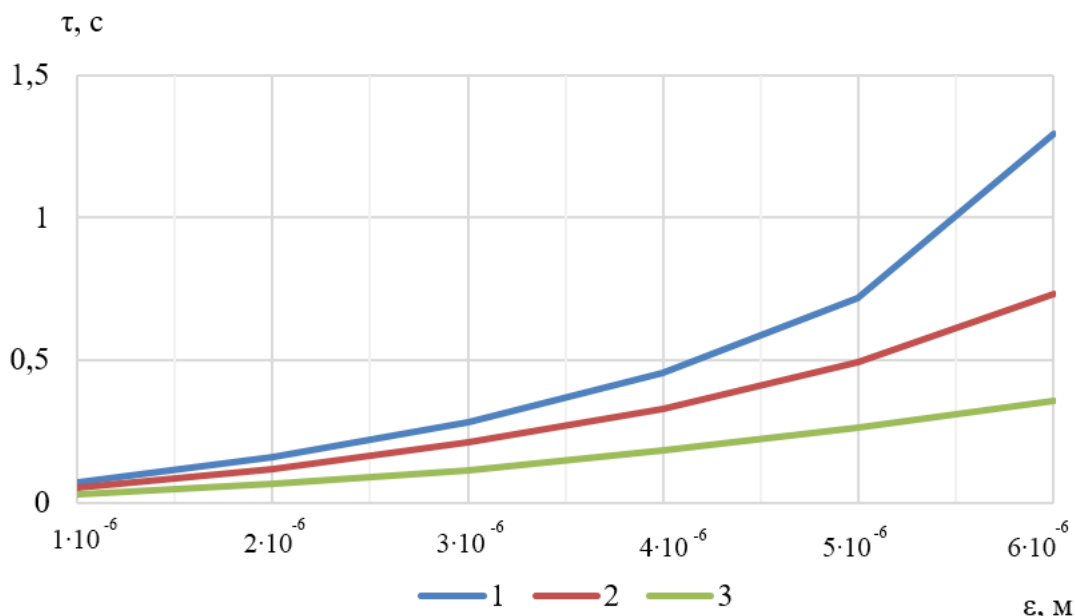


Рис. 4. Оценка времени роста кристалла до заданного размера в зависимости от чистоты раствора (с учетом параметрической зависимости процесса кристаллизации от коэффициента насыщения и чистоты Ч раствора)

Fig. 4. Estimation of the time of crystal growth to the given size depending on the purity of the solution (taking into account the parametric dependence of the crystallization process on the saturation coefficient and purity of the solution)

Результаты, отраженные кривыми (рис. 4), корреспондируют с результатами расчета в виде кривых, показанных на рис. 2 и 3. Отмечается экспоненциальное возрастание кривых, когда входящий в зависимость (14) коэффициент насыщения $K_{\text{нас}} = H / H_0$ увеличивается с ростом кристалла при проведении процесса кристаллизации, а период обработки продукта развивается быстро и ограничивается временем порядка одной секунды.

Заключение

В ходе проведенного исследования в аналитической форме поставлена задача о количественном влиянии несахаров на эффективность процесса кристаллизации сахарозы в вакуум-аппарате и в явном

виде предложено ее решение. На основе полученного решения осуществлено численное моделирование (с использованием информационных технологий) зависимости роста кристалла сахарозы от времени и периода обработки продукта в процессе кристаллизации в присутствии несахаров. Результаты исследования могут быть использованы при обосновании режимных параметров процесса кристаллизации утфеля I (утфеля первой стадии последовательной кристаллизации) с целью получения кристаллического белого сахара необходимых товарных кондиций в продуктовых отделениях свеклосахарных заводов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Лебедева Н. Н. Разработка эффективной технологии уваривания утфеля первой кристаллизации: дис. ... канд. тех. наук: 05.18.05. Москва, 2013. 199 с.
- Сапронов А. Р. Технология сахарного производства. М. : Колос, 1999. 496 с.
- Семенов Е. В., Карамзин В. А., Новикова Г. Д. Методы расчетов гидромеханических процессов в пищевой промышленности. М. : МГУПП, 2002. 492 с.
- Семенов Е. В., Славянский А. А., Грибкова В. А., Митрошина Д. П. [и др.]. Моделирование процесса роста кристаллов сахарозы в сахаросодержащем растворе // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83, № 1(87). С. 62–70. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-62-70. EDN: MLFJKV.
- Семенов Е. В., Славянский А. А., Ильина В. В. Моделирование роста кристаллов сахарозы из ее растворов // Сахар. 2004. № 4. С. 37–40. EDN: XVEEON.
- Семенов Е. В., Славянский А. А., Мойсеяк М. Б., Штерман С. В. [и др.]. Кристаллизация сахарозы как диффузионный процесс // Сахар. 2003. № 1. С. 48–51. EDN: WIAWVV.
- Славянский А. А., Гаврилов А. М., Клименко Л. Л., Купреева В. И. Усовершенствование преддефекционной обработки диффузионного сока // Сахарная промышленность. 1996. № 1. С. 17–20. EDN: XVORUT.
- Славянский А. А., Мойсеяк М. Б., Диденко В. М., Петрова Л. С. Применение пищевых ПАВ для интенсификации технологических процессов продуктового отделения сахарного завода. М. : МГУПП, 2005. 22 с.
- Хворова Л. С., Баранова Л. В. Инновационные решения в технологии производства кристаллической глюкозы // Актуальная биотехнология. 2019. № 3(30). С. 668–671. EDN: ERNSDI.
- Штерман С. В., Каплин Л. А., Тужилкин В. И., Филиппов А. Н. Обобщенное расстояние между частицами при кристаллизации из растворов // Сахар. 2010. № 6. С. 54–59. EDN: MTBFAH.
- Ibis O. I., Bugday Y. B., Aljurf B. N., Goksu A. O. [et al.]. Crystallization of sucrose by using microwave vacuum evaporation // Journal of Food Engineering. 2024. Vol. 365. Article number: 111847. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111847>.
- Jun Y.-S., Zhu Y., Wang Y., Ghim D. [et al.]. Classical and nonclassical nucleation and growth mechanisms for nanoparticle formation // Annual Review of Physical Chemistry. 2022. Vol. 73. P. 453–477. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-physchem-082720-100947>.
- Karthika S., Radhakrishnan T. K., Kalaichelvi P. A review of classical and nonclassical nucleation theories // Crystal Growth & Design. 2016. Vol. 16, Iss. 11. P. 6663–6681. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.6b00794>.
- Kim S., Lee S. Y., Chang J. W., Yang D. R. Evaluation of the kinetics of unseeded batch cooling crystallization using population balance modeling: Sucrose and KNO₃ case studies // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2023. Vol. 118. P. 544–554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.11.038>.
- Osman A., Rajab F. Exploring the dynamic growth of sugar crystals: A volume diffusion non-steady state model under variable conditions // AIP Advances. 2023. Vol. 13, Iss. 6. Article number: 065102. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0153275>.
- Sosso G. C., Chen J., Cox S. J., Fitzner M. [et al.]. Crystal nucleation in liquids: Open questions and future challenges in molecular dynamics simulations // Chemical Reviews. 2016. Vol. 116, Iss. 12. P. 7078–7116. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00744>.
- Vasileva N., Grigorev-Golubev V., Evgrafova I. Mathematical programming in Mathcad and Mathematica // E3S Web of Conferences. 2023. Vol. 419. V International Scientific Forum on Computer and Energy Sciences (WFCES 2023). Article number: 02007. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341902007>.
- Wu K.-J., Tse E. C. M., Shang C., Guo Z. Nucleation and growth in solution synthesis of nanostructures – From fundamentals to advanced applications // Progress in Materials Science. 2022. Vol. 123. Article number: 100821. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2021.100821>.

References

- Lebedeva, N. N. 2013. Development of an effective technology for boiling massecuite of the first crystallization. Ph.D. Thesis. Moscow. (In Russ.)
- Sapronov, A. R. 1999. Sugar production technology. Moscow. (In Russ.)
- Semenov, E. V., Karamzin, V. A., Novikova, G. D. 2002. Methods for calculating hydromechanical processes in the food industry. Moscow. (In Russ.)
- Semenov, E. V., Slavyansky, A. A., Gribkova, V. A., Mitroshina, D. P. et al. 2021. Modeling the process of growth of sucrose crystals in a sugar-containing solution. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 83(1(87)), pp. 62–70. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-1-62-70. EDN: MLFJKB. (In Russ.)
- Semenov, E. V., Slavyansky, A. A., Ilyina, V. V. 2004. Modeling the growth of sucrose crystals from its solutions. *Sahar*, 4, pp. 37–40. EDN: XVEEON. (In Russ.)
- Semenov, E. V., Slavyansky, A. A., Moiseyak, M. B., Sherman, S. V. et al. 2003. Crystallization of sucrose as a diffusion process. *Sahar*, 1, pp. 48–51. EDN: WIAWVV. (In Russ.)
- Slavyansky, A. A., Gavrilov, A. M., Klimenko, L. L., Kupreeva, V. I. 1996. Improvement of pre-defecation treatment of diffusion juice. *Sugar Industry*, 1, pp. 17–20. EDN: XVORUT. (In Russ.)
- Slavyansky, A. A., Moiseyak, M. B., Didenko, V. M., Petrova, L. S. 2005. Application of food surfactants to intensify technological processes in the food department of a sugar factory. Moscow. (In Russ.)
- Khvorova, L. S., Baranova, L. V. 2019. Innovative solutions in the production technology of crystalline glucose. *Aktualnaya Biotekhnologiya*, 3(30), pp. 668–671. EDN: ERNSDI. (In Russ.)
- Sherman, S. V., Kaplin, L. A., Tuzhilkin, V. I., Filippov, A. N. 2010. Generalized distance between particles during crystallization from solutions. *Sahar*, 6, pp. 54–59. EDN: MTBFAH. (In Russ.)
- Ibis, O. I., Bugday, Y. B., Aljurf, B. N., Goksu, A. O. et al. 2024. Crystallization of sucrose by using microwave vacuum evaporation. *Journal of Food Engineering*, 365. Article number: 111847. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111847>.
- Jun, Y.-S., Zhu, Y., Wang, Y., Ghim, D. et al. 2022. Classical and nonclassical nucleation and growth mechanisms for nanoparticle formation. *Annual Review of Physical Chemistry*, 73, pp. 453–477. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-physchem-082720-100947>.
- Karthika, S., Radhakrishnan, T. K., Kalaichelvi, P. 2016. A review of classical and nonclassical nucleation theories. *Crystal Growth & Design*, 16(11), pp. 6663–6681. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.6b00794>.
- Kim, S., Lee, S. Y., Chang, J. W., Yang, D. R. 2023. Evaluation of the kinetics of unseeded batch cooling crystallization using population balance modeling: Sucrose and KNO₃ case studies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 118, pp. 544–554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2022.11.038>.
- Osman, A., Rajab, F. 2023. Exploring the dynamic growth of sugar crystals: A volume diffusion non-steady state model under variable conditions. *AIP Advances*, 13(6). Article number: 065102. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0153275>.
- Sosso, G. C., Chen, J., Cox, S. J., Fitzner, M. et al. 2016. Crystal nucleation in liquids: Open questions and future challenges in molecular dynamics simulations. *Chemical Reviews*, 116(12), pp. 7078–7116. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00744>.
- Vasileva, N., Grigorev-Golubev, V., Evgrafova, I. 2023. Mathematical programming in Mathcad and Mathematica. *E3S Web of Conferences*, 419. V International Scientific Forum on Computer and Energy Sciences (WFCEs 2023). Article number: 02007. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341902007>.
- Wu, K.-J., Tse, E. C. M., Shang, C., Guo, Z. 2022. Nucleation and growth in solution synthesis of nanostructures – From fundamentals to advanced applications. *Progress in Materials Science*, 123. Article number: 100821. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2021.100821>.

Сведения об авторах

Грибкова Вера Анатольевна – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), канд. техн. наук, доцент; e-mail: vera_gribkova@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

Vera A. Gribkova – 73 Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004; Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University), Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: vera_gribkova@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

Семенов Евгений Владимирович – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004; Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), д-р. техн. наук, профессор; e-mail: sem-post@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6203-1783>

Evgeniy V. Semenov – 73 Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004;
Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University),
Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: sem-post@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6203-1783>

Славянский Анатолий Анатольевич – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004;
Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского
(Первый казачий университет), д-р техн. наук, профессор; e-mail: mgutu-sahar@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Anatoly A. Slavyanskiy – 73 Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004; Razumovsky Moscow State University
of Technology and Management (First Cossack University), Dr Sci. (Engineering), Professor;
e-mail: mgutu-sahar@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Митрошина Дарья Петровна – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, Россия, 109004;
Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского
(Первый казачий университет), аспирант, ассистент; e-mail: d_mitr96@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

Daria P. Mitroshina – 73 Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004; Razumovsky Moscow State University
of Technology and Management (First Cossack University), Ph.D. Student, Assistant;
e-mail: d_mitr96@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

УДК 637.049

Радиопротекторные ингредиенты композиционного молочного продукта

Г. А. Донская, Л. Г. Креккер, Е. В. Колосова, Т. С. Бычкова*, В. К. Карапетян

**Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва, Россия;*
e-mail: t_bychkova@vnimi.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9539-1600>

Информация о статье *Реферат*

Поступила
в редакцию
02.04.2024;

получена
после доработки
16.04.2024;

принята
к публикации
22.04.2024

Ключевые слова:

гигиеническое
нормирование,
радиопротекторные
ингредиенты,
расторопша пятнистая,
шрот подсолнечника,
йодонорм,
кисломолочные
продукты

Пищевые продукты, обладающие радиопротекторным действием, которые возможно использовать в случае неблагоприятной радиационной обстановки, вызывают особый интерес. Научно обоснованное нормирование таких продуктов в ежедневном рационе питания позволит эффективно применять их для адаптации организма при повышенной радиации, устранения последствий лучевой нагрузки при лечении или обследовании. Целью представленного этапа исследований является анализ алиментарных и физиологических причин, приводящих к хроническому нутриентному дефициту радиопротекторных микроэлементов в рационе питания, а также изучение качественных и биологических характеристик радиопротекторных ингредиентов для создания противолучевой композиции на молочной основе. Экспериментальная часть исследования связана с изучением минерального состава подобранных ингредиентов и их антиоксидантной активности. Полученные данные свидетельствуют о том, что мука расторопши содержит большое количество кальция, а шрот подсолнечника – калия. По содержанию калия шрот подсолнечника превышает содержание микроэлемента в расторопше на 50 %. Количество кальция в расторопше по сравнению со шротом подсолнечника выше на 67 %. Кроме этого, растительное сырье является источником магния, железа, цинка, меди, фосфора и обладает выраженной антиоксидантной активностью. В результате полученных данных проведено научное обоснование внесения ингредиентов для выработки радиопротекторного кисломолочного продукта и использования его в лечебно-профилактическом питании взрослых в целях профилактики лучевых осложнений и выведения радионуклидов из организма. Нормированное количество ингредиентов для употребления в сутки рассчитано согласно рекомендуемым диетам, пищевой, физиологической ценности, физиологической активности. Установлены нормы обогащающих микронутриентов при производстве радиопротекторного молочного продукта, предназначенного для повышения устойчивости организма к действию свободно-радикальных процессов и усиления антиоксидантной способности в условиях радиационного воздействия.

Для цитирования

Донская Г. А. и др. Радиопротекторные ингредиенты композиционного молочного продукта. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 193–204. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-193-204>.

Radioprotective ingredients of a composite dairy product

Galina A. Donskaja, Ludmila G. Krekker, Elena V. Kolosova,
Tatiana S. Bychkova*, Varasdat K. Karapetyan

**All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia;*
e-mail: t_bychkova@vnimi.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9539-1600>

Article info

Received
02.04.2024;

received
in revised form
16.04.2024;

accepted
22.04.2024

Key words:

hygienic standards,
radioprotective
ingredients,
milk thistle,
sunflower meal,
iodoronm,
fermented milk products

Abstract

Food products that have an anti-radiation effect and can be used in conditions of increased radiation are of particular interest. Scientifically based rationing of such products in the daily diet will make it possible to effectively use them to adapt the body to increased radiation and eliminate the effects of radiation exposure during treatment or examination. The purpose of the research presented in the paper is to analyze the nutritional and physiological causes of chronic nutrient deficiency of radioprotective microelements in the diet, to study the qualitative and biological characteristics of radioprotective ingredients to create a milk-based anti-radiation composition. The experimental part of the study has related to researching the mineral composition of selected ingredients and their antioxidant activity. The data obtained indicate that milk thistle flour contains a large amount of calcium, and sunflower meal contains potassium. In terms of potassium content, sunflower meal exceeds the microelement content in milk thistle by 50 %. The amount of calcium in milk thistle is 67 % higher compared to sunflower meal. In addition, plant raw materials are a source of magnesium, iron, zinc, copper, phosphorus and have pronounced antioxidant activity. As a result a scientific substantiation of the addition of ingredients for the production of radioprotective fermented milk product and its use in therapeutic and prophylactic nutrition for adults has been carried out in order to prevent radiation complications and remove radionuclides from the body. The normalized amount of ingredients for consumption per day has been calculated according to recommended diets, nutritional, physiological value, and physiological activity. Standards have been established for enriching micronutrients in the production of a radioprotective dairy product designed to increase the body's resistance to the action of free radical processes and enhance antioxidant capacity under conditions of radiation exposure.

For citation

Donskaya, G. A. et al. 2024. Radioprotective ingredients of a composite dairy product. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 193–204. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-193-204>.

Введение

Правильно организованное питание с учетом радиопротекторных ингредиентов способствует нейтрализации потенциальных угроз, источником которых могут быть промышленные, медицинские и военно-промышленные отходы. Сегодня радиоактивные вещества могут попасть в организм каждого из нас с водой, пищей, из воздуха при возникновении чрезвычайных ситуаций на объектах атомной энергетики. Наличие в атмосфере радиоактивных веществ приводит к внешнему облучению человека. Радиационное воздействие испытывают также пациенты, проходящие радиологические исследования, лучевую терапию. Организация питания и нормирование противолучевых ингредиентов может обеспечить радиопротекторную защиту органов и систем, способствовать выведению радионуклидов, инаktivации лучевого поражения (*Bagchi et al., 2000; Креккер и др., 2023*).

В связи с этим особую актуальность представляет разработка рецептуры продукта на молочной основе с радиопротекторными свойствами, позволяющей эффективно использовать его в условиях повышенной радиации. Ингредиенты продукта включают функционально активные радиопротекторные вещества: источник кальция – антагониста стронция, калия – антагониста цезия; йода, препятствующего поступлению его радиоактивного изотопа; силибинина, входящего в состав силимарина расторопши и обладающего антиоксидантным и гепатопротекторным действием; подсолнечного шрота как источника адаптогенных полисахаридов. Разработанный композиционный продукт может быть использован населением в районах с повышенным радиационным фоном, а также в диетическом питании как дополнительный источник микроэлементов, витаминов и антиоксидантов, обладающий общеукрепляющим действием.

Цель исследования – гигиеническое нормирование ингредиентов при выработке радиопротекторного кисломолочного продукта и разработка предложений по использованию готового продукта в качестве лечебно-профилактического питания взрослых, проходящих лучевую терапию или контактирующих с радиоактивными веществами в силу своих профессиональных обязанностей.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись радиопротекторные ингредиенты: цитрат калия (E332), лактат кальция (E327), мука из семян расторопши (ООО "Специалист", СТО 33974444-011-2019¹), мука из шрота подсолнечника (ООО "АнроПетро", ТУ 10.41.41-229-37676459-2018); напитки кисломолочные с использованием радиопротекторных компонентов, выработанные на базе лаборатории технологий функциональных продуктов ФГАНУ "ВНИМИ" (Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва). В качестве источника стабильного йода, препятствующего поступлению в организм радиоактивного аналога, использован препарат "Йодонорм".

Содержание минеральных веществ определяли согласно ГОСТ Р ИСО 27085-2012 "Корма для животных. Определение содержания кальция, натрия, фосфора, магния, калия, железа, цинка, меди, марганца, кобальта, молибдена, мышьяка, свинца и кадмия методом ИСП-АЭС" (*Юрова и др., 2021*).

Антиоксидантную активность растительного сырья устанавливали по массовой концентрации антиоксидантов, эквивалентной активности галловой кислоты амперометрическим методом на приборе "ЦветЯуза 01-АА".

Результаты и обсуждение

Нормирование обогащающих ингредиентов для получения радиопротекторного продукта обусловлено такими факторами, как регион проживания, возраст потребителей, коэффициент физической активности, пол и зависящие от них энергетический обмен и потребность в нутриентах. В настоящее время подбор оптимальных количественных и качественных параметров рациона базируется, как правило, на принципах персонализированного питания, но за основу берутся фундаментальные закономерности оптимального рациона, подтвердившие свою эффективность и функциональность.

Методические рекомендации 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" являются основополагающим документом при подборе рациона. Нормативы рекомендаций сбалансированы с учетом суточного рациона и могут корректироваться в зависимости от метаболических нарушений в сторону ограничения или увеличения доли отдельных нутриентов. Важно в этом случае, чтобы конечные продукты оказывали специфическое влияние на восстановление нарушенных или утраченных функций организма после облучения, либо способствовали профилактике нарушений метаболических процессов в условиях повышенной радиации и увеличивали адаптивные возможности организма человека.

¹ Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

Персонализация рациона в сторону кардинального изменения состава нутриентов проводится подбором лечебно-профилактического питания на основе результатов медицинского обследования, результатов лабораторных анализов, определения пищевого и метаболического статуса пациента. Например, потребность в молочном белке зависит от образа жизни и физических нагрузок, но в условиях повышенной радиации она неоспорима. Даже при низкой физической активности не рекомендуется занижать количество белка, так как это может способствовать предотвращению риска набора избыточной массы, поскольку белок обладает термогенным эффектом, повышая базальную скорость обмена веществ. Но при повышенных умственных нагрузках у людей с низким коэффициентом физической активности и пожилых людей, доля белка в калорийности должна составлять не менее 14 % от суточной нормы, а для лиц, занятых физическим трудом, – ниже 12 % (МР 2.3.1.0253-21). Недостаток белка в рационе питания может проявляться в изменении показателей протеинового метаболизма сыворотки крови: снижается концентрация общего белка, альбуминов, а также альбумин-глобулиновый коэффициент. Это ведет к снижению активности ферментов, гемоглобина и эритроцитов, уменьшению пула иммуноглобулинов и субстратов системы биотрансформации ксенобиотиков. При хроническом белковом голодании могут наблюдаться признаки распада собственных белков с развитием аутоинтоксикации, что необходимо учитывать в условиях повышенного радиационного воздействия (Гудков, 2022).

В условиях повышенной радиоактивности минеральные вещества необходимы не только для защиты от радиации, но также для построения тканевых структур, поддержания кислотно-щелочного равновесия, водно-солевого обмена (Донская и др., 2023б). Кальций – значимый элемент защиты от радиоактивного стронция. При недостатке кальция поражение организма стронцием увеличивается в разы (Jagetia et al., 2005). Этот макроэлемент минерального баланса костной ткани и профилактики остеопороза участвует в нервной проводимости, влияет на свертываемость крови в условиях радиации. Физиологическая потребность в кальции для взрослых – 1000, для пожилых людей старше 65 лет – 1200 мг/сутки (МР 2.3.1.0253-21). При радиационном воздействии потребность в кальции увеличивается. Оптимальное для всасывания и усвоения кальция соотношение содержания кальция к фосфору в рационе составляет 1 : 1. Использование молочной основы для получения противолучевой композиции позволяет приблизить их соотношения к оптимуму. Для нормального кальциевого баланса в условиях радиации необходимо ежедневно вводить с пищей 0,4–0,5 г кальция взрослым, 0,4–0,7 – подросткам и 1–1,2 г – беременным женщинам (Кузнецов, 2011).

Калий не только блокирует радиоактивный цезий, но и регулирует деятельность скелетных мышц, тканей сердца, почек, активизирует работу печени, важен для поддержания гомеостаза кальция, магния и натрия. Натриево-калиевый обмен – это тонко настроенный механизм, разрушающийся при интоксикации, рвоте и диарее, снижающих уровень калия в организме. С этими изменениями связывают нарушение энергетического обмена, способность организма вырабатывать защитные белки и усваивать углеводы, поддерживать соответствующее осмотическое давление в клетках. Ионы калия принимают участие в образовании ацетилхолина, в процессах проведения нервного возбуждения к мышцам. Это означает, что они могут сохранять правильный баланс жидкости для оптимального функционирования (Болдырев, 2008).

Население большинства районов России, значительно удаленных от океанических побережий, ежедневно испытывает дефицит йода в рационе питания. При появлении радионуклидов йода в атмосфере в щитовидной железе происходит его интенсивное накопление. Установлено, что при 50 % дефиците йода в рационе (до 75 мкг/сутки) интенсивность накопления йода возрастает в 2,7 раза (Трошина, 2022). Радиационные поражения щитовидной железы в этих условиях протекают более тяжело и проявляются на ранних сроках. При наличии гиперфункции (гипертериоз) щитовидной железы накопление происходит быстрее и достигает 50 % от поступления. При гипофункции накопление дозы происходит медленнее и в меньшем количестве – до 15–25 % (Литвицкий, 2012). У большинства людей, длительно испытывающих дефицит йода, начинается микроэлементозный мультидефицит. На фоне гормонального дисбаланса в этом случае не хватает в питании сразу нескольких микроэлементов (Маюрникова и др., 2020).

Неправильное питание, ухудшение экологии, несбалансированный рацион, стрессы приводят к увеличению расхода микро- и макроэлементов для антиоксидантной защиты человека. В связи с этим в рацион подрастающего и стареющего поколения, которые подвержены наибольшему радиационному поражению, рекомендуется обязательно включать продукты, обогащенные молочными белками, полиненасыщенными жирными кислотами, углеводами, витаминами, минеральными солями, в том числе такими важными элементами, как кальций, калий и йод.

В табл. 1 показаны основные причины, являющиеся сегодня основанием для обогащения пищевого рациона микро- и макроэлементами кальция, калия и йода.

Таблица 1. Алиментарные и физиологические причины нутриентного дефицита радиопротекторных минеральных веществ (Коденцова, 2016; Трошина, 2022; Маюрникова и др., 2020; Донская и др., 2024)

Table 1. Alimentary and physiological causes of nutrient deficiency of radioprotective minerals (Kodentsova et al., 2016; Troshina, 2022; Mayurnikova et al., 2020; Donskaja et al., 2024)

Минеральное вещество		
Кальций	Калий	Йод
Неправильная организация питания с недостаточным поступлением кальция и витамина Д	Недостаточное поступление в результате нерационального питания	Недостаточное количество белка в пище, морепродуктов, селена, кобальта, марганца
Низкая масса тела	Голодание, недостаточный вес	Наследственная предрасположенность
Дефицит эстрогенов в условиях облучения в силу преклонного возраста	Нарушение выделительных систем вследствие облучения: почки, кишечник, кожа	Проживание в регионе с низким содержанием йода в почве и воде, районах Крайнего Севера, отдаленных от моря регионах
Наличие вредных привычек	Чрезмерное выведение калия при диарее или рвоте	Наличие вредных привычек
Частые физические нагрузки или падения	Избыток натрия в рационе питания	Отказ от употребления йодированной соли, хлеба
Нарушение сна	Хронический стресс	Наличие очагов инфекции в полости рта и носоглотки
Низкая физическая активность	Высокие физические нагрузки	Бесконтрольный прием антибактериальных препаратов

Роль алиментарных факторов в развитии осложнений после облучения имеет важное, а в некоторых случаях – решающее значение. Среди добавок, применяемых для обогащения пищевых продуктов йодом, предпочтение отдается соединениям йода с белками, в том числе – сывороточными (Донская и др., 2024; Пряничникова и др., 2012).

К разряду безопасных хелатированных соединений йода относят йодказеин (торговое название "Йод-Актив"), который состоит из сухого обезжиренного молока, лактозы моногидрата, йодказеина и кальция стеарата 1-водного. Содержащаяся в нем лактопероксидаза соединялась с молекулой йода, результатом чего являлись йодированные белки молока. После катастрофы на ЧАЭС об этом изобретении вспомнили во Всероссийском научно-исследовательском институте радиологии и агроэкологии Научно-исследовательского центра "Курчатовский институт". В Национальном медицинском исследовательском центре радиологии группа ученых под руководством директора института академика РАМН Анатолия Цыба получила уникальный препарат "Йод-Актив". Йод в казеине связан прочной химической связью с одной из аминокислот – тирозином. Сформированная связь устойчива при длительном хранении и к воздействию температур (Цыб и др., 2001).

Разработаны соединения йода с α -лактальбумином, β -лактоглобулином, их смесями или гидролизатами. В Сколково в рамках Акселератора технологических стартапов в 2022 г. Феликс Дю представил разработку препарата "Йодонорм". Продукт содержит 25–30 г/кг йода (Савлукова и др., 2023). Его второе название – "Биойод 150", имеет в составе белок йодированный молочный, лактозу, крахмал картофельный, кальция стеарат (E470). Как заявляют разработчики, в отличие от йодказеина препарат не содержит свободного йода, он хорошо растворим в воде и не вызывает аллергию. Пищевая добавка "Биойод" предназначена для использования в пищевой промышленности в качестве источника натурального, легкодоступного органически связанного йода для повышения функциональной, биологической и пищевой ценности продуктов питания с целью устранения рисков возникновения йододефицитных состояний человека (Тутельян и др., 2020).

Препарат Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН представляет собой молочный йодированный порошкообразный белок, который получают путем ферментативного йодирования аминокислотных остатков сывороточных белков коровьего молока с последующей дополнительной очисткой от неорганического йода с помощью ультрафильтрации, а также сублимационной или распылительной сушки. Благодаря ковалентной связи йода с белками сухой концентрат "Йодонорм" обладает высокой стабильностью при нагреве, устойчивостью к свету и нагреванию и способен длительно храниться. Это исключает возможность высвобождения йода и его отрицательного воздействия на физико-химические, органолептические характеристики готовой продукции, что позволяет получать продукты с фиксированным содержанием йода. В табл. 2 приведены сравнительные характеристики препаратов.

Таблица 2. Отличительные особенности пищевых форм йода
(Савлукова и др., 2023; Тутельян и др., 2020)
Table 2. Distinctive features of dietary forms of iodine
(Savlukova et al., 2023; Tutelyan et al., 2020)

Характеристика препарата	"Биойод"	"Йодказеин"	"Йодонорм"	KI, KIO ₃
Содержание свободного йода	Не содержит	Может содержать свободный йод и йодиды	Не содержит	Содержат свободный йод, имеющий повышенную способность к комплексообразованию
Наличие органического йода	+	+	+	В составе только неорганические формы йода
Растворимость	Легко растворим в воде	Плохо растворим в воде	Хорошо растворим в воде	Быстрорастворимы
Отношение к pH среды	Инертен по отношению к pH среде	Чувствителен к pH среде	Малочувствителен к свету и pH среде	Зависимы от pH среды
Себестоимость	Невысокая	Высокая	Невысокая	Низкая
Токсичность	Не токсичен в широком диапазоне дозировок	Может иметь токсичные проявления	Не токсичен в большом диапазоне дозировок	Токсичны, имеют побочные эффекты
Биодоступность	Высокая биологическая эффективность и биометаболизм	Средняя биодоступность	Высокая биологическая доступность	Не совместим с биометаболизмом

Анализ источников показал, что наиболее дорогой добавкой является "Йодказеин". Кроме достоинств он имеет недостатки в виде низкой растворимости и вероятности наличия свободного йода. "Йодказеин" не может быть очищен от примесей свободного йодид-иона, молекулярного йода и побочных продуктов реакций по причине того, что порошок казеина в воде не растворяется. При смешивании с водой раствор казеина является не истинным белковым раствором, а мелкодисперсной взвесью микрочастиц казеиновых мицелл, которые набухают в жидкостях и равномерно распределяются в объеме без полного растворения (Тутельян и др., 2020). Неорганические формы йода, несмотря на хорошую растворимость и невысокую цену, отличаются высокой токсичностью и наличием побочных эффектов. Среди представленных на рынке соединений наиболее перспективными добавками являются очищенные от свободного йода "Биойод" или "Йодонорм".

Суточную потребность или рекомендуемую норму потребления йода для взрослого человека – 150 мкг – рассчитывают исходя из МР 2.3.1.0253-21. Верхний предел безопасного уровня потребления йода при отсутствии противопоказаний составляет 1 000 мкг/сут. В молочные продукты йод можно внести в количестве 10–50 % от нормы физиологической потребности человека, что составляет 15–75 мкг йода (согласно ГОСТ Р 52349-2005) на суточную порцию продукта. Внесение в 100 г продукта 75,0 мкг йода обеспечивает 50 % от суточной нормы.

Для йодказеина, "Йодонорма" и "Биойода" разработаны регламенты применения в пищевой отрасли. Для использования в пищевой промышленности йодказеина руководствуются методическими рекомендациями МР 2.3.7.1916-04 "Состояние здоровья населения в связи с состоянием питания. Применение йодказеина для предупреждения йоддефицитных заболеваний в качестве средства популяционной, групповой и индивидуальной профилактики йодной недостаточности". Расход вещества по МР не должен быть более 6,5 г на тонну творога и не более 9 г на тонну сыра. Этапы предварительной подготовки включают растворение в воде или пастеризованном молоке (в 1 000 см³ пастеризованного и подогретого до температуры 50–60 °С молока, вносят 5,0 ± 0,1 г йодказеина, 0,5 % раствор). Далее смесь перемешивают в течение 60–75 мин до растворения и используют сразу, но хранить раствор разрешается не более 3-х суток в холодильнике. Полученный раствор вносят на этапе до или после пастеризации, дозировку производят из расчета 1 л раствора на 1 т готовой продукции.

Содержание йода в пищевой добавке "Йодонорм" составляет 2,5 %. В 1 г добавки содержится 0,025 г йода или 25 000 мкг. На 1 т профилактического молочного продукта вносят 6 г "Йодонорма", что составляет 100 % от суточной потребности. Предварительно его рекомендуется развести в небольшом

количестве пастеризованного молока при температуре 20–30 °С, перемешать до полного растворения в течение 3–5 мин и добавить в молоко перед пастеризацией.

Одним из направлений повышения радиорезистентности организма является стимулирование его собственной антиоксидантной системы. С этой целью помимо прямого источника йода в рецептуру продукта предусмотрено введение ингредиентов растительного происхождения в виде муки из семян расторопши и муки из шрота подсолнечника, взятых в определенном соотношении. При нормировании количества растительного сырья в рецептуре необходимо учитывать содержание таких минеральных веществ, как кальций, калий, йод – антагонистов радионуклидов стронция, цезия и радиоактивного йода соответственно. При этом указанные продукты обладают высокой биологической активностью за счет содержания в них комплекса витаминов, минералов, природных антиоксидантов. В семенах расторопши содержится более 200 компонентов, обладающих высокой биологической активностью (Донская и др., 2023a). В них присутствуют несколько видов флаволигнанов. Это силибин, силидианин, силикрестин, последний является мощным комплексом природных антиоксидантов, блокирующим действие токсинов. Жирные масла расторопши и шрота обеспечивают нормальный процесс деления клеток, защищая их от канцерогенов, положительно влияют на обменные процессы. Флавоноиды растительных ингредиентов нейтрализуют свободные радикалы, укрепляют капилляры, алкалоиды улучшают циркуляцию крови. Органические кислоты выводят вредные вещества из организма. Лигнаны связывают и выводят токсические вещества, регулируют гормональное равновесие, кислородный обмен. Расторопша богата макро- и микроэлементами (Hussain et al., 2022). Наличие селена укрепляет защитные силы организма, повышает антиоксидантную систему, обеспечивает нормальное состояние сосудов. В расторопше содержатся витамины А, Е, К, Д, F и группы В (Shivappa et al., 2022).

Проведенный анализ химического состава радиопротекторных ингредиентов показал целесообразность и возможность их использования при производстве функциональных продуктов (табл. 3).

Таблица 3. Минеральный состав и антиоксидантная активность радиопротекторных ингредиентов
Table 3. Mineral composition and antioxidant activity of radioprotective ingredients

Ингредиенты	Минеральный состав, мг/100 г								
	Ca	Mg	K	P	Cu	Zn	Fe	I	АОА
Лактат кальция	14 090,1	–	–	–	–	–	–	–	3,5 ± 0,4
Цитрат калия	–	–	38 195	–	–	–	–	–	2,8 ± 0,6
Мука из семян расторопши	1 006,9	457,2	1 082,7	701,48	1,62	6,07	8,26	–	409 ± 15
Мука из шрота подсолнечника	436,6	765,1	1 692,5	1 266,0	1,93	9,39	16,73	–	450 ± 30
"Йодоном"	–	–	–	–	–	–	–	2 500	

Результаты исследований показали, что ингредиенты растительного происхождения отличаются богатым макро- и микроэлементным составом. При этом лидирующую роль среди минеральных элементов, кроме кальция, занимает мука из шрота подсолнечника. Содержание солей в этом продукте превышает аналогичные показатели в муке расторопши от 1,5 до 2 раз. Значительно, относительно расторопши, увеличена концентрация железа и цинка, играющих важную роль в метаболических и окислительно-восстановительных процессах, повышающих антиоксидантную активность ферментов организма человека. Но концентрация кальция в муке из шрота подсолнечника в 2,3 раза ниже, чем в муке расторопши. Полученные экспериментальные данные показали, что расторопша пятнистая и шрот подсолнечника обладают выраженной антиоксидантной активностью. Ранее проведенные эксперименты показали, что шрот подсолнечника отличается также высоким содержанием белка и сбалансированностью аминокислотного состава (Донская и др., 2023a). Полифенолы подсолнечника, в том числе хлорогеновая кислота, обладают выраженными радиопротекторными свойствами. Подсолнечный шрот богат витаминами группы В, ниацином, рибофлавином, холином, биотином, пантотеновой кислотой, пиридоксином. В нем содержится большое количество витамина Е, являющегося сильнейшим антиоксидантом (Макарова и др., 2004).

Флавоноиды и их метаболиты, входящие в состав ингредиентов растительного происхождения, согласно аналитическим данным (Devi et al., 2000), помимо антиоксидантных свойств выполняют функцию нейропротекторную, кардиопротекторную, противовоспалительную и химиофилактическую. По мнению авторов, флавоноиды могут оказывать моделирующее действие на клеточную систему посредством прямого воздействия на различные сигнальные пути. Флавонолы и флавононы, начиная с концентрации более 10 мкМ, подавляют перекисное окисление липидов, в том числе индуцированных ионизирующим облучением. Радиозащитные эффекты флавоноидов по снижению уровня хромосомных аббераций костного мозга отмечали в экспериментах на мышах при применении их до и после облучения (Bagchi et al., 2000; Galstyan et al., 2019). Применение флавоноидов наиболее эффективно при воздействии ионизирующего

облучения низкой интенсивности, например, в случае проживания на загрязненной радионуклидами местности, когда возможно применение только безопасных профилактических продуктов.

Для включения композиционного продукта в рацион лечебно-профилактического питания необходимо учитывать его нормированное количество в сутки согласно рекомендуемой диете. В настоящее время при составлении лечебно-профилактического рациона диетологи руководствуются рекомендациями приказа Минздрава РФ № 330 от 05.08.2003 г.², содержащего 37 видов различных диет. Молочный продукт, имеющий композиционный состав, обогащенный кальцием, калием и йодом, может стать составляющей диет № 3 и 4 – с повышенным содержанием белка, № 7 – с заболеваниями желез внутренней секреции, № 9 – диеты для людей с заболеваниями нервной системы, № 10 – с заболеваниями печени, № 11 – с заболеваниями пищевода, желудка и 12-перстной кишки, № 13 – с заболеваниями сердца, № 14 – с заболеваниями суставов, № 15 – при диетической терапии и нормальном состоянии органов пищеварения и отсутствии показаний для назначения специализированной диеты, в основных и стандартных диетах.

Разрабатываемый продукт также может быть включен в питание людей, подверженных осложнениям в результате отравления, профессиональных заболеваний, прохождения химиотерапии, свидетельствующих о нарушении питания и повышении потребности в пищевых веществах и энергии (Буянова и др., 2017). Например, при:

- индексе массы тела менее 20 кг/м²; потеря массы тела на 10 % и более за последние 6 месяцев;
- нарушении белково-образовательной и транспортной функций печени;
- низкой концентрации в плазме крови альбумина (менее 35 г/л), трансферрина (менее 2 г/л), преальбумина (менее 180 г/л);
- клинико-лабораторных признаках токсического поражения системы крови: анемии, цитопенических реакциях;
- хронических инфекционных и воспалительных процессах, осложняющих течение основного профессионального заболевания и протекающих с повышенным распадом белка и повышенной потребностью в энергии;
- токсических энцефалопатий с вегетососудистым или нейроэндокринным синдромами с повышением функции щитовидной железы и симпатoadреналовой системы;
- заболеваниях и поражениях органов пищеварительного тракта, сопровождающихся диареей и нарушением всасывания и усвояемости пищи.

Пример нутриентного состава композиционного радиопротекторного продукта представлен в табл. 4.

Таблица 4. Пищевая и энергетическая ценность 100 г композиционного радиопротекторного продукта
Table 4. Nutritional and energy value of 100 g composite radiation protection product

Наименование показателя	Количество
Массовая доля, %	
Белок	3,8 ± 0,5
Жир	3,2 ± 0,3
Углеводы	4,7 ± 0,7
Пищевые волокна	8,4 ± 0,7
Массовая доля макроэлементов, мг/%	
Йод	0,001
Магний	10,49
Кальций	125,20
Железо	0,34
Калий	927,50
Цинк	0,54
Пищевая ценность, ккал	69,10
Энергетическая ценность, кДж	289,06

После необходимой оценки таких показателей, как адекватность энергетической и пластической сторон питания; витаминно-минеральный баланс, результаты лабораторных исследований крови, мочи, и тип лечебно-диетического питания в зависимости от состояния здоровья, продукт потенциально может быть использован как радиопротекторный в рационе людей, подверженных воздействию повышенной лучевой нагрузки, токсическим отравлениям, для снижения внутренней дозы облучения и повышения

² О мерах по совершенствованию лечебного питания в лечебно-профилактических учреждениях Российской Федерации : приказ Министерство здравоохранения РФ от 5 августа 2003 г. № 330. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901871304?ysclid=1w608yjhq7456210118>.

радиорезистентности организма. В табл. 5 представлены рекомендуемые количества продукта в лечебно-диетическом рационе с учетом МР 2.3.1.1915-04 "Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ".

Таблица 5. Рекомендуемые нормы потребления обогащающих микронутриентов и радиопротекторного продукта
Table 5. Recommended intake rates of fortifying micronutrients and radioprotective product

Наименование	Профилактическая доза или адекватный уровень потребления в сутки	Курс приема, дни	Лечебная доза с учетом верхнедопустимого уровня потребления в сутки	Курс приема, дни
Белок*	75–114 г	12–14		18–21
Кальций	1 250 мг	12–14	2 500 мг	18–21
Фосфор	800 мг	12–14	1 600 мг	18–21
Калий	2 000 мг	12–14	4 000 мг	18–21
Йод	150 мкг	12–14	300 мкг	18–21
Радиопротекторный продукт обогащенный**	100 г	12–14	200 г	18–21

Примечание. *Для обеспечения азотистого равновесия минимальная потребность в белке, аминокислотный скор которого с учетом усвояемости соответствует 1,0, составляет 0,83 г на кг массы тела; ** приказ от 19 августа 2016 г. № 614 "Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания"³ – не менее 7 кг в год.

Скорректированный по отдельным показателям в соответствии с рекомендуемыми нормами потребления продукт может быть включен в рацион питания людей, нуждающихся в адаптации организма к условиям повышенной радиации или лучевой нагрузки, рекомендован людям с остеопорозом, для профилактики сердечно-сосудистых заболеваний и при пониженной функции щитовидной железы.

Заключение

В результате проведенных исследований:

- 1) проанализированы алиментарные и физиологические причины нутриентного дефицита радиопротекторных микроэлементов в рационе питания. Выявлены основные условия, являющиеся основанием для обогащения микронутриентами кальция, калия и йода;
- 2) показаны отличительные особенности пищевых форм йода и приведена их сравнительная характеристика. Теоретически обосновано внесение в композиционный состав кисломолочного продукта пищевой добавки "Йодонорм", содержащей хелатированные формы йода;
- 3) изучен минеральный состав радиопротекторных ингредиентов растительного происхождения, которые могут использоваться в качестве аналогов радионуклидов йода, цезия и стронция при обогащении молочных продуктов;
- 4) установлено, что мука из отборных семян расторопши и шрота подсолнечника обладает выраженной антиоксидантной активностью;
- 5) теоретически обосновано внесение ингредиентов рецептуры при выработке радиопротекторного кисломолочного продукта в качестве диетического лечебного питания взрослых для профилактики лучевых осложнений и выведения радионуклидов из организма;
- 6) рассчитано ориентировочное нормированное количество суточного потребления продукта для включения его в рацион лечебно-профилактического питания согласно рекомендуемым диетам и пищевой ценности;
- 7) показано, что обогащение молочных продуктов натуральными пищевыми добавками, содержащими органические витамины, макро- и микроэлементы, ферменты и другие БАВ, является наиболее физиологичным, безвредным способом, повышающим радиорезистентность организма.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

³ Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания : приказ Министерство здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420374878?ysclid=lw611stmun774990399>.

Библиографический список

- Болдырев А. А. Роль Na/K-насоса в возбудимых тканях (обзор) // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Биология. 2008. Т. 1, № 3. С. 206–225. EDN: КАОРОВ.
- Буянова И. В., Федотова О. Б. Современные технологии упаковывания и хранения молочных продуктов. Кемерово : Кемеровский технологический ин-т пищевой пром-сти, 2017. 121 с.
- Гудков С. В. Частные вопросы радиационной биофизики. Нижний Новгород : ННГУ, 2022. 235 с.
- Донская Г. А., Креккер Л. Г., Дрожжин В. М. Исследование радиопротекторного потенциала шрота подсолнечника как ингредиента молочного продукта // Переработка молока. 2023а. № 11(289). С. 44–49. EDN: NOGJBN.
- Донская Г. А., Креккер Л. Г., Колосова Е. В., Бычкова Т. С. Особенности профилактической защиты от радиоактивного йода // Пищевая промышленность. 2024. № 1. С. 50–55. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2024.1.1.009>. EDN: SODLVA.
- Донская Г. А., Креккер Л. Г., Колосова Е. В., Дрожжин В. М. [и др.]. Растительные радиопротекторы в технологии молочных продуктов // Маслоделие и сыроделие. 2023б. № 4. С. 103–108. DOI: <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2023-4-7>. EDN: QCONYA.
- Коденцова В. М. Об обогащении пищевых продуктов витаминами // Вопросы питания. 2016. Т. 85, № 4. С. 87–90. EDN: WHPVBD.
- Креккер Л. Г., Донская Г. А., Колосова Е. В., Карапетян В. К. Радиопротекторные ингредиенты для получения молочных продуктов // Переработка молока. 2023. № 9(287). С. 16–20. DOI: <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2023-9-16-20>. EDN: IBFSBY.
- Кузнецов И. Защити себя сам, или ДИЕТА против радиации // Экология и жизнь. 2011. № 5. С. 90–92. EDN: NXPLPR.
- Литвицкий П. Ф. Патология эндокринной системы. Этиология и патогенез эндокринопатий: нарушения функций щитовидной и паращитовидных желез // Вопросы современной педиатрии. 2012. Т. 11, № 1. С. 61–75. DOI: <https://doi.org/10.15690/vsp.v11i1.134>. EDN: OXJANP.
- Макарова М. Н., Макаров В. Г., Зенкевич И. Г. Антирадикальная активность флавоноидов и их комбинации с другими антиоксидантами // Фармация. 2004. № 2. С. 30–32.
- Маюрникова Л. А., Кокшаров А. А., Крапива Т. В., Новоселов С. В. Обогащение пищевых продуктов как фактор профилактики микронутриентной недостаточности // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 1. С. 124–139. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-124-139>. EDN: NPHEOS.
- Пряничникова Н. С., Федотова О. Б., Макеева И. А. Инновационная технология творожного продукта // Пищевая промышленность. 2012. № 9. С. 32–33. EDN: PDHTIN.
- Савлукова Ю. О., Ковалева Е. Г. Получение функционального йогурта, обогащенного йодом в биодоступной форме // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые и биотехнологии. 2023. Т. 11, № 2. С. 83–92. DOI: [10.14529/food230210](https://doi.org/10.14529/food230210). EDN: HMHNLС.
- Трошина Е. А. Устранение дефицита йода – забота о здоровье нации. Экскурс в историю, научные аспекты и современное состояние правового регулирования проблемы в России // Проблемы эндокринологии. 2022. Т. 68, № 4. С. 4–12. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl13154>. EDN: GAKKBM.
- Тутельян В. А., Онищенко Г. Г., Гуревич К. Г., Погожева А. В. Здоровое питание : роль БАД / под науч. ред. А. В. Погожевой. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2020. 475 с.
- Цыб А. Ф., Розиев Р. А., Гончарова А. Я., Григорьев А. Н. [и др.]. Функциональная пригодность йодказеина для профилактики йодной недостаточности // Вестник Российской академии медицинских наук. 2001. № 6. С. 17–21. EDN: KWQNKY.
- Юрова Е. А., Кобзева Т. В., Фильчакова С. А. Особенность разработки экспресс-методов определения сроков годности функциональных продуктов на молочной основе длительного хранения // Пищевая промышленность. 2021. № 3. С. 36–39. DOI: [10.24412/0235-2486-2021-3-0026](https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-3-0026). EDN: GKJJML.
- Bagchi D., Bagchi M., Stohs S. J., Das D. K. [et al.]. Free radicals and grape seed proanthocyanidin extract: Importance in human health and disease prevention // Toxicology. 2000. Vol. 148, Iss. 2–3. P. 187–197. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0300-483x\(00\)00210-9](https://doi.org/10.1016/s0300-483x(00)00210-9).
- Devi P. U., Ganasoundari A., Vrinda B., Srinivasan K. K. [et al.]. Radiation protection by the ocimum flavonoids orientin and vicenin: Mechanisms of action // Radiation Research. 2000. Vol. 154, Iss. 4. P. 455–460. DOI: [https://doi.org/10.1667/0033-7587\(2000\)154\[0455:rpbtotf\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1667/0033-7587(2000)154[0455:rpbtotf]2.0.co;2).
- Galstyan A. G., Turovskaya S. N., Ryabova A. E., Illarionova E. E. [et al.]. Technological additives as an element of dry milk properties directed formation // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2019. Vol. 4, N 436. P. 95–102. DOI: <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170x.102>. EDN: VHKNW.
- Hussain S. M., Adnan M., Rasul A., Shah M. A. [et al.]. Radioprotective role of natural polyphenols: From sources to mechanisms // Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry. 2022. Vol. 22, Iss. 1. P. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.2174/1871520621666210419095829>.

- Jagetia G. C., Reddy T. K. Modulation of radiation-induced alteration in the antioxidant status of mice by naringin // *Life Sciences*. 2005. Vol. 77, Iss. 7. P. 780–794. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.01.015>.
- Shivappa P., Bernhardt G. V. Natural radioprotectors on current and future perspectives: A mini-review // *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*. 2022. Vol. 14, Iss. 2. P. 57–71. DOI: https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_502_21.

References

- Boldyrev, A. A. 2008. The role of the Na/K pump in excitable tissues (review). *Journal of Siberian Federal University. Biology*, 1(3), pp. 206–225. EDN: KAOPOB. (In Russ.)
- Buyanova, I. V., Fedotova, O. B. 2017. Modern technologies for packaging and storage of dairy products. Kemerovo. (In Russ.)
- Gudkov, S. V. 2022. Particular issues of radiation biophysics. Nizhny Novgorod. (In Russ.)
- Donskaya, G. A., Krekker, L. G., Drozhzhin, V. M. 2023a. Study of the radioprotective potential of sunflower meal as an ingredient in a dairy product. *Pererabotka moloka*, 11(289), pp. 44–49. EDN: NOGJBN. (In Russ.)
- Donskaya, G. A., Krekker, L. G., Kolosova, E. V., Bychkova, T. S. 2024. Features of preventive protection against radioactive iodine. *Food Industry*, 1, pp. 50–55. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2024.1.1.009>. EDN: SODLVA. (In Russ.)
- Donskaya, G. A., Krekker, L. G., Kolosova, E. V., Drozhzhin, V. M. et al. 2023b. Plant radioprotectors in the technology of dairy products. *Cheese- and Buttermaking*, 4, pp. 103–108. DOI: <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2023-4-7>. EDN: QCOHYA. (In Russ.)
- Kodentsova, V. M. 2016. On the enrichment of food products with vitamins. *Problems of Nutrition*, 85(4), pp. 87–90. EDN: WHPVBD. (In Russ.)
- Krekker, L. G., Donskaya, G. A., Kolosova, E. V., Karapetyan, V. K. 2023. Radioprotective ingredients for the production of dairy products. *Milk Branch Magazine*, 9(287), pp. 16–20. DOI: <https://doi.org/10.33465/2222-5455-2023-9-16-20>. EDN: IBFSBY. (In Russ.)
- Kuznetsov, I. 2011. Protect yourself, or DIET against radiation. *Ekologiya i Zhizn'*, 5, pp. 90–92. EDN: NXPLPR. (In Russ.)
- Litvitsky, P. F. 2012. Pathology of the endocrine system. Etiology and pathogenesis of endocrinopathies: Dysfunction of the thyroid and parathyroid glands. *Current Pediatrics*, 11(1), pp. 61–75. DOI: <https://doi.org/10.15690/vsp.v11i1.134>. EDN: OXJANP. (In Russ.)
- Makarova, M. N., Makarov, V. G., Zenkevich, I. G. 2004. Antiradical activity of flavonoids and their combinations with other antioxidants. *Farmatsiya*, 2, pp. 30–32. (In Russ.)
- Mayurnikova, L. A., Koksharov, A. A., Krapiva, T. V., Novoselov, S. V. 2020. Enrichment of food products as a factor in the prevention of micronutrient deficiency. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(1), pp. 124–139. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-1-124-139>. EDN: NPHEOS. (In Russ.)
- Pryanichnikova, N. S., Fedotova, O. B., Makeeva, I. A. 2012. Innovative technology of curd product. *Food Industry*, 9, pp. 32–33. EDN: PDHTIH. (In Russ.)
- Savlukova, Yu. O., Kovaleva, E. G. 2023. Preparation of functional yogurt enriched with iodine in a bioavailable form. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Pishchevye i biotekhnologii*, 11(2), pp. 83–92. DOI: 10.14529/food230210. EDN: HMHNL. (In Russ.)
- Troshina, E. A. 2022. Elimination of iodine deficiency is a concern for the health of the nation. An excursion into the history, scientific aspects and the current state of the legal regulation of the problem in Russia. *Problems of Endocrinology*, 68(4), pp. 4–12. DOI: <https://doi.org/10.14341/probl13154>. EDN: GAKKBM. (In Russ.)
- Tutelyan, V. A., Onishchenko, G. G., Gurevich, K. G., Pogozheva, A. G. 2020. Healthy nutrition: The role of dietary supplements. Moscow. (In Russ.)
- Tsyb, A. F., Roziev, R. A., Goncharova, A. Ya., Grigori'ev, A. N. et al. 2001. Functional suitability of iodocasein for the prevention of iodine deficiency. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*, 6, pp. 17–21. EDN: KWQNKY. (In Russ.)
- Yurova, E. A., Kobzeva, T. V., Filchakova, S. A. 2021. Features of the development of express methods for determining the shelf life of functional products on a dairy basis for long-term storage. *Food Industry*, 3, pp. 36–39. DOI: 10.24412/0235-2486-2021-3-0026. EDN: GKJJML. (In Russ.)
- Bagchi, D., Bagchi, M., Stohs, S. J., Das, D. K. et al. 2000. Free radicals and grape seed proanthocyanidin extract: Importance in human health and disease prevention. *Toxicology*, 148(2–3), pp. 187–197. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0300-483x\(00\)00210-9](https://doi.org/10.1016/s0300-483x(00)00210-9).
- Devi, P. U., Ganasoundari, A., Vrinda, B., Srinivasan, K. K. et al. 2000. Radiation protection by the ocimum flavonoids orientin and vicenin: Mechanisms of action. *Radiation Research*, 154(4), pp. 455–460. DOI: [https://doi.org/10.1667/0033-7587\(2000\)154\[0455:rpbtotf\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1667/0033-7587(2000)154[0455:rpbtotf]2.0.co;2).

- Galstyan, A. G., Turovskaya, S. N., Ryabova, A. E., Illarionova, E. E. et al. 2019. Technological additives as an element of dry milk properties directed formation. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 4(436), pp. 95–102. DOI: <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170x.102>. EDN: VHKNHW.
- Hussain, S. M., Adnan, M., Rasul, A., Shah, M. A. et al. 2022. Radioprotective role of natural polyphenols: From sources to mechanisms. *Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry*, 22(1), pp. 30–39. DOI: <https://doi.org/10.2174/1871520621666210419095829>.
- Jagetia, G. C., Reddy, T. K. 2005. Modulation of radiation-induced alteration in the antioxidant status of mice by naringin. *Life Sciences*, 77(7), pp. 780–794. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2005.01.015>.
- Shivappa, P., Bernhardt, G. V. 2022. Natural radioprotectors on current and future perspectives: A mini-review. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 14(2), pp. 57–71. DOI: https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_502_21.

Сведения об авторах

Донская Галина Андреевна – ул. Люсиновская, 35/7, г. Москва, Россия, 115093;
Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, д-р биол. наук,
научный консультант;
e-mail: g_donskaya@vnimi.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6270-7579>

Galina A. Donskaja – 35/7 Lyusinovskaya Str., Moscow, Russia, 115093;
All-Russian Dairy Research Institute, Dr Sci. (Biology), Scientific Consultant;
e-mail: nitkina@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6270-7579>

Креккер Людмила Геннадьевна – канд. техн. наук, научный руководитель аспиранта;
e-mail: krekker@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6905-6625>

Lyudmila G. Krekker – Cand. Sci. (Engineering); Scientific Supervisor of Ph.D. Student;
e-mail: krekker@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6905-6625>

Колосова Елена Вячеславовна – ул. Люсиновская, 35/7, г. Москва, Россия, 115093;
Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности,
канд. техн. наук, мл. науч. сотрудник;
e-mail: e_kolosova@vnimi.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0944-6346>

Elena V. Kolosova – 35/7 Lyusinovskaya Str., Moscow, Russia, 115093;
All-Russian Dairy Research Institute, Cand. Sci. (Engineering), Junior Researcher;
e-mail: e_kolosova@vnimi.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0944-6346>

Бычкова Татьяна Сергеевна – ул. Люсиновская 35/7, г. Москва, Россия, 115093;
Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, канд. техн. наук;
e-mail: t_bychkova@vnimi.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9539-1600>

Tatyana S. Bychkova – 35/7 Lyusinovskaya Str., Moscow, Russia, 115093;
All-Russian Dairy Research Institute, Cand. Sci. (Engineering);
e-mail: t_bychkova@vnimi.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9539-1600>

Карапегян Варздат Карленович – ул. Люсиновская 35/7, г. Москва, Россия, 115093;
Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, аспирант;
e-mail: varo@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8951-0140>,

Varasdat K. Karapetian – 35/7 Lyusinovskaya Str., Moscow, Russia, 115093;
All-Russian Dairy Research Institute, Ph.D. Student;
e-mail: varo@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8951-0140>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ Р ИСО 27085-2012	Корма для животных. Определение содержания кальция, натрия, фосфора, магния, калия, железа, цинка, меди, марганца, кобальта, молибдена, мышьяка, свинца и кадмия методом ИСП-АЭС. М., 2014.
ГОСТ Р 52349-2005	Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. М., 2006.
Методические рекомендации 2.3.1.0253-21	Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации – утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г. URL : https://upp.alregn.ru/pharmaceutical-industry/docs/inaya-poleznaya-informatsiya/MP%202.3.1.0253-21.pdf .
Методические рекомендации 2.3.1.1915-04	Рекомендуемые уровни потребления пищевых и биологически активных веществ. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200037560?ysclid=1w5zw0dg6r790960693 .
Методические рекомендации 2.3.7.1916-04	Состояние здоровья населения в связи с состоянием питания. Применение йодоказеина для предупреждения йоддефицитных заболеваний в качестве средства популяционной, групповой и индивидуальной профилактики йодной недостаточности. М., 2004.
СТО 33974444-011-2019	Мука из семян расторопши.
ТУ 10.41.41-229-37676459-2018	Мука из шрота подсолнечника. URL: https://haccpexpert.ru/uslugi/gotovyie-texnicheskie-usloviya-(tu)/tu,ti-na-korma-dlya-neproduktivnyix-zhivotnyix/1023.html .

УДК 664.3.033

Получение сухих экстрактов из облепихового сырья: результаты исследования

Т. И. Котова*, А. Г. Хантургаев, В. А. Цыцыков, Н. А. Хантургаева

*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, Россия;
e-mail: tatianakotova74@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2644-0779>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
18.03.2024;

получена
после доработки
01.04.2024;

принята
к публикации
11.04.2024

Ключевые слова:
облепиховое сырье,
листья и побеги
облепихи,
сухой экстракт,
функциональные
ингредиенты,
вакуумно-импульсные
режимы,
экстрагирование,
концентрирование,
сушка,
режимные параметры,
показатели качества

Для цитирования

Получение растворимых сухих экстрактов из облепихового сырья является актуальным и перспективным для предприятий Республики Бурятия. Авторами проведен подбор технологического оборудования для получения сухих экстрактов: экстрактора, концентратора, сушилки. Изучена возможность применения вакуумно-импульсного воздействия и влияния технологических факторов на выход водорастворимых веществ из листьев и побегов облепихи. Опытным путем в производственных условиях определены режимные параметры технологического процесса: температура 45–50 °С, общая продолжительность экстракции, концентрирования и сушки 79–111 мин. Процесс получения сухих экстрактов проводили в три этапа: водное экстрагирование; фильтрование и концентрирование; сушка в вакуумно-импульсной сушилке. Полученный опытный образец сухого экстракта из листьев и побегов облепихи представляет собой сыпучий кристаллический порошок с содержанием влаги 4–6 %, хорошо растворимый в воде, имеющий высокие органолептические показатели – натуральный, хорошо выраженный, свойственный облепихе аромат, светлый буро-коричневый цвет. Применение невысоких температур и вакуумно-импульсных режимов на этапах технологического процесса прогнозирует высокую сохранность термолабильных биологически активных веществ в продукте. Исследован процесс получения сухих экстрактов из листьев и побегов облепихи. Результаты проведенных исследований доказывают возможность получения сухого экстракта, имеющего высокие органолептические характеристики, по разработанной авторами технологии с применением оборудования, вакуумно-импульсные режимы работы которого положительно влияют на выход экстрактивных веществ и способствуют сокращению временных затрат наряду с интенсификацией процессов тепло- и массообмена в облепиховом сырье.

Котова Т. И. и др. Получение сухих экстрактов из облепихового сырья: результаты исследования. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 205–213. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-205-213>.

Production of dry extracts from sea buckthorn raw materials: Research results

Tatyana I. Kotova*, Andrey G. Khanturgaev, Vladimir A. Tsytsykov,
Natalya A. Khanturgaeva

*East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia;
e-mail: tatianakotova74@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2644-0779>

Article info

Received
18.03.2024;

received
in revised form
01.04.2024;

accepted
11.04.2024

Key words:

sea buckthorn raw
materials,
sea buckthorn leaves
and shoots,
dry extract,
functional ingredients,
vacuum-pulse modes,
extraction,
concentration,
drying,
operating parameters,
quality indicators

For citation

Abstract

Production of soluble dry extracts from sea buckthorn raw materials is relevant and promising for enterprises of the Republic of Buryatia. The authors have selected technological equipment for obtaining dry extracts: extractor, concentrator, dryer. The possibility of using vacuum-pulse action and the influence of technological factors on the yield of water-soluble substances from sea buckthorn leaves and shoots has been studied. The operating parameters of the technological process have been determined experimentally under production conditions: temperature 45–50 °C, total duration of extraction, concentration and drying 79–111 minutes. The process of obtaining dry extracts is carried out in three stages: water extraction; filtration and concentration; drying in a vacuum pulse dryer. The resulting experimental sample of dry extract from sea buckthorn leaves and shoots is a free-flowing crystalline powder with a moisture content of 4–6 %, highly soluble in water, having high organoleptic characteristics – a natural, well-defined aroma characteristic of sea buckthorn, light brown color. The use of low temperatures and vacuum-pulse modes at the stages of the technological process predicts high safety of thermolabile biologically active substances in the product. The process of obtaining dry extracts from sea buckthorn leaves and shoots has been studied. The results of the studies prove the possibility of producing a dry extract with high organoleptic characteristics using the developed by the authors' technology by equipment whose vacuum-pulse operating modes have a positive effect on the yield of extractives and help reduce time costs along with the intensification of heat and mass exchange processes in sea buckthorn raw materials.

Kotova, T. I. et al. 2024. Production of dry extracts from sea buckthorn raw materials: Research results. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 205–213. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-205-213>.

Введение

В настоящее время в мире наблюдается увеличение спроса на продукцию, изготовленную из натурального сырья животного и растительного происхождения. Основной тенденцией в пищевой промышленности является разработка ресурсосберегающих технологий, позволяющих максимально использовать весь потенциал натурального сырья. Особое внимание уделяется растительному сырью, являющемуся источником ценных биологически активных веществ, макро- и микроэлементов, аминокислот, витаминов, антиоксидантов и т. д.

При анализе спроса на продукцию растительного происхождения установлено, что популярность набирают растительные экстракты, представляющие собой концентрированные очищенные вытяжки, получаемые с применением различных растворителей (экстрагентов). Классифицируют экстракты на жидкие, густые, сухие. Наиболее предпочтительны сухие формы, преимущества которых перед другими формами растительных экстрактов заключаются в удобстве применения и устойчивости при хранении.

На сегодняшний день известны разного рода технологии экстрагирования, позволяющие с применением водных, спиртовых, эфирных, масляных экстрагентов, а также схем, режимов экстракции и аппаратуры в значительной степени увеличить выход экстрактивных и действующих веществ из растительного сырья (Степанян, 2000; Семушкин, 2022; Хантургаев и др., 2016; Исмаилов и др., 2005; Еремеева, 2017; Устаноука..., 2014). Поскольку экстрагирование является одной из наиболее продолжительных стадий переработки растительного сырья, использование различных физических воздействий позволяет в значительной степени интенсифицировать процессы экстракции и в большинстве случаев получать результаты, недостижимые при традиционных методах, которые являются трудоемкими и длительными (Васильев и др., 2018; Шегельман, 2017; Гуськов и др., 2018; Адекенов, 2017; Чапаксин и др., 2021; Шорсткий и др., 2015; Kathiravan et al., 2014; Котова и др., 2023). В этой связи перспективно применение вакуумно-импульсного экстрагирования растительных материалов, способствующего более быстрому протеканию массопереноса внутри частиц сырья, а применение низких температур при этом позволяет сохранить максимальное количество полезных, биологически активных веществ и витаминов.

В Сибири и Забайкалье перспективной культурой для промышленной переработки является облепиха крушиновидная, имеющая уникальный биохимический состав (Каранян, 2001; Тринеева и др., 2023; Usha et al., 2014; Кароматов и др., 2018; Морозов, 2007). В частности, в Республике Бурятия в настоящее время площади, занятые данной культурой, составляют порядка 1 500 га с перспективой ежегодного увеличения на 70–80 га. Основные места произрастания облепихи в Республике Бурятия – это долина рек Темник, Яган-Гол и Цаган-Гол в Селенгинском районе и пойма реки Иркут в Тункинском районе. Особую ценность представляет Селенгинский массив облепихи. Предприятия республики, перерабатывающие облепиху, заинтересованы в комплексной переработке облепихового сырья и выпуске инновационных форм продукции, в том числе востребованных в настоящее время сухих экстрактов из нетрадиционного облепихового сырья – листьев и побегов облепихи, являющихся побочным продуктом переработки (Tanwar et al., 2018; Verma et al., 2013; Тарасов и др., 2018; Мурзахметова и др., 2015).

Разработка и внедрение в практику ресурсосберегающего способа экстракции с применением инновационных технологических приемов, позволяющих максимально сохранить нативные свойства исходного облепихового сырья, а также получение стабильных при хранении экстрактов, является актуальной задачей.

Цель работы – изучение процесса получения растворимых сухих экстрактов из листьев и побегов облепихи с применением вакуумно-импульсных режимов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- подбор рациональной конструкции оборудования, работающего с применением вакуумно-импульсных режимов;
- установление опытным путем режимных параметров получения растворимых сухих экстрактов из листьев и побегов облепихи;
- изучение показателей качества сухих экстрактов из листьев и побегов облепихи.

Материалы и методы

Объектами исследования служили: 1) облепиховое сырье, приобретенное в п. Темник Селенгинского района Республики Бурятия в январе 2024 г. Образцы облепихового сырья представляли собой листья и побеги облепихи, накапливающиеся при переработке облепихи, сбор которой был осуществлен в осенний период 2023 г.; 2) сухие экстракты. Образцы водорастворимых экстрактов были получены из листьев и побегов облепихи с применением вакуумно-импульсных режимов.

При подборе рациональной конструкции оборудования для получения сухих экстрактов нами были изучены способы и устройства, работающие с применением импульсных режимов (Чапаксин и др., 2021; Шорсткий и др., 2015; Kathiravan et al., 2014; Губернаторов, 2022; Гуськов et al., 2018). Для осуществления технологического процесса подобрано следующее оборудование: экстрактор ВИЖЭ-12, работающий с применением вакуумно-импульсных режимов, создающих путем понижения давления до 20 кПа в течение 30 сек с последующим его увеличением до атмосферного давления в течение 60 сек, вакуум-выпарной

концентратор ВД-6, вакуумно-импульсная сушилка ВИС-1,5, работающая на принципе понижении давления до 15 кПа в течение 30 сек с последующим его увеличением до атмосферного в течение 100 сек.

Для изучения эффективности применения вакуумно-импульсного воздействия, влияния технологических факторов (продолжительность, температура, давление) на выход водорастворимых веществ из листьев и побегов облепихи, а также установления режимных параметров получения растворимых сухих экстрактов опытным путем в производственных условиях ООО "МИП "БайкалЭкоПродукт" были проведены пилотные испытания, которые позволили подобрать наиболее предпочтительные технологические режимы получения сухих экстрактов. В технологической линии использовалось экстракционное и сушильное оборудование, работающее на принципе вакуумно-импульсного эффекта, представляющего собой чередование стадий вакуумирования и создания атмосферного давления в аппарате.

Интервалы значений технологических режимов были выбраны с учетом предварительно проведенных лабораторных исследований авторов в отношении облепихового сырья, при подборе которых ориентировались на максимальный выход водорастворимых веществ, органолептические показатели и сохранность термолабильных компонентов в получаемом продукте.

Производственные испытания проводились следующим образом: предварительно прошедшие инспекцию и мойку листья и побеги облепихи на первом этапе экстрагировали доступным и дешевым экстрагентом – водой при гидромодуле 1 : 5–1 : 7 в экстракторе с применением вакуумно-импульсных режимов. Интервалы технологических параметров при экстрагировании были следующие: температура 40–60 °С, продолжительность 5–45 мин. На втором этапе полученный экстракт фильтровали и направляли в концентратор, оснащенный мешалкой, где при температуре 30–50 °С в течение 10–70 мин добивались максимально заданной концентрации, составляющей 60–70 %, при которой полученные экстракты стабильны при хранении. На третьем этапе густой концентрированный экстракт, полученный после второго этапа и содержащий водорастворимые вещества, направляли в вакуумно-импульсную сушилку, где при температуре 30–50 °С в течение 2–10 мин получали сухой водорастворимый экстракт с содержанием влаги 3–10 %.

Экспериментальные исследования и опыты проводили в 5-кратной повторности, полученные результаты обрабатывали с помощью программ Statistica и Excel.

Результаты и обсуждение

Обзор современных научных исследований показал, что применение вакуума и импульсных режимов при переработке растительного сырья положительно влияет на количественный выход и ценность получаемых экстрактов наряду с сокращением продолжительности процесса. Авторами изучены вакуумно-импульсные экстракторы и сушильное оборудование, концентраторы, применяющиеся в пищевой промышленности, информация о принципе работы, устройстве и технических характеристиках которых размещена в свободном доступе в сети Интернет¹ (Гайфуллина и др., 2011; Щеглова, 2011; Иванова и др., 2018; Данилин и др., 2015; Скрипников и др., 2012). На основании изученной информации было принято решение о модернизации имеющихся у предприятия – индустриального партнера – экстрактора и сушильного аппарата путем их оснащения вакуумными насосами и блоками автоматики, позволяющими в автоматическом режиме осуществлять регулирование и контроль температуры, давления и продолжительности процесса. В результате подобраны рациональные конструкции оборудования, работающего с применением вакуумно-импульсных режимов – экстрактора ВИЖЭ-12, сушильного аппарата ВИС-1,5. Для концентрирования использовался концентратор ВД-6, имеющийся в наличии у предприятия-партнера. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1. Определение режимных параметров технологического процесса
Table 1. Operating parameters of the technological process

Процесс/оборудование/параметры	Показатели				
Экстрагирование					
Экстрактор с вакуумно-импульсными режимами	Номер опыта				
	1	2	3	4	5
Температура, °С	40	45	50	55	60
Продолжительность, мин	45	35	25	15	5
Выход водорастворимых веществ, %	92,7	95,1	95,2	95,2	95,2
Концентрирование					
Концентратор с мешалкой	Номер опыта				
	1	2	3	4	5
Температура, °С	30	35	40	45	50
Продолжительность, мин	90	70	50	30	10
Содержание сухих веществ, %	80	70	60	50	40

¹ URL : <https://techwb.ru/vakuum-impulsnaya-kamera/> ; <https://techwb.ru/modul-ekstraktcii/>.

Сушка					
Сушилка с вакуумно-импульсными режимами	Номер опыта				
	1	2	3	4	5
Густой экстракт после концентрирования					
Температура, °С	30	35	40	45	50
Продолжительность, мин	10	8	6	4	2
Содержание влаги*, %	10	8	6	4	3

Примечание. * – в пересчете на абсолютно сухое вещество.

Полученные данные (табл. 1) свидетельствуют о том, что наилучшие результаты при проведении процесса экстрагирования показывают опыты № 2 и 3. При температуре 45–50 °С и времени экстрагирования 25–35 мин происходит максимально полное извлечение водорастворимых сухих веществ – 95,2 %.

Применение температуры при экстрагировании выше 50 °С может отрицательно сказаться на органолептических (изменение цвета, потемнение) и сохранности термолабильных биологически активных веществ ценного исходного сырья. Кроме того, повышение температуры практически не влияет на выход экстрактивных веществ.

При концентрировании водного экстракта после второго этапа наилучшие результаты получены в опытах № 2 и 3, а именно при температуре 35–40 °С в течение 50–70 мин. При температуре ниже 35 °С увеличивается продолжительность концентрирования, что ведет к дополнительным энергозатратам, при этом увеличивается содержание сухих веществ, что нецелесообразно, так как предельное содержание сухих веществ для самоконсервации составляет 60–70 %, которая достигается в опытах № 2 и 3.

Анализ экспериментальных исследований процесса сушки (табл. 1) свидетельствует о том, что наилучшие режимные параметры для получения сухого экстракта с содержанием влаги 4–6 % показывают опыты № 3 и 4, а именно температура 40–45 °С и продолжительность сушки – 4–6 мин. При температуре ниже 40 °С продолжительность сушки увеличивается, что повышает энергозатраты процесса. Повышение температуры сушки более 45 °С позволяет получить экстракт с содержанием влаги 3 %, однако стабильное хранение получаемого продукта обеспечивается и при содержании влаги в продукте 4–6 %, таким образом применение температуры 50 °С нецелесообразно.

Результаты определения выхода получаемых при проведении технологического процесса сухих экстрактов из листьев и побегов облепихи представлены в табл. 2.

Таблица 2. Выход сухих экстрактов
Table 2. Yield of dry extracts

Номер опыта	Листья и побеги облепихи		Сухой экстракт	
	кг	%	кг	%
1	3,0	100	0,427	14,22
2	3,0	100	0,398	13,25
3	3,0	100	0,438	14,60
4	3,0	100	0,451	15,01
5	3,0	100	0,416	13,85
Среднее значение	3,0	100	0,426	14,186

Анализ табл. 2 показал, что средний выход сухих экстрактов из листьев и побегов облепихи, содержащих водорастворимые вещества, получаемые по разработанной технологии с применением вакуумно-импульсных режимов, составляет 14,186 %.

В результате проведения производственных испытаний были определены режимные параметры экстракции, концентрирования и сушки для получения сухих экстрактов: экстрагирование в экстракторе с применением вакуумно-импульсных режимов при температуре 45–50 °С в течение 25–35 мин; концентрирование в концентраторе, оснащенный мешалкой, при температуре 45–50 °С в течение 50–70 мин до содержания сухих веществ 60–70 %; сушка в вакуумно-импульсной сушилке при температуре 40–45 °С в течение 4–6 мин. Весь технологический процесс осуществляли при температуре 40–45 °С в течение 79–111 мин. При экспериментально определенных оптимальных параметрах получили сухой водорастворимый экстракт из листьев и побегов облепихи с содержанием влаги 4–6 %.

Для полученного сухого экстракта из листьев и побегов облепихи были исследованы органолептические и физико-химические показатели, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3. Органолептические и физико-химические показатели
Table 3. Organoleptic and physico-chemical parameters

Показатель	Значение
Аромат	Натуральный, травяной, хорошо выраженный, свойственный листьям облепихи, без постороннего запаха
Цвет	Светлый буро-коричневый
Внешний вид	Сыпучий однородный мелкокристаллический порошок
Содержание влаги*, %	$5,2 \pm 0,04$
Растворимость в воде при 20 °С	Полностью растворим
Насыпная плотность, г/см ³	$0,58 \pm 0,02$

Примечание. * – в пересчете на абсолютно сухое вещество.

Исследуемые показатели образца сухого экстракта из листьев облепихи (табл. 3), полученного по технологии, включающей экстракцию, концентрирование и сушку с применением вакуумно-импульсных режимов в условиях экспериментально определенных оптимальных параметров на производстве, имеют высокие органолептические показатели – натуральный, хорошо выраженный, свойственный листьям облепихи аромат, светлый буро-коричневый цвет. Полученный экстракт имеет насыпную плотность $0,58 \pm 0,02$, полностью растворяется в воде и представляет собой сыпучий однородный мелкокристаллический порошок. Содержание влаги в полученном экстракте составляет $5,2 \pm 0,04$ % в пересчете на абсолютно сухое вещество, что прогнозирует достаточно длительный срок его хранения.

Побочным продуктом при получении экстрактов является шрот из листьев и побегов облепихи, содержащий клетчатку, минеральные вещества и т. д. Шрот имеет пористую структуру и может быть рекомендован к дальнейшему использованию в качестве носителя для функциональных ингредиентов при получении БАД, а также в косметической промышленности и для получения комбинированных кормовых добавок для продуктивных и непродуктивных животных.

Заключение

В результате проведенных исследований произведен подбор рациональной конструкции оборудования для осуществления технологического процесса получения сухих экстрактов: экстрактор, работающий с применением вакуумно-импульсных режимов, концентратор, вакуумно-импульсная сушилка.

Изучена возможность применения вакуумно-импульсного воздействия, влияния технологических факторов (продолжительность, температура) на выход водорастворимых веществ из листьев и побегов облепихи и содержание влаги в сухом экстракте.

Проведенные производственные испытания позволили определить режимные параметры технологического процесса получения сухих экстрактов: экстрагирование с применением вакуумно-импульсных режимов при температуре 45–50 °С в течение 25–35 мин; концентрирование при температуре 45–50 °С в течение 50–70 мин до содержания сухих веществ 60–70 %; вакуумно-импульсная сушка при температуре 40–45 °С в течение 4–6 мин. Общая продолжительность процесса составила 79–111 мин.

Полученный сухой экстракт из листьев и побегов облепихи имеет высокие органолептические показатели – натуральный, хорошо выраженный, свойственный облепихе аромат, светлый буро-коричневый цвет. Полученный экстракт имеет насыпную плотность $0,58 \pm 0,02$, полностью растворяется в воде, и представляет собой сыпучий однородный мелкокристаллический порошок. Содержание влаги в полученном экстракте составляет $5,2 \pm 0,04$ %, что прогнозирует достаточно длительный срок его хранения. Побочным продуктом при получении экстрактов является шрот из листьев и побегов облепихи, содержащий клетчатку, минеральные вещества и т. д.

Дальнейшие исследования химического состава, пищевой, биологической ценности, а также безопасности для здоровья человека полученного в результате проведенных исследований сухого экстракта из листьев и побегов облепихи позволят оценить возможность его применения в пищевой, косметической, фармацевтической промышленности.

Таким образом, исследована возможность получения сухих экстрактов из листьев и побегов облепихи. Доказана вероятность получения сухого экстракта, имеющего высокие органолептические характеристики, по разработанной авторами технологии, с применением оборудования, вакуумно-импульсные режимы работы которого положительно влияют на выход экстрактивных веществ и способствуют сокращению временных затрат наряду с интенсификацией процессов тепло- и массообмена в облепиховом сырье, что подтверждено результатами проведенных исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Адекенов С. М. Эффективные технологии для комплексной переработки растительного сырья // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья : материалы VII Всерос. конф. с междунар. участием, Барнаул, 24–28 апреля 2017 г. Барнаул : Изд-во АлтГУ, 2017. С. 262–264. EDN: YNJLYX.
- Васильев А. С., Суханов Ю. В., Щукин П. О. Технические решения и физические эффекты для экстракции растительного сырья // Научные исследования и современное образование : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Чебоксары, 26 марта 2018 г. Чебоксары : ЦНС "Интерактив плюс", 2018. С. 206–207. EDN: YUYGUO.
- Гайфуллина Р. Р., Курбангалеев М. С., Зарипов З. И., Анашкин Д. А. Экспериментальная установка для исследования кинетики сушки капиллярно-пористых материалов по вакуумно-импульсной технологии // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 2. С. 132–137. EDN: NCTPOB.
- Губернаторов В. В. Водно-вакуумная экстракция березового гриба чага : дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2022. 163 с.
- Гуськов А. А., Родионов Ю. В., Анохин С. А., Гливенкова О. А. [и др.]. Технология вакуумно-импульсного экстрагирования растворимых веществ из крапивы и хмеля // Инновационная техника и технология. 2018. № 2(15). С. 23–27. EDN: YLTHZZ.
- Данилин С. И., Митрохин М. А., Солопов В. А., Утешев В. Ю. [и др.]. Технология получения порошка из пастернака для производства напитка // Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. "Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: фундаментальные и прикладные аспекты", Краснодар, 28–29 мая 2015 г. Воронеж, 2015. С. 99–102.
- Еремеева Н. Б., Макарова Н. В. Влияние технологии экстракции на антиоксидантную активность экстрактов плодов черноплодной рябины // Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 3. С. 600–608. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-3-600-608>. EDN: ZMVWDV.
- Иванова Э. С., Никитин Д. В., Нахман А. Д., Ионов М. С. Исследование и выбор режимных параметров процесса сушки грибов вешенка и кабачков сорта "Якорь" // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. семинара, посвященного 175-летию со дня рождения К. А. Тимирязева, Москва, 22–23 мая 2018 г. М. : Перо, 2018. С. 185–189.
- Исмаилов Э. Ш., Даудова Т. Н., Джаруллаев Д. С. Новый способ интенсификации процесса экстракции // Пищевая промышленность. 2005. № 10. С. 32–34.
- Караян И. К. Плоды облепихи – ценнейший источник биологически активных веществ // Аграрная Россия. 2001. № 6. С. 65–66. EDN: TUPVVN.
- Кароматов И. Д., Букаев М. К. Облепиха как адаптогенное, повышающее физическую силу лекарственное растение // Биология и интегративная медицина. 2018. № 6(23). С. 37–47. EDN: YMZKYP.
- Котова Т. И., Хантургаева В. А., Цыцыков В. А., Лубсанов Э. Ю. [и др.]. Исследование процесса получения густых экстрактов из листьев облепихи // Вестник ВСГУТУ. 2023. № 1(88). С. 29–35. DOI: https://doi.org/10.53980/24131997_2023_1_29. EDN: GQVEMJ.
- Котова Т. И., Хараев Г. И., Хантургаева Г. И., Ширеторова В. Г. Оптимальные способы сушки облепихи обезвоженной // Пищевая промышленность. 2008. № 1. С. 41. EDN: IJAMQJ.
- Морозов В. И. Культура облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides* L.) как источник сырья для производства препарата "Гипорамин" // Химико-фармацевтический журнал. 2007. Т. 41, № 8. С. 19–21. EDN: TVJGNV.
- Мурзахметова М. К., Утегалиева Р. С., Аралбаева А. Н., Лесова Ж. Т. Исследование антиоксидантных и мембранопротекторных свойств экстрактов облепихи // Actualscience. 2015. Т. 1, № 5(5). С. 26–28. EDN: VLHZXR.
- Сёмушкин Д. Н., Зиганшин Б. Г., Сёмушкин Н. И. Технология получения растительных вытяжек // Современное состояние и перспективы развития технической базы агропромышленного комплекса : науч. тр. Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., посвященной памяти д-ра техн. наук, проф. Мартыянова А. П. Казань, 27–28 октября 2022 г. Казань : КГАУ, 2022. С. 489–495. EDN: PCJEOK.
- Скрипников Ю. Г., Митрохин М. А., Родионов Ю. В., Зорин А. С. Инновационные технологии сушки растительного сырья // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2012. № 3(41). С. 371–376. EDN: PCWEGP.
- Степанян В. П. Интенсификация процесса экстракции биологически активных соединений из растительного сырья электрическими импульсными разрядами : дис. ... канд. техн. наук. Пятигорск, 2000. 153 с.

- Тарасов А. В., Бухаринова М. А., Хамзина Е. И. Определение антиоксидантной активности водных экстрактов некоторых растений Уральского региона // *Индустрия питания*. 2018. Т. 3, № 2. С. 31–38. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-2-5>. EDN: XSVNHN.
- Тринеева О. В., Ковалёва Н. А. Исследование состава биологически активных веществ облепихи крушиновидной (*Hippophae Rhamnoides* L.) листьев методом ГХ-МС // *Химия растительного сырья*. 2023. № 4. С. 219–229. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230412467>. EDN: YGSFXQ.
- Установка получения растительной вытяжки : пат. 2518605 Рос. Федерация / С. М. Яхин, Б. Г. Зиганшин, А. Р. Валиев [и др.] ; № 2012136661/05 ; заявл. 27.08.2012 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 16.
- Хантургаев А. Г., Котова Т. И., Хараев Г. И. Изучение параметров, влияющих на процесс экстракции растительных масел в электромагнитном поле сверхвысоких частот // *Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления*. 2016. № 2(59). С. 48–52.
- Чапаксин И. В., Торыбаев Ж. С., Ясько Е. Т. Апробация методики вакуумно-импульсной экстракции флавоноидов и дубильных веществ в коре сосны с последующим изучением их физико-химических структур // *StudNet*. 2021. Т. 4, № 1. С. 56. EDN: FHRQVW.
- Шегельман И. Р., Васильев А. С., Щукин П. О. Новые решения в области использования ультразвуковой экстракции для выделения биологически активных веществ из растительного сырья // *Инновационные технологии в образовании и науке : материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Чебоксары, 26 ноября 2017 г. Чебоксары : ЦНС "Интерактив плюс", 2017. С. 182–183. EDN: YLMJFC.*
- Шпорский И. А., Кошевой Е. П. Экстракция с наложением импульсного электрического поля // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2015. № 4(346). С. 40–42. EDN: ULUOGX.
- Щеглова И. В. Влияние вакуумно-импульсной сушки на потребительские свойства лисичек настоящих и опят осенних : дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2011. 146 с.
- Kathiravan T., Kumar R., Lakshmana J. H., Kumaraswamy M. R. [et al.]. Pulsed electric field processing of functional drink based on tender coconut water (*Cocos nucifera* L.) – nannari (*Hemidesmus indicus*) blended beverage // *Croatian Journal of Food Science and Technology*. 2014. Vol. 6, № 2. DOI: 10.17508/CJFST.2014.6.2.04.
- Tanwar H., Shweta D. S., Singh S. B., Ganju L. Anti-inflammatory activity of the functional groups present in *Hippophae rhamnoides* (Seabuckthorn) leaf extract // *Inflammopharmacology*. 2018. Vol. 26. P. 291–301. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10787-017-0345-0>.
- Usha T., Middha S. K., Goyal A. K., Karthik M. [et al.]. Molecular docking studies of anti-cancerous candidates in *Hippophae rhamnoides* and *Hippophae salicifolia* // *The Journal of Biomedical Research*. 2014. Vol. 28, Iss. 5. P. 406–415. DOI: <https://doi.org/10.7555/jbr.28.20130110>.
- Verma H., Sharma M., Chahota R., Palial A. Assessment of antimycotic activity of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*) leaf extracts against common fungi associated with skin dermatitis // *Veterinary World*. 2013. Vol. 6, Iss. 4. P. 205–208. DOI: <https://doi.org/10.5455/vetworld.2013.205-208>.

References

- Adekenov, S. M. 2017. Effective technologies for complex processing of plant raw materials. Proceedings of the VII All-Russian conf. with intern. participation *New achievements in chemistry and chemical technology of plant raw materials*, Barnaul, 24–28 April, 2017. Barnaul, pp. 262–264. EDN: YNJLYX. (In Russ.)
- Vasiliev, A. S., Sukhanov, Yu. V., Shchukin, P. O. 2018. Technical solutions and physical effects for the extraction of plant raw materials. Proceedings of the II scien.-pract. conf. *Scientific research and modern education*. Cheboksary, 26 March, 2018. Cheboksary, pp. 206–207. EDN: YUYGUO. (In Russ.)
- Gaifullina, R. R., Kurbangaleev, M. S., Zaripov, Z. I., Anashkin, D. A. 2011. Experimental setup for studying the kinetics of drying capillary-porous materials using vacuum pulse technology. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta*, 2, pp. 132–137. EDN: NCTPOB. (In Russ.)
- Gubernatorov, V. V. 2022. Water-vacuum extraction of birch fungus chaga. Ph.D. Thesis. Kazan. (In Russ.)
- Guskov, A. A., Rodionov, Yu. V., Anokhin, S. A., Glivenkova, O. A. 2018. Technology of vacuum-pulse extraction of soluble substances from nettles and hops. *Innovative Machinery and Technology*, 2(15), pp. 23–27. EDN: YLTHZZ. (In Russ.)
- Danilin, S. I., Mitrokhin, M. A., Solopov, V. A., Utehev, V. Yu. 2015. Technology of obtaining powder from parsnips for beverage production. Proceedings of the V scien.-pract. conf. *Innovative food technologies in the field of storage and processing of agricultural raw materials: Fundamental and applied aspects*, Krasnodar, 28–29 May, 2015. Voronezh, pp. 99–102. (In Russ.)
- Eremeeva, N. B., Makarova, N. V. 2017. The influence of extraction technology on the antioxidant activity of chokeberry fruit extracts. *Vestnik of MSTU*, 20(3), pp. 600–608. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2017-20-3-600-608>. EDN: ZMVWDV. (In Russ.)
- Ivanova, E. S., Nikitin, D. V., Nachman, A. D., Ionov, M. S. 2018. Research and selection of regime parameters of the drying process of oyster mushrooms and zucchini of the Yakor kind. In coll. articles *Drying, storage and processing of crop production*, Moscow, 22–23 May, 2018. Moscow, pp. 185–189. (In Russ.)

- Ismailov, E. Sh., Daudova, T. N., Dzharullaev, D. S. 2005. A new method for intensifying the extraction process. *Food Industry*, 10, pp. 32–34. (In Russ.)
- Karanyan, I. K. 2001. Sea buckthorn fruits are the most valuable source of biologically active substances. *Agrarian Russia*, 6, pp. 65–66. EDN: TUPVVN. (In Russ.)
- Karomatov, I. D., Bukaev, M. K. 2018. Sea buckthorn as an adaptogenic medicinal plant that increases physical strength. *Biology and Integrative Medicine*, 6(23), pp. 37–47. EDN: YMZKYP. (In Russ.)
- Kotova, T. I., Khanturgaeva, V. A., Tsitsykov, V. A., Lubsanov, E. Yu. et al. 2023. Investigation of the process of obtaining thick extracts from sea buckthorn leaves. *The Bulletin of ESSTUM*, 1(88), pp. 29–35. DOI: https://doi.org/10.53980/24131997_2023_1_29. EDN: GQVEMJ. (In Russ.)
- Kotova, T. I., Kharaev, G. I., Khanturgaeva, G. I., Shiretorova, V. G. 2008. Optimal drying methods for dehydrated sea buckthorn. *Food Industry*, 1, pp. 41. EDN: IJAMQJ. (In Russ.)
- Morozov, V. I. 2007. Culture of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) as a source of raw materials for the production of the drug "Giporamin". *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 41(8), pp. 19–21. EDN: TBJGNV. (In Russ.)
- Murzakhmetova, M. K., Utegalieva, R. S., Aralbayeva, A. N., Lesova, Zh. T. 2015. Investigation of antioxidant and membrane protective properties of sea buckthorn extracts. *Actualscience*, 1(5–5), pp. 26–28. EDN: VLHZXR. (In Russ.)
- Semushkin, D. N., Ziganshin, B. G., Semushkin, N. I. 2022. Technology for obtaining plant extracts. Coll. of articles *Current state and prospects for the development of the technical base of the agro-industrial complex*, Kazan, pp. 489–495. EDN: PCJEOK. (In Russ.)
- Skripnikiv, Yu. G., Mitrokhin, M. A., Rodionov Yu. V., Zorin, A. S. 2012. Innovative technologies for drying vegetable raw materials. *Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*, 3(41), pp. 371–376. EDN: PCWEGP. (In Russ.)
- Stepanyan, V. P. 2000. Intensification of the process of extraction of biologically active compounds from plant raw materials by electric pulse discharges. Ph.D. Thesis. Pyatigorsk. (In Russ.)
- Tarasov, A. V., Bukharinova, M. A., Khamzina, E. I. 2018. Determination of the antioxidant activity of aqueous extracts of some plants of the Ural region. *Industriya Pitaniya*, 3(2), pp. 31–38. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-2-5>. EDN: XSVNHN. (In Russ.)
- Trineeva, O. V., Kovaleva, N. A. 2023. Study of the composition of biologically active substances of sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) leaves using GC-MS. *Chemistry of Plant Raw Material*, 4, pp. 219–229. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230412467>. EDN: YGSFXQ. (In Russ.)
- Yakhin, S. M., Ziganshin, B. G., Valiev, A. R. et al. Kazan State Agrarian University. 2014. Installation for obtaining plant extract. Russian Federation, Pat. 2518605. (In Russ.)
- Khanturgaev, A. G., Kotova, T. I., Kharaev, G. I. 2016. Study of parameters affecting the extraction process of vegetable oils in the electromagnetic field of ultrahigh frequencies. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo Gosudarstvennogo Universiteta Tekhnologii i Upravleniya*, 2(59), pp. 48–52. (In Russ.)
- Chapaksin, I. V., Torybaev, Zh. S., Yasko, E. T. 2021. Approbation of the technique of vacuum-pulse extraction of flavonoids and tannins in pine bark with subsequent study of their physicochemical structures. *StudNet*, 4(1), pp. 56. EDN: FHRQVW. (In Russ.)
- Shegelman, I. R., Vasiliev, A. S., Shchukin, P. O. 2017. New solutions in the field of using ultrasonic extraction for isolating biologically active substances from plant materials. Proceedings of the III Intern. scien.-pract. conf. *Innovative Technologies in Education and Science*. Cheboksary, 26 November, 2017. Cheboksary, pp. 182–183. EDN: YLMJFC. (In Russ.)
- Shorstky, I. A., Koshevoy, E. P. 2015. Extraction with the application of a pulsed electric field. *News of Universities. Food Technology*, 4(346), pp. 40–42. EDN: ULUOGX. (In Russ.)
- Shcheglova, I. V. 2011. The influence of vacuum pulse drying on the consumer properties of chanterelles of real and autumn honey mushrooms. Ph.D. Thesis. Kemerovo. (In Russ.)
- Kathiravan, T., Kumar, R., Lakshmana, J. H., Kumaraswamy, M. R. et al. 2014. Pulsed electric field processing of functional drink based on tender coconut water (*Cococus nucifera* L.) – nannari (*Hemidesmus indicus*) blended beverage. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 6(2). DOI: 10.17508/CJFST.2014.6.2.04.
- Tanwar, H., Shweta, D. S., Singh, S. B., Ganju, L. 2018. Anti-inflammatory activity of the functional groups present in *Hippophae rhamnoides* (Seabuckthorn) leaf extract. *Inflammopharmacology*, 26, pp. 291–301. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10787-017-0345-0>.
- Usha, T., Middha, S. K., Goyal, A. K., Karthik, M. et al. 2014. Molecular docking studies of anti-cancerous candidates in *Hippophae rhamnoides* and *Hippophae salicifolia*. *The Journal of Biomedical Research*, 28(5), pp. 406–415. DOI: <https://doi.org/10.7555/jbr.28.20130110>.
- Verma, H., Sharma, M., Chahota, R., Palial, A. 2013. Assessment of antimycotic activity of seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides*) leaf extracts against common fungi associated with skin dermatitis. *Veterinary World*, 6(4), pp. 205–208. DOI: <https://doi.org/10.5455/vetworld.2013.205-208>.

Сведения об авторах

Котова Татьяна Ивановна – ул. Ключевская 40в, г. Улан-Удэ, Россия, 670013;
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: tatianakotova74@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2644-0779>

Tatyana I. Kotova – 40v Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013;
East Siberian State University of Technology and Management, Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor; e-mail: tatianakotova74@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2644-0779>

Хантургаев Андрей Германович – ул. Ключевская 40в, г. Улан-Удэ, Россия, 670013;
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
д-р техн. наук, доцент; e-mail: aavn@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2118-6804>

Andrey G. Khanturgaev – 40v Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013;
East Siberian State University of Technology and Management, Dr Sci. (Engineering),
Associate Professor; e-mail: aavn@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2118-6804>

Цыцыков Владимир Анатольевич – ул. Ключевская 40в, г. Улан-Удэ, Россия, 670013;
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
инженер-исследователь; e-mail: vladimirts2001@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4859-5448>

Vladimir A. Tsytsykov – 40v Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013;
East Siberian State University of Technology and Management, Research Engineer;
e-mail: vladimirts2001@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4859-5448>

Хантургаева Наталья Андреевна – ул. Ключевская 40в, г. Улан-Удэ, Россия, 670013;
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления,
инженер-исследователь; e-mail: n.hanturgaeva@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7435-5790>

Natalya A. Khanturgaeva – 40v Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013;
East Siberian State University of Technology and Management, Research Engineer;
e-mail: n.hanturgaeva@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7435-5790>

УДК 637.05

Функциональный продукт из комбинированного сырья животного происхождения для геродиетического питания

С. Ю. Лескова, Т. Ц. Федорова*, С. Н. Павлова, А. А. Мерзляков,
А. В. Пурбуев, М. Б. Данилов

*Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, Россия;
e-mail: s_leskova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2938-4752>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
19.03.2024;

принята
к публикации
12.04.2024

Ключевые слова:

функциональный
ингредиент, йод,
геродиетический
продукт,
белково-жировая
эмульсия,
β-циклодекстрин,
пищевая добавка,
мясо птицы
механической обвалки

Неотъемлемым фактором в обеспечении активной жизнедеятельности граждан старшего поколения выступают продукты питания. Однако ассортимент мясных продуктов, в том числе колбасных изделий для специализированного питания крайне ограничен. В связи с этим разработана технология вареной колбасы функциональной направленности для геродиетического питания "Геродиетическая функциональная". Доказана эффективность использования белково-жировой эмульсии, содержащей функциональный ингредиент – йод в виде комплексного соединения β-циклодекстрина : йод, при приготовлении колбасного фарша. Изучены функционально-технологические свойства комбинированного фарша, состоящего из мяса продуктивных животных и мяса птицы механической обвалки, с белково-жировой эмульсией. Изучены потери микроэлемента на ключевых технологических операциях производства мясопродукта, которые составили 12 %. На основании изучения содержания йода и белка в готовом продукте установлены его функциональная направленность и характеристика как продукта с высоким содержанием белка. Систематическое употребление колбасы "Геродиетической функциональной" будет способствовать оздоровлению и долголетию людей старшего поколения.

Для цитирования

Лескова С. Ю. и др. Функциональный продукт из комбинированного сырья животного происхождения для геродиетического питания. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 214–228. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-214-228>.

Functional product from combined raw materials of animal origin for gerodietetic nutrition

Svetlana Yu. Leskova, Tuyana Ts. Fedorova*, Svetlana N. Pavlova,
Alexander A. Merzlyakov, Aldar V. Purbuev, Mikhail B. Danilov

*East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia;
e-mail: s_leskova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2938-4752>

Article info

Abstract

Received
19.03.2024;

accepted
12.04.2024

Key words:

functional ingredient,
iodine,
gerodietetic product,
protein-fat emulsion,
β-cyclodextrin,
food supplement,
mechanical poultry
boning

Food is an integral factor in ensuring the active life of older citizens. However, the range of meat products, including sausages for specialized nutrition, is extremely limited. In this regard, a technology of functionally oriented boiled sausage for gerodietetic nutrition "Gerodietetic functional" has been developed. The effectiveness of using a protein-fat emulsion containing a functional ingredient – iodine in the form of a complex compound β-cyclodextrin : iodine in the preparation of minced sausage has been proven. The functional and technological properties of combined minced meat, consisting of meat from productive animals and mechanically separated poultry meat with a protein-fat emulsion have been studied. The losses of microelements amounted to 12 % in key technological operations of meat product production have been studied. Based on the study of the iodine and protein content in the finished product, its functional orientation and characteristics as a product with high protein content have been established. Systematic consumption of "Gerodietetic functional" sausage will contribute to the health and longevity of older people.

For citation

Leskova, S. Yu. et al. 2024. Functional product from combined raw materials of animal origin for gerodietetic nutrition. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 214–228. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-214-228>.

Введение

Увеличение продолжительности жизни и укрепление здоровья населения являются важнейшими приоритетами демографической политики государства. В "Концепции демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года"¹ ожидается увеличение численности населения до 145 млн человек и продолжительности жизни до 75 лет. В связи с этим предполагается увеличение численности граждан старшего поколения, к которым относятся вполне активные в социально-экономическом плане люди, осуществляющие трудовую деятельность (60–64 года). Отдельную группу составляют граждане менее активные, нуждающиеся в медицинской помощи и социальных услугах (65–80 лет), люди старше 80 лет характеризуются множеством проблем со здоровьем и, как правило, нуждаются в персональном уходе и помощи.

Известно, что среди факторов, влияющих на здоровье и работоспособность человека, на питание приходится почти 50 % вклада и почти такое же количество на возникновение хронических неинфекционных заболеваний, связанных с нарушениями питания².

Поэтому для людей старшего поколения принцип приоритетности защиты их жизни и здоровья по отношению к другим интересам приобретает особую актуальность. Для решения этой задачи, в первую очередь, необходимо обеспечить нуждающихся граждан старшего поколения высококачественным сбалансированным питанием с учетом рациональных норм потребления пищевых продуктов³.

Рациональные нормы потребностей в энергии и пищевых веществах установлены с учетом среднестатистических антропометрических параметров взрослого человека и уточненной возрастной периодизации населения страны. Взрослое население разделено на пять групп, где лица старше 65 лет представлены двумя группами: 65–74 года и старше 75 лет.

Ряд исследователей отмечает, что в XXI веке численность указанных групп населения значительно возрастет. Так, в Европе и Северной Америке к 2025 г. доля пожилых, по сравнению с 1998 г., увеличится с 20 до 28 % и с 16 до 26 % соответственно, а с 2000 до 2050 гг. число лиц старше 60 лет удвоится. Поэтому старение населения планеты как на индивидуальном, так и на популяционном уровнях порождает ряд проблем, среди которых организация здорового питания является ведущей. Кроме того, организация здорового питания связана не только фактором полноценности, должны учитываться его оздоравливающая, детоксицирующая и – для лиц старшего поколения – геропротекторная функции. В этой связи здоровое питание, наряду с современными профилактическими технологиями и антивозрастной медициной, будет способствовать не только увеличению продолжительности жизни, но и снижению физиологической нагрузки заболеваний на организм в конце жизни и продлению ее активного периода (*Ильницкий и др., 2015; Zabihi et al., 2019; Wei et al., 2016; Steptoe et al., 2015; Rudnicka et al., 2020*).

В настоящее время продолжительность жизни и старение принято оценивать по индивидуальной жизнеспособности человека, которая определяется по совокупности его физических и психических способностей, в том числе питанием (*Sinclair et al., 2019; Ильницкий и др., 2021; Ильницкий и др., 2020; Ferreira-Pego et al., 2020; Ильницкий и др., 2023*).

Роль питания в обеспечении здоровья человека – научно доказанный факт и в геронауке рассматривается как важный фактор профилактики возраст-ассоциированных заболеваний, в том числе гормональных и онкологических (*Глухарева и др., 2023; Resilience..., 2018; Carbone et al., 2012*).

Известно, что скорость обменных процессов в организме зависит от гормонов щитовидной железы, которые не могут образовываться без йода. Отдельные категории людей испытывают острый дефицит йода, который обусловлен несоответствием норм потребления, ограниченным ассортиментом продуктов общего и специализированного назначения.

Для решения проблемы дефицита йода предлагаются различные пути: включение в рацион питания продуктов с повышенным содержанием эссенциальных микроэлементов; обогащение пищевых продуктов незаменимыми минералами; использование биологически активных добавок и др.

¹ Концепция демографической политики Российской Федерации на период до 2025 года / утв. Указом Президента РФ от 9 октября 2007 г. № 1351. URL : <https://base.garant.ru/191961/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/>.

² Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" / утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г. URL : <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/?ysclid=lv3h6scvwb582695423>.

³ Стратегия действий в интересах граждан старшего поколения в Российской Федерации до 2025 года / утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 05.02.2016 N 164-р. URL : <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71222816/?ysclid=lv3gdfn65h41180255> ; Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания / утв. приказом Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614. URL : <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/?ysclid=lv3gexeho0975890535>.

Для людей старшего поколения актуально создание продуктов, способствующих профилактике и лечению гериатрических болезней, в том числе йоддефицитных состояний.

Мясо и мясные продукты являются неотъемлемой частью рациона питания всех возрастных категорий населения. Поэтому мясная отрасль располагает большими возможностями расширения ассортимента и увеличения объемов производства специализированных мясopодуктов с высокой медико-биологической ценностью, которые позволяют максимально осуществить коррекцию микроэлементного статуса пожилых людей⁴ (Юдина и др., 2018; Горбачев и др., 2021; Агаева и др., 2022).

Необходимость коррекции микроэлементного статуса организма особенно актуальна для регионов с дефицитом таких питательных микроэлементов, как йод и селен, к ним относятся территории Восточной Сибири и Крайнего Севера. Всемирная организация здравоохранения отмечает, что здоровье человека на 25 % обусловлено фактором окружающей среды (Мухутдинова и др., 2022).

Результатами современных лабораторных, клинических и эпидемиологических исследований достоверно установлена взаимосвязь селена и йода в метаболизме тиреоидных гормонов.

На основании вышеизложенного и факта дефицита йода на более чем 70 % территории страны, обуславливающего снижение потребления йода россиянами примерно в 3 раза меньше физиологических норм потребностей (150–250 мкг), возникает проблема йодирования продуктов повседневного спроса, к которым относятся мясные изделия.

В соответствии с нормами потребностей организма в мясе (73 кг в год / чел.) 31 кг приходится на мясо птицы⁵.

Целью исследования является разработка технологии вареной колбасы функциональной направленности для геродиетического питания.

Материалы и методы

На основании анализа физиологических особенностей пищеварительной системы людей пожилого возраста, связанных с атрофическими изменениями желудочно-кишечного тракта, воздействием эндогенных факторов, влияющих на усвоение пищи, а также естественной адентии, для исследований был выбран мясopодукт с эмульсионной структурой, содержащий мясо птицы.

В качестве базовой принята рецептура колбасы вареной "Пятигорская" высшего сорта (табл. 1).

Таблица 1. Рецептура колбасы вареной "Пятигорская" высшего сорта
Table 1. Recipe for boiled sausage "Pyatigorskaya" of the highest grade

Компонент (на 100 кг)	Количество
Сырье несоленое, кг	
Мясо птицы механической обвалки (МПМО)	30
Говядина жилованная высшего сорта	40
Свинина жилованная полужирная	15
Шпик хребтовый	15
Пряности и добавки, г	
Соль поваренная пищевая	2376
Нитрит натрия	7,5
Сахар-песок или глюкоза	120
Перец черный молотый	120
Перец душистый молотый	80
Орех мускатный или кардамон молотый	40

С учетом значительной доли мяса птицы в нормах потребностей организма в мясе и, как следствие, существенным увеличением его производства (40–43 % от общего объема сырья животного происхождения) был обоснован выбор рецептуры, включающей МПМО. В современных технологиях колбасных изделий мясо птицы механической обвалки нашло широкое применение как заменитель дорогостоящего мяса продуктивных животных. Кроме того, использование МПМО позволит увеличить объемы производства и расширить ассортимент колбасной продукции экономкласса, что имеет важное социальное значение

⁴ Методические рекомендации в области оздоровительного (функционального) питания при различных состояниях. Программа "Здоровое питание – здоровье нации". № 324.09 – МСФ / 04 от 10.04.2012. М., 2020. 66 с.

⁵ Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания / утв. приказом Министерства здравоохранения РФ от 19 августа 2016 г. № 614. URL : <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71385784/?ysclid=lv3hlx9b8l663677088>.

для людей с ограниченными покупательскими возможностями (Богатов, 2017; Жаринов и др., 2017б). Для экспериментальных исследований использовали МПМО агрохолдинга "Саянский бройлер". В качестве исходного сырья для обвалки использовали тушки цыплят-бройлеров, каркасы, спинно-лопаточные и пояснично-крестцовые части, шея без кожи. Во всех видах сырья массовая доля мякотных тканей составляла не менее 30 %. По термическому состоянию мясо было охлажденным (минус $2,5 \pm 0$ °С), со сроком хранения не более 5 сут.

В качестве источника йода использовали пищевую добавку (E459) в виде наноконплекса с йодом в молекулярном соотношении 1 : 1, которую применяли как при переработке нетрадиционных видов сырья, так и при реализации различных технологических операций, способствующих повышению функциональных и технологических свойств мясной системы (Лескова и др., 2021; Лескова и др., 2022; Лескова и др., 2023).

В настоящей работе йодирование продукта осуществляли путем использования ранее разработанной белково-жировой эмульсии (БЖЭ) с добавлением комплексной йодсодержащей пищевой добавки, рецептура которой представлена в табл. 2.

Таблица 2. Йодсодержащая белково-жировая эмульсия
Table 2. Iodine-containing protein-fat emulsion

Компонент	Количество
Комплексная молочная белково-углеводная добавка "Мол Про 700", кг	10,0
Комплексная говяжья белково-углеводная добавка "Биф Про 99", кг	0,4
Масло растительное, кг	46,6
Йодсодержащая пищевая добавка, г	2,5
Вода, кг	43,0

Выбор комплексных белково-углеводных добавок был обусловлен функциональным потенциалом компонентов. "Биф Про 99", кроме говяжьего белка (85 %), содержит около 4 % полисахаридов: каррагинаны (E407) и ксантановую камедь (E415) (ТУ 9199-016-13531905-06. Продукты белковые комплексные "Биф Про"⁶).

Основу "Мол Про 700" составляют сывороточные белки и незначительно сухое молоко (около 2 % из 28 % общего количества белков). Углеводная часть добавки представлена большим количеством углеводов. По сравнению с "Биф Про 99" кроме каррагинана содержит гуаровую камедь, мальтозу и мальтодекстрин (ТУ 9223-022-135311905-08. Комплексные пищевые добавки "Мол Про").

Компонентный состав пищевых добавок способствовал формированию высоких функциональных свойств и стабильности БЖЭ.

Говядина жилованная высшего сорта, свинина жилованная полужирная и шпик хребтовый были получены в соответствии с "Технологической инструкцией по обвалке и жиловке мяса" и "Технологическими инструкциями по производству продуктов из свинины" (Забашта и др., 2002).

Показатели качества и безопасности масла подсолнечного, β -циклодекстрина, кристаллического йода и пищевой соли устанавливали по ГОСТ 1129-2013 "Масло подсолнечное", ТР ТС 029/2012 "Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств", ГОСТ 4159 "Кристаллический йод", ГОСТ 51574-2018 "Соль пищевая".

Мясо птицы механической обвалки оценивали в соответствии с ГОСТ 31490-2012 "Мясо птицы механической обвалки" и ГОСТ 31470-2012 "Методы органолептических и физико-химических исследований" (ГОСТ 31490-2012 "Мясо птицы механической обвалки. Технические условия").

Химический состав, фракции белкового компонента, устойчивость, влагосвязывающую, жирно- и влагоудерживающие способности колбасного фарша определяли по методикам, описанным в литературе (Антипова и др., 2001).

Микробиологическую безопасность мяса птицы механической обвалки и готовой продукции устанавливали в соответствии с требованиями "Технического Регламента Евразийского экономического союза "О безопасности мяса птицы и продукции ее переработки" (ТР ЕАЭС 051/2021) от 29 октября 2021 г. № 110.

Статистическую обработку проводили с использованием стандартных программ.

Результаты и обсуждение

Современное развитие мясной отрасли обусловлено рядом экономических, социальных и медико-биологических факторов, среди которых значительная доля приходится на изменения объемов производства продуктивного скота и сельскохозяйственной птицы. Эти изменения, прежде всего, указывают на увеличение ресурсного потенциала мяса птицы. Поэтому увеличение объемов производства мяса птицы, особенно

⁶ Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

бройлеров, предопределяет создание научно-обоснованных технологий и процессов производства продуктов здорового питания с использованием мяса птицы. Сырьевой потенциал мяса птицы складывается из мяса разных видов сельскохозяйственной птицы и общей проблемой их эффективной переработки является повышение выхода съедобной части тушки, который не превышает 50 %. В настоящее время наиболее распространенным способом увеличения выхода съедобной части тушки является механическая обвалка (Осянин, 2019; Ковалев, 2018; Петрунина и др., 2020).

Использование МПМО в производстве различных мясопродуктов может быть обусловлено рядом проблем, связанных непосредственно с условиями его получения – начиная со свойств исходного сырья и технологических факторов его производства (Богатов, 2017). Поэтому на первом этапе исследований изучили свойства МПМО (три партии) на соответствие требованиям стандарта.

Результаты исследования качеств средней пробы МПМО, полученной из трех объединенных проб от каждой партии, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Качественные характеристики (показатели) МПМО агрохолдинга "Саянский бройлер"
Table 3. Qualitative characteristics of mechanically separated poultry meat
of the Sayan Broiler agricultural holding company

Показатель	ГОСТ 31490-2012	Опыт
Внешний вид	Тонкоизмельченная пастообразная масса	Тонкоизмельченная пастообразная масса
Консистенция	Вязкая	Вязкая
Цвет	От светло-розового до красного, без наличия серого цвета	Розовый
Запах	Свойственный свежему данному виду продукта	Свойственный свежему данному виду продукта
Аромат бульона	Свойственный аромату бульона свежего вареного мяса кур	Свойственный аромату бульона свежего вареного мяса кур
Массовые доли, %:		
– влаги, не более	70	68 ± 1,3
– белка, не менее	12	13 ± 0,9
– жира, не более	18	17 ± 0,7
– кальция, не более	0,26	
– костных включений, % от массы механической обвалки, не более	0,6	0,6 ± 0,02
– размером до 500 мкм включ., % от общей массы костных включений, не менее	98	96,1 ± 2,0
– размером св. 500 мкм до 750 мкм включ., % от общей массы костных включений, не более	2	1,8 ± 0,2
Количество летучих жирных кислот, мг КОН/100 г мяса механической обвалки, не более	8,0	7,7 ± 0,2
Перекисное число, % йода, не более	0,25	0,25 ± 0,003
Кислотное число жира, мг КОН/1г жира, не более	3,0	2,9 ± 0,1
Массовая доля общего фосфора, %, не более	0,25	0,24 ± 0,008

Наиболее критическими показателями качества МПМО являются микробиологические нормативы безопасности, которые представлены в табл. 4.

Таблица 4. Микробиологические показатели безопасности МПМО
Table 4. Microbiological safety indicators of mechanically separated poultry meat

Показатель	Допустимый уровень	Результат исследования
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, не более	1×10^6	$1,3 \times 10^5$
Патогенные, в том числе сальмонеллы в 25 г	Не допускаются	Не обнаружены
<i>Listeria monocytogenes</i> в 25 г	Не допускаются	Не обнаружены

Как показывают данные табл. 3 и 4 исследуемый образец МПМО по органолептическим и физико-химическим показателям качества и микробиологическим характеристикам безопасности отвечает требованиям нормативных документов.

Однако МПМО, являясь высокоресурсным белоксодержащим сырьем, по функционально-технологическим свойствам (ФТС) значительно отличается от традиционных видов мясного сырья не в лучшую сторону.

Так, результатами исследований фракций белков мяса животных в принятой рецептуре и МПМО и их основных технологических свойств выявлены значительные различия (табл. 5).

Таблица 5. Фракционный состав белков и технологические свойства сырья животного происхождения и МПМО

Table 5. Fractional composition of proteins and technological properties of raw materials animal origin and mechanically separated poultry meat

Вид мясного сырья	Белок общий (БО)	% к БО		БСР / БВР	ФТС, %	
		БСР*	БВР*		ВУС	ЖУС
МПМО (цыплята-бройлеры)	17,9 ± 1,1	17,4 ± 1,6	19,0 ± 2,1	0,92	48,8 ± 2,2	20,7 ± 1,6
Говядина жилованная высшего сорта	20,3 ± 0,9	39,1 ± 2,4	20,1 ± 1,3	1,95	71,6 ± 2,4	56,0 ± 1,3
Свинина жилованная полужирная	14,6 ± 0,8	28,6 ± 2,1	23,3 ± 1,4	1,23	56,7 ± 1,9	31,3 ± 1,7

Примечание. БСР – белок солерастворимый; БВР – белок водорастворимый.

Из табл. 5 видно, что МПМО характеризуется высоким содержанием белка, незначительно уступая говядине – на 2,4 % и превышая данный показатель свинины полужирной на 3,3 %.

Известно, что стабильность мясных эмульсий во многом определяется фракционным составом белка. Так, устойчивые мясные дисперсные системы формируются при условии, если в системе присутствует не менее 45 % солерастворимых белков при условии содержания водорастворимых саркоплазматических не более 30 % и белков соединительной ткани не более 25 % (*Жаринов и др., 2017а; Салаватулина, 1985*).

На основании данных, представленных в табл. 5, и известных научных фактов следует думать, что будет иметь место снижение функционально-технологических свойств опытных образцов исследуемых мясных систем.

Поэтому на основании научных исследований и производственных испытаний различных рецептур вареных колбас с использованием МПМО предложен ряд практических рекомендаций, среди которых наиболее перспективным направлением является использование белково-жировых и белково-коллагеновых эмульсий (*Лескова и др., 2021; Лескова и др., 2023; Мурашов и др., 2016*). При использовании БЖЭ важно определить рациональную дозу ее внесения в фарш. Количество вносимой в фарш БЖЭ может варьировать в достаточно широком диапазоне в зависимости от функциональной направленности рецептуры БЖЭ и технологических свойств исходного фарша.

В табл. 6 представлены варианты рецептур БЖЭ с учетом дозы ее внесения в фарш, приготовленный по рецептуре, представленной в табл. 1, и изменения количества йодсодержащей пищевой добавки функциональной (ПД-Ф).

Таблица 6. Изменение количества ПД-Ф в зависимости от дозы БЖЭ

Table 6. Change in the amount of functional food additive depending on the dose of protein-fat emulsion

Компонент	Доза БЖЭ			
	15	20	25	30
"Мол Про 700", кг	10,0	10,0	10,0	10,0
"Биф Про 99", кг	0,4	0,4	0,4	0,4
Масло растительное, кг	46,6	46,6	46,6	46,6
Йодсодержащая пищевая добавка, г	0,38	0,50	0,63	0,75
Содержание йода, мкг/100 г фарша	80	100	130	150
Вода, кг	43	43	43	43
Итого	100	100	100	100

Из таблицы видно, что повышение дозы внесения БЖЭ в колбасный фарш пропорционально увеличивает содержание йода, которое без учета потерь элемента на последующих технологических операциях производства колбасы может удовлетворить физиологическую потребность в нем (сут/чел.) от 53 до 100 %.

Различные дозы добавляемой в фарш БЖЭ приводят также к изменению содержания в нем основных компонентов, определяющих его технологические свойства.

Результаты изучения химического состава фаршей с добавлением различных доз БЖЭ представлены в табл. 7.

Таблица 7. Химический состав фаршей с различной дозой БЖЭ
Table 7. Chemical composition of minced meat with different doses of protein-fat emulsion

Показатель	Контроль	Доза БЖЭ, %			
		15	20	25	30
Массовые доли, %					
Влага	6,15	62,4	63,6	64,7	64,1
Белок	13,3	13,9	14,4	15,2	15,8
Жир	23,4	23,8	24,3	24,8	25,3
Зола	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Коэффициенты соотношений					
Жир : белок	1,76	1,71	1,69	1,3	1,60
Влага : белок	4,62	4,49	4,42	4,26	4,12
Влага : жир	2,63	2,62	2,62	2,61	2,57

Из табл. 7 видно, что в опытных образцах фаршей содержание основных компонентов, кроме золы, увеличивается. Так, количество белка и жира в опытных образцах, по сравнению с контролем, повышается на 1,9 %, влаги – на 2,6 %. Известно, что на функционально-технологические свойства фаршей оказывает влияние ряд факторов. Кроме физико-химических характеристик существенную роль оказывает морфологический состав фарша и соотношение основных компонентов: влаги к жиру и белку и жира к белку.

Принятая для исследований рецептура вареной колбасы указывает на значительные различия морфологического состава мясного сырья. Анализ соотношений основных компонентов контрольного образца фарша выявил существенные различия в соотношениях жир : белок и влага : белок в сравнении с рекомендуемыми значениями. Авторы указывают, что при увеличении содержания воды более 62 % и количества белка жиросвязывающая способность фарша снижается (*Жаринов и др., 2017б; Салаватулина, 1985*). Из данных, представленных в табл. 5, видно, что внесение БЖЭ в фарш приводит к увеличению содержания влаги свыше 62 % и имеет место повышение содержания белка от 0,6 до 1,9 %. В этой связи следует думать, что жиросвязывающая способность опытных образцов фаршей будет снижаться.

Поэтому на следующем этапе исследований изучили влияние дозы БЖЭ на ФТС опытных образцов фарша.

На рис. 1 представлены результаты изучения влагосвязывающей (ВСС) и влагоудерживающей (ВУС) способности колбасного фарша в зависимости от дозы вносимой БЖЭ.

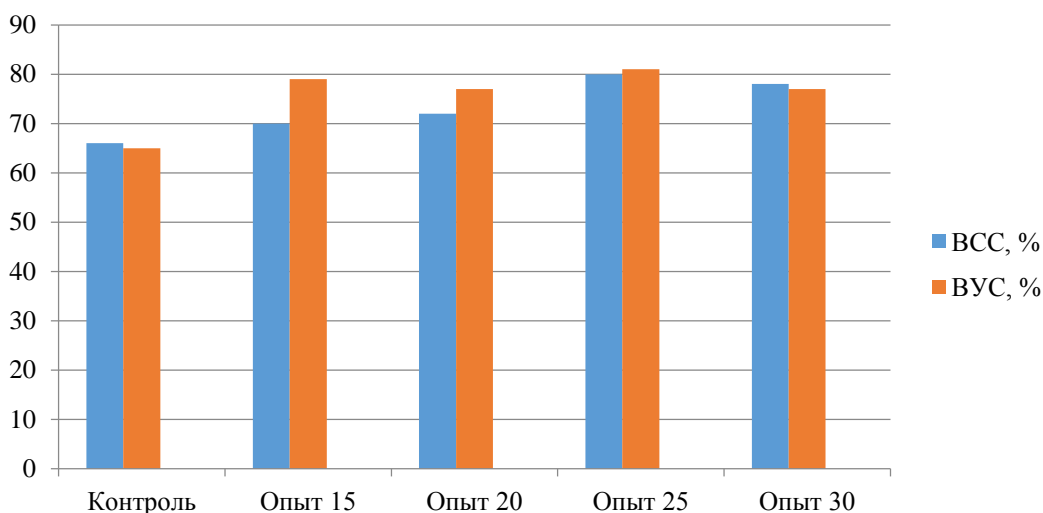


Рис. 1. Влияние дозы БЖЭ на влагосвязывающую и влагоудерживающую способность фарша
Fig. 1. Effect of protein-fat emulsion dose on the moisture-binding and moisture-holding ability of minced meat

Рис. 1 показывает, что ВСС фарша изменяется в достаточно широких пределах в зависимости от дозы вносимой БЖЭ. Так, ВСС исходного фарша (контроль) без добавления БЖЭ составляет 61,1 % и по мере увеличения дозы БЖЭ до 30 % данный показатель повышается почти на 12 %.

Наибольшая степень увеличения ВСС наблюдается при увеличении дозы БЖЭ от 15 до 20 %. В дальнейшем степень увеличения ВСС незначительная и между 25 и 30 % БЖЭ существенных различий не обнаружено.

Из рис. 1, характеризующего динамику водоудерживающей способности, видно, что данный показатель в целом изменяется от 65,0 до 80,0 %. Также отмечаются незначительные различия при добавлении 25 и 30 % БЖЭ.

Изучение влияния дозы БЖЭ на жиродерживающую способность (ЖУС) фарша показало (рис. 2), что изменения показателя имеют аналогичную закономерность, которая была установлена при изучении ВСС и ВУС. Однако следует отметить, что увеличение дозы БЖЭ до 30 % приводит к уменьшению ЖУС по сравнению со значением, полученном при добавлении 25 % БЖЭ.

Данные рис. 2 подтверждают факт понижения жиродерживающей способности при увеличении дозы БЖЭ до 30 %.

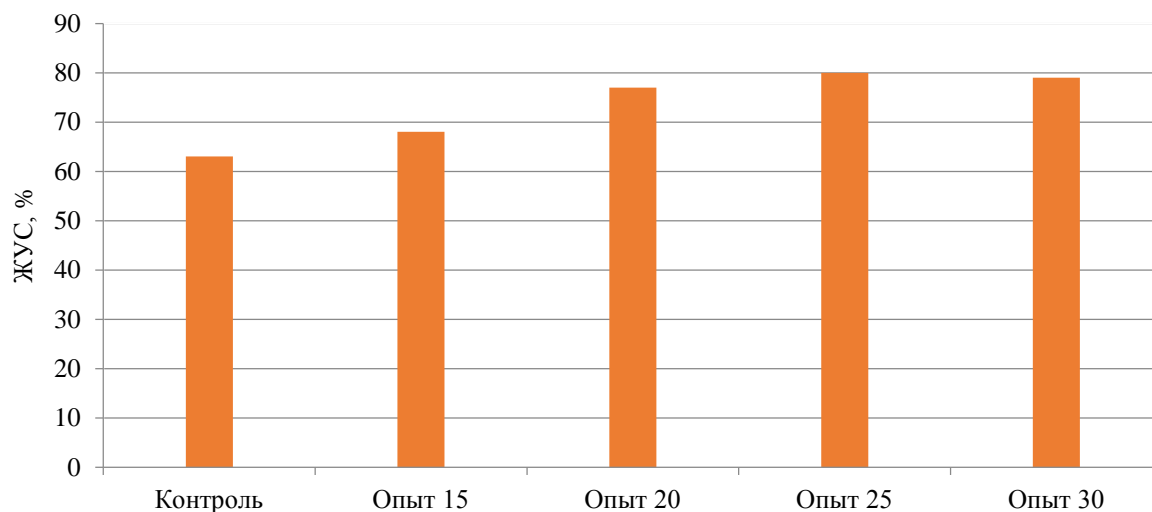


Рис. 2. Влияние дозы БЖЭ на жиродерживающую способность фарша
Fig. 2. The effect of the dose of protein-fat emulsion on the fat-holding capacity of minced meat

При увеличении дозы БЖЭ до 30 % устойчивость фарша (УФ) уменьшается (рис. 3) и в большей степени, чем показатели ВСС и ВУС.

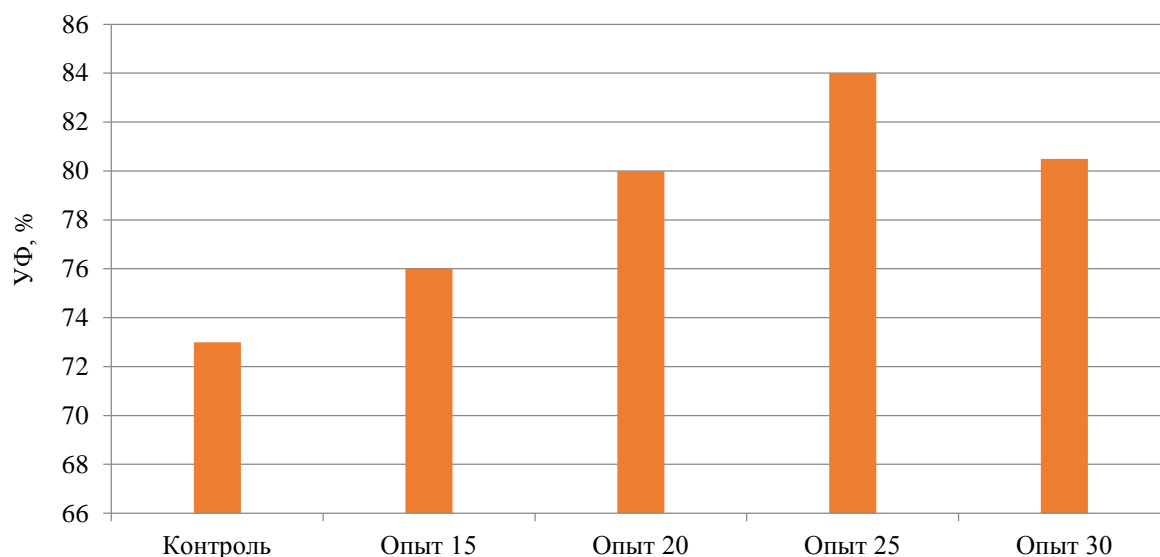


Рис. 3. Влияние дозы БЖЭ на устойчивость фарша
Fig. 3. Effect of protein-fat emulsion dose on the stability of minced meat

На основании изучения ФТС фарша в зависимости от дозы вносимой БЖЭ, химического состава фаршей и соотношений компонентов, определяющих ФТС фарша, следует сделать вывод об эффективности использования БЖЭ для улучшения показателей ФТС фарша: оптимальная доза эмульсии составляет 25 %.

Оптимальная доза внесения БЖЭ в колбасный фарш в количестве 25 % предполагает полную замену шпика и 10 % свинины полужирной как наиболее высокожирных компонентов.

Рецептура опытного варианта вареной колбасы представлена в табл. 8.

Таблица 8. Рецепт функциональной вареной колбасы для геродиетического питания
Table 8. Recipe for functional cooked sausage for gerodietetic nutrition

Компонент	Количество компонентов	
	Контроль	Опыт
МПМО	30	30
Говядина жилованная высшего сорта, кг	40	40
Свинина полужирная, кг	15	5
БЖЭ	–	25
Шпик хребтовый, кг	15	–
Итого несоленого сырья, кг	100	100
Пряности и материалы на 100 кг несоленого сырья		
Соль поваренная пищевая, г	2376	84
Нитрит натрия, г	7,5	–
Нитритная соль "НИСО-3", г	–	2300
Сахар-песок, г	120	–
Перец черный молотый, г	120	120
Орех мускатный, г	40	40

Для посола измельченного сырья использовали нитритно-посолочную смесь "НИСО-3" в количестве 2,3 кг на 100 кг сырья.

Внесение 25 % БЖЭ обеспечивает содержание йода в фарше в количестве 130 мг/100 кг.

При производстве колбасы "Геродиетическая функциональная" БЖЭ добавляли на этапе куттерования.

На следующем этапе исследований изучили влияние технологических процессов производства вареной колбасы на сохранность йода в готовом продукте.

На рис. 4 представлены результаты исследования изменения содержания йода на основных процессах производства вареной колбасы "Геродиетическая функциональная".

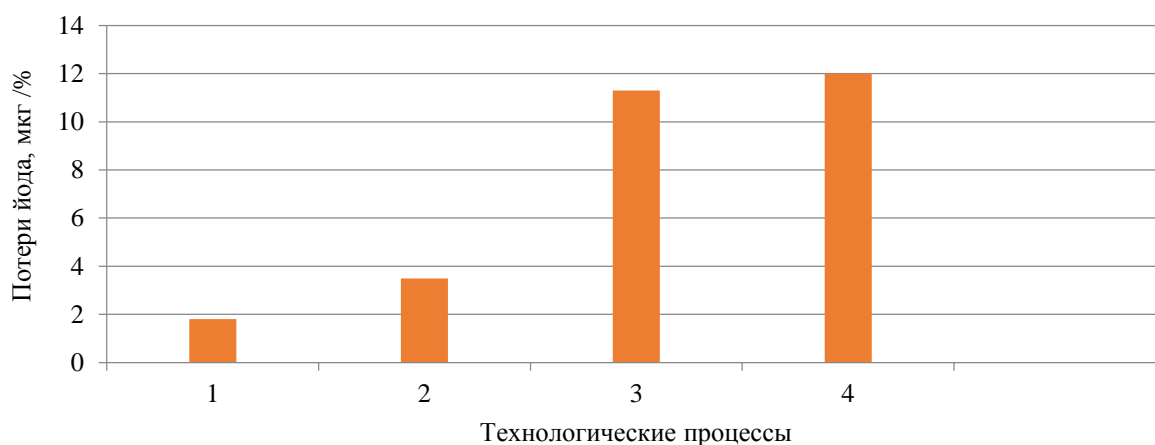


Рис. 4. Потери йода на различных этапах производства вареной колбасы "Геродиетическая функциональная": 1 – приготовление фарша; 2 – обжарка; 3 – варка; 4 – хранение

Fig. 4. Iodine losses at various stages of producing boiled sausage "Gerodietetic functional":

1 – preparation of minced meat; 2 – roasting; 3 – cooking; 4 – storage

Из рисунка видно, что потери йода имеют место на каждой технологической операции и составляют 1,5–12,1 %. Значительные потери наблюдаются при обжарке батонов – 3,5 %, а максимальные потери выявлены при варке батонов – 11,0 %. При хранении в течение 3-х суток имели место незначительные потери – общие потери увеличились с 6 до 12,1 %. Вероятно, это связано с тем, что при высокой температуре происходит разрыв циклической структуры молекул β -циклодекстрина и высвобождение молекул йода.

Незначительные потери элемента в процессе хранения обусловлены не только связью йода с β -циклодекстрином, а также с использованием полиамидной пленки, которая относится к классу барьерных упаковок, так как не пропускает газообразные вещества и микробы.

На основании остаточного количества йода в готовой вареной колбасе 117,9 мкг йода в 100 г продукта следует говорить о функциональной направленности вареной колбасы "Геродиетическая функциональная".

Результаты исследований органолептических, физико-химических и микробиологических показателей качества готового продукта представлены в табл. 9.

Таблица 9. Показатели качества вареной колбасы "Геродиетическая функциональная"
Table 9. Quality indicators of cooked sausage "Gerodietetic functional"

Показатели	Характеристика
Органолептические	
Внешний вид	Поверхность чистая, сухая, без повреждений оболочки, слипов, наплывов фарша, бульоно-жировых отеков, без декоративной обсыпки
Консистенция	Плотная
Цвет и вид на разрезе	От светло-розового до розового
Форма и размер батона	Прямые батоны с поперечными перевязками
Запах и вкус	Свойственный данному виду продукта, без посторонних привкуса и запаха, с ароматом пряностей, в меру соленый
Физико-химические	
Массовые доли:	
– жира, не более, %	24,0
– белка, не менее, %	15,0
– йода, не менее, мкг/100 г	115
– хлористого натрия, не более, %	2,5
– нитрита натрия	0,005
– остаточная активность кислой фосфатазы, не более, %	0,006
Микробиологические	
– КМАФАнМ, не более, КОЕ/г	1×10^3
– патогенные, в т. ч. сальмонеллы в 25 г	Не допускается
– БГКП (колиформы), в 1 г	Не допускается
– сульфитредуцирующие клостридии в 0,1 г	Не допускается
– <i>Staphylococcus aureus</i> в 1,0 г	Не допускается

Анализ органолептических и микробиологических показателей свидетельствует о том, что выработанный продукт соответствует требованиям Технического регламента Таможенного Союза ТР ТС 023/2003 и Технического регламента Евразийского Экономического Союза (ТР ЕАЭ 051/2021) "О безопасности мяса птицы и продукции её переработки".

Анализ физико-химических показателей проводили в соответствии с требованиями нормативного документа на изделия колбасные вареные мясные (ГОСТ Р 52196-2017) и изделия колбасные вареные из мяса птицы (ГОСТ 31639-2012).

Таким образом, с учетом требований нормативных документов колбаса вареная "Геродиетическая функциональная" относится к высшему сорту.

На основании данных табл. 9 рассчитана энергетическая ценность продукта, которая составила 396 ккал, в т. ч. по белку – 60 ккал.

В соответствии с требованиями стандарта относительно информации об отличительных признаках и эффективности функциональных пищевых продуктов вареную колбасу "Геродиетическая функциональная" следует отнести к категории "функциональных" по содержанию биоэлемента йода (117,9 мкг/100 г против рекомендуемых не менее 15 % от суточной дозы 150 мкг/100 г – 22,5 мкг), кроме того, по содержанию белка следует отнести к "продукту с высоким содержанием белка", так как энергетическая ценность по белку составляет более 20 % от общего количества килокалорий. Поэтому функциональность продукта дополняется определением "продукт с высоким содержанием белка".

Геродиетическая направленность вареной колбасы "Геродиетическая функциональная" определяется функциональными ингредиентами. В соответствии с требованиями нормативного документа к кодированному обозначению функциональных пищевых ингредиентов высокое содержание полиненасыщенных жирных кислот за счет использования подсолнечного масла в рецептуре БЖЭ и МПМО будет способствовать липидному обмену и метаболизму углеводов, которые стабилизируют три важных физиологических процесса в организме пожилых людей: поддержание уровня глюкозы в организме и инсулина в крови, а также устойчивость организма к онкологическим патологиям.

Положительная роль йода в обеспечении нормальной деятельности организма общеизвестна, особенно в усилении антисклеротического действия вещества.

Заключение

В результате проведенных исследований:

- обоснован выбор рецептуры колбасного фарша с использованием мяса птицы механической обвалки и продуктивных животных;
- доказана эффективность использования белково-жировой эмульсии, содержащей функциональный ингредиент – йод, при приготовлении комбинированного фарша;
- установлено, что БЖЭ повышает функционально-технологические свойства колбасного фарша и обеспечивает функциональную направленность продукта, содержащего в 100 г продукта не менее 115 мкг йода. Отличительным признаком геродиетической функциональной колбасы является высокое содержание белка, по которому энергетическая ценность продукта превышает 20 % от общего количества энергии;
- разработана технология вареной колбасы с функциональной направленностью для геродиетического питания, которая характеризуется высокими показателями качества и отвечает требованиям безопасности.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Агаева Л. З.-К., Аммосова А. М., Степанова Л. А. Йоддефицитные состояния и пути профилактики в Российской Федерации и Республике Саха (Якутия) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. Сер. Медицинские науки. 2022. № 2(27). С. 26–38. DOI: <https://doi.org/10.25587/svfu.2022.27.2.004>. EDN: EQWXHL.
- Антипова Л. В., Глотова И. А., Рогов И. А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. М. : Колос. 2001. 376 с.
- Богатов Г. А. Мясо механической обвалки – проблемы качества, пути замены // Все о мясе. 2017. № 1. С. 36–37. EDN: YGFBBR.
- Глухарев А. Ю., Барабашина С. И., Волченко В. И., Живлянцева Ю. В. [и др.]. Использование ферментированного рыбного фарша с пробиотиками в рецептуре сыровяленых колбасных изделий // Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 207–222. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-207-222>. EDN: WCSJUNX.
- Горбачев А. Л. Геронтология: научно-практические аспекты (обзор) // Вестник Северо-Восточного государственного университета. 2021. № 35. С. 50–57. EDN: BPAIPZ.
- Жаринов А. И., Кузнецова О. В., Сивелькаева Т. Б. Мясо птицы механической обвалки: особенности состава, свойств и технологического использования // Мясные технологии. 2017а. № 7(175). С. 14–18. EDN: YZIIOP.
- Жаринов А. И., Кузнецова О. В., Сивелькаева Т. Б. Мясо птицы механической обвалки: особенности состава, свойств и технологического использования // Мясные технологии. 2017б. № 8(176). С. 24–29. EDN: ZENFXT.
- Забашта А. Г., Подвойская И. А., Молочников М. В. Справочник по разделке мяса. М. : Франтера, 2002. 326 с.
- Ильницкий А. Н., Прощаев К. И. Неуязвимые. Книга о здоровье. М. : Дискурс, 2021. 335 с.
- Ильницкий А. Н., Прощаев К. И. Резилиенс-диета и профилактика преждевременного старения // Геронтология. 2020. Т. 8, № 2. URL: <http://www.gerontology.su/magazines?text=341>.
- Ильницкий А. Н., Прощаев К. И., Трофимова С. В., Бирюкова И. В. Превентивная гериатрия, или Антивозрастная медицина // Успехи геронтологии. 2015. Т. 28, № 3. С. 589–593. EDN: UYLZCR.
- Ильницкий А. Н., Рыжкова В. И., Вейс Е. И. Концепты современных геронтологии и гериатрии и роль питания в их достижении // Вопросы питания. 2023. Т. 92, № 2(546). С. 71–79. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-2-71-79>. EDN: NPFNHK.
- Ковалев Ю. И. Прогнозный фундамент для экспортноориентированной стратегии // Все о мясе. 2018. № 4. С. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-4-3-9>. EDN: XWBIPJ.
- Лескова С. Ю., Данилов М. Б., Павлова С. Н., Брюхова С. В. [и др.]. Комплексная пищевая добавка для йодирования продуктов в мясной пищевой системе // Рыскулбеков атындагы Кыргыз экономикалык университетинин кабарлары. 2021. № 3(52). С. 108–110. EDN: XFXPIO.
- Лескова С. Ю., Жаргалова А. Ц., Данилов М. Б., Ханхалаева И. А. [и др.]. Перспективы рациональной переработки аборигенного крупного рогатого скота // Вестник ВСГУТУ. 2022. № 3(86). С. 14–20. DOI: https://doi.org/10.53980/24131997_2022_3_14. EDN: DFCNHF.
- Лескова С. Ю., Мерзляков А. А., Пурбуев А. В., Данилов М. Б. [и др.]. Многокомпонентный рассол для создания функциональных мясopодуKтов // Вестник ВСГУТУ. 2023. № 1(88). С. 14–21. DOI: https://doi.org/10.53980/24131997_2023_1_14. EDN: NZZLWU.
- Мурашев С. В., Шерзоди Ш. Особенности физико-химических и механических процессов формирования фарша для вареных колбасных изделий // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. 2016. № 2. С. 54–62. EDN: TVIKSE.

- Мухутдинова Г. М., Гомзина Е. Г., Имамов А. А. Влияние селенового статуса на организм человека (литературный обзор) // Медицина и организация здравоохранения. 2022. Т. 7, № 4. С. 126–135. DOI: <https://doi.org/10.56871/mhco.2022.44.59.012>. EDN: MASZEB.
- Осянин Д. Н., Петрунина И. В. Перспективы развития животноводства // Мясная индустрия. 2019. № 8. С. 26–28. EDN: GYHBDG.
- Петрунина И. В., Осянин Д. Н. Перспективы развития производства мяса и мясных продуктов до 2030 года // Все о мясе. 2020. № 5S. С. 261–264. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5s-261-264>. EDN: QDYOGZ.
- Салаватулина Р. М. Рациональное использование сырья в колбасном производстве. М. : Агропромиздат, 1985. 256 с.
- Юдина С. Б., Харенко Е. Н. Геродиетическое питание: настоящее и будущее // Мясная индустрия. 2018. № 7. С. 28–32. EDN: YAEBDF.
- Carbone E. T., Zoellner J. M. Nutrition and health literacy: A systematic review to inform nutrition research and practice // Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics. 2012. Vol. 112, Iss. 2. P. 254–265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2011.08.042>.
- Ferreira-Pêgo C., Rodrigues J., Costa A., Sousa B. Eating behavior: The influence of age, nutrition knowledge, and Mediterranean diet // Nutrition and Health. 2020. Vol. 26, Iss. 4. P. 303–309. DOI: <https://doi.org/10.1177/0260106020945076>.
- Resilience in ageing: Concept, research, and outcomes / eds.: B. Resnick, L. P. Gwyther, K. A. Roberto. Springer, 2018.
- Rudnicka E., Napierała P., Podfigurna A., Męczekalski B. [et al.]. The World Health Organization (WHO) approach to healthy ageing // Maturitas. 2020. Vol. 139. P. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2020.05.018>.
- Sinclair D. A., LaPlante M. D. Lifespan: Why we age – and why we don't have to. Atria Books, 2019.
- Stephoe A., Deaton A., Stone A. A. Subjective wellbeing, health, and ageing // Lancet. 2015. Vol. 385, Iss. 9968. P. 640–648. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(13\)61489-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(13)61489-0).
- Wei L., Zhao X. A new MCM modification cycle regulates DNA replication initiation // Nature Structural & Molecular Biology. 2016. Vol. 23, N 3. P. 209–216. DOI: <https://doi.org/10.1038/nsmb.3173>.
- Zabih F., Koeppel H., Achazi K., Hedtrich S. [et al.]. One-pot synthesis of poly(glycerol-co-succinic acid) nanogels for dermal delivery // Biomacromolecules. 2019. Vol. 20, Iss. 5. P. 1867–1875. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.8b01741>.

References

- Agaeva, L. Z.-K., Ammosova, A. M., Stepanova, L. A. 2022. Iodine deficiency conditions and ways of prevention in the Russian Federation and the Republic of Sakha (Yakutia). *Vestnik of North-Eastern Federal University. Medical Sciences*, 2(27), pp. 26–38. DOI: <https://doi.org/10.25587/svfu.2022.27.2.004>. EDN: EQWXHL. (In Russ.)
- Antipova, L. V., Glotova, I. A., Rogov, I. A. 2001. Research methods for meat and meat products. Moscow. (In Russ.)
- Bogatov, G. A. 2017. Mechanically separated meat – quality problems, replacement methods. *Vsyo o myase*, 1, pp. 36–37. EDN: YGFBBR. (In Russ.)
- Glukharev, A. Yu., Barabashina, S. I., Volchenko, V. I., Zhivlyantseva, Yu. V. et al. 2023. The use of fermented minced fish with probiotics in the formulation of dry-cured sausages. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 207–222. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-207-222>. EDN: WCJUHХ. (In Russ.)
- Gorbachev, A. L. 2021. Gerontology: Scientific and practical aspects (review). *Herald of North-Eastern State University*, 35, pp. 50–57. EDN: BPAIPZ. (In Russ.)
- Zharinov, A. I., Kuznetsova, O. V., Sivelkaeva, T. B. 2017a. Mechanically separated poultry meat: Features of composition, properties and technological use. *Meat Technology*, 7(175), pp. 14–18. EDN: YZIIOP. (In Russ.)
- Zharinov, A. I., Kuznetsova, O. V., Sivelkaeva, T. B. 2017b. Mechanically separated poultry meat: Features of composition, properties and technological use. *Meat Technology*, 8(176), pp. 24–29. EDN: ZENFXT. (In Russ.)
- Zabashita, A. G., Podvoiskaya, I. A., Molochnikov, M. V. 2002. Handbook on cutting meat. Moscow. (In Russ.)
- Инитский, А. Н., Прощаев, К. И. 2021. Invulnerable. Book about health. Moscow. (In Russ.)
- Инитский, А. Н., Прощаев, К. И. 2020. Resilience diet and prevention of premature aging. *Gerontology*, 8(2). URL: <http://www.gerontology.su/magazines?text=341>. (In Russ.)
- Инитский, А. Н., Прощаев, К. И., Трофимова, С. В., Бирюкова, И. В. 2015. Preventive geriatrics vs anti-ageing medicine. *Advances in Gerontology*, 28(3), pp. 589–593. EDN: UYLZCR. (In Russ.)
- Инитский, А. Н., Рыхкова, В. И., Вейс, Е. И. 2023. Concepts of modern gerontology and geriatrics and the role of nutrition in their achievement. *Problems of Nutrition*, 92(2(546)), pp. 71–79. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-2-71-79>. EDN: NPFNHK. (In Russ.)
- Kovalev, Yu. I. 2018. Forecast foundation for an export-oriented strategy. *Vsyo o myase*, 4, pp. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-4-3-9>. EDN: XWBIPJ. (In Russ.)

- Leskova, S. Yu., Danilov, M. B., Pavlova, S. N., Bryukhova, S. V. et al. 2021. Complex food additive for iodization of products in the meat food system. *Ryskulbekov atyndagi Kyrgyz economy university university kabarlary*, 3(52), pp. 108–110. EDN: XFXPIO. (In Russ.)
- Leskova, S. Yu., Zhargalova, A. Ts., Danilov, M. B., Khankhalaeva, I. A. et al. 2022. Prospects for rational processing of indigenous cattle. *The Bulletin of ESSTUM*, 3(86), pp. 14–20. DOI: https://doi.org/10.53980/24131997_2022_3_14. EDN: DFCNHF. (In Russ.)
- Leskova, S. Yu., Merzlyakov, A. A., Purbuev, A. V., Danilov, M. B. et al. 2023. Multicomponent brine for creating functional meat products. *The Bulletin of ESSTUM*, 1(88), pp. 14–21. DOI: https://doi.org/10.53980/24131997_2023_1_14. EDN: NZZLWU. (In Russ.)
- Murashev, S. V., Sherzodi, Sh. 2016. Features of physicochemical and mechanical processes of formation of minced meat for boiled sausages. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Ser. Protssy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2, pp. 54–62. EDN: TVIKSE. (In Russ.)
- Mukhutdinova, G. M., Gomzina, E. G., Imamov, A. A. 2022. The influence of selenium status on the human body (literature review). *Medicine and Health Care Organization*, 7(4), pp. 126–135. DOI: <https://doi.org/10.56871/mhco.2022.44.59.012>. EDN: MASZEB. (In Russ.)
- Osyenin, D. N., Petrunina, I. V. 2019. Prospects for the development of livestock farming. *Meat Industry*, 8, pp. 26–28. EDN: GYHBDG. (In Russ.)
- Petrunina, I. V., Osyanin, D. N. 2020. Prospects for the development of meat and meat products production until 2030. *Vsyo o myase*, 5S, pp. 261–264. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5s-261-264>. EDN: QDYOGZ. (In Russ.)
- Salavatulina, R. M. 1985. Rational use of raw materials in sausage production. Moscow. (In Russ.)
- Yudina, S. B., Kharenko, E. N. 2018. Gerodietetic nutrition: Present and future. *Meat Industry*, 7, pp. 28–32. EDN: YAEBDF. (In Russ.)
- Carbone, E. T., Zoellner, J. M. 2012. Nutrition and health literacy: A systematic review to inform nutrition research and practice. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 112(2), pp. 254–265. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jada.2011.08.042>.
- Ferreira-Pêgo, C., Rodrigues, J., Costa, A., Sousa, B. 2020. Eating behavior: The influence of age, nutrition knowledge, and Mediterranean diet. *Nutrition and Health*, 26(4), pp. 303–309. DOI: <https://doi.org/10.1177/0260106020945076>.
- Resilience in ageing: Concept, research, and outcomes. 2018. Eds.: B. Resnick, L. P. Gwyther, K. A. Roberto. Springer.
- Rudnicka, E., Napierała, P., Podfigurna, A., Męczekalski, B. et al. 2020. The World Health Organization (WHO) approach to healthy ageing. *Maturitas*, 139, pp. 6–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2020.05.018>.
- Sinclair, D. A., LaPlante, M. D. 2019. Lifespan: Why we age – and why we don't have to. Atria Books.
- Steptoe, A., Deaton, A., Stone, A. A. 2015. Subjective wellbeing, health, and ageing. *Lancet*, 385(9968), pp. 640–648. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(13\)61489-0](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(13)61489-0).
- Wei, L., Zhao, X. 2016. A new MCM modification cycle regulates DNA replication initiation. *Nature Structural & Molecular Biology*, 23(3), pp. 209–216. DOI: <https://doi.org/10.1038/nsmb.3173>.
- Zabihi, F., Koeppe, H., Achazi, K., Hedtrich, S. et al. 2019. One-pot synthesis of poly(glycerol-co-succinic acid) nanogels for dermal delivery. *Biomacromolecules*, 20(5), pp. 1867–1875. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.8b01741>.

Сведения об авторах

Лескова Светлана Юрьевна – ул. Ключевская, 42в, г. Улан-Удэ, Россия, 670013; Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, канд. техн. наук, доцент; e-mail: s_leskova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2938-4752>

Svetlana Yu. Leskova – 42v Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013; East Siberian State University of Technology and Management, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: s_leskova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2938-4752>

Федорова Туяна Цыреновна – ул. Ключевская, 42в, г. Улан-Удэ, Россия, 670013; Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, канд. техн. наук, доцент; e-mail: fts2604@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8396-4432>

Tuyana Ts. Fedorova – 42v Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013; East Siberian State University of Technology and Management, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: fts2604@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8396-4432>

Павлова Светлана Николаевна – ул. Ключевская, 42в, г. Улан-Удэ, Россия, 670013;
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: tmkp@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9710-3172>

Svetlana N. Pavlova – 42v Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013; East Siberian State University of Technology and Management, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: tmkp@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-9710-3172>

Мерзляков Александр Андреевич – ул. Ключевская, 42в, г. Улан-Удэ, Россия, 670013;
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, соискатель;
e-mail: tmkp@mail.ru

Alexander A. Merzlyakov – 42v Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013;
East Siberian State University of Technology and Management, Applicant; e-mail: tmkp@mail.ru

Пурбуев Алдар Викторович – ул. Ключевская, 42в, г. Улан-Удэ, Россия, 670013;
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, аспирант;
e-mail: tmkp@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2948-6560>

Aldar V. Purbuev – 42v Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013; East Siberian State University of Technology and Management, Ph. D. Student; e-mail: tmkp@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2948-6560>

Данилов Михаил Борисович – ул. Ключевская, 42в, г. Улан-Удэ, Россия, 670013;
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, д-р техн. наук, профессор; e-mail: tmkp@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8051-0702>

Mikhail B. Danilov – 42v Klyuchevskaya Str., Ulan-Ude, Russia, 670013; East Siberian State University of Technology and Management, Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: tmkp@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8051-0702>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 1129-2013	Масло подсолнечное. Технические условия. М., 2019.
ГОСТ 31470-2012	Мясо птицы, субпродукты и полуфабрикаты из мяса птицы. Методы органолептических и физико-химических исследований. М., 2013.
ГОСТ 31490-2012	Мясо птицы механической обвалки. Технические условия. М., 2014.
ГОСТ 31639-2012	Изделия колбасные вареные из мяса птицы. Общие технические условия. М., 2013.
ГОСТ 4159	Реактивы. Йод. Технические условия. М., 1997.
ГОСТ 51574-2018	Соль пищевая. Общие технические условия. М., 2018.
ГОСТ Р 52196-2017	Изделия колбасные вареные мясные. Технические условия. М., 2018.
ТР ЕАЭС 051/2021	Технический регламент Евразийского экономического союза "О безопасности мяса птицы и продукции его переработки" (ТР ЕАЭС 051/2021) (с изменениями на 15 февраля 2023 года). URL : https://docs.cntd.ru/document/726913772?ysclid=lvf5ezyy4d509880054 .
ТР ТС 029/2012	Технический регламент Таможенного союза. ТР ТС 029/2012. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств (с изменениями на 29 августа 2023 года). URL : https://docs.cntd.ru/document/902359401?ysclid=lvf5g241mz969971794 .
ТУ 9199-016-13531905-06	Продукты белковые комплексные "Биф Про". Технические условия. URL : https://e-ecolog.ru/crc/77.99.99.913.%D0%A2.002421.12.06?ysclid=lvf5hdm8ay716219031&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F .
ТУ 9223-022-135311905-08	Комплексные пищевые добавки "Мол Про". Технические условия. URL : https://e-ecolog.ru/crc/77.99.11.9.%D0%A3.3768.5.08?ysclid=lvf5jgd9js96267446 .

УДК 664.953

Разработка рецептуры и технологии нового рыбного кулинарного изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей", обогащенного йодом ламинарии беломорской

Е. А. Новожилова, Ю. В. Шокина*, Е. И. Решетник, Л. М. Захарова,
А. П. Пакузина, Л. Л. Пашина, П. Н. Школьников, П. А. Тихонова

*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;

e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
26.09.2023;

получена
после доработки
13.11.2023;

принята
к публикации
03.05.2024

Ключевые слова:
зубатка синяя, рыбное
кулинарное изделие,
обогащенный продукт,
йод, ламинария,
рецептура, технология

Для цитирования

Расширение ассортимента продукции на основе рационального использования имеющихся рыбных ресурсов является актуальным направлением развития пищевой промышленности РФ. В качестве сырья для разработки рыбного кулинарного пастообразного изделия выбрана зубатка синяя – малоиспользуемый объект промысла Северного бассейна. Мясо зубатки синей значительно оводнено (до 93 % общей массы), вследствие чего технологии глубокой переработки рыбы на пищевые цели в настоящее время отсутствуют. В ходе исследований предложена технология нового рыбного кулинарного изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей, обогащенный йодом ламинарии беломорской" в ассортименте и разработаны рецептуры, оптимизированные в программе MatLab; рассмотрены аминокислотный состав мяса зубатки синей, а также показатели пищевой ценности новых изделий. Энергетическая ценность 100 г изделия варьируется от 120 до 150 ккал, массовая доля белка составляет 8,5–11 %; жира – 9–13 %; углеводов – 2–2,5 %. Экспериментально установлено содержание йода в единице потребительской упаковки изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей с маринованной морской капустой", равное 340 мкг на 100 г; порция данного продукта массой 44 г содержит 100 % рекомендованной суточной нормы потребления микроэлемента (150 мкг). Разработанное изделие "Кремчиз фиш из зубатки синей с маринованной морской капустой" можно классифицировать как "обогащенное йодом" при указании на потребительской упаковке величины его суточного потребления (25 г).

Новожилова Е. А. и др. Разработка рецептуры и технологии нового рыбного кулинарного изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей", обогащенный йодом ламинарии беломорской. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 229–241. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-229-241>.

Development of the formulation and technology of a new fish culinary product "Cream cheese fish from blue catfish" enriched with iodine of kelp of the White Sea

Elena A. Novozhilova, Yuliya V. Shokina*, Ekaterina I. Reshetnik, Lyudmila M. Zakharova,
Antonina P. Pakusina, Lyubov L. Pashina, Pavel N. Shkolnikov, P. A. Tikhonova

*Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;

e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

Article info

Received
26.09.2023;

received
in revised
13.11.2023;

accepted
03.05.2024

Key words:
blue catfish,
fish culinary product,
enriched product,
iodine, kelp, formulation,
technology

For citation

Abstract

Expanding the range of products based on the rational use of available fish resources is a current direction for the development of the food industry of the Russian Federation. Blue catfish, a little-used fishery item in the Northern Basin, was chosen as a raw material for the development of a fish culinary paste product. Blue catfish meat is significantly watered (up to 93 % of the total mass), as a result there are currently no technologies for deep processing of fish for food purposes. During the research, the technology of a new fish culinary product "Fish cream cheese from blue catfish, enriched with iodine from White Sea kelp" has been proposed in an assortment, and recipes have been developed, optimized in the MatLab program. The amino acid composition of blue catfish meat as well as indicators of the nutritional value of new products have been considered. The energy value of 100 g of product varies from 120 to 150 kcal, the mass fraction of protein is 8.5–11 %; fat – 9–13 %; carbohydrates – 2–2.5 %. The iodine content in a unit of consumer packaging of the product "Cream cheese fish from blue catfish with pickled seaweed" was experimentally established to be 340 mcg per 100 g; a 44 g serving of this product contains 100 % of the recommended daily intake of the micronutrient (150 mcg). The developed product "Cream cheese fish from blue catfish with pickled seaweed" can be classified as "enriched with iodine" when the amount of its daily consumption (25 g) is indicated on the consumer packaging.

Novozhilova, E. A. et al. 2024. Development of the formulation and technology of a new fish culinary product "Cream cheese fish from blue catfish" enriched with iodine of kelp of the White Sea. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 229–241. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-229-241>.

Введение

Расширение ассортимента продукции, характеризующейся высоким качеством и привлекательными органолептическими свойствами, на основе рационального использования имеющихся рыбных ресурсов является актуальным направлением развития пищевой промышленности и рыбоперерабатывающего комплекса Северного бассейна и Мурманской области. Перспективы развития этого направления связаны с поиском дополнительных источников пищевых рыбных ресурсов и анализом использования новых или недостаточно освоенных объектов промысла.

Зубатка синяя *Anarhichas denticulatus* обитает по всей акватории Баренцева моря, ее вылов не лимитируется величиной общего допустимого улова, промысловые запасы позволяют организовать специализированный промысел. По статистике Федерального агентства по рыболовству в 2021 г. вылов зубатки синей составил 11,88 тыс. т, а в 2022 г. – 11,31 тыс. т (Амелькина и др., 2022). Мясо этой рыбы характеризуется пониженной пищевой ценностью и высокой оводненностью – массовая доля воды в мышечной ткани может достигать $(93 \pm 3)^\circ\text{C}$. Кроме того, она отличается от других видов зубаток мягкой желеобразной мускулатурой.

В розничной торговле зубатка синяя представлена главным образом в виде продукции с низкой добавленной стоимостью – потрошеной рыбы обезглавленной и стейков в замороженном или охлажденном виде. В связи с этим представляется целесообразным создание технологии комбинированных продуктов на основе глубокой переработки данной рыбы, что позволит сбалансировать химический состав продуктов ценными пищевыми веществами и обогатить его функциональными пищевыми ингредиентами.

Ученые-диетологи отмечают, что лучшим способом увеличения потребления питательных веществ с минимальными побочными эффектами является обогащение продуктов питания с помощью природных ресурсов (Gahruie et al., 2015).

Одним из перспективных ингредиентов для обогащения являются биологически активные добавки на основе бурых и зеленых водорослей. За рубежом в настоящее время широко используются добавки "Глюкослим" и "Спирулина Полен" (Финляндия), UltravitSchlanг (Нидерланды), UltraSlim (США), направленные на регуляцию веса (за счет стимуляции работы желудочно-кишечного тракта) и улучшение работы почек. В России у производителей продуктов питания растет популярность пищевой сушеной ламинарии в виде порошка (размер частиц составляет менее 200 мкм), выпускаемого Архангельским водорослевым комбинатом; сушеная ламинария рассматривается прежде всего как источник йода. В настоящее время эта добавка используется при изготовлении обогащенных йодом кондитерских изделий (шоколада, мармелада, джемов), хлебобулочных и мучных изделий.

Как известно, одним из способов обработки, направленных на снижение оводненности рыбного сырья, является варка. Термически обработанное мясо рыбы, вследствие денатурации белков и частичной утраты ими вододерживающей способности, теряет воду и в дальнейшем может быть использовано для изготовления широкого ассортимента продуктов питания, в том числе полностью готовых к употреблению – рыбных кулинарных изделий.

В настоящее время на рынке рыбных продуктов питания представлены пасты и паштеты, так называемые "намазки", которые характеризуются широким разнообразием вкусов, ингредиентным составом, технологическими приемами производства, используемыми при их изготовлении. Технология этих изделий позволяет использовать рыбное сырье нетрадиционное, с пониженной пищевой ценностью или с незначительными отклонениями от требований по разделке, что не влияет на безопасность, а также применять пищевые отходы животного и растительного происхождения. Кроме того, появляется возможность использовать ингредиенты, обладающие функциональными свойствами, для улучшения органолептических и реологических характеристик и повышения пищевой ценности (Клочкова и др., 2021).

Выбор физиологического ингредиента для повышения биологической ценности новых рыбных кулинарных изделий целесообразно связать с анализом заболеваемости населения в стране в целом и в отдельных регионах с вредными природно-климатическим факторами, например, в Арктической зоне Российской Федерации. Более 70 % густонаселенных территорий Российской Федерации имеют недостаток йода в воде, почве и продуктах питания местного происхождения, а уровень потребления йода в три раза ниже рекомендуемых норм. В результате в различных регионах РФ такое крайне тяжелое осложнение йодного дефицита, как эндемический кретинизм, составляет от 1 до 3 %. В течение многих лет наблюдается распространение тиреоидной патологии, вызванной дефицитом йода, а большое количество операций на щитовидной железе приводит к инвалидизации части трудоспособного населения страны и снижению продолжительности и качества жизни (Савкина и др., 2017; Павлова и др. 2021).

С учетом вышеизложенного, актуальной целью исследования является разработка рецептуры и технологии рыбных кулинарных изделий с высокой биологической ценностью, обогащенных йодом, на основе мяса зубатки синей – малоиспользуемого объекта промысла Северного бассейна.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи: 1) изучить технoхимический состав зубатки синей – малоиспользуемого объекта промысла Северного бассейна и биологическую ценность белка мяса рыбы; 2) предложить технологическую схему изготовления нового рыбного кулинарного изделия,

обогащенного йодом; 3) выполнить автоматизированное проектирование рецептуры нового изделия, оптимизированной по критерию достижения максимальной органолептической оценки изделия с использованием современного математического метода нечетких множеств; 4) экспериментально оценить содержание йода в новом рыбном кулинарном изделии "Кремчиз фиш из зубатки синей, обогащенный йодом ламинарии беломорской".

Материалы и методы

Объектом исследования являлись коммерческие образцы сырья: стейки зубатки синей мороженой и зубатка синяя потрошенная обезглавленная мороженой (ГОСТ Р 51493-99) и охлажденная (ГОСТ 814-2019); коммерческие образцы ламинарии сушеной шинкованной и дробленой производства Архангельского водорослевого комбината; опытные образцы рыбного кулинарного изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей с маринованной ламинарией, обогащенный йодом". Приемка и отбор проб осуществлялись по правилам, указанным в ГОСТ 31339-2006.

Определение массовой доли воды, золы, жира в рыбном сырье (мясе зубатки синей) проводили по ГОСТ 7636-85. Определение массовой доли общего азота (ОА) и небелкового азота (НБА) в мясе зубатки синей выполняли методом Кьельдаля; перед минерализацией в пробе на НБА проводили осаждение белков 20%-й трихлоруксусной кислотой с последующей фильтрацией. Определение массовой доли йода в готовом кулинарном изделии осуществляли методом капиллярного электрофореза на приборе "Капель" в соответствии с МУ 31-07/04 (ФР 1.31.2004.01166) в испытательной лаборатории "ИЛ Тест-Пушино" (Московская область, г. Пушкино). Исследование аминокислотного состава мяса зубатки синей проводили методом капиллярного электрофореза на приборе "Капель" в соответствии с СОП.М.ХР.026.4¹ в испытательной лаборатории "ИЛ Тест-Пушино".

Органолептическую оценку образцов кулинарных изделий проводили по ГОСТ 7631-2008 расширенным составом опытных дегустаторов с применением разработанной пятибалльной шкалы.

Оптимизацию рецептурного состава продукта по критерию достижения максимальной органолептической оценки выполняли в программной среде MatLab с помощью метода нечеткой логики (Fuzzy Logic Toolbox).

Результаты и обсуждение

Синяя зубатка *Anarhichas denticulatus* – морская бентопелагическая рыба семейства зубатковых (*Anarhichadidae*) отряда скорпенообразных (рис. 1).



Рис. 1. Зубатка синяя *Anarhichas denticulatus*²
Fig. 1. Blue catfish *Anarhichas denticulatus*

Зубатка широко распространена в северной части Атлантического океана, Баренцевом и Белом морях, а также в северной части Тихого океана. Обитает зубатка как в толще воды, так и на грунте на глубинах до 1 700 м, обычна на глубинах от 100 до 900 м.

Исследования теххимического состава зубатки синей *Anarhichas denticulatus* проведены специалистами лабораторной базы кафедры технологий пищевых производств Мурманского арктического университета. В табл. 1 представлены результаты экспериментального определения общего химического состава мяса зубатки синей, выловленной в Баренцевом море. Выход обезглавленной потрошенной рыбы составляет в среднем около 68 %.

¹ Стандартные операционные процедуры (СОП) – документы, содержащие поэтапные инструкции, которым должен неукоснительно следовать персонал лаборатории при выполнении той или иной процедуры.

² Источник изображения: Nozères C. Poissons marins du Saint-Laurent : un photoguide. Estuaire et nord du golfe / Marine fishes of the St. Lawrence: a photoguide. Estuary and Northern Gulf. Version 2017-03-05. 167 p + vi.

Таблица 1. Химический состав зубатки синей
Table 1. Chemical composition of blue catfish

Содержание в 100 г мяса рыбы, г						
Вода	ОА	НБА	СП (ОА·6,25)	ИП (белок) [(ОА – НБА)·6,25]	Жир	Зола
90,10 ± 0,50	1,09 ± 0,03	0,050 ± 0,008	6,73 ± 0,10	6,47 ± 0,11	2,00 ± 0,09	1,10 ± 0,15

Примечание. ОА – массовая доля общего азота; СП – сырой протеин; НБА – массовая доля небелкового азота; ИП – истинный протеин (массовая доля белка).

Как показали проведенные исследования, белок зубатки синей имеет богатый аминокислотный состав (рис. 2), что позволяет рассматривать мясо зубатки синей после снижения оводненности как основное сырье для изготовления комбинированных рыбных кулинарных изделий.

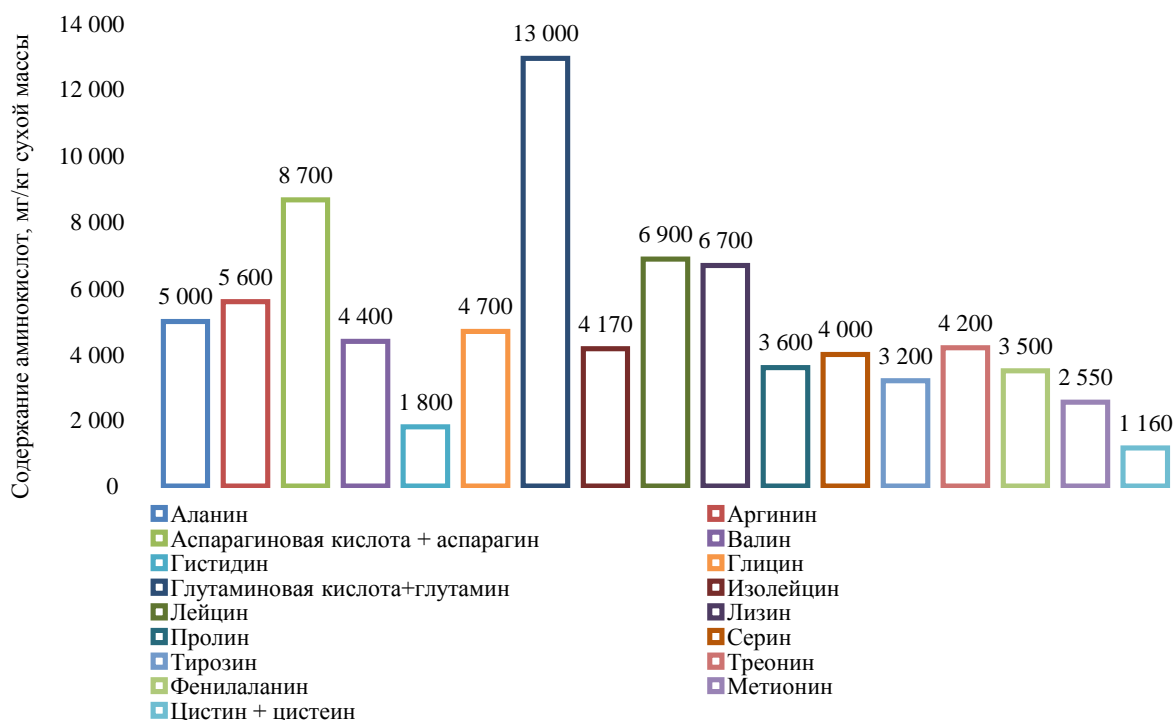


Рис. 2. Аминокислотный состав зубатки синей
Fig. 2. Amino acid composition of blue catfish

Ламинария всех видов обработки является богатейшим источником йода (100 г сушеной ламинарии содержит до 300 мг йода) и используется в качестве физиологического пищевого ингредиента, обогащающего продукты питания органическим биодоступным йодом (Савкина и др., 2017).

Новое рыбное кулинарное изделие "Кремчиз фиш из зубатки синей, обогащенный йодом ламинарии беломорской" разрабатывали в ассортименте из трех наименований:

- "Кремчиз фиш с зубаткой синей и овощами, обогащенный йодом ламинарии беломорской";
- "Кремчиз фиш с зубаткой синей и морской капустой, обогащенный йодом ламинарии беломорской";
- "Кремчиз фиш с зубаткой синей, клюквой и мятой, обогащенный йодом ламинарии беломорской".

Выбор и обоснование технологии изготовления и рецептур продуктов осуществляли на основе анализа научной литературы, а также по результатам предварительных экспериментов. Общая технологическая схема производства кулинарных изделий представлена на рис. 3. В соответствии с разработанной технологической схемой изделия изготавливали из зубатки синей потрошенной обезглавленной, охлажденной или мороженой.

Подготовку рыбного сырья осуществляли следующим образом: мороженую рыбу дефростировали на воздухе при температуре до 20 °С, процесс продолжали до достижения в центре рыбы температуры –1 °С или свободного отделения рыбы от блока, после чего рыбу сортировали. При использовании охлажденного сырья операцию размораживания пропускали и сразу после получения сырья из среднетемпературной холодильной камеры хранения приступали к его сортировке. Мороженую и охлажденную рыбу сортировали, отбраковывая экземпляры, не соответствующие ГОСТ 32366-2013 или ГОСТ 814-2019.

Доброкачественное сырье поступало на разделку. Зубатку разделяли на филе без кожи механизированным способом или вручную и мыли в проточной воде (СанПиН 2.1.3684-21) с температурой не выше 20 °С, затем филе инспектировали и давали стечь.

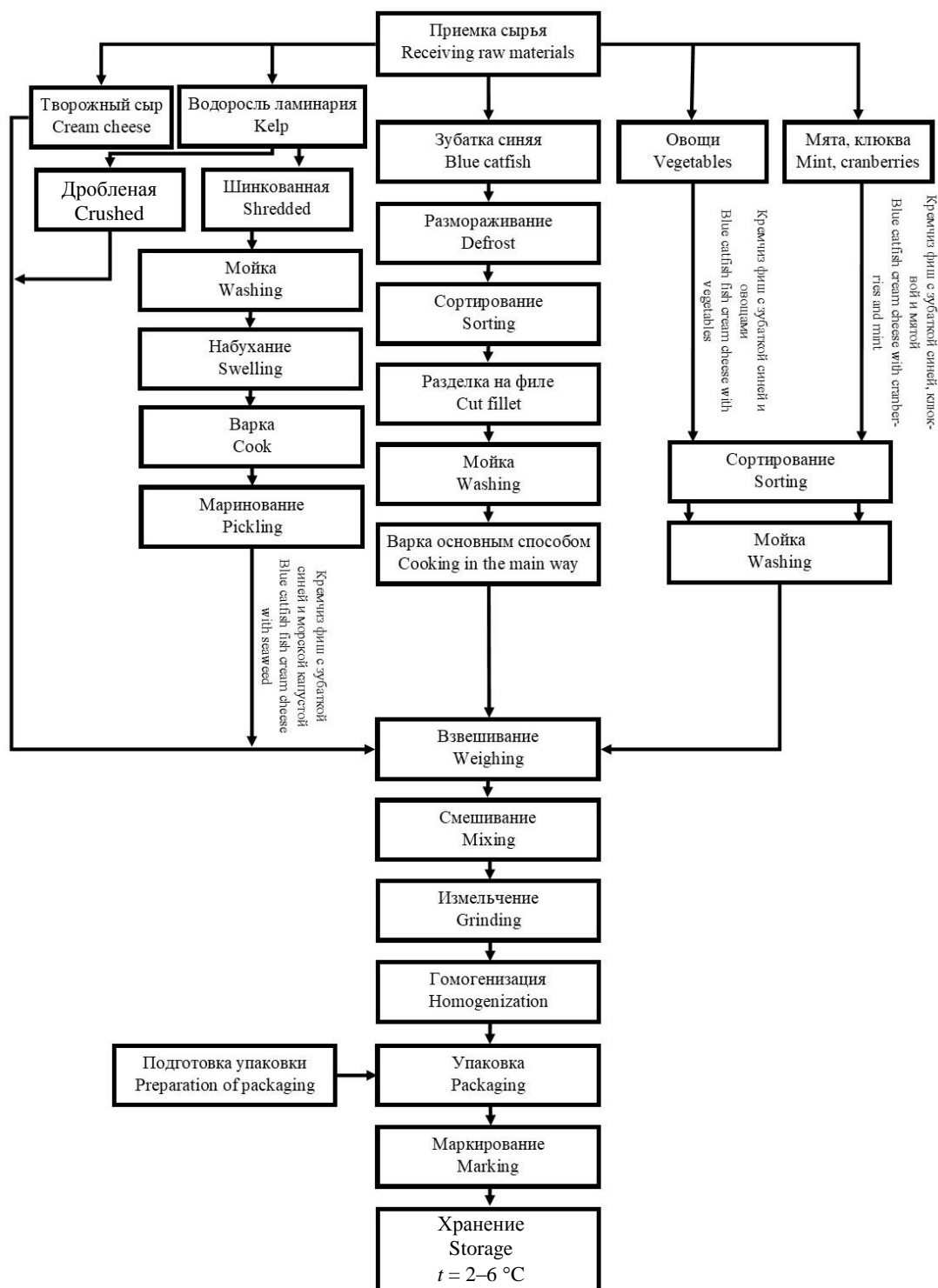


Рис. 3. Технологическая схема производства кулинарного рыбного продукта "Кремчиз фиш из зубатки синей, обогащенный йодом ламинарии беломорской"
 Fig. 3. Technological scheme of production of culinary fish product "Cream cheese fish from blue catfish enriched with iodine of kelp of the White Sea"

Следующим этапом являлась варка филе в воде при температуре $(98 \pm 2) ^\circ\text{C}$ в течение 20 мин, после чего филе охлаждали до температуры не выше 20 °С и подвергали измельчению механизированным способом.

Подготовка нерыбных компонентов пасты осуществлялась в соответствии с требованиями разработанной технической документации и технологической инструкции № 2 по подготовке пищевых материалов при производстве консервов и пресервов³.

Лук репчатый свежий (ГОСТ Р 51783), морковь столовую (ГОСТ 33540-2015), перец красный сладкий (ГОСТ Р 56768-2015), чеснок свежий (ГОСТ 7977-87), мяту свежую и укроп свежий (ГОСТ 32883-2014) сортировали, отделяли экземпляры с механическими повреждениями и признаками гнилостной порчи. Затем овощи очищали, после чего зелень и овощи мыли в проточной воде с температурой не выше 20 °С, измельчали и бланшировали острым паром.

Клюкву мороженую размораживали на воздухе при температуре 20 °С в течение 2–3 ч, затем сортировали, отбраковывая не соответствующие ГОСТ 33823-2016 экземпляры, мыли в проточной воде с температурой не выше 20 °С, измельчали.

Соль (ГОСТ Р 51574-2018, помол "Экстра") просеивали для удаления комков и механических загрязнений, после чего она поступала на обработку. Перец черный молотый (ГОСТ 29050-91) просеивали для удаления комков и механических загрязнений, после чего он поступал на обработку.

При изготовлении кулинарных изделий, обогащенных йодом, использовали ламинарию производства Архангельского водорослевого комбината в переработанном виде. Сушеную ламинарию в виде порошка с частицами размером не более 200 мкм просеивали для удаления комков и механических загрязнений. Ламинарию сушеную шинкованную промывали в емкости со сменяемой водой с температурой не выше 20 °С, для чего выдерживали в воде при соотношении водорослей и воды 1 : 5 в течение 25 мин, периодически перемешивая; этап повторяли дважды, после чего ламинарию перекладывали в емкость и заливали водой с температурой не выше 15 °С для набухания. Соотношение ламинарии и воды на этапе набухания составляло 1 : 8, длительность процесса – 10–12 ч (при периодическом перемешивании). Затем водоросли перекладывали в варочный котел и варили 1 ч в воде при температуре (98 ± 1) °С. После варки ламинарию охлаждали в проточной воде с температурой не выше 20 °С для охлаждения. Затем ламинарию мариновали в заранее подготовленном маринаде (соотношение маринада и водорослей – 1,5 : 1) в течение 4 ч (при периодическом перемешивании). После маринования ламинарию измельчали механизированным способом.

Подготовленные в соответствии с разработанными технологиями и рецептурами ингредиенты кулинарного изделия – отварное измельченное мясо зубатки синей, творожный сыр, овощи, соль, консервант (смесь сорбата калия и бензоата натрия) – взвешивали и соединяли, тщательно перемешивая.

Для изготовления рыбного кулинарного изделия "Кремчиз с зубаткой синей и овощами" использовали измельченное отварное мясо зубатки синей, творожный сыр, измельченные овощи и зелень (перец красный сладкий, морковь, лук, чеснок, хрен, укроп, а также соль, перец черный молотый), ламинарию сушеную в виде порошка, консервант. Для изготовления рыбного кулинарного изделия "Кремчиз фиш с зубаткой синей и маринованной морской капустой, обогащенный йодом ламинарии беломорской" использовали измельченное отварное мясо зубатки синей, творожный сыр, хрен, чеснок, укроп, соль, маринованную морскую капусту, консервант. Для изготовления рыбного кулинарного изделия "Кремчиз фиш с зубаткой синей, клюквой и мятой" использовали измельченное отварное мясо зубатки синей; творожный сыр; измельченные клюкву, мяту свежую, розмарин сушеный; соль; перец черный молотый; консервант.

После соединения и перемешивания ингредиентов смесь гомогенизировали механизированным способом.

Готовые изделия расфасовывали в полимерную потребительскую упаковку массой нетто 150 г, упаковку маркировали, упаковывали в транспортную упаковку в соответствии с требованиями ТР ТС 022/2011. Упакованную продукцию хранили при температуре (4 ± 2) °С до момента реализации не более 2 месяцев.

Разработка новых видов продуктов требует автоматизированного проектирования рецептур с возможностью их оптимизации по выбранным критериям. Нестабильные качественные показатели сырья и взаимодействие компонентов смеси между собой затрудняют построение полной математической модели. В связи с этим моделирование рецептур пищевых продуктов осуществляли посредством аппарата нечеткой логики. Данный метод позволяет проводить анализ в условиях субъективной оценки эмпирических данных и отсутствия явной числовой формы результата. В программной среде MatLab для оптимизации рецептур новых продуктов используется пакет Fuzzy Logic. Пакет этой программы имеет возможность интерпретировать дву- и трехмерные массивы данных и визуализировать их (Дворецкий и др., 2005).

Автоматизированное проектирование и оптимизация рецептурного состава нового пищевого продукта в программной среде MatLab начинается с определения параметра (выходная переменная) и критериев оптимизации, а также с установления влияющих факторов (входные переменные). Параметром оптимизации для всех разработанных рыбных кулинарных изделий выбран суммарный балл органолептической оценки изделий по разработанной пятибалльной словесной шкале, характеризующий их потребительские свойства. В качестве влияющих факторов для каждой опытной рецептуры были определены два компонента, влияющие

³ Сборник технологических инструкций по производству консервов и пресервов из рыбы и нерыбных объектов промысла : в 3 т. СПб., 2012. 60 с. Т. 1. С. 54–99.

на органолептическую оценку в наибольшей степени. Остальные влияющие на параметр оптимизации технологические факторы в ходе эксперимента поддерживали на постоянном уровне для исключения их влияния на результат.

На основе предварительных экспериментов осуществляли выбор влияющих на параметр оптимизации технологических факторов:

– для рецептуры изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей с овощами, обогащенный йодом ламинарии беломорской" – массовые доли измельченного отварного мяса зубатки синей и чеснока, % от массы нетто полуфабриката до смешивания ингредиентов рыбной пасты;

– для рецептуры изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей с маринованной морской капустой, обогащенный йодом ламинарии беломорской" – массовые доли измельченного отварного мяса зубатки синей и маринованной ламинарии, % от массы нетто до смешивания ингредиентов рыбной пасты;

– для рецептуры изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей с клюквой и мятой, обогащенный йодом ламинарии беломорской" – массовые доли клюквы и мяты, % от массы нетто до смешивания ингредиентов рыбной пасты.

Следует отметить, что количество йода, вносимого в составе обработанной ламинарии в изделие, поддерживали во всех опытах по каждому из изделий на постоянном уровне. При определении этого количества учитывали два ограничивающих параметра. Первый параметр – это содержание йода в ламинарии, использованной для обогащения йодом конкретного изделия. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 52349-2005 (с изменениями от 01.03.2011 г.) содержание функционального пищевого ингредиента в обогащенном продукте должно составлять не менее 15 и не более 50 % от рекомендованной физиологической нормы потребления (150 мкг). Второй ограничивающий параметр – отсутствие выраженного негативного влияния на органолептические свойства готового изделия. Количество добавляемой в изделие сушеной ламинарии определено расчетным путем на основе экспериментальных данных о содержании йода в коммерческих образцах ламинарии производства Архангельского водорослевого комбината.

По результатам предварительных экспериментов были установлены области, ограничивающие факторные пространства, а также определены лингвистические термы, характеризующие входные переменные. В табл. 2 приведена характеристика плана эксперимента по автоматизированному проектированию и оптимизации рецептуры изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей с овощами, обогащенный йодом ламинарии беломорской".

Таблица 2. План эксперимента по автоматизированному проектированию и оптимизации рецептуры рыбного кулинарного изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей с овощами, обогащенный йодом ламинарии беломорской"

Table 2. Experiment plan for automated design and optimization of the recipe of a fish culinary product "Cream cheese fish from blue catfish with vegetables enriched with iodine of kelp of the White Sea"

Ингредиент	Диапазон значений	Лингвистические термы	Диапазон значений для терма
Входные переменные (влияющие факторы)			
X_1 – мясо зубатки синей отварное измельченное, % от массы нетто полуфабриката до смешивания ингредиентов рыбной пасты	47,7–74,3	Мало	47,7–56,6
		Среднее значение	56,7–65,4
		Много	65,5–74,3
X_2 – чеснок измельченный, % от массы нетто полуфабриката до смешивания ингредиентов рыбной пасты	0,6–1,3	Мало	0,60–0,83
		Среднее значение	0,84–1,06
		Много	1,07–1,30
Параметр оптимизации (выходная переменная)			
X_3 – суммарный балл органолептической оценки готового изделия, балл	4,3–5,0	Удовлетворительно	4,30–4,47
		Нормально	4,48–4,65
		Хорошо	4,66–4,82
		Отлично	4,83–5,00

Исходя из диапазонов варьирования, было составлено семь опытных рецептов изготовления экспериментальных образцов кулинарного изделия "Кремчиз фиш с зубаткой синей и овощами, обогащенный йодом" (табл. 3), которые соответствуют различным сочетаниями значений выбранных влияющих факторов в пределах обоснованного диапазона, ограничивающего факторное пространство.

В ходе эксперимента были изготовлены семь опытных образцов изделия по разработанным вариантам рецептов. На заседаниях дегустационного совета Мурманского арктического университета на кафедре технологий пищевых производств проведена органолептическая оценка образцов, по результатам которой сформулированы семь правил (база данных) для дальнейшего моделирования. База данных (правила) для

изделия "Кремчиз фиш из зубатки синей с овощами, обогащенный йодом ламинарии беломорской" представлена на рис. 4.

Таблица 3. Матрица эксперимента рыбного кулинарного продукта
 "Кремчиз фиш с зубаткой синей и овощами, обогащенный йодом ламинарии беломорской"
 Table 3. Matrix of fish culinary product experiment
 "Cream cheese fish with blue catfish and vegetables enriched with iodine of kelp of the White Sea"

Вариант опытной рецептуры	Значения входных переменных	
	X_1 – мясо зубатки синей отварное измельченное, % от массы нетто полуфабриката до смешивания ингредиентов рыбной пасты	X_2 – чеснок измельченный, % от массы нетто полуфабриката до смешивания ингредиентов рыбной пасты
1	47,7	1,0
2	74,3	1,0
3	61,0	0,6
4	61,0	1,3
5	61,0	1,0
6	47,7	1,3
7	74,3	0,6

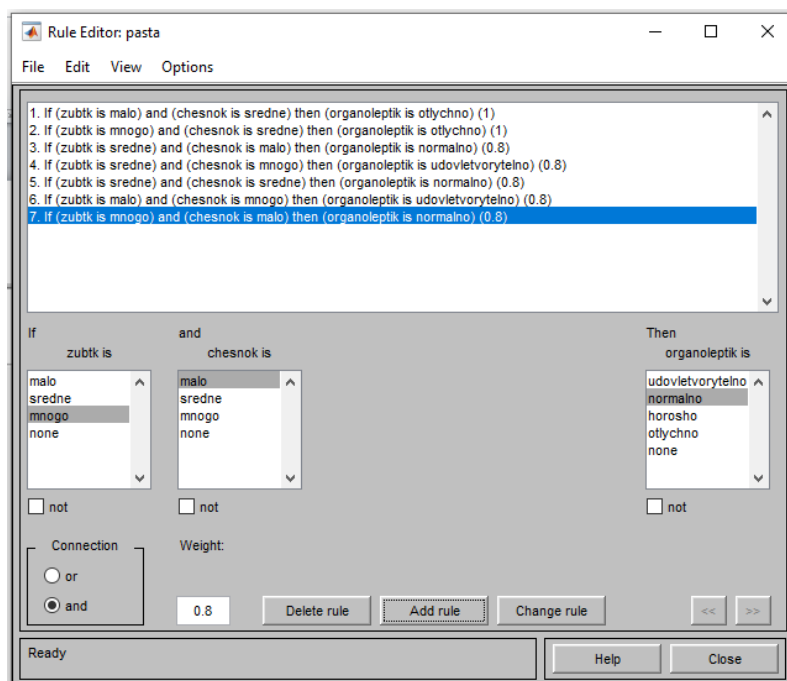


Рис. 4. База данных (правила). (Источник: скриншот пользовательского экрана программы Fuzzy Logic Toolbox пакета MatLab. База составлена авторами.)
 Fig. 4. Database (rules). (Source: Screenshot of user screen Fuzzy Logic Toolbox programs of the MatLab package. The database is compiled by the authors.)

С помощью набора инструментов нечеткой логики Fuzzy Logic Toolbox программы MatLab и сформулированных правил была смоделирована в автоматическом режиме оптимальная рецептура изделия с наивысшей органолептической оценкой. На рис. 5–6 представлена визуализация нечеткого логического вывода и соответствующая ей поверхность отклика при автоматизированном проектировании оптимальной рецептуры рыбного кулинарного изделия.

Аналогичная процедура автоматизированного проектирования и оптимизации рецептуры была выполнена еще для двух рыбных кулинарных изделий. Результаты приведены ниже.

Для рыбного кулинарного изделия "Кремчиз фиш с зубаткой синей и овощами, обогащенный йодом ламинарии беломорской" оптимальными определены массовые доли мяса зубатки синей отварного измельченного и чеснока, равные 61 и 0,95 % от массы нетто полуфабриката до смешивания ингредиентов рыбной пасты соответственно.

Для изделия "Кремчиз фиш с зубаткой синей и маринованной морской капустой, обогащенный йодом ламинарии беломорской" установлены оптимальные количества ключевых компонентов рецептуры: массовая

доля маринованной ламинарии 8,6 %; массовая доля мяса зубатки синей отварного измельченного 42,6 % (% от массы нетто полуфабриката до смешивания ингредиентов рыбной пасты).

Оптимальные количества ключевых компонентов рецептуры изделия "Кремчиз фиш с зубаткой синей, клюквой и мятой, обогащенный йодом ламинарии беломорской" составили: 4,5 % – массовая доля клюквы измельченной; 1,0 % – массовая доля мяты измельченной (% от массы нетто полуфабриката до смешивания ингредиентов рыбной пасты).

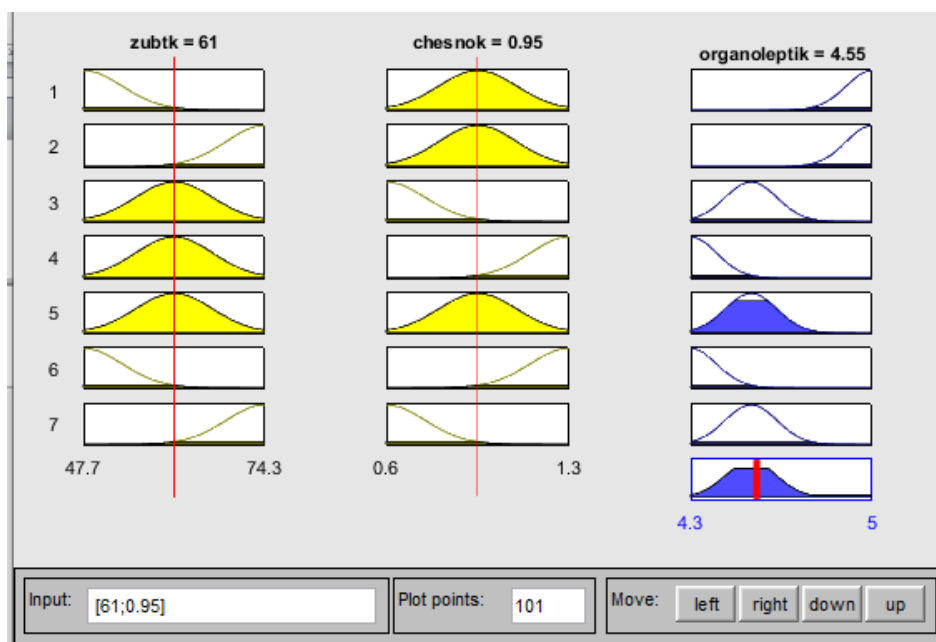


Рис. 5. Визуализация нечеткого логического вывода.

(Источник: скриншот пользовательского экрана программы

Fuzzy Logic Toolbox пакета MatLab. Визуализация составлена авторами.)

Fig. 5. Visualization of the fuzzy logical conclusion. (Source: screenshot of the program's user screen Fuzzy Logic Toolbox of MatLab package. Visualization is compiled by the authors.)

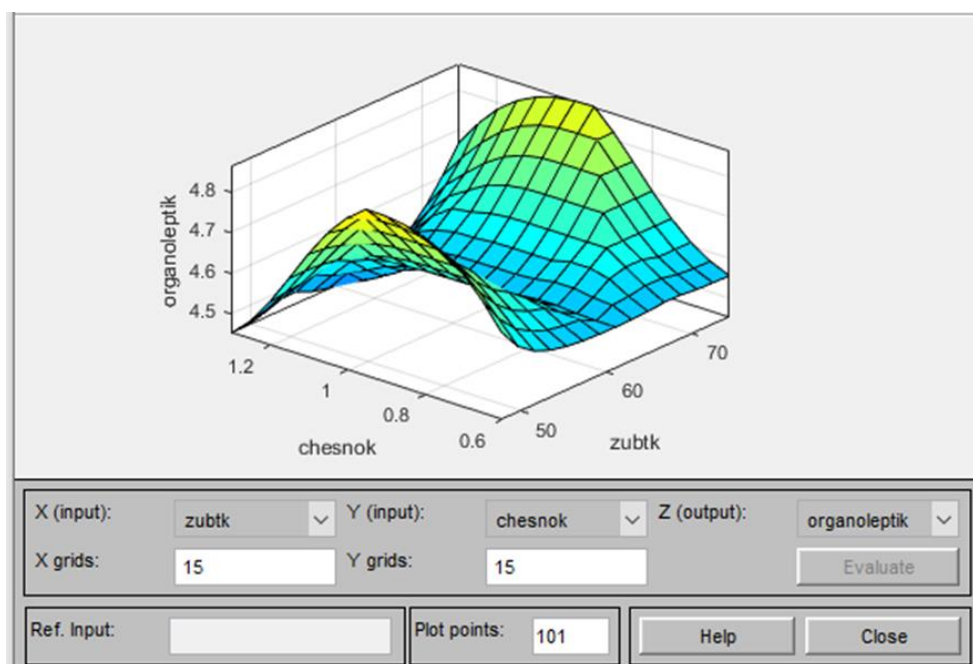


Рис. 6. Поверхность отклика. (Источник: скриншот пользовательского экрана программы

Fuzzy Logic Toolbox пакета MatLab. Поверхность отклика составлена авторами.)

Fig. 6. Response surface. (Source: screenshot of the program's user screen Fuzzy Logic Toolbox of MatLab package. Response surface compiled by the authors.)

Полученные результаты оптимизации рецептурного состава новых рыбных кулинарных изделий, обогащенных йодом, учтены в разработанной технической документации ТУ и ТИ. Новизна технического решения по разработке рецептур и технологии рыбных кулинарных изделий "Кремчиз фиш, обогащенный йодом ламинарии беломорской" в ассортименте подтверждена полученным патентом РФ на изобретение (патент РФ № 2804028) (*Способ получения...*, 2023).

На следующем этапе исследований экспериментально установлен общий химический состав новых изделий, а также содержание в них йода, рассчитана энергетическая ценность продуктов (табл. 4).

Таблица 4. Химический состав и энергетическая ценность новых рыбных кулинарных изделий
Table 4. Chemical composition and energy value of new fish culinary products

Продукт	Содержание в 100 г изделия, г						
	Вода	Белок	Жир	Углеводы	Зола (в том числе соль)	Энергетическая ценность, ккал	Йод, мкг
"Кремчиз фиш с зубаткой и овощами, обогащенный йодом ламинарии беломорской"	76,2	11,0	9,0	1,9	1,9	125,0	340 ± 30
"Кремчиз фиш с зубаткой синей и маринованной морской капустой, обогащенный йодом ламинарии беломорской"	73,5	9,0	13,0	2,5	2,0	154,0	
"Кремчиз фиш с зубаткой синей, клюквой и мятой, обогащенный йодом ламинарии беломорской"	74,2	8,5	13,0	2,5	1,8	152,0	

Примечание. Массовая доля углеводов определена расчетным методом как разность: 100 – вода – белок – жир – зола, %; энергетическая ценность продукта (100 г) рассчитана с учетом коэффициентов усвояемости белка (0,92), углеводов (0,98) и жира (0,95).

Заключение

Технология рыбных кулинарных изделий, обогащенных йодом ламинарии беломорской, разработана на основе малоиспользуемого с пониженной пищевой ценностью объекта промысла Северного бассейна – зубатки синей *Anarhichas denticulatus*.

В результате проведенного исследования экспериментально обоснован способ снижения массовой доли воды в мясе зубатки синей с использованием предварительной термической обработки зубатки посредством варки в воде при соотношении рыбы и воды, составляющем не менее 1:2, температуре варки (98 ± 2) °С, длительности термической обработки 20 мин.

В качестве функционального ингредиента для обогащения рыбного кулинарного изделия йодом предложено использовать ламинарию *Saccharina latissima* (L.) в сушеном виде (массовая доля влаги не более 4,5 %, содержание йода 1 400 мг) производства Архангельского водорослевого комбината, добытую в Белом море (побережье Архангельской области).

В ходе экспериментов разработаны и оптимизированы по критерию достижения максимальной органолептической оценки рецептуры рыбных кулинарных изделий "Кремчиз фиш из зубатки синей с овощами, обогащенный йодом ламинарии беломорской", "Кремчиз фиш с зубаткой синей и маринованной морской капустой, обогащенный йодом ламинарии беломорской", "Кремчиз фиш с зубаткой синей, клюквой и мятой, обогащенный йодом ламинарии беломорской".

Разработанные рыбные кулинарные изделия характеризуются отличными органолептическими свойствами, сбалансированным химическим составом: массовая доля белка в изделиях колеблется от 8,5 до 11 %, жира – от 9 до 13 %; содержание углеводов составляет около 2 %, йода в 100 г изделий – (340 ± 30) мкг. Химический состав и калорийность продуктов свидетельствуют об их высокой пищевой ценности. Содержание йода позволяет рекомендовать ежедневный прием изделий в количестве (44 ± 5) г для обеспечения 50 % от рекомендованного уровня адекватного потребления йода (не менее 75 мкг).

Благодарности

Работа выполнена в 2021–2023 гг. при поддержке Научно-образовательного центра (НОЦ) мирового уровня "Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования" в рамках НИР "Производство полифункциональных продуктов и индивидуальных рационов питания из местного сырья

на основе цифровой системы мониторинга питания организованных групп, осуществляющих трудовую деятельность в Арктической зоне" (договоры № Д-1109.2021 и № Д-1541.2023).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Амелькина А. С., Анциферов М. Ю., Бакай Ю. И., Баканев С. В. [и др.]. Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева, Белого и Карского морей и Северной Атлантики в 2022 г. / отв. ред. К. М. Соколов. Мурманск : Полярный филиал ВНИРО ("ПИНРО" им. Н. М. Книповича), 2022. 161 с.
- Дворецкий Д. С., Ермаков А. А., Пешкова Е. В. Расчет и оптимизация процессов и аппаратов химических и пищевых производств в среде MatLab / под ред. С. И. Дворецкого. Тамбов : ТГТУ, 2005. 80 с.
- Клочкова И. С., Багач В. К., Кращенко В. В. Рыбные пасто- и паштетообразные продукты повышенной пищевой и биологической ценности // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации : материалы IV Национальной науч.-техн. конф. Владивосток, 18 декабря 2020 г. Владивосток : Дальрыбвтуз, 2021. С. 232–237. EDN: TZWYQH.
- Павлова В. В., Новожилова Е. А., Тащиенко Е. А., Шокина Ю. В. Разработка рецептур полифункциональных продуктов на основе малоиспользуемого сырья Северного бассейна // Балтийский морской форум : материалы IX Междунар. Балтийского морского форума, 4–9 октября 2021 г. : в 6 т. Калининград : Изд-во БГАРФ, 2021. Т. 5 : Инновации в технологии продуктов здорового питания : VIII Нац. науч. конф. С. 55–63. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
- Способ получения рыбной пасты из зубатки синей : пат. 2804028 Рос. Федерация / Ю. В. Шокина Е. А. Новожилова ; № 2022126413 ; заявл. 10.10.2022 ; опубл. 26.09.2023. Бюл. № 27.
- Савкина К. Н., Свистов Р. А., Новожилова Е. А., Тащиенко Е. А. [и др.]. Обоснование инновационных пищевых технологий с использованием марикультуры – водорослей *Laminaria saccharina* // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. 2017. № 1. С. 78–86. EDN: XYBPTF.
- Gahrue H. H., Eskandari M. H., Mesbahi G., Hanifpour M. A. Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review // *Food Science and Human Wellness*. 2015. Vol. 4, Iss. 1 P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.03.002>.

References

- Amelkina, A. S., Antsiferov, M. Yu., Bakai, Yu. I., Bakanev, S. V. et al. 2022. The state of raw biological resources of the Barents, White and Kara Seas and the North Atlantic in 2022. Ed. K. M. Sokolov. Murmansk. (In Russ.)
- Dvoretzky, D. S., Ermakov, A. A., Peshkova, E. V. 2005. Calculation and optimization of processes and devices of chemical and food production in the MatLab environment. Ed. S. I. Dvoretzky. Tambov. (In Russ.)
- Klochkova, I. S., Bagach, V. K., Kraschenko, V. V. 2021. Fish pastes and pate-like products of increased nutritional and biological value. Coll. articles of the IV National Scientific and Technical. Conf. *Innovative development of the fishing industry in the context of ensuring food security of the Russian Federation*, December 18, 2020. Vladivostok, pp. 232–237. EDN: TZWYQH. (In Russ.)
- Pavlova, V. V., Novozhilova, E. A., Tatsienko, E. A., Shokina, Yu. V. 2021. Development of formulations of multifunctional products based on little-used raw materials of the Northern basin. *Baltic Marine Forum*, 4–9 October, 2021. Kaliningrad. (In Russ.)
- Shokina, Yu. V., Novozhilova, E. A. 2022. Method for producing fish paste from blue catfish, Russian Federation, Pat. 2804028. (In Russ.)
- Savkina, K. N., Svistov, R. A., Novozhilova, E. A., Tastienko, E. A. et al. 2017. Substantiation of innovative food technologies using mariculture – algae *Laminaria saccharina*. *Izvestiya vysshykh uchebnykh zavedenii. Arkticheskii region*, 1, pp. 78–86. EDN: XYBPTF. (In Russ.)
- Gahrue, H. H., Eskandari, M. H., Mesbahi, G., Hanifpour, M. A. 2015. Scientific and technical aspects of yogurt fortification: A review. *Food Science and Human Wellness*, 4(1), pp. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.03.002>.

Сведения об авторах

Новожилова Елена Андреевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;
Мурманский арктический университет, аспирант; e-mail: hai8a45@yandex.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0239-6155>

Elena A. Novozhilova – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,
Ph.D. Student; e-mail: hai8a45@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0239-6155>

Шокина Юлия Валерьевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский арктический университет, д-р техн. наук, профессор; e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

Yulia V. Shokina – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University, Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

Решетник Екатерина Ивановна – ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Россия, 675009; Дальневосточный государственный аграрный университет, д-р техн. наук, профессор; e-mail: soia-28@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3166-9992>

Ekaterina I. Reshetnik – 86 Politekhnikeskaya Str., Blagoveshchensk, Russia, 675009; Far Eastern State Agrarian University, Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: soia-28@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3166-9992>

Захарова Людмила Михайловна – ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Россия, 675009; Дальневосточный государственный аграрный университет, д-р техн. наук, профессор; e-mail: zaharova_lm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8688-051X>

Lyudmila M. Zakharova – 86 Politekhnikeskaya Str., Blagoveshchensk, Russia, 675009; Far Eastern State Agrarian University, Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: zaharova_lm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8688-051X>

Пакусина Антонина Павловна – ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Россия, 675009; Дальневосточный государственный аграрный университет, д-р хим. наук, профессор; e-mail: pakusina.a@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5547-3444>

Antonina P. Pakusina – 86 Politekhnikeskaya Str., Blagoveshchensk, Russia, 675009; Far Eastern State Agrarian University, Dr Sci. (Chemistry), Professor; e-mail: pakusina.a@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5547-3444>

Пашина Любовь Леонидовна – ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Россия, 675009; Дальневосточный государственный аграрный университет, д-р экон. наук, профессор; e-mail: pashinall@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7991-5793>

Lyubov L. Pashina – 86 Politekhnikeskaya Str., Blagoveshchensk, Russia, 675009; Far Eastern State Agrarian University, Dr Sci. (Economics), Professor; e-mail: pashinall@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7991-5793>

Школьников Павел Николаевич – ул. Политехническая, 86, г. Благовещенск, Россия, 675009; Дальневосточный государственный аграрный университет, д-р техн. наук, профессор; e-mail: pavel.shkolnikov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3587-3082>

Pavel N. Shkolnikov – 86 Politekhnikeskaya Str., Blagoveshchensk, Russia, 675009; Far Eastern State Agrarian University, Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: pavel.shkolnikov@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3587-3082>

Тихонова Павлина Алексеевна – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский арктический университет, аспирант; e-mail: tikhonovapa@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0521-0212>

Pavlina A. Tikhonova – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University, Ph.D. Student; e-mail: tikhonovapa@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0521-0212>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ Р 51493-99	Рыба разделанная и неразделанная мороженая. Технические условия. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/8751/?ysclid=lwq25qtvcv728550635 .
ГОСТ 814-2019	Рыба охлажденная. Технические условия. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/71669/?ysclid=lwq272n3ks21319316 .
ГОСТ 31339-2006	Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/324/?ysclid=lwq2cggkdx902566287 .
ГОСТ 7636-85	Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200022224?ysclid=lwq2e679wl965046085 .
МУ 31-07/04 (ФР 1.31.2004.01166)	Методика выполнения измерений содержания йода в пищевых продуктах, продовольственном сырье, кормах и продуктах их переработки, лекарственных препаратах, витаминах, БАДах, биологических объектах методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. URL: https://docs.cntd.ru/document/437151301?ysclid=lwq426ggkc553547770 .
ГОСТ 7631-2008	Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/47573/ .
ГОСТ 32366-2013	Межгосударственный стандарт. Рыба мороженая. Технические условия. https://docs.cntd.ru/document/1200105891 .
ГОСТ 814-2019	Межгосударственный стандарт. Рыба охлажденная. Технические условия. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200167776 .
СанПиН 2.1.3684-21	Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий. URL: https://docs.cntd.ru/document/573536177 .
ГОСТ Р 51783	Лук репчатый свежий, реализуемый в розничной торговой сети. Технические условия. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200025429?ysclid=lwq2p0kimj679499605 .
ГОСТ 33540-2015	Морковь столовая свежая для промышленной переработки. Технические условия. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200127767?ysclid=lwq2q4i0bn490103033 .
ГОСТ Р 56768-2015	Перец сладкий свежий для промышленной переработки. Технические условия. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200127473?ysclid=lwq2r9mrjz443777055 .
ГОСТ 7977-87	Чеснок свежий заготавливаемый и поставляемый. Технические условия. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/12049/?ysclid=lwq2stazpr178366116 .
ГОСТ 32883-2014	Зеленые культуры овощные свежие для промышленной переработки. Технические условия. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/58345/?ysclid=lwq2tunp21435091482 .
ГОСТ 33823-2016	Зеленые культуры овощные свежие для промышленной переработки. Технические условия. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/58345/?ysclid=lwq2tunp21435091482 .
ГОСТ Р 51574-2018	Соль пищевая. Общие технические условия. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/69252/?ysclid=lwq2w82ube191751144 .
ТР ТС 022/2011	Пищевая продукция в части ее маркировки. URL: http://www.tsouz.ru/db/techreglam/documents/trtpishevkamarkirovka.pdf .
ГОСТ Р 52349-2005	Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200039951 .
ГОСТ 29050-91	Пряности. Перец белый и черный. Технические условия. URL: https://internet-law.ru/gosts/gost/10262/?ysclid=lwq2x61ej730231526 .

УДК 664.66

Перспективы использования порошков из мякоти тыквы и плодов шиповника в хлебопечении

А. Н. Сапожников*, А. В. Копылова, Д. А. Обриков

*Новосибирский государственный аграрный университет, г. Новосибирск, Россия;

e-mail: alexnsk@ya.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5335-4457>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
11.04.2024;

принята
к публикации
22.04.2024

Ключевые слова:

хлебопечение,
хлебобулочные изделия,
растительное сырье,
порошок из шиповника,
порошок из тыквы,
инфракрасная сушка

Исследования по изучению влияния порошков из тыквы и шиповника, полученных путем инфракрасной сушки, на органолептические характеристики, пищевую ценность и стоимость сырьевого набора хлебобулочных изделий из муки пшеничной высшего сорта проведены на кафедре технологии и организации пищевых производств Новосибирского государственного технического университета. Объектами исследования являются два вида порошков, изготовленных с помощью инфракрасной сушки мякоти тыквы и плодов шиповника, и изделия с использованием этих растительных добавок. Разработана и продемонстрирована технологическая схема для получения порошков из мякоти тыквы и плодов шиповника. Использование инфракрасного излучения как способа сушки позволяет сохранить большее количество полезных веществ, в том числе витамин С. Было изготовлено 3 образца изделий с различными массовыми долями порошков тыквы и шиповника вместо пшеничной муки. Введение порошков в изделия привело к улучшению органолептических параметров образцов. Внешний вид практически не изменился, однако при этом улучшилась текстура, а вкус и запах приобрели легкий фруктовый оттенок. Оптимальная массовая доля порошков составила 4+4 % по отношению к массе пшеничной муки, что соответствует экспериментальному образцу 3, обладающему более приятным вкусом и привлекательным внешним видом по отношению к контрольному образцу 1. Проведен сравнительный анализ пищевой ценности данных образцов. Образец 3 имел в составе бета-каротин и аскорбиновую кислоту, которые отсутствовали в контрольном образце 1. Стоимость сырьевого набора образца изделия с оптимальной массовой долей порошков массой 480 г выросла на 6,4 р. (43,8 %) по сравнению с контрольным образцом и обосновывается наличием в нем порошков тыквы и шиповника, повышающих органолептические свойства и пищевую ценность изделия. Полученное изделие может быть реализовано для широкого круга потребителей с различным уровнем дохода.

Для цитирования

Сапожников А. Н. и др. Перспективы использования порошков из мякоти тыквы и плодов шиповника в хлебопечении. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 242–255. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-242-255>.

Prospects for using powders from pumpkin pulp and rose hips in bakery products

Aleksandr N. Sapozhnikov*, Anastasiia V. Kopylova, Denis A. Obrikov

*Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia;

e-mail: alexnsk@ya.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5335-4457>

Article info

Received
11.04.2024;

accepted
22.04.2024

Key words:

bakery,
bakery products,
plant raw materials,
rosehip powder,
pumpkin powder,
infrared drying

Abstract

Research to study the influence of pumpkin and rosehip powders obtained by infrared drying on sensory characteristics, nutritional value and cost of raw materials for bakery products made from premium grade wheat flour has been carried out at the Department of Technology and Organization of Food Production of Novosibirsk State Technical University. The objects of the study are two types of powders made using infrared drying of pumpkin pulp and rose hips, and products using these herbal additives. A flowchart for producing these powders has been developed and demonstrated. The use of infrared radiation as a drying method allows you to preserve a larger amount of useful substances, including vitamin C. Three samples of products were made with different mass fractions of pumpkin and rosehip powders instead of wheat flour. The introduction of powders into products led to an improvement in the organoleptic parameters of the samples. The appearance has remained virtually unchanged, but the texture has improved, and the taste and smell have acquired a light fruity tint. The optimal mass fraction of powders was 4+4 % relative to the mass of wheat flour, which corresponds to experimental sample 3, which has a more pleasant taste and attractive appearance compared to control sample 1. A comparative analysis of the nutritional value of these samples has been carried out. Sample 3 contained beta-carotene and ascorbic acid absent in the control sample 1. The cost of a raw material set for a product sample with an optimal mass fraction of powders weighing 480 g increased by 6.4 rubles (43.8 %) compared to the control sample and is justified by the presence of pumpkin and rosehip powders increasing the organoleptic properties and nutritional value of the product. The resulting product can be sold to a wide range of consumers with different income levels.

For citation

Sapozhnikov, A. N. et al. 2024. Prospects for using powders from pumpkin pulp and rose hips in bakery products. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 242–255. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-242-255>.

Введение

Постоянное повышение интереса к правильному питанию наблюдается среди населения Российской Федерации. Для потребителей важно, чтобы продукты были не только полезными, но и вкусными, были пригодны для каждодневного употребления и при этом не приедались. Данным потребительским предпочтениям отвечают хлебобулочные изделия. Изделия из пшеничной муки высшего сорта весьма популярны в России, однако наряду с высокими органолептическими показателями имеют относительно низкую пищевую ценность. Традиционные хлебобулочные изделия не обладают необходимым количеством витаминов, минеральных веществ и жирных кислот для удовлетворения суточной потребности человека. При этом далеко не многие готовы отказаться от привычного продукта, покупая вместо хлебобулочных изделий из пшеничной муки высшего и первого сортов ржаные или цельнозерновые изделия.

Другой неблагоприятной тенденцией в питании населения нашей страны является наличие проблем с регулярным употреблением овощей и фруктов в молодежной среде. Так, для студентов, например, характерно пониженное потребление данного вида продуктов (*Гаус и др., 2021*). Схожая картина наблюдается и у взрослого населения: потребление овощей и фруктов также не находится на необходимом уровне. Согласно данному исследованию, лишь 60 % россиян употребляют свежие овощи и фрукты ежедневно, остальные же довольствуются периодичностью потребления 1–2 раза в неделю и реже (*Карамнова и др., 2018*). Известно, что включение данных продуктов в рацион позволит снабдить организм необходимыми для здорового функционирования витаминами, макро- и микроэлементами, нормализовать работу кишечника и массу тела (*Dreher, 2018*). Недостаточное потребление фруктов и овощей может привести к гиповитаминозу и дефициту пищевых волокон, вследствие чего возникают и развиваются болезни желудочно-кишечного тракта (в т. ч. онкологические), ожирение и сахарный диабет (*Поладашвили и др., 2020*). Другими нарушениями нормальной деятельности организма вследствие недостаточности биологически активных веществ являются слабость, апатия и кожные заболевания.

Согласно предписаниям Всемирной организации здравоохранения рекомендуется употреблять не менее 400 г фруктов и овощей ежедневно (*Ряттель и др., 2023*). Однако из-за постоянного высокого уровня стресса и недостаточности времени на полноценный прием пищи часто выбор делается в пользу утоляющего голод, при этом малоценного с точки зрения пищевой ценности хлебобулочного изделия.

В качестве положительной стороны тенденции роста популярности правильного питания является ежегодное увеличение потребительского спроса на товары данной категории (*Сандракова и др., 2019*). Спросом пользуются хлебобулочные изделия, обладающие функциональными свойствами или повышенной пищевой ценностью за счет использования в их рецептурах добавок из растительного сырья. Представляет интерес использование в рецептурах изделий тыквы мускатной (*Cucurbita moschata Duchesne*) и плодов шиповника (*Rosa cinnamomea, Rosa majalis*).

Тыква – успешно культивируемое на всей территории России растение, обладающее хорошей урожайностью, относительно простыми условиями выращивания и небольшой себестоимостью. Она представляет высокий интерес для потребителей как в натуральном, так и в переработанном виде. Мякоть тыквы богата значительным количеством витаминов группы В, С, А, РР, магнием, кальцием, цинком, пищевыми волокнами и полисахаридами с повышенной гипогликемической активностью (*Школьникова и др., 2021; Hussain et al., 2022*). Исследования по применению тыквенного сырья в мучных, хлебобулочных и мучных кондитерских изделиях проводятся учеными по всему миру и результаты исследований показывают положительное влияние тыквенного сырья на органолептические показатели и пищевую ценность продукта. Сырье добавляют в тесто как в натуральном измельченном, в т. ч. в пюреобразном виде (*Бориева, 2020; Bayramov et al., 2022; Villamil et al., 2023*), так и в виде порошка (*Adubofuor et al., 2018; Davoudi et al., 2020; Wahyono et al., 2018; Сапожников и др., 2022*). Аналогичные результаты наблюдаются при использовании тыквенного сырья в творожных продуктах (*Восканян и др., 2018*) и рубленых мясных полуфабрикатах в оболочке (*Тимофеева, 2018*).

Шиповник – не менее популярное растение, распространенное на всей территории России, в том числе и в Сибири. Его плоды обладают хорошими органолептическими показателями и высокой пищевой ценностью. В плодах шиповника содержится большое количество витамина Е, С, К, кальция, фосфора, железа, калия, магния, клетчатки, пектиновых веществ, сырой клетчатки и других полезных веществ, таких как флавоноиды и каротиноиды, обеспечивающих профилактические свойства продукта (*Кокаева и др., 2018*). Плоды шиповника для улучшения органолептических свойств и повышения пищевой ценности мучных, хлебобулочных и мучных кондитерских изделий использовали как в свежем измельченном виде (*Буракова и др., 2022*), так и в виде сиропа (*Акперова, 2018*) и порошка (*Ковалева и др., 2019; Ghendov-Mosanu et al., 2020; Vartolomei et al., 2021; Федянина и др., 2023*). Имеется положительный опыт применения порошка из плодов шиповника в рецептуре безглютеновых хлебобулочных изделий (*Matas et al., 2018*).

Следует отметить, что в представленных публикациях не исследовалось совместное влияние порошков тыквы и шиповника на органолептические показатели и пищевую ценность хлебобулочных изделий. При этом шиповник и тыква гармонично сочетаются между собой по внешнему виду и вкусу и могут быть одновременно использованы в рецептурах хлебобулочных изделий, что определяет актуальность исследований

в данном направлении. Целесообразным является введение данного сырья в порошкообразном виде, при этом для сушки мякоти тыквы и плодов шиповника рационально использовать инфракрасное (ИК) излучение как максимально сохраняющее органолептические свойства и химический состав исходного растительного сырья (Sapozhnikov et al., 2020).

Целью работы является изучение влияния порошков из тыквы и шиповника, полученных путем инфракрасной сушки, на органолептические характеристики, пищевую ценность и стоимость сырьевого набора хлебобулочных изделий из муки пшеничной высшего сорта.

Материалы и методы

Для получения порошков ИК сушки были использованы плоды тыквы *Cucurbita moschata Duchesne* и шиповника *Rosa majalis* урожая 2022 г., выращенные в Новосибирской области. Все сырье соответствовало требованиям действующих межгосударственных стандартов ГОСТ 7975-2013 и ГОСТ 1994-93¹ соответственно. Технологические схемы получения порошков представлены на рис. 1.

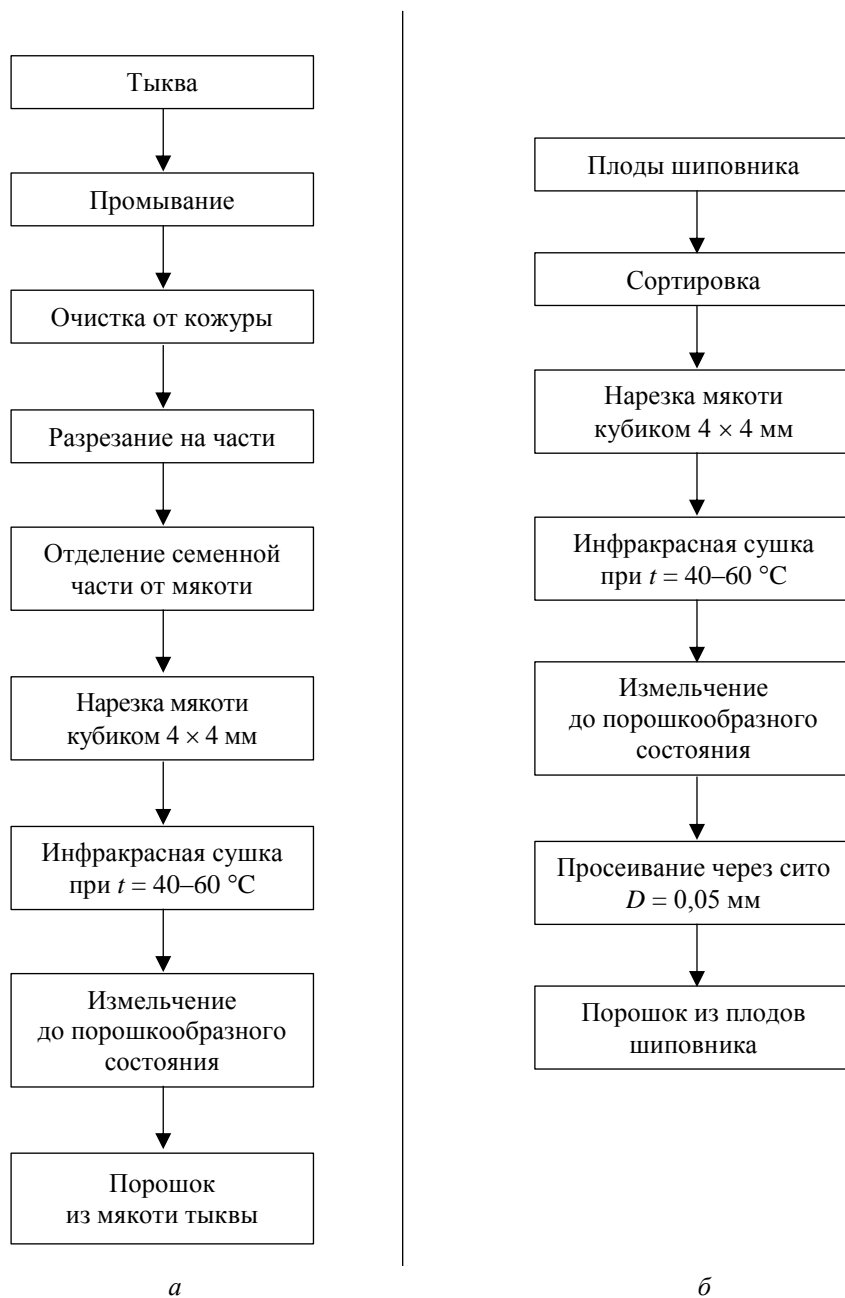


Рис. 1. Технологическая схема получения порошков из мякоти тыквы (а) и плодов шиповника (б)
Fig. 1. Flowchart for obtaining powders from pumpkin pulp (a) and rose hips (б)

¹ Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

Плоды тыквы на начальном этапе мыли и очищали от кожуры, далее разрезали на несколько частей и отделяли семенную часть. Чистую мякоть нарезают кубиком с длиной грани 4 мм.

Плоды шиповника перебирали, при этом плоды несоответствующего качества отсортировывали, далее нарезают кубиком размером 4–5 мм.

Измельченное сырье помещали на противни и подвергали сушке в импульсном режиме в ИК сушилке с боковым расположением излучателей КТТ-220-1000 (*Sapozhnikov et al., 2020*). Температура сушки составила 40–60 °С. Продолжительность процесса сушки для мякоти тыквы составила 3–4 ч, для плодов шиповника – 1,5–2 ч. Сушка продолжалась до достижения влажности сырья 10–12 %. Далее высушенное сырье охлаждали при естественных условиях до 20–25 °С и подвергали измельчению до порошкообразного состояния на кофемолке Bosch MKM 6000 (Германия) мощностью 180 Вт в течение 2 мин для мякоти тыквы и 4 мин для плодов шиповника. Полученные порошки просеивали через сита с диаметром ячеек 0,05 мм для удаления из них более крупных, недостаточно измельченных частиц.

Полученные порошки исследовались по органолептическим показателям и химическому составу. Органолептические показатели определяли по ГОСТ 8756.1-2017. Содержание белка определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 26889-86, жира – с помощью автоматического экстрактора VЕLP Scientifica SER 148/6 (Италия) по ГОСТ 8756.21-89, углеводов – по ГОСТ 8756.13-87, витамина С – по ГОСТ 34151-2017, бета-каротина – по ГОСТ 13496.17-2019, пищевых волокон – по ГОСТ Р 54014-2010. Энергетическая ценность рассчитывалась исходя из полученных значений содержания белков, жиров и углеводов, где содержание белков и углеводов умножалось на калорический коэффициент 4, а жиров – на 9.

Исходная рецептура хлебобулочного изделия представлена в табл. 1.

Для приготовления хлеба пшеничную муку просеивали, перемешивали с солью, сахаром и дрожжами, добавляли нагретую до 30–35 °С воду и подсолнечное масло. Тесто замешивали до получения упругого, эластичного теста без следов непромеса, после чего оставляли на брожение в течение 180 мин при 35–40 °С в емкости, предварительно смазанной маслом в объеме расстоечного шкафа ротационной печи Sveba Dahlen S200 (Швеция). В процессе брожения осуществляли две обминки теста через каждые 60 мин. После брожения из теста формовали заготовки в формах, внутренняя поверхность которых была предварительно присыпана цельнозерновой мукой, выдерживали в течение 5–10 мин, и выпекали в той же ротационной печи в течение 20 мин при 235 °С без увлажнения паром.

Таблица 1. Исходная рецептура хлебобулочного изделия из пшеничной муки
Table 1. Original formulation for wheat flour bakery product

Наименование сырья	Масса, г
Мука пшеничная высшего сорта	300
Дрожжи сухие	5
Соль пищевая	4
Сахар белый кристаллический	5
Вода	200
Масло подсолнечное	20
Мука пшеничная цельнозерновая (на подпыл)	20

В процессе исследований было изготовлено 4 образца хлеба:

- 1) образец 1 – согласно исходной рецептуре из табл. 1 (контрольный);
- 2) образец 2 – с заменой 4 % пшеничной муки на 2 % порошка из мякоти тыквы и 2 % порошка из плодов шиповника;
- 3) образец 3 – с заменой 8 % пшеничной муки на 4 % порошка из мякоти тыквы и 4 % порошка из плодов шиповника;
- 4) образец 4 – с заменой 12 % пшеничной муки на 6 % порошка из мякоти тыквы и 6 % порошка из плодов шиповника.

Образцы изделий исследовались по органолептическим показателям и химическому составу. Органолептическая оценка образцов изделий осуществлялась в соответствии с требованиями ГОСТ 5667-65 специально созданной дегустационной комиссией, состоящей из 10 человек. Образцы оценивались по показателям внешнего вида, консистенции, цвета, вкуса и запаха. Каждый показатель оценивался в диапазоне от 1 до 5 баллов, где наименьшим баллом был 1, наивысшим – 5. Содержание белка определяли методом Кьельдаля по ГОСТ 26889-86, жира – по ГОСТ 5668-68, углеводов – по ГОСТ 5672-68, витамина С – по ГОСТ 34151-2017, бета-каротина – по ГОСТ 13496.17-2019, пищевых волокон – по ГОСТ Р 54014-2010. Энергетическая ценность рассчитывалась аналогично энергетической ценности порошков.

Стоимость сырьевого набора образцов определялась по среднему значению рыночных цен на входящие ингредиенты и массой ингредиентов на единицу изделия, принятую равной 480 г.

Результаты и обсуждение

В результате инфракрасной сушки и измельчения было изготовлено два вида порошков: из плодов шиповника и мякоти тыквы. Внешний вид образцов представлен на рис. 2. Органолептическая оценка полученных порошков приведена в табл. 2.



a



б

Рис. 2. Внешний вид порошков из плодов шиповника (*a*) и мякоти тыквы (*б*)

Fig. 2. Appearance of powders from rose hips fruits (*a*) and pumpkin pulp (*б*)

Таблица 2. Органолептические показатели порошков из плодов шиповника и мякоти тыквы

Table 2. Sensory characteristics of powders from rose hips fruits and pumpkin pulp

Показатель	Порошок из плодов шиповника	Порошок из мякоти тыквы
Цвет	Коричневый, со светло-коричневыми включениями	Оранжево-желтый
Консистенция	Мелкодисперсная, без комочков	Гомогенная, с мелкими комочками
Вкус	Свойственный шиповнику, без посторонних привкусов	Свойственный тыкве, без посторонних привкусов
Запах	Свойственный шиповнику, без посторонних запахов	Свойственный тыкве, без посторонних запахов

Результаты определения химического состава порошков представлены в табл. 3.

Таблица 3. Пищевая ценность порошков из плодов шиповника и мякоти тыквы
Table 3. Nutritional value of powders from rose hips fruits and pumpkin pulp

Нутриент	Суточная потребность	Порошок из плодов шиповника		Порошок из мякоти тыквы	
		в 100 г	% суточной потребности	в 100 г	% суточной потребности
Белки, г	90	3,4 ± 0,2	17,8	9,3 ± 0,5	11,1
Жиры, г	60	1,4 ± 0,1	11,7	0,9 ± 0,05	1,7
Углеводы, г	250	48,3 ± 2,4	89,6	44 ± 2,2	17,6
Энергетическая ценность, ккал	2 000	284	54,5	221,3 ± 11,1	11,0
Витамин С, мг	90	800 ± 40	888,8	40 ± 2	44,4
Бета-каротин, мг	5	4,9 ± 0,2	52,0	12,7 ± 0,6	260,0
Пищевые волокна, г	30	23,2 ± 1,2	360,0	19,2 ± 1,0	66,7

Исходя из представленных выше данных, можно сделать вывод о перспективности использования порошков в хлебопечении. При совместном использовании отмечено высокое содержание витамина С, бета-каротина и пищевых волокон.

Образцы тестовых заготовок и выпеченных изделий представлены на рис. 3 и рис. 4 соответственно.



Рис. 3. Внешний вид тестовых заготовок: *a* – образец 1; *б* – образец 2;
в – образец 3; *г* – образец 4

Fig. 3. Appearance of dough pieces: *a* – sample 1; *б* – sample 2; *в* – sample 3; *г* – sample 4



Рис. 4. Внешний выпеченных изделий на разрезе: *а* – образец 1; *б* – образец 2;
в – образец 3; *г* – образец 4

Fig. 4. Appearance of baked products: *a* – sample 1; *б* – sample 2; *в* – sample 3; *г* – sample 4

Введение порошков в изделия привело к улучшению органолептических параметров (табл. 4). Внешний вид, за исключением цвета, практически не изменился, улучшилась текстура, а вкус и запах приобрели легкий фруктовый оттенок. Присутствие аскорбиновой кислоты в значительном количестве за счет укрепления клейковины визуально увеличило удельный объем изделий. В зависимости от количества вносимых порошков изделия имеют оттенок мякиша от светло-кремового до коричневого, с фруктовым запахом и привкусом, усиливающимся по мере увеличения содержания порошков.

Получаемый продукт получается повышенного качества, в нем возрастает содержание витаминов и пищевых волокон.

Органолептическая оценка выпеченных изделий приведена в табл. 4.

Таблица 4. Органолептическая оценка образцов выпеченных изделий
Table 4. Sensory evaluation of baked products samples

Наименование показателя качества	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4
Внешний вид – форма	Форма правильная, без надрывов			Форма правильная, с одним небольшим надрывом

Характер пористости	Развитая, равномерная, без пустот и уплотнений, без следов непромеса	Развитая, равномерная, без пустот и уплотнений, без следов непромеса	Чуть менее равномерная относительно контрольного образца, без пустот и уплотнений, без следов непромеса	Пониженная пористость по сравнению с контрольным образцом, без пустот и уплотнений, без следов непромеса
Цвет мякиша	Светло-кремовый	Светло-коричневый	Светло-коричневый	Коричневый
Эластичность, упругость	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Меньшая, относительно контрольного образца
Вкус хлеба	Нормальный, свойственный хлебу, без постороннего привкуса	Приятный, с легким фруктовым привкусом	Приятный, с фруктовым привкусом	Приятный, с легким привкусом тыквы
Запах хлеба	Нормальный, свойственный хлебу, без постороннего запаха	Приятный, с легким фруктовым ароматом	Приятный, с фруктовым ароматом	Приятный, с легким ароматом тыквы

Проведен дегустационный анализ изделий дескрипторно-профильным методом (рис. 5). По его результатам выбран образец 3, получивший наивысшую оценку.

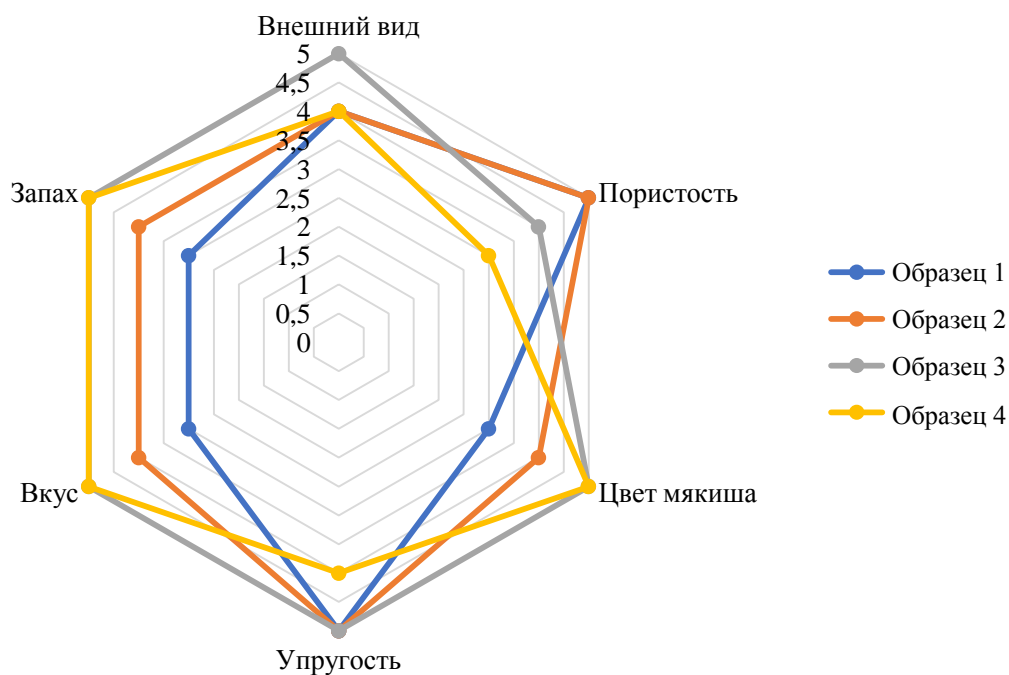


Рис. 5. Результаты органолептической оценки образцов изделий
Fig. 5. Results of product samples sensory evaluation

В табл. 5 представлена сравнительная характеристика химического состава экспериментального образца 3 в сравнении с контрольным образцом 1.

Таблица 5. Химический состав образцов хлебобулочных изделий
Table 5. Chemical composition of bakery product samples

Нутриент	Суточная потребность	Образец 1		Образец 3	
		в 100 г	% от суточной потребности	в 100 г	% от суточной потребности
Белки, г	90	10,1 ± 0,5	11,2	9,8 ± 0,5	10,9
Жиры, г	60	9,9 ± 0,5	16,5	9,9 ± 0,5	16,5

Углеводы, г	250	62,8 ± 3,1	25,1	61,2 ± 3,1	24,5
Энергетическая ценность, ккал	2 000	382	19,1	376	18,8
Витамин С, мг	90	–	0,0	50,4 ± 2,5	56,0
Бета-каротин, мг	5	–	0,0	2,1 ± 0,1	42,0
Пищевые волокна, г	30	3 ± 0,2	10,0	4,3 ± 0,2	14,3

По данным таблицы видно, что основные показатели пищевой ценности – белки, жиры и углеводы остались практически без изменений, энергетическая ценность также осталась на прежнем уровне. Однако внесение порошков растительного сырья на 43 % увеличило количество пищевых волокон в изделии, также в изделии содержатся витамин С (аскорбиновая кислота) и бета-каротин, отсутствующие в контрольном образце.

В табл. 6 представлен расчет стоимости сырьевых наборов образцов 1 и 3.

Из данных таблицы видно, что стоимость сырьевого набора для единицы образца 3 выросла на 6,4 р. или 43,8 %. Это объясняется использованием в рецептуре образца более дорогостоящего сырья – порошков тыквы и шиповника. Несмотря на относительный рост стоимости сырьевого набора, в абсолютном значении он невысокий и поэтому не влияет значительно на итоговую стоимость продукции с учетом торговой наценки. Таким образом, хлеб с использованием порошков ИК сушки тыквы и шиповника может пользоваться спросом у тех же групп населения, что и традиционные виды хлеба и тем самым реализовываться для потребителей с различным уровнем дохода.

Таблица 6. Расчетная стоимость сырьевых наборов образцов хлебобулочных изделий
Table 6. Estimated costs of raw materials for bakery products samples

Наименование ингредиентов	Цена за 1 кг сырья, р.	Образец 1		Образец 3	
		Расход сырья на единицу изделия, г	Стоимость ингредиентов на единицу изделия, р.	Расход сырья на единицу изделия, г	Стоимость ингредиентов на единицу изделия, р.
Мука пшеничная высшего сорта	25	300	7,5	276	6,9
Дрожжи сухие	700	5	3,5	5	3,5
Соль пищевая	13	4	0,1	4	0,1
Сахар белый кристаллический	54	5	0,3	5	0,3
Вода	0	200	0	200	0
Масло подсолнечное	100	20	2	20	2
Мука пшеничная цельнозерновая (на подпыл)	80	16	1,3	16	1,3
Порошок из мякоти тыквы	285	–	–	12	3,4
Порошок из плодов шиповника	300	–	–	12	3,6
Масса сырьевого набора	–	550	14,6	550	21,0
Выход выпеченного изделия	–	480		480	

Заключение

Использование местного растительного сырья для изготовления порошков с целью последующего повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий представляет интерес и широкие возможности для дальнейших исследований. В результате проведенного исследования был разработан способ получения порошков из мякоти тыквы и плодов шиповника. В результате использования ИК сушки данные порошки в значительной степени сохраняют пищевые вещества за счет низкой температуры сушки, составляющей 40–60 °С. Данный способ обработки особенно важен для продуктов, в большом количестве содержащих аскорбиновую кислоту (витамин С), которая подвержена разрушению при высоких температурах. Порошки из мякоти тыквы, полученные данным способом, содержат значительное количество бета-каротина, а из плодов шиповника – витамина С.

Полученные порошки использовались для повышения пищевой ценности хлеба из пшеничной муки высшего сорта. В результате анализа установлено, что массовая доля порошков из мякоти тыквы и плодов

шиповника в количестве 4 % для каждого вида порошка от массы пшеничной муки является оптимальной по органолептическим показателям (образец 3). Полученный экспериментальный образец хлебобулочного изделия обладает лучшими относительно контрольного вкусовыми показателями и внешним видом. Также был проведен сравнительный анализ химического состава образцов 1 и 3. Образец 3 отличался в лучшую сторону тем, что содержал бета-каротин и аскорбиновую кислоту, отсутствовавшие в образце 1. Стоимость сырьевого набора образца 3 возросла на 6,4 р. или на 43,8 % по отношению к образцу 1, что при этом может незначительно повлиять на повышение его продажной цены и успешно реализовываться для потребителей с различным уровнем дохода.

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что использование продуктов переработки плодов шиповника и тыквы, а именно порошков из них – это перспективная технологическая разработка для повышения пищевой ценности и придания продуктам функциональных свойств, требующая дальнейшего, более глубокого изучения.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Акперова Ф. А. Влияние натуральных растительных добавок на хлебопекарные свойства муки и качество хлебобулочных изделий // *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*. 2018. № 3(50). С. 87–92. EDN: VNRKCK.
- Бориева Л. З. Оптимизация технологии производства мучных кондитерских изделий // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*. 2020. № 4(30). С. 42–45. EDN: WNKUCR.
- Буракова Л. Н., Плотников Д. А. Обоснование и разработка хлебобулочных изделий, обогащенных арктическим растительным сырьем // *Индустрия питания*. 2022. Т. 7, № 2. С. 44–51. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-2-5>. EDN: SCGTTK.
- Восканян О. С., Сергиенко И. В., Гусева Д. А., Сухарева Т. Н. Тыквенное пюре – источник повышения пищевой ценности творожного продукта // *Пищевая промышленность*. 2018. № 5. С. 22–25. EDN: UORQUC.
- Гаус О. В., Ливзан М. А., Турчанинов Д. В., Попелло Д. В. Характер питания и пищевые привычки в молодежной среде // *Профилактическая медицина*. 2021. Т. 24, № 4. С. 37–40. DOI: <https://doi.org/10.17116/profmed20212404137>. EDN: UUYRKB.
- Карамнова Н. С., Шальнова С. А., Деев А. Д., Тарасов В. И. [и др.]. Характер питания взрослого населения по данным эпидемиологического исследования ЭССЕ-РФ // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2018. Т. 17, № 4. С. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2018-4-61-66>. EDN: XYUQNB.
- Ковалева А. Е., Пьяникова Э. А. Влияние порошка плодов дикорастущего шиповника на потребительские свойства бисквитов // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2019. Т. 81, № 1. С. 256–262. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-256-262>. EDN: CFICPT.
- Кокаева Ф. Ф., Джатиева Д. Н., Колотий Т. Б., Едыгова С. Н. [и др.]. Исследование биохимических показателей плодов шиповника "Майский" (*Rosa Majalis*) для определения способа их переработки // *Новые технологии*. 2018. № 1. С. 43–49. EDN: XNRSSL.
- Поладашвили Р. О., Галстян Н. В. Пищевые волокна – важная составляющая сбалансированного здорового питания // *Тенденции развития науки и образования*. 2020. № 68–2. С. 68–71. DOI: <https://doi.org/10.18411/lj-12-2020-70>. EDN: FQFJWU.
- Ряттель А. В., Смирнова Н. А. Анализ потребления овощей и фруктов в субъектах Российской Федерации // *Вектор экономики*. 2023. № 4(82). Номер статьи: 7. DOI: https://doi.org/10.51691/2500-3666_2023_4_5. EDN: CAQAYD.
- Сандракова И. В., Резниченко И. Ю. Исследование потребителей продуктов здорового питания // *Практический маркетинг*. 2019. № 12(274). С. 22–27. EDN: NDMSHE.
- Сапожников А. Н., Копылова А. В., Габрельян Е. Э. Использование муки из мякоти и семян тыквы в рецептурах мучных изделий // *Вестник КРАСГАУ*. 2022. № 3(180). С. 199–209. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-3-199-209>. EDN: YJUUAJ.
- Тимофеева А. Д., Храмова В. Н., Федосеев К. С., Пузанова В. В. Влияние растительных компонентов на характеристики полуфабрикатов рубленых в оболочке // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2018. № 2(50). С. 245–251. EDN: VOQSEV.
- Федянина Л. Н., Смертина Е. С., Лях В. А., Елизарова А. Е. Оценка влияния пищевых ингредиентов из плодов шиповника на основное сырьё для мучных кондитерских и хлебобулочных изделий // *Хлебопродукты*. 2023. № 2. С. 36–40. DOI: [10.32462/0235-2508-2023-32-2-36-40](https://doi.org/10.32462/0235-2508-2023-32-2-36-40). EDN: TCKDRZ.

- Школьникова М. Н., Аббазова В. Н. Исследование химического состава мякоти тыквы как основы для безалкогольных напитков // Вестник МГТУ. 2021. Т. 24, № 4. С. 441–449. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-4-441-449>. EDN: PLWYDY.
- Adubofuo J., Wilson Anomah J., Amoah I. Anti-nutritional factors and mineral composition of pumpkin pulp and functional properties of pumpkin-wheat composite flour for bread preparation // International Journal of Innovative Food Science and Technology. 2018. Vol. 1, Iss. 1. P. 1–9.
- Bayramov E., Aliyev S., Gasimova A., Gurbanova S. [et al.]. Increasing the biological value of bread through the application of pumpkin puree // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 2, Iss. 11(116). P. 58–68.
- Davoudi Z., Shahedi M., Kadivar M. Effects of pumpkin powder addition on the rheological, sensory, and quality attributes of Taftoon bread // Cereal Chemistry. 2020. Vol. 97, Iss. 5. P. 904–911. DOI: <https://doi.org/10.1002/cche.10312>.
- Dreher M. L. Whole fruits and fruit fiber emerging health effects // Nutrients. 2018. Vol. 10, Iss. 2. Article number: 1833. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10121833>.
- Ghendov-Mosanu A., Cristea E., Patras A., Sturza R. [et al.]. Rose hips, a valuable source of antioxidants to improve gingerbread characteristics // Molecules. 2020. Vol. 25, Iss. 23. Article number: 5659. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25235659>.
- Hussain A., Kausar T., Sehar S., Sarwar A. [et al.]. Utilization of pumpkin, pumpkin powders, extracts, isolates, purified bioactives and pumpkin based functional food products: A key strategy to improve health in current post COVID 19 period: An updated review // Applied Food Research. 2022. Vol. 22, Iss. 2. Article number: 100241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100241>.
- Matas A., Igual M., García-Segovia P., Martínez-Monzó J. Impact of rosehip (*Rose canina*) powder addition and figure height on 3D-printed gluten-free bread // Biology and Life Sciences Forum. 2021. Vol. 6, Iss. 1. Article number: 75. DOI: <https://doi.org/10.3390/Foods2021-10979>.
- Sapozhnikov A. N., Sleptsov S. D., Grishin M. A., Kopylova A. V. [et al.]. The use of pulsed infrared drying in the processing of leafy plant raw materials // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1677. Article number: 012177. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1677/1/012177>.
- Vartolomei N., Turtoi M. The influence of the addition of rosehip powder to wheat flour on the dough farinographic properties and bread physico-chemical characteristics // Applied Sciences. 2021. Vol. 11, Iss. 24. Article number: 12035. DOI: <https://doi.org/10.3390/app112412035>.
- Villamil R.-A., Escobar N., Romero L. N., Huesa R. [et al.]. Perspectives of pumpkin pulp and pumpkin shell and seeds uses as ingredients in food formulation // Nutrition & Food Science. 2023. Vol. 53, Iss. 2. P. 459–473. DOI: <https://doi.org/10.1108/NFS-04-2022-0126>.
- Wahyono A., Tifania A. Z., Kurniawati E., Kasutjjaningati [et al.]. Physical properties and cellular structure of bread enriched with pumpkin flour // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 207. Article number: 012054. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/207/1/012054>.

References

- Akperova, F. A. 2018. Influence of natural herbal additives on the baking properties of wheat flour and quality of bakery products. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*, 3(50), pp. 87–92. EDN: VNRKCK. (In Russ.)
- Borieva, L. Z. 2020. Optimization of flour confectionery technology. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov*, 4(30), pp. 42–45. EDN: WNKUCR. (In Russ.)
- Burakova, L. N., Plotnikov, D. A. 2022. Substantiation and development of bakery products enriched with Arctic vegetable raw materials. *Food Industry*, 7(2), pp. 44–51. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-2-5>. EDN: SCGTCK. (In Russ.)
- Voskanjan, O. S., Sergienko, I. V., Guseva, D. A., Suhareva, T. N. 2018. Pumpkin puree – a source of cottage cheese product's nutrition value increasing. *Food Industry*, 5, pp. 22–25. EDN: UORQUC. (In Russ.)
- Gaus, O. V., Livzan, M. A., Turchaninov, D. V., Popello, D. V. 2021. Nutrition specific and eating habits among young people. *Russian Journal of Preventive Medicine*, 24(4), pp. 37–40. DOI: <https://doi.org/10.17116/profmed20212404137>. EDN: UUYRKB. (In Russ.)
- Karamnova, N. S., Shalnova, S. A., Deev, A. D., Tarasov, V. I. et al. 2018. Nutrition characteristics of adult inhabitants by ESSE-RF study. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 17(4), pp. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2018-4-61-66>. EDN: XYUQHB. (In Russ.)
- Kovaleva, A. E., Pyanikova, E. A. 2019. Effect of wild rose hip fruit powder on consumer properties of biscuit. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 81(1), pp. 256–262. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-1-256-262>. EDN: CFICPT. (In Russ.)
- Kokaeva, F. F., Dzhatieva, D. N., Kolotiy T. B., Edygova, S. N. et al. 2018. Investigation of biochemical indicators of "Maisky" dog-rose fruits (*Rosa Majalis*) to choose methods for their processing. *New Technologies*, 1, pp. 43–49. EDN: XNRSSL. (In Russ.)

- Poladashvili, R. O., Galstyan, N. V. 2020. Dietary fiber is an important part of a balanced healthy diet. *Trends in the Development of Science and Education*, 68–2, pp. 68–71. DOI: <https://doi.org/10.18411/lj-12-2020-70>. EDN: FQFJWU. (In Russ.)
- Ryattel, A. V., Smirnova, N. A. 2023. Analysis of vegetable and fruits consumption in the subjects of Russian Federation. *Vector Economy*, 4(82). Номер статьи: 7. DOI: https://doi.org/10.51691/2500-3666_2023_4_5. EDN: CAQAYD. (In Russ.)
- Sandrakova, I. V., Reznichenko, I. Yu. 2019. Health food consumers research. *Prakticheskii Marketing*, 12(274), pp. 22–27. EDN: NDMSHE. (In Russ.)
- Sapozhnikov, A. N., Kopylova, A. V., Gabrelyan, E. E. 2022. Using flour from pumpkin pulp and seeds in bakery products formulations. *Bulletin of KSAU*, 3(180), pp. 199–209. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-3-199-209>. EDN: YJUUI. (In Russ.)
- Timofeeva, A. D., Khramova, V. N., Fedoseev, K. S., Puzanova, V. V. 2018. Influence of vegetable components of semi-finished sabbrants in shell. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*, 2(50), pp. 245–251. EDN: VOQSEV. (In Russ.)
- Fedyanina, L. N., Smertina, E. S., Lyakh, V. A., Elizarova, A. E. 2023. Assessment of the influence of food ingredients from rosehips on the main raw material for flour confectionery. *Khleboproducty*, 2, pp. 36–40. DOI: [10.32462/0235-2508-2023-32-2-36-40](https://doi.org/10.32462/0235-2508-2023-32-2-36-40). EDN: TCKDRZ. (In Russ.)
- Shkolnikova, M. N., Abbazova, V. N. 2021. Investigation of the chemical composition of pumpkin pulp as a basis for soft drinks. *Vestnik of MSTU*, 24(4), pp. 441–449. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2021-24-4-441-449>. EDN: PLWYDY. (In Russ.)
- Adubofuor, J., Wilson, Anomah J., Amoah, I. 2018. Anti-nutritional factors and mineral composition of pumpkin pulp and functional properties of pumpkin-wheat composite flour for bread preparation. *International Journal of Innovative Food Science and Technology*, 1(1), pp. 1–9.
- Bayramov, E., Aliyev, S., Gasimova, A., Gurbanova, S. et al. 2022. Increasing the biological value of bread through the application of pumpkin puree. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(11(116)), pp. 58–68.
- Davoudi, Z., Shahedi, M., Kadivar, M. 2020. Effects of pumpkin powder addition on the rheological, sensory, and quality attributes of Taftoon bread. *Cereal Chemistry*, 97(5), pp. 904–911. DOI: <https://doi.org/10.1002/cche.10312>.
- Dreher, M. L. 2018. Whole fruits and fruit fiber emerging health effects. *Nutrients*, 10(2). Article number: 1833. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10121833>.
- Ghendov-Mosanu, A., Cristea, E., Patras, A., Sturza, R. et al. 2020. Rose hips, a valuable source of antioxidants to improve gingerbread characteristics. *Molecules*, 25(23). Article number: 5659. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25235659>.
- Hussain, A., Kausar, T., Sehar, S., Sarwar, A. et al. 2022. Utilization of pumpkin, pumpkin powders, extracts, isolates, purified bioactives and pumpkin based functional food products: A key strategy to improve health in current post COVID 19 period: An updated review. *Applied Food Research*, 22(2). Article number: 100241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100241>.
- Matas, A., Igual, M., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J. 2021. Impact of rosehip (*Rose canina*) powder addition and figure height on 3D-printed gluten-free bread. *Biology and Life Sciences Forum*, 6(1). Article number: 75. DOI: <https://doi.org/10.3390/Foods2021-10979>.
- Sapozhnikov, A. N., Sleptsov, S. D., Grishin, M. A., Kopylova, A. V. et al. 2020. The use of pulsed infrared drying in the processing of leafy plant raw materials. *Journal of Physics: Conference Series*, 1677. Article number: 012177. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1677/1/012177>.
- Vartolomei, N., Turtoi, M. 2021. The influence of the addition of rosehip powder to wheat flour on the dough farinographic properties and bread physico-chemical characteristics. *Applied Sciences*, 11(24). Article number: 12035. DOI: <https://doi.org/10.3390/app112412035>.
- Villamil, R.-A., Escobar, N., Romero, L. N. Huesa, R. et al. 2023. Perspectives of pumpkin pulp and pumpkin shell and seeds uses as ingredients in food formulation. *Nutrition & Food Science*, 53(2), pp. 459–473. DOI: <https://doi.org/10.1108/NFS-04-2022-0126>.
- Wahyono, A., Tifania, A. Z., Kurniawati, E., Kasutjaniangati et al. 2018. Physical properties and cellular structure of bread enriched with pumpkin flour. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 207. Article number: 012054. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/207/1/012054>.

Сведения об авторах

Сапожников Александр Николаевич – ул. Добролюбова, 160, г. Новосибирск, Россия, 630039; Новосибирский государственный аграрный университет; пр. Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, Россия, 630073; Новосибирский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент; e-mail: alexnsk@ya.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5335-4457>

Aleksandr N. Sapozhnikov – 160 Dobrolyubova Str., Novosibirsk, Russia, 630039;
Novosibirsk State Agrarian University;
20 K. Marksa Ave., Novosibirsk, Russia, 630073; Novosibirsk State Technical University,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: alexnsk@ya.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5335-4457>

Копылова Анастасия Валерьевна – пр. Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, Россия, 630073;
Новосибирский государственный технический университет, канд. техн. наук;
e-mail: tasyta7@ya.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9700-8989>

Anastasiia V. Kopylova – 20 K. Marksa Ave., Novosibirsk, Russia, 630073;
Novosibirsk State Technical University, Cand. Sci. (Engineering);
e-mail: tasyta7@ya.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9700-8989>

Обриков Денис Андреевич – пр. Карла Маркса, 20, г. Новосибирск, Россия, 630073;
Новосибирский государственный технический университет, магистрант;
e-mail: obrikov.denis@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2967-2323>

Denis A. Obrikov – 20 K. Marksa Ave., Novosibirsk, Russia, 630073; Novosibirsk State Technical University,
Master Student; e-mail: obrikov.denis@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2967-2323>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 13496.17-2019	Корма. Методы определения каротина. М., 2019.
ГОСТ 1994-93	Плоды шиповника. Технические условия. Минск, 2015.
ГОСТ 26889-86	Продукты пищевые и вкусовые. Общие указания по определению содержания азота методом Кьельдаля. М., 2010.
ГОСТ 34151-2017	Продукты пищевые. Определение витамина С с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. М., 2019.
ГОСТ 5667-2022	Изделия хлебобулочные. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий. М., 2022.
ГОСТ 5668-2022	Изделия хлебобулочные. Методы определения массовой доли жира. М., 2022.
ГОСТ 5672-2022	Изделия хлебобулочные. Методы определения массовой доли сахара. М., 2022.
ГОСТ 7975-2013	Тыква продовольственная свежая. Технические условия. М., 2019.
ГОСТ 8756.1-2017	Продукты переработки фруктов, овощей и грибов. Методы определения органолептических показателей, массовой доли составных частей, массы нетто или объема. М., 2019.
ГОСТ 8756.13-87	Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. М., 2010.
ГОСТ 8756.21-89	Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения жира. М., 2010.
ГОСТ Р 54014-2010	Продукты пищевые функциональные. Определение растворимых и нерастворимых пищевых волокон ферментативно-гравиметрическим методом. М., 2019.

УДК 637.1, 579.67

Базовые аспекты сохранности биологической целостности природных поливидовых симбиотических бактериальных сообществ для производства кефира

О. В. Соколова, О. Б. Федотова*

*Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, г. Москва, Россия;
e-mail: O_fedotova@vnimi.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9516-6123>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
09.04.2024;

принята
к публикации
06.05.2024

Ключевые слова:

целостность,
целостность
биосистемы,
кефирные грибки,
кефир,
замораживание,
защитные среды

Неотъемлемым этапом в технологии изготовления кефира является использование кефирных грибков, в ряде случаев на заводе необходимо сохранять их популяцию. Удобным способом является замораживание, но при прямой заморозке кефирные грибки теряют активность, а некоторые микроорганизмы отмирают. Использование веществ с криопротекторными свойствами может способствовать сохранению кефирных грибков в условиях прямой заморозки. В исследовании рассмотрены три среды, обладающие потенциалом протекции симбиоза кефирных грибков в субкриоскопических условиях: обезжиренное стерильное молоко, желатоза и стерильный раствор 30%-й сахарозы, и одна среда, являющаяся стрессовой, – стерильная дистиллированная вода. На предыдущих этапах исследований доказано, что резкая дефростация усугубляет стрессовые явления бактериального сообщества, в частности способствует гибели поверхностных лактококков, что ведет к дисбактериозу симбиоза. В работе впервые использована периодическая схема дефростации кефирных грибков в условиях защитных сред; применяли методы визуальной и органолептической оценки, проводили исследования микробиологических и физико-химических показателей молока после ферментации кефирными грибами кефирной закваски. Смены молока проводили по технологии культивирования кефирных грибков с ежедневными пассажами. Принято, что если по совокупности показателей кефирные грибки из экспериментальных групп в течение 7 суток коррелируют с показателями, детектированными для контрольной группы, которая не подвергалась замораживанию, то принимается, что кефирные грибки полностью восстановили жизнеспособность. В случае если этого не происходит, делается вывод о невозможности восстановления симбиоза. В результате исследований доказана перспективность применения исследованных веществ в качестве защитных сред и обоснована необходимость конструирования специализированных криопротекторных сред для прямого замораживания кефирных грибков в целях создания собственных банков культуры кефира. Подход позволит снизить использование бактериальных заменителей для кефира наподобие заквасок прямого внесения.

Для цитирования

Соколова О. В. и др. Базовые аспекты сохранности биологической целостности природных поливидовых симбиотических бактериальных сообществ для производства кефира. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 256–264. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-256-264>.

The biological integrity of natural poly-species symbiotic bacterial communities for the production of kefir: Basic aspects of the preservation

Olga V. Sokolova, Olga B. Fedotova*

*All-Russian Dairy Research Institute, Moscow, Russia;
e-mail: O_fedotova@vnimi.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9516-6123>

Article info

Received
09.04.2024;
accepted
06.05.2024

Key words:

integrity,
integrity
of the biosystem,
kefir grains,
kefir, freezing,
protective
environments

Abstract

An integral step in kefir production technology is the use of kefir grains, but in some cases it is necessary to maintain their population at the plant. A convenient method is freezing, but with direct freezing, kefir grains lose activity and some microorganisms die off. The use of substances with cryoprotective properties can help preserve kefir grains under direct freezing conditions. The study has examined three environments that have the potential to protect the symbiosis of kefir grains under subcryoscopic conditions: skim sterile milk, gelatin and a sterile solution of 30 % sucrose, and one environment that is stressful – sterile distilled water. At previous stages of research, it was proven that sharp defrosting aggravates the stress phenomena of the bacterial community, in particular, promotes the death of surface lactococci which leads to dysbacteriosis of the symbiosis. The work used for the first time a periodic scheme for defrosting kefir grains in a protective environment; the methods of visual and organoleptic assessment have been applied, the studies of microbiological and physico-chemical parameters of milk after fermentation of kefir starter with kefir grains have been conducted. Milk changes have been carried out using the technology of cultivating kefir grains with daily passages. It is accepted that if based on a set of indicators kefir grains from the experimental groups within 7 days correlate with the indicators detected for the control group, which was not subjected to freezing, then it is accepted that the kefir grains have completely restored viability. If this does not happen, a conclusion is drawn that the symbiosis has not been restored. As a result of the research, the prospects for using the studied substances as protective media have been proven and the need to construct specialized cryoprotective media for direct freezing of kefir grains in order to create your own kefir culture banks has been substantiated. The approach will reduce the use of bacterial substitutes for kefir like direct fermentation starters.

For citation

Sokolova, O. V. et al. 2024. The biological integrity of natural poly-species symbiotic bacterial communities for the production of kefir: Basic aspects of the preservation. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 256–264. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-256-264>.

Введение

Уникальное богатство ассортимента молочных продуктов Российской Федерации невозможно представить себе без кефира. Для изготовления кефира необходимо использование кефирных грибов, которые являются единственной в природе биологической симбиотической системой с эмерджентными свойствами.

На настоящий момент (*Gao et al., 2016*) доказано, что в состав кефирных грибов входят 715 видов микроорганизмов, доминирующим из них является *Lactobacillus kefirianofaciens*. Примечательно, что в зависимости от условий содержания и места культивирования кефирных грибов их микробный состав может значительно различаться, но основной микробиом представлен относительно постоянным бактериальным составом. Исследователи кефирных грибов сходятся во мнении, что микрофлора кефирных грибов заселяет образуемый ими же полисахаридный матрикс, называемый кефиран. Основную роль в образовании кефирана отводят молочнокислым микроорганизмам, молочным дрожжам, бифидобактериям, уксуснокислым бактериям. Несмотря на длительное изучение процесса синтеза кефирана (*Enikeev, 2011*) и функционирование его микробиома, исследователи еще не полностью понимают механизмы взаимодействия внутри системы.

В процессе культивирования кефирных грибов увеличивается масса и объем кефирана, происходит прирост микрофлоры, эти визуальные проявления называют ростом кефирных грибов.

При правильном культивировании кефирных грибов продуктами жизнедеятельности симбиоза являются не только непосредственно кефиран и микроорганизмы, заселяющие его, но и большое количество культуральной жидкости, которая применяется непосредственно для заквашивания молока и производства кефира. Эта культуральная жидкость, называемая кефирной закваской, используется для непосредственного внесения в молоко или для создания пересадочной закваски. Любой из алгоритмов приводит к созданию кисломолочного напитка кефир.

В процессе жизнедеятельности микробиома кефирных грибов и многоступенчатого сбраживания молока образуется продукт кефир, который обладает спектром уникальных характеристик. Медицинские исследования, проводимые в разные годы (*Vieira et al., 2021; Rosa et al., 2017; Gooruee et al., 2024; Yilmaz et al., 2022; Salari et al., 2021; Данилова и др., 2016; Гаврилова и др., 2014*), подтвердили положительный эффект от употребления кефира.

Как уже описано выше, технология изготовления кефира требует многостадийного подхода, причем каждый из них сопряжен с определенными трудностями, что и приводит к отказу от работы с кефирными грибами на уровне заводов. Дрожжи, входящие в симбиоз, для других технологий молочных продуктов являются нежелательными, приводящими молочные продукты к стремительной порче и потере потребительской привлекательности. В процессе жизнедеятельности дрожжи ферментируют углеводы с образованием углекислого газа и кислот. В совокупности продукция приобретает неприятный вкус, аромат и внешний вид. Причем для кефира комплекс таких характеристик является желательным.

Во избежание попадания дрожжей из закваски для кефира на линии по производству других молочных продуктов для работы с кефирными грибами и кефирными заквасками выделяют отдельные линии и отдельные помещения в цеху, часто называемые "кефирный цех". Отказ от работы с кефирными грибами бывает также спровоцирован тем, что симбиоз крайне чувствителен ко множеству факторов, в результате чего происходит спонтанная потеря активности, что недопустимо в современных реалиях промышленной переработки молока.

Стоит отметить, что основополагающим условием культивирования кефирных грибов является применение молока, гарантированно свободного от наличия любых ингибирующих веществ, особенно антибиотиков.

Спонтанное снижение активности кефирных грибов приводит к тому, что закваска не продуцируется в количествах, необходимых для сквашивания требуемых объемов молока при производстве кефира. Эта проблема в совокупности с общей трудоемкостью процесса привела к широкому распространению заквасок прямого внесения для кефира и кефирных напитков. Такие закваски за счет подобранных микробных композиций придают кисломолочному напитку вкус, максимально приближенный к кефиру на кефирных грибах. Тем не менее ряд микробиологических показателей и органолептическая гамма такого напитка отличаются от кефира на кефирных грибах (*Фомичев, 2016*).

Некоторые предприятия идут по пути отказа от производства кефира, в то время как другие стремятся сохранить кефирные грибки и восстановить популяцию в случае вышеупомянутой потери активности. Помочь в этом может создание собственного банка замороженных кефирных грибов.

Технологии замораживания известны и широко применяются в мире (*Фомичев, 2016*), но кефирные грибки значительно отличаются от других микробных сообществ. Структура кефирного грибка представляет сложную комменсалистическую систему, в которой изменение физического состояния всего симбиоза часто носит фатальный характер для части микробиоты.

В 60–70-х годах XX в. проводились исследования по режимам криоконсервирования кефирных грибов, в результате которых были разработаны режимы сублимирования кефирных биомасс, которые не приводят к гибели важных с точки зрения технологии и органолептики микроорганизмов и к разрушению кефирана. Технология была запатентована (*Способ...*, 1978) и не претерпела значительных изменений по настоящий момент.

В условиях действующих предприятий, особенно крупных, постановка технологий сублимирования кефирных грибов не представляется возможной в связи с нерациональностью и высокой трудоемкостью. Эта технология энергозатратна, требует специального оборудования и особых условий проведения работы по сушке, а также специализированного персонала по обеспечению процесса.

Высушивание как при повышенных, так и при пониженных температурах ведет к гибели части микробиома кефирных грибов, что приводит в свою очередь к потере целостности биосистемы. Такие кефирные грибки не восстанавливают активность и фактически деградируют после размораживания.

Негативным является и проявление микробиального дисбаланса внутри целостной биосистемы. Именно поэтому в случае применения технологий замораживания для бактериальных биомасс перспективно применение так называемых "защитных сред" (*Соколова, 2018*).

Вышеизложенные предпосылки легли в основу рабочей гипотезы о возможности предотвращения отмирания отдельных видов микроорганизмов при замораживании кефирных грибов в условиях защитных сред, что позволит сохранить целостность биосистемы.

Цель работы – исследовать сохранность симбиотических бактериальных сообществ для производства кефира в условиях заморозки с применением защитных сред.

Материалы и методы

Предпосылкой исследования является потребность смоделировать условия, которые возможно реализовать на предприятиях в случае необходимости резервирования кефирных грибов или создания их криобанка. В связи с этим представляет интерес изучение влияния различных сред для заморозки на выживаемость кефирных грибов и восстанавливаемость их после дефростации.

Из-за специфики межмикробного взаимодействия внутри целостной системы кефирных грибов для оценки выживаемости использовался подход шокового замораживания с различными веществами, обладающими криопротекторным потенциалом с последующей щадящей дефростацией и оценке комплекса характеристик.

Объектами исследования являлись кефирные грибки, не подвергавшиеся замораживанию и замороженные без веществ, обладающих криопротекторным потенциалом, называемые далее защитными средами. В качестве защитных сред были выбраны:

- обезжиренное стерильное молоко,
- желатоза стерильная,
- сахароза – 30%-й раствор стерильный.

В качестве отрицательного контрольного образца использовали кефирные грибки, замороженные в стрессовой среде. Предназначение стрессовой среды – усилить негативные явления, проявляющиеся в период хранения при температурах ниже субмикроскопических вплоть до экстремальных. В качестве стрессовой среды использовали стерильную дистиллированную воду. Учитывая, что вода имеет свойство образовывать кристаллы льда, которые согласно рабочей гипотезе приведут к разрыву и разрушению кефирных грибов, использование именно такой среды позволит спровоцировать наиболее негативную ситуацию в условиях заморозки.

Для удобства использовали условные обозначения для наименования защитных и стрессовой среды. Кефирные грибки, которые подвергали заморозке в стрессовой среде стерильной дистиллированной воды в работе названы группа "стресс"; три экспериментальные среды с потенциалом защитного действия названы "сах30", "мм" и "жел", что является стерильным 30%-м раствором лактозы мелкокристаллической ХЧ, обезжиренным стерильным молоком (обезжиренное стерильное молоко получали методом автоклавирования при температуре 110 °С в течение 3 мин) и желатозой соответственно. Контрольным образцом (контрольной группой) являлся кефирный грибок, который продолжали культивировать по принятой технологии.

Навески кефирных грибов в асептических условиях помещали в полимерные пакеты для отбора проб, в которых смешивали с защитными и стрессовой средами, после чего замораживали.

Поскольку кефирные грибки образуют кефиран разной формы и объема, сложно сделать равную выборку из биомассы без травмирования тела кефирных грибов. По этой причине было принято решение использовать объемно-массовые соотношения кефирных грибов к защитным средам. Исходя из предыдущего опыта работы с кефирными грибами, было определено соотношение кефирных грибов в защитной среде как 1 : 2. От культивируемого кефирного грибка отбирали части с массой приблизительно 30 г, помещали

в асептических условиях в стерильные пакеты для отбора проб, заливали эквивалентным объемом среды в соответствии с пропорцией таким образом, чтобы грибки были полностью покрыты средой и замораживали при температуре -18 ± 1 °С. Отсчет времени начала хранения в условиях заморозки считалось через три часа после постановки образцов. Образцы кефирных грибков в экспериментальных средах выдерживали при этой температуре 30 суток, после чего дефростировали в периодическом режиме.

Для этого вначале замороженные пакеты с образцами переносили в условия околонулевой температуры минус 1–2 °С для постепенной адаптации к нормальной температуре. Через 12 ч приступали к реализации периодической схемы. Для этого образцы дефростировали в режиме, при котором чередовали выдерживание кефирных грибков равными промежутками времени по 1–1,5 ч поочередно при температуре 22–24 °С и при температуре 8–10 °С. Ступенчатый режим позволял избежать резкого перепада температур. После полного оттаивания грибки экспонировали в течение 14–16 ч при температуре 8–10 °С.

Для восстановления жизнеспособности кефирных грибков создавались условия культивирования по принятой технологии. Для этого кефирные грибки несколько раз промывали пастеризованным охлажденным молоком для удаления остатков защитных сред и стрессовой среды, после чего помещали в обезжиренное пастеризованное охлажденное молоко при комнатной температуре. К применению в эксперименте допускали только молоко, которое было изначально проверено на отсутствие ингибирующих веществ и антибиотиков. Пастеризовали молоко при температуре 85 ± 1 °С, после чего охлаждали до температуры 20–25 °С и использовали в эксперименте.

Количество кефирных грибков к молоку составляло приблизительно 1 : 10. Ежедневно производили смену молока и органолептический анализ аналогичный тому, который проводили после дефростации. Также производили контрольные взвешивания для регистрации изменения массы кефирных грибков.

Молоко, сброженное кефирными грибами, по сути, должно представлять собой закваску на кефирных грибах. В нем проводили исследования органолептических показателей, микробиологическое исследование для определения количества дрожжей и осуществляли микроскопическое исследование микропрепаратов, изготовленных из кефирной закваски для косвенной оценки соответствия микробиома требуемым параметрам для кефирной закваски и кефира.

Исследования сброженного молока (кефирной закваски) проводили после отцеживания грибков. Поскольку на ход исследования может оказывать влияние нахождение в молоке углекислого газа, перед проведением исследований кефирную закваску прогревали на водяной бане с температурой 35 ± 1 °С в течение 10–15 мин, после чего охлаждали до температуры 20–24 °С, затем проводили микробиологические исследования.

Для определения количества дрожжей осуществляли посеы глубинным способом на питательную среду Сабуро агар 0,1 и 0,01 г кефирной закваски, после чего термостатировали посеы при 24 ± 1 °С в течение 3 суток, просматривали чашки Петри, не переворачивая для осуществления предварительного контроля, далее термостатировали при той же температуре еще 2 суток и производили окончательный подсчет результатов.

Сброженное молоко (кефирную закваску) подвергали анализу на общее содержание молочнокислых микроорганизмов. Исследование проводили двумя методами в соответствии с ГОСТ 32901 "Молоко и молочная продукция"¹. Использовали два режима термостатирования: в соответствии с ГОСТ температура инкубирования для мезофильных молочнокислых микроорганизмов – 32 ± 1 °С и температура изготовления кефира – 22–24 °С.

Для анализа с использованием стерильного обезжиренного молока проводили посеы разведений с 4 по 9 в две параллельные пробирки на каждое разведение. Посевы инкубировали при вышеуказанных температурах 32 ± 1 °С и 22–24 °С в течение 3 сут, после чего учитывали результаты и высчитывали НВЧ (наиболее вероятное число).

Из контрольной группы (которая не подвергалась замораживанию) были отобраны кефирные грибки массой приблизительно 30 г и помещены в те же температурно-временные условия, что и экспериментальные образцы на всех этапах, начиная с этапа экспонирования при температуре 8–10 °С в течение 14–16 ч.

При смене молока ежедневно проводили визуальный и органолептический анализ по выборочным показателям: внешний вид, запах, плотность грибков, наличие и распределение слизи, смываемость слизи, запах, в некоторых случаях дополнительно определяли вкус кефирной закваски. Для проведения органолептического анализа формировали мини-группы из трех человек, которые участвовали на равных в описывании всех органолептических характеристик. В результатах исследования приведены обобщенные результаты наблюдений.

¹ ГОСТ 32901-2014. Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа. М., 2015.

Первичные фоновые замеры включали в себя также определение массы кефирных грибков при каждой смене молока. Для определения массы грибков использовали одноразовые стерильные чашки Петри, на которых производили взвешивание кефирных грибков.

В процессе ежедневного культивирования велся журнал комплексной оценки изменения состояния кефирных грибков. В данном исследовании было принято, что точкой восстановления считается момент, когда кефирные грибки из экспериментальных групп показывают процентно-равные увеличения массы в сравнении с контрольной группой, а показатели кефирной закваски (молока после сбраживания) сравниваются с показателями контрольной группы. Если в течение 6–7 смен молока в условиях ежедневных пассажей положительной динамики не отмечалось, то принималось, что кефирные грибки не восстанавливаются после замораживания.




Результаты и обсуждение

Отмечено, что перед началом процедуры дефростации все образцы имели оттенок желтизны, некоторыми воспринимаемый как слабо зеленоватый. Это является нормальным явлением для молока, и не представляет интереса для исследования. После дефростации окрашивание нивелировалось во всех образцах кроме группы "жел". Эта защитная среда оказала влияние на внешний вид грибков, что проявилось в виде желтоватого оттенка дефростированных образцов в то время, как остальные образцы имели белый цвет без оттенка. Вероятно, это связано с тем, что использованная желатоза имела достаточно яркое желтое окрашивание, что передалось на кефирные грибки. Примечательно, что внешний вид всех кефирных грибков после дефростирования отличался (табл. 1).

Таблица 1. Результаты фонового визуального и органолептического анализа кефирных грибков
Table 1. Results of background visual and organoleptic analysis of kefir grains

Наименование образца	Результаты визуального осмотра	Фотография образца ²
Контрольный образец (контрольная группа)	Кефирные грибки оформленные, крупные, белые, равномерно покрыты белой слизью (слизь не липкая), при встряхивании на просмотровой дренажной поверхности слизь остается на грибках, грибки не разделяются на отдельные образования. Запах типичный для кефирных грибков, островатый, молочный, с тонами брожения. Консистенция кефирных грибков железистая, плотная	
Кефирные грибки группы "стресс"	Грибки мельче, чем в контрольной группе, оформленные, очень плотные, белые с зеленоватым оттенком, выглядят сухими, слизи нет, но поверхность увлажненная. При встряхивании на дренажной просмотровой поверхности, разделяются на мелкие отдельные образования. Запах слабый, превалирует дрожжевой тон, чувствуется тон уксуса (видимо за счет наличия уксуснокислых бактерий). Консистенция кефирных грибков избыточно плотная	

² Фото авторов.

<p>Кефирные грибки группы "мм"</p>	<p>Грибки мелковатые, плохо оформленные, белые, слегка покрыты беловатой слизью, при помещении грибков на просмотровую дренажную поверхность слизь стекает, но грибки не разделяются на отдельные образования. Запах молочный, слабо ощущается дрожжевой запах. В общих чертах запах охарактеризован как "слабовыраженный". Консистенция кефирных грибков дряблая, плотности практически нет</p>	
<p>Кефирные грибки группы "жел"</p>	<p>Грибки разного размера, оформленные, желтоватые, поверхность увлажненная, но не покрытая слизью. На просмотровой дренажной поверхности разделяются на крупные отдельные образования, в то время как мелкие образования не разделяются между собой. Запах молочный с посторонней нотой, ощущается типичный, но слабый запах кефира с присущей остротой. Консистенция кефирных грибков зависит от размера образования. Мелкие образования железистые, крупные – более рыхлые</p>	
<p>Кефирные грибки группы "сах30"</p>	<p>Грибки мелкие, белые, покрыты прозрачно-беловатой слизью, на просмотровой дренажной поверхности грибки не разделяются на отдельные образования, но слизь стекает с их поверхности. Запах молочный, присущий кефиру, но сильно ощущается дрожжевой тон. Консистенция плотная, несмотря на то что грибки мелкие</p>	

На этапе анализа полученных данных фоновой органолептической оценки можно предположить, что воздействие желатозы на кефирные грибки носит отрицательный характер, так как в образцах группы "стресс" и группы "жел" органолептическая картина была схожей. В частности, кефирные грибки – наиболее мелкие из всех исследуемых, окрашивание, изначально принятое за переход пигмента желатозы, возможно, является признаком биологического изменения кефирных грибков, так как такое же окрашивание отмечается в образцах группы "стресс".

Исследование изменения массы кефирных грибков оказалось непоказательным в условиях такой короткой продолжительности восстановления биосистемы. Примечательно, что несмотря на небольшое увеличение биомассы кефирных грибков, значительно изменялся внешний вид в экспериментальных группах.

Так, в частности, в контрольной группе "жел" отмечено исчезновение желтизны после второго пассажа, а уже на четвертом пассаже обнаружено, что кефирные грибки полностью покрыты слизью, хотя

при фоновой оценке внешний вид этой экспериментальной группы был охарактеризован как наиболее приближенный к контрольной, что могло свидетельствовать о гибели поверхностной микрофлоры, отвечающей за внешнее слизьеобразование. При этом активность восстановления внешнего вида опровергает предыдущее мнение.

Микроскопические исследования сброженного молока (кефирной закваски) выявили, что во всех образцах присутствовала типичная для кефирной закваски микроскопическая картина. В микропрепаратах обнаружены дрожжевые клетки, кокки, в том числе диплококки и стрептококки, палочки разной длины и толщины, короткие цепочки палочек. Распределение микрофлоры было различным, в большом количестве полей микропирование осложнилось наличием крупных неклеточных образований. Предположительно этими образованиями были полисахаридные фрагменты кефирана или частицы казеиновых сгустков.

Отмечена низкая концентрация в полях зрения мазков в образцах группы "стресс", что также подтверждает аспекты редукции в результате замораживания в стрессовых условиях.

При исследовании количества дрожжей (табл. 2) вели регистрацию результатов, однако особенностью посева для контрольной группы являлось изменение условий инкубирования в связи с высокой активностью дрожжевой кефирной микрофлоры. Посевы прекратили инкубировать после 3 суток, так как количество и размер колоний после такой инкубации уже позволяли сделать учет результатов.

Таблица 2. Результаты исследования количества дрожжей как показателя зрелости кефирной закваски
Table 2. Results of studying the amount of yeast as an indicator of the kefir starter maturity

Условное наименование экспериментальных образцов	Количество дрожжей кефирной закваски							
	фон	1	2	3	4	5	6	7
контрольная группа	$2,3 \times 10^4$	$3,8 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	$2,7 \times 10^4$	$6,4 \times 10^4$	$2,2 \times 10^4$	$3,6 \times 10^4$	$5,2 \times 10^4$
группа "стресс"	$4,0 \times 10^2$	$3,8 \times 10^2$	$4,1 \times 10^2$	$2,3 \times 10^2$	$5,4 \times 10^2$	$7,3 \times 10^2$	$1,8 \times 10^3$	$6,2 \times 10^3$
группа "сах30"	$2,1 \times 10^3$	$5,8 \times 10^3$	$2,4 \times 10^3$	$2,1 \times 10^3$	$9,4 \times 10^2$	$1,1 \times 10^3$	$3,4 \times 10^3$	$1,3 \times 10^4$
группа "мм"	$1,1 \times 10^3$	$1,1 \times 10^3$	$3,8 \times 10^3$	$2,4 \times 10^3$	$5,7 \times 10^3$	$1,4 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$	$1,8 \times 10^4$
группа "жел"	$2,5 \times 10^3$	$3,3 \times 10^3$	$4,6 \times 10^3$	$5,3 \times 10^3$	$8,6 \times 10^3$	$1,0 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	$2,2 \times 10^4$

В контрольной группе во всех измерениях количество дрожжей составляло более 1×10^4 КОЕ/г, что подтверждает зрелость кефирной закваски и указывает на активное развитие кефирных грибков.

В экспериментальных образцах группы "стресс" количество дрожжей с 1 по 5 сутки не превышало $7,3 \times 10^2$ КОЕ/г, а далее поднялось и достигло $6,2 \times 10^3$ КОЕ/г на момент последнего пассажа. Несмотря на то что данное значение приближено к минимально допустимому значению по ТР ТС 031/2013 "О безопасности молока и молочной продукции"³, в случае если бы эту кефирную закваску использовали для приготовления кефира, количество микрофлоры и активность закваски не позволили бы получить продукт должного качества.

Самое большое количество дрожжей было отмечено в образцах группы "сах30", причем в первые два пассажа количество дрожжей в отдельных образцах достигало $5,8 \times 10^3$ КОЕ/г, после чего снизилось почти на порядок, затем опять стало расти, сравнявшись с показателями контрольной группы. Предположительно это связано с тем, что невзирая на промывку в матрице оставалась сахароза, которая являлась субстратом для роста и развития дрожжей. После двух пассажей остаточная сахароза вымылась из матрикса, что сопровождалось понижением активности дрожжей, после чего симбиоз начал функционировать с обычной для кефирных грибков интенсивностью.

Кефирные грибки групп "мм" и "жел" характеризовались схожим характером нарастания количества дрожжей. Первые два пассажа количество дрожжей составляло $(1-2,5) \times 10^3$ КОЕ/г, при каждом следующем пассаже количество возрастало, и после пятого пассажа превысило требуемые значения – более 1×10^4 КОЕ/г.

Проведенные исследования количества молочнокислых микроорганизмов в кефирной закваске оказались недостаточно показательными. Не было отмечено значимой динамики в процессе восстановления кефирных грибков. Это может быть связано с большим количеством микроорганизмов, входящих в симбиоз. В результате их жизнедеятельности проявляется положительный результат на пробирках со стерильным обезжиренным молоком, учитываемый при учете результатов методом НВЧ. В процессе наблюдений отмечено, что несмотря на одинаковый результат, внешний вид посевов значительно отличался. Так, в пробах, инкубируемых при температуре 22–24 °С, образованный сгусток имел однородную, но немного пузырящуюся структуру, в то время, как пробы, инкубируемые при температуре 32 ± 1 °С, имели выражено бродящий вид. При сопоставлении результатов наблюдений при исследовании количества молочнокислых микроорганизмов с результатами исследования количества дрожжей проведена корреляция между количеством дрожжей и внешним видом пробирок, засеянных для исследования количества молочнокислых микроорганизмов. Вероятно, такой внешний вид был вызван развитием дрожжевой микрофлоры. Количество молочнокислых

³ Технический регламент Таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции" (ТР ТС 031/2013). С изменениями на 23 сентября 2022 года.

микроорганизмов во всех образцах – и контрольном, и экспериментальных – составляло от $1,1 \times 10^7$ до $2,5 \times 10^9$ КОЕ/г. Учитывая, что требование ТР ТС 031/2013 "О безопасности молока и молочной продукции"⁴ не распространяется на закваску для кефира и содержит требование к количеству молочнокислых микроорганизмов в кисломолочных напитках (в том числе в кефире) – не менее 1×10^7 КОЕ/г, все образцы молока от кефирных грибков могут быть позиционированы как соответствующие требованию для кефира.

Заключение

Подтверждена рабочая гипотеза о криопротекторных свойствах защитных сред для замораживания кефирных грибков. Исследования доказали, что использование 30%-го раствора сахарозы, обезжиренного молока и желатозы повышают выживаемость кефирных грибков и позволяют ускорить их регенерацию. Доказана перспективность использования защитных сред для замораживания кефирных грибков в целях резервирования или создания банка кефирных грибков на предприятии. В последующих исследованиях целесообразна разработка специализированной среды с криопротекторными свойствами для прямого замораживания кефирных грибков в условиях предприятий.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Гаврилова Н. Н., Баркова М. В. О кефире и его пользе // Сетевой научный журнал ОрелГАУ. 2014. № 2(3). С. 3–4. EDN: TKQUNR.
- Данилова О. А., Грязина Ф. И., Евсюткина Е. А. Полезные свойства кефира и требования к его качеству // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2016. № 18. С. 121–123. EDN: WYKSKZ.
- Соколова О. В. Перспективный подход к резервированию кефирных грибков в условиях заморозки // Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции : сб. материалов I Междунар. науч.-практ. конф., Краснодар, 9–23 апреля 2018 г. Краснодар : ГНУ ВНИИТТИ, 2018 г. С. 366–370. EDN: UWXMSE.
- Способ консервирования кефирных грибков : № 2431605/28-13 : А. с. № 599787 СССР, МПК А23С 9/12 / заявлено 16.12.1976 : опубликовано 30.03.1978 / И. В. Лагода, Л. А. Банникова, Н. А. Бавина, И. В. Рожкова [и др.] ; заявитель ВНИИМИ. 6 с.
- Фомичев Ю. П. Кефир и кефирный продукт. История, характеристика, свойства, технология, экспертиза. Дубровицы, 2016. 40 с.
- de Oliveira Filho J. G., de Oliveira Silva C., Egea M. B., de Azeredo H. M. C. [et al.]. Employing alternative culture media in kefiran exopolysaccharide production: Impact on microbial diversity, physicochemical properties, and bioactivities // International Journal of Biological Macromolecules. 2023. Vol. 246. Article number: 125648. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125648>.
- Enikeev R. R. Characterization, biosynthesis and biological effect of the kefir grains polysaccharide – kefiran // Биофармацевтический журнал. 2011. Т. 3, № 3. С. 11–18. EDN: OJJFLV.
- Gao X., Li B. Chemical and microbiological characteristics of kefir grains and their fermented dairy products: A review // Cogent Food & Agriculture. 2016. Vol. 2, Iss. 1. Article number: 1272152. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1272152>.
- Gooruee R., Pahlavani N., Hadi V., Hadi S. Evaluation of the effect of kefir supplementation on inflammatory markers and clinical and hematological indices in COVID-19 patients; a randomized double-blinded clinical trial // Advances in Integrative Medicine. 2024. Vol. 11, Iss. 1. P. 10–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aimed.2023.10.006>.
- Rosa D. D., Dias M. M. S., Grześkowiak Ł. M., Reis S. A. [et al.]. Milk kefir: Nutritional, microbiological and health benefits // Nutrition Research Reviews. 2017. Vol. 30, Iss. 1. P. 82–96. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0954422416000275>.
- Salari A., Ghodrati S., Gheflati A., Jarahi L. [et al.]. Effect of kefir beverage consumption on glycemic control: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials // Complementary Therapies in Clinical Practice. 2021. Vol. 44. Article number: 101443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2021.101443>.
- Vieira C. P., Rosario A. I. L. S., Lelis C. A., Rekowsky B. S. S. [et al.]. Bioactive compounds from kefir and their potential benefits on health: A systematic review and meta-analysis // Oxidative Medicine and Cellular Longevity. 2021. Vol. 2021. Article number: 9081738. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9081738>.
- Yilmaz B., Sharma H., Melekoglu E., Ozogul F. Recent developments in dairy kefir-derived lactic acid bacteria and their health benefits // Food Bioscience. 2022. Vol. 46. Article number: 101592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101592>.

⁴ Технический регламент Таможенного союза "О безопасности молока и молочной продукции" (ТР ТС 031/2013). С изменениями на 23 сентября 2022 года.

References

- Gavrilova, N. N., Barkova, M. V. 2014. About kefir and its benefits. *Setevoy nauchnyy zhurnal OrelGAU*, 2(3), pp. 3–4. EDN: TKQUHR. (In Russ.)
- Danilova, O. A., Gryazina, F. I., Evsyutkina, E. A. 2016. Useful properties of kefir and requirements for its quality. *Aktual'nyye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva*, 18, pp. 121–123. EDN: WYKSKZ. (In Russ.)
- Sokolova, O. V. 2018. A promising approach to reserving kefir grains under freezing conditions. Coll. of articles of the I Intern. scien.-pract. conf. *Scientific support of innovative technologies for the production and storage of agricultural and food products*, 9–23 April, 2018. Krasnodar, pp. 366–370. EDN: UWXMSE. (In Russ.)
- Lagoda, I. V., Bannikova, L. A., Bavina, N. A., Rozhkova, I. V. et al. All-Russian Dairy Research Institute. 1978. Method for preserving kefir grains, Russian Federation, Pat. 2431605. (In Russ.)
- Fomichev, Yu. P. 2016. Kefir and kefir product. History, characteristics, properties, technology, expertise. Dubrovitsy. (In Russ.)
- de Oliveira, Filho J. G., de Oliveira, Silva C., Egea, M. B., de Azeredo, H. M. C. et al. 2023. Employing alternative culture media in kefir exopolysaccharide production: Impact on microbial diversity, physicochemical properties, and bioactivities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 246. Article number: 125648. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125648>.
- Enikeev, R. R. 2011. Characterization, biosynthesis and biological effect of the kefir grains polysaccharide – kefirin. *Russian Journal of Biopharmaceuticals*, 3(3), pp. 11–18. EDN: OJJFLV.
- Gao, X., Li, B. 2016. Chemical and microbiological characteristics of kefir grains and their fermented dairy products: A review. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). Article number: 1272152. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2016.1272152>.
- Gooruee, R., Pahlavani, N., Hadi, V., Hadi, S. 2024. Evaluation of the effect of kefir supplementation on inflammatory markers and clinical and hematological indices in COVID-19 patients; a randomized double-blinded clinical trial. *Advances in Integrative Medicine*, 11(1), pp. 10–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aimed.2023.10.006>.
- Rosa, D. D., Dias, M. M. S., Grześkowiak, L. M., Reis, S. A. et al. 2017. Milk kefir: Nutritional, microbiological and health benefits. *Nutrition Research Reviews*, 30(1), pp. 82–96. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0954422416000275>.
- Salari, A., Ghodrati, S., Gheflati, A., Jarahi, L. et al. 2021. Effect of kefir beverage consumption on glycemic control: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 44. Article number: 101443. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2021.101443>.
- Vieira, C. P., Rosario, A. I. L. S., Lelis, C. A., Rekowsky, B. S. S. et al. 2021. Bioactive compounds from kefir and their potential benefits on health: A systematic review and meta-analysis. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021. Article number: 9081738. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9081738>.
- Yilmaz, B., Sharma, H., Melekoglu, E., Ozogul, F. 2022. Recent developments in dairy kefir-derived lactic acid bacteria and their health benefits. *Food Bioscience*, 46. Article number: 101592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101592>.

Сведения об авторах

Соколова Ольга Вячеславовна – ул. Люсиновская, 35/7, г. Москва, Россия, 115093; Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, канд. техн. наук, соискатель; e-mail: ol.moloko@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9516-6123>

Olga V. Sokolova – 35/7 Lyusinovskaya Str., Moscow, Russia, 115093; All-Russian Dairy Research Institute, Cand. Sci. (Engineering), Applicant; e-mail: ol.moloko@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9516-6123>

Федотова Ольга Борисовна – ул. Люсиновская, 35/7, г. Москва, Россия, 115093; Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности, д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник; e-mail: O_fedotova@vnimi.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9516-6123>

Olga B. Fedotova – 35/7 Lyusinovskaya Str., Moscow, Russia, 115093; All-Russian Dairy Research Institute, Dr. Sci. (Engineering), Leading Scientific Researcher; e-mail: O_fedotova@vnimi.org, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9516-6123>

Требования к рукописи статьи

Общие требования

Оригинальность текста	В статьях допускается не более 20 % заимствованного текста из открытых источников.
Объем статьи	Максимальный объем статьи – 10 страниц (включая библиографический список).
Формат файла	Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word и сохраняется с расширением *.doc, *.docx. В имени файла указывается фамилия и инициалы автора.
Параметры страницы	Формат А4. Поля: левое – 2,5 см, правое – 2,5 см, верхнее – 2,5 см, нижнее – 2,5 см.
Форматирование текста	Шрифт: Times New Roman. Размер шрифта – 10, абзацный отступ – 1,0, выравнивание по ширине. Межстрочный интервал – одинарный. Переносы слов не допускаются. Заголовки разделов помещают отдельной строкой через один межстрочный интервал после текста, печатают с прописной буквы. Шрифт полужирный, размер шрифта – 10, выравнивание по левому краю.

Требования к содержанию и оформлению структурных элементов рукописи

Индекс УДК	Индекс УДК помещают перед инициалами и фамилией автора отдельной строкой. Шрифт обычный, размер шрифта – 12, выравнивание по левому краю.
Автор (авторы)	Инициалы и фамилию автора(ов) на русском языке помещают после индекса УДК. Шрифт обычный, размер шрифта – 12, выравнивание по центру.
Заглавие	Заглавие помещают через один межстрочный интервал после инициалов и фамилии автора(ов), печатают с прописной буквы без точки в конце. Перевод инициалов, фамилии автора(ов) и заглавия на английский язык помещают соответственно после инициалов, фамилии авторов и заглавия на русском языке. Шрифт полужирный, размер шрифта – 12, выравнивание по центру.
Реферат	Рекомендуемый объем текста реферата 200–250 слов. Реферат на русском языке помещают через один межстрочный интервал после заглавия на английском языке. Перевод реферата на английский язык помещают через один межстрочный интервал после реферата на русском языке. Шрифт обычный, размер шрифта – 10, выравнивание по ширине.
Ключевые слова	Ключевые слова на русском языке помещают через один межстрочный интервал после аннотации на английском языке и разделяются запятой. Перевод ключевых слов на английский язык помещают на следующей строке после ключевых на русском языке. Шрифт обычный, размер шрифта – 8, выравнивание по левому краю.
Основной текст	Рекомендуемая структура основного текста статьи: введение, материалы и методы, результаты и обсуждение, заключение, благодарности. Иллюстрации и таблицы помещаются в тексте статьи по месту их первого упоминания. Иллюстрации, таблицы и формулы нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией.
Библиографический список, библиографические ссылки	Библиографический список помещают через один межстрочный интервал после текста статьи. Перевод библиографического списка на английский язык помещают через один межстрочный интервал после библиографического списка на русском языке. Шрифт обычный, размер шрифта – 10, без абзацного отступа, выравнивание по ширине.
Сведения об авторе(ах)	Сведения об авторе(ах) помещают через один межстрочный интервал после библиографического списка. Фамилия Имя Отчество – шрифт полужирный, размер шрифта – 10. Почтовый адрес, наименование организации, ученая степень, звание, академический статус, должность, e-mail. Шрифт обычный, размер шрифта – 10, выравнивание по левому краю.

Журнал зарегистрирован

Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-26674 от 22 декабря 2006 г.

Оформить подписку на журнал «Вестник МГТУ» можно:

– по Объединенному каталогу «ПРЕССА РОССИИ». Подписной индекс – 41212

URL: <https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/i41212/>

Журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых
должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание
ученых степеней доктора и кандидата наук.

URL: https://vak.minobrnauki.gov.ru/documents#tab=_tab:editions~

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования.

Журнал включен в базы данных: Zoological Record на платформе Web of Science (WoS),
Food Science and Technology Abstracts (FSTA), GeoRef.

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
95 2000 ОК 005-93

ВЕСТНИК МГТУ

Том 27, № 2 (апрель – июнь) 2024 г.



Подписано в печать 14.06.2024
Дата выхода в свет 28.06.2024
Формат 60×84/8. Бумага типографская
Печать ризографическая
Усл. печ. л. 17.66. Тираж 500 экз. Заказ № 121.
Цена 2 000 р. 00 коп.

Адрес издателя:
183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13

Отпечатано в редакционно-издательском отделе МАУ :
183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13