

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова
Химико-технологический институт

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

II Международная научная конференция

Сборник докладов

(Белгород, 25-27 марта 2025 г.)



Белгород
2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова
Химико-технологический институт

**АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ
РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ
БИОТЕХНОЛОГИИ**

II Международная научная конференция

Сборник докладов

(Белгород, 25-27 марта 2025 г.)

Белгород
2025

**УДК 57.08
ББК 30.16
А43**

Редакционная коллегия:

Д.О. Половнева
М.В. Яремчук

Актуальные аспекты и перспективы развития современной биотехнологии: сб. докл. II Межд. науч. конф., Белгород, 25–27 марта, 2025 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2025. – 330 с.

ISBN 978-5-361-01515-3

Сборник содержит материалы докладов II Международной научной конференции «Актуальные аспекты и перспективы развития современной биотехнологии» таких тематических направлений как: «Биотехнологии продуктов, добавок, белковых препаратов и биологически активных веществ», «Биоконверсия отходов производства и потребления», «Биотехнологии и охрана окружающей среды», «Нормирование, контроль и управление биохимическими процессами», «Информационные технологии и биоинформатика».

Публикуется в авторской редакции.

УДК 57.08
ББК 28.08

ISBN 978-5-361-01515-3
государственный

© Белгородский
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2025

Секция 1. БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ, ДОБАВОК, БЕЛКОВЫХ ПРЕПАРАТОВ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

УДК 577.151, 577.29

¹Анисимова А.П., студент,

²Ренфельд Ж.В., к.б.н.,

²Черных А.М.,

ЧЕРНЫХ НАУК,

(1 – Московский государственный университет им. Н.В. Ломоносова, г. Москва, Россия)

2 – ФИЦ «Пущинский научный центр биологических исследований РАН»
Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина РАН,
г. Пущино, Россия

ВЛИЯНИЕ АМИНОКИСЛОТНОГО ОКРУЖЕНИЯ КООРДИНАЦИОННОЙ СФЕРЫ ЖЕЛЕЗА НА СВОЙСТВА КАТЕХОЛ 1,2-ДИОКСИГЕНАЗЫ

Аннотация: Катехол 1,2-диоксигеназа – один из ключевых ферментов деградации фенольных соединений, осуществляющий интрадиольное расщепление ароматического кольца. В настоящей работе исследовано влияние аминокислотного окружения координационной сферы железа в активном центре катехол 1,2-диоксигеназы на ее физико-химические свойства.

Ключевые слова: катехол диоксигеназа, интрадиольное расщепление ароматического кольца, сайт-направленный мутагенез

Катехол 1,2-диоксигеназы – железосодержащие ферменты, катализирующие реакцию интрадиольного расщепления ароматического кольца катехола и его производных между двумя смежными гидроксильными группами с включением молекулярного кислорода и образованием *цик,цик*-муконовых кислот (рис.1).

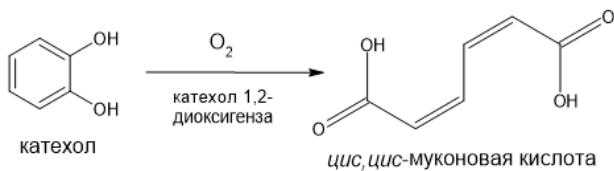


Рис. 1. Реакция расщепления катехола катехол 1,2-диоскигеназой.

Катехол 1,2-диоксигеназы участвуют в аэробной деградации ароматических соединений, в связи с чем они могут быть использованы для биодеградации загрязнителей, содержащих бензольное кольцо, количество и разнообразие которых постоянно увеличивается в результате хозяйственной и промышленной деятельности человека. Кроме того, катехол 1,2-диоксигеназы могут быть использованы в разработке биосенсоров или для более экологичного производства *cis,cis*-муконовой кислоты, являющейся предшественником в синтезе целого ряда промышленно ценных соединений [1-3]. Поэтому дальнейшее изучение данных ферментов представляет не только фундаментальный, но и практический интерес.

Ранее было обнаружено, что катехол- и 3-хлоркатехол 1,2-диоксигеназы из бактерии *Rhodococcus opacus* имеют схожий состав поверхности активного центра (рис.2.) за исключением нескольких аминокислотных остатков во вторичной сфере железа, которые, возможно, влияют на субстратную специфичность этих ферментов [4-5].

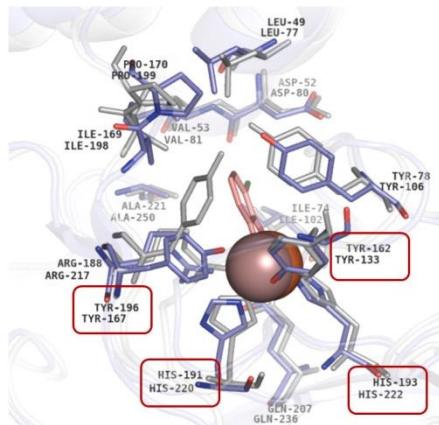


Рис.2. Наложение структур активных центров катехол- и 3-хлоркатехол 1,2-диоксигеназ бактерии *R. opacus*. Выделены аминокислотные остатки, координирующие атом железа в активном центре ферментов.

Целью настоящего исследования было изучение влияния точечных аминокислотных замен во вторичном окружении координационной сферы железа в активном центре катехол 1,2-диоксигеназы на ее функциональные свойства.

В ходе работы, на основе ранее созданного экспрессионного вектора, несущего нативный ген катехол 1,2-диоксигеназы из *R. opacus* меченный His₆-tag, методом сайт-направленного мутагенеза с мегапраймером были получены мутантные формы этого гена, кодирующие замены аминокислот во вторичной координационной сфере железа в активном центре исследуемого фермента. Экспрессию нативной и мутантных форм катехол 1,2-диоксигеназы проводили в *E. coli* BL21 (DE3). Клетки разрушали ультразвуком, фермент очищали аффинной хроматографией с использованием колонки HisTrap HP. Полученные рекомбинантные ферменты использовали для измерения кинетических констант и оптимумов температуры и pH.

В результате исследования было обнаружено, что замена тирозина на глутаминовую кислоту рядом с первым координирующим железо остатком тирозина приводила к значительному сдвигу pH- и температурного оптимума, а также к значительному снижению специфичности в отношении катехола и 4-метилкатехола.

Замена глутамина в окружении второго лиганда железа – тирозина на глутаминовую кислоту, также приводила к сдвигу pH-оптимума, однако эффект проявлялся не так выражено, как в предыдущем случае. При этом следует отметить, что изменения температурного оптимума по сравнению с исходным ферментом не наблюдалось, однако произошло увеличение специфичности в отношении катехола.

Замена лейцина вблизи одного из остатков гистидина, координирующего железо активного центра, на триптофан лишь незначительно изменила pH- и температурный оптимум, но существенно повысила специфичность фермента в отношении 4-метилкатехола.

Таким образом, полученные данные в дальнейшем могут быть использованы для направленной модификации катехол 1,2-диоксигеназы с целью создания фермента с заданными свойствами.

Исследования выполнены в рамках НИР Минобрнауки РФ “Молекулярные механизмы биодеградации ксенобиотиков” №122040100068-4.

Библиографический список

1. Matthiesen J.E. et al. Electrochemical conversion of muconic acid to biobased diacid monomers. ACS Sustainable Chem. Eng. 2016. Т. 4, С. 3575–3585.
2. Di Nardo G. et al. Catalytic properties of catechol 1, 2-dioxygenase from *Acinetobacter radioresistens* S13 immobilized on nanosponges //Dalton transactions. 2009. №. 33. С. 6507-6512.

3. Zucolotto, V. et al. Catechol biosensing using a nanostructured layer-by-layer film containing Cl-catechol 1, 2-dioxygenase //Biosensors and Bioelectronics. – 2006. Т. 21. №. 7. С. 1320-1326.

4. Matera I. et al. Catechol 1, 2-dioxygenase from the Gram-positive *Rhodococcus opacus* 1CP: quantitative structure/activity relationship and the crystal structures of native enzyme and catechols adducts //Journal of Structural Biology. 2010. Т. 170. №. 3. С. 548-564.

5. Коломыццева М. П. Хлорпирокатехин 1,2-диоксигеназы *Rhodococcus opacus* 1CP: кинетические и структурные свойства: дис. Ин-т биохимии и физиологии микроорганизмов им. ГК Скрябина РАН, 2005.

УДК 664.38:57.014

Болхонов Б. А., аспирант.,
Жамсаранова С. Д., д-р биол. наук, проф.,
Баженова Б.А., д-р техн. наук, проф.,
Лебедева С.Н., д-р биол. наук, проф.,
(Восточно-Сибирский государственный университет
технологий и управления, г. Улан-Удэ, Россия)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОЛИЗАТОВ СОЕВОГО И ЯИЧНОГО БЕЛКОВ

Аннотация: Ферментативный гидролиз (пепсин, трипсин) снижает антигенность соевого белка и яичного альбумина за счет уменьшения молекулярной массы и повышения антиоксидантной активности. Результаты подтверждают перспективность применения гидролизатов в гипоаллергенных продуктах.

Ключевые слова: пищевая аллергия, ферментативный гидролиз, соевый белок, яичный альбумин, антигенность, антиоксидантная активность, гипоаллергенные продукты.

Пищевая аллергия является одной из наиболее актуальных проблем современности, затрагивающей миллионы людей во всем мире [1]. Среди пищевых аллергенов особое внимание уделяется соевому и яичному белку, которые являются основными причинами аллергических реакций у детей и взрослых. Эти продукты широко применяются в пищевой промышленности благодаря высокой питательной ценности и функциональным свойствам. Однако их белковые компоненты выступают ключевыми аллергенами, вызывающими иммунный ответ у чувствительных людей [2,3].

В составе сои основными аллергенами являются глицинин (Gly m 6) и β -конглицинин (Gly m 5), устойчивые к термической обработке и действию пищеварительных ферментов [4,5]. В яичном белке

аллергенными свойствами обладают овомукоид (Gal d 1), овальбумин (Gal d 2), коальбумин (Gal d 3) и лизоцим (Gal d 4) [6,7]. Особенно опасен овомукоид, сохраняющий аллергенные свойства даже после высокотемпературной обработки. Аллергические реакции на эти белки могут проявляться кожными высыпаниями, желудочно-кишечными расстройствами, респираторными симптомами и анафилаксией, что делает снижение их аллергенности приоритетной задачей [8].

Одним из перспективных подходов к решению этой проблемы является ферментативный гидролиз — процесс расщепления белков на пептиды и аминокислоты под действием протеолитических ферментов [9]. Этот метод разрушает конформационные и линейные эпитопы, распознаваемые иммунной системой, снижая аллергенность продукта. Важную роль играет молекулярная масса образующихся пептидов: чем она ниже, тем меньше вероятность их взаимодействия с иммунной системой. В предыдущих работах [10] были представлены результаты по разработке технологии двухстадийного ферментативного гидролиза пищевых белков яйца и сои, в ходе которых были получены соответствующие гидролизаты.

Целью настоящего исследования стало изучение влияния ферментативного гидролиза на степень гидролиза, молекулярно-массовое распределение продуктов гидролиза сои и яичного альбумина, а также оценка степени гидролиза на суммарную антиоксидантную активность.

В качестве сырья для исследований были выбраны соевый протеин-изолят (производство Китай) и яичный альбумин (производство Франция). Процесс гидролиза осуществляли с применением протеолитических ферментов: пепсина ("Реахим", Россия) и трипсина ("Спофа", Чехия).

Гидролизаты яичного альбумина и соевого белка получали методом двухстадийного ферментативного гидролиза в соответствии с методикой, описанной в предыдущих исследованиях авторов [11].

Суммарную антиоксидантную активность гидролизатов оценивали на хроматографе Цвет-Язуа-01-АА (НПО «Химавтоматика», 2012) по ГОСТ Р 54037-2010

Молекулярную массу белков определяли методом SDS-PAGE в соответствии с методологией Лэммли. Количественный анализ белков выполняли с использованием программы Image Lab (версия 6.0.1), строя график зависимости объема полос от количества белка.

Для оценки эффективности ферментативного гидролиза соевого и яичного белков были проведены количественные исследования содержания белка в нативных образцах и гидролизатах. Результаты

анализа степени гидролиза белков, молекулярно-массового распределения продуктов гидролиза белков и антиоксидантной активности представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-химические характеристики белков и гидролизатов

№	Название пробы	Молекулярная масса, кДа	Содержание в пробе по PhotoMetrix, %	Степень гидролиза, %	Суммарная антиоксидантная активность, мг/100 мл
1	Яичный белок	250-20	89,7	-	$17,8 \pm 1,1$
		>20	10,3		
2	Яичный гидролизат	250-35	29,0	$82,6 \pm 4,1$	$114,3 \pm 6,2$
		30	26,5		
		20	35,2		
		>15	9,3		
3	Соевый белок	250-50	97,0	-	$19,0 \pm 1,3$
		20	1,6		
		>15	1,4		
4	Соевый гидролизат	250-50	42,8	$88,3 \pm 4,4$	$91,4 \pm 4,6$
		40	11,9		
		20	33,0		
		>15	12,2		

Анализ данных таблицы 1 показал, что в нативных образцах яичного белка основная масса (89,7 %) приходилась на фракции с молекулярной массой 250–20 кДа, что соответствует высокомолекулярным компонентам, таким как овальбумин и овотрансферрин. В гидролизате наблюдалось снижение доли высокомолекулярных фракций (250–35 кДа — 29,0 %) и увеличение низкомолекулярных (20 кДа — 32,2 % и >15 кДа — 9,3 %). Степень гидролиза составила $82,6 \pm 4,1$ %, а антиоксидантная активность возросла с $17,8 \pm 1,1$ до $114,3 \pm 6,2$ мг/100 мл.

При гидролизе соевого белка также произошло снижение доли высокомолекулярных фракций (с 97,0 % до 42,8 %) и увеличение низкомолекулярных (20 кДа — 33,0 % и >15 кДа — 12,2 %). Степень гидролиза достигла $88,3 \pm 4,4$ %, а антиоксидантная активность повысилась с $19,0 \pm 1,3$ до $91,4 \pm 4,6$ мг/100 мл. Это подтверждает

эффективность гидролиза в расщеплении белков и усилении их антиоксидантных свойств.

Для визуализации результатов гидролиза и оценки молекулярно-массового распределения белков был проведен гель-электрофорез (SDS-PAGE). На Рисунке 1 представлена электрофореграмма белковых продуктов.

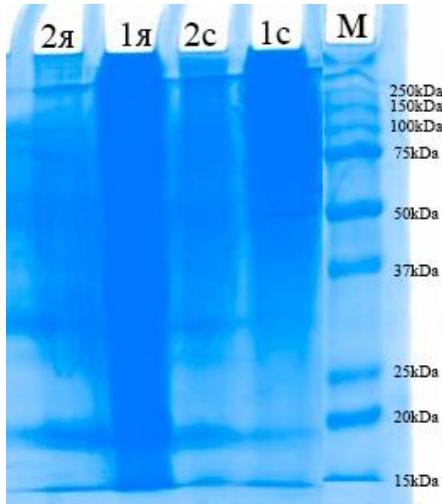


Рис. 1. Электрофореграмма белковых продуктов: М – маркер молекулярной массы (от 15 кДа до 250 кДа); 1с – нативный соевый белок; 2с – соевый гидролизат; 1я — нативный яичный белок; 2я – яичный гидролизат.

В нативных образцах соевого (1с) и яичного (1я) белков наблюдались интенсивные полосы высокомолекулярных фракций (250–50 кДа для сои, 250–20 кДа для яйца), соответствующие основным белкам: глицинину, β -конглицинину, овальбумину и овотрансферрину. После гидролиза (2с, 2я) интенсивность полос высокомолекулярных фракций снизилась, появились новые полосы в области 20 кДа и ниже, что указывает на расщепление белков на низкомолекулярные пептиды. Для соевого гидролизата основная масса белка сместилась в область 20 кДа и ниже (степень гидролиза $88,3 \pm 4,4\%$), аналогично для яичного гидролизата ($82,6 \pm 4,1\%$).

Результаты гель-электрофореза подтвердили данные количественного анализа, представленные в Таблице 1. В гидролизатах соевого и яичного белков наблюдалось снижение

интенсивности полос высокомолекулярных фракций и появление новых полос в области низкомолекулярных пептидов, что сопровождалось повышением антиоксидантной активности. Это свидетельствует об эффективности гидролиза и перспективности использования полученных гидролизатов в производстве гипоаллергенных и функциональных пищевых продуктов.

В ходе проведенного исследования были проанализированы гидролизаты соевого белка и яичного альбумина, полученные методом двухстадийного ферментативного гидролиза с использованием пепсина и трипсина. Установлено, что процесс гидролиза обеспечивает значительное снижение молекулярной массы белковых молекул: доля низкомолекулярных фракций (менее 20 кДа) в гидролизатах увеличилась, что указывает на разрушение высокомолекулярных структур, формирующих антигенные эпитопы аллергенных белков, которое сопровождается увеличением суммарного содержания антиоксидантов.

Полученные данные свидетельствуют о перспективности использования гидролизатов соевого белка и яичного альбумина в качестве безопасных и функциональных ингредиентов для производства гипоаллергенных продуктов питания с антиоксидантными свойствами.

Финансирование: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00086, <https://rscf.ru/project/25-26-00086/>

Библиографический список

1. Warren C., Jiang J., Gupta R. Epidemiology and Burden of Food Allergy // Current Allergy and Asthma Reports. 2020. Vol. 20. P. 1–9. DOI: 10.1007/s11882-020-0898-7.
2. Sripramong C. [et al.] Food sensitization and food allergy in allergic Thai patients from a tertiary care center in Thailand // Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology. 2019. URL: <https://doi.org/10.12932/AP-210119-0475> (дата обращения: 15.10.2023).
3. De Haro Romero T., Aldana C., Cejudo G., De Haro Muñoz T. B-102 Screening Food Allergies in Our Health Primary Care Area // Clinical Chemistry. 2023. DOI: 10.1093/clinchem/hvad097.441.
4. Zheng S., Qin G., Tian H., Zhang F. Three-dimensional structure of Gly m 5 (β -conglycinin) plays an important role in its stability and overall allergenicity // Food Chemistry. 2017. Vol. 234. P. 381–388. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.020.

5. Holzhauser T. [et al.] Soybean (*Glycine max*) allergy in Europe: Gly m 5 (beta-conglycinin) and Gly m 6 (glycinin) are potential diagnostic markers for severe allergic reactions to soy // The Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2009. Vol. 123, № 2. P. 452–458. DOI: 10.1016/j.jaci.2008.09.034.
6. Urisu A. [et al.] Allergenic activity of heated and ovomucoid-depleted egg white // The Journal of Allergy and Clinical Immunology. 1997. Vol. 100, № 2. P. 171–176. DOI: 10.1016/S0091-6749(97)70220-3.
7. Taha A., Hafsa A., Dua N., Areeba M. Ovomucoid (the most important egg white allergen) as a cause of severe egg allergy: A review // Sanamed. 2024. DOI: 10.5937/sanamed0-51327.
8. Muttardi K., Kocatürk E. Immediate Skin Contact Reactions Induced by Proteins // Contact Urticaria Syndrome: Diagnosis and Management / ed. by S. Laoprasert, C. L. Goh. Cham: Springer, 2018. P. 75–89. DOI: 10.1007/978-3-319-89764-6_7.
9. Kasera R., Singh A., Lavasa S., Prasad K., Arora N. Enzymatic hydrolysis: a method in alleviating legume allergenicity // Food and Chemical Toxicology. 2015. Vol. 76. P. 54–60. DOI: 10.1016/j.fct.2014.11.023.
10. Жамсаранова С.Д., Лебедева С.Н., Болхонов Б.А., Соколов Д.В. Ферментативная конверсия пищевого белка и оценка антиоксидантной активности пептидов // Вестник ВСГУТУ. 2021. № 4(83). С. 5–14. DOI: 10.53980/24131997_2021_4_5.
11. Болхонов Б.А. [и др.] Выбор рабочих параметров получения пептидов яичного белка // Вестник ВСГУТУ. 2022. № 4(87). С. 15–23. DOI: 10.53980/24131997_2022_4_15.

УДК 577.15.08+606.61

Быкова А. А., студент
 Ванюшенкова А.А., аспирант
 Кушнерев К.С., м.н.с.
 Решетова О.В., инженер
 Белов А. А., д.т.н., профессор
 (Российский химико-технологический университет
 им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

ЛИОФИЛИЗАТЫ ХИТОЗАНА И БРОМЕЛАИНА

Аннотация: Современное местное лечение различных гнойно-некротических ран предполагает дифференцированный подход с выбором фармакологических препаратов, соответствующих стадии раневого процесса. Эти препараты должны обладать разнородным действием: очищающим, антибактериальным, общестимулирующим, улучшающим репаративные процессы в ране. Ферменты (отвечают за некролитическое действие) являются обычно наиболее лабильными компонентами системы. Иммобилизация тиоловых протеаз ведет к быстрой потере их протеолитической активности даже в присутствии цистеина (Cys). При

взаимодействии Cys с хитозаном (Хт). Cys, возможно, может заместить ацетат ионы у аминогрупп Хт. В образовавшемся производном, может происходить модификация аминогрупп Cys и цистином, в результате чего, Хт теряет способность растворяться в воде, а Cys теряет биологическую активность.

Ключевые слова: цистеин; терапевтические агенты; бромелайн; кинетика выхода; хитозан;

Проблема исцеления гнойных ран относится к важным, актуальным и нерешенным в настоящее время проблемам в современной медицине. Одним из направлений поиска эффективного способа лечения инфицированных ран - разработка местных средств полифункционального действия, содержащих в своем составе ряд терапевтических агентов, обладающих комплексной биологической активностью в отношении основных субстратов сложной, длительно незаживающей раны. В свете вышесказанного является актуальным и востребованным разработка перевязочного средства, способного очистить раневую поверхность от гноино-некротических масс, обеспечить антимикробное действие, максимально снизить болевой синдром и, в конечном итоге, осуществить заживление раны в максимально короткие сроки [1]. Цистеиновые протеазы, такие как бромелайн (Брм) или папаин, широко используются в медицинских и косметологических технологиях. Более широкое использование данных ферментов сдерживается их низкой стабильностью в растворе (геле), инактивации при изменении различных физико-химических параметров, а также наличие различных терапевтических агентов (ТА) соиммобилизованных в препарате [2,3]. Для стабилизации вышенназванных ферментов нами была использована их иммобилизация в хитозановый гель в присутствии стабилизатора. Биосовместимость Хт, его эффективное разложение в организме и свойство замедленного высвобождения введенных в него препаратов делают его популярным полимером для доставки различных ТА. Важным аспектом в применении полимеров в качестве систем для доставки ТА является занимаемое ими место в метаболизме человека или биодеградируемость. При абсорбции гидрофильных полимеров, таких как Хт, они должны иметь соответствующий молекулярный вес для того, чтобы почки могли вывести эти вещества из организма. Если же молекулярная масса превышает некий барьер, то полимер в ходе метаболизма должен быть подвергнут деструкции (деградации). Биодеградация предусматривает разрушение в среде организма, материала до фрагментов такой молекулярной массы, которые бы могли быть использованы организмом или выведены почками.

Результаты

УФ-вид измерения выполнялись с помощью регистрирующего спектрофотометра фирмы Shimadzu UV-2600 (Япония).

Поверхность препаратов исследовали с использованием микроскопа JSM JEOL 6510LV («JEOL», Япония). Исследования по методу сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) выполнялись на оборудовании Центра коллективного пользования РХТУ им. Д.И. Менделеева.

ИК-спектры были получены с помощью ИК-Фурье спектрометра Nicolet 380 (Thermo Scientific, США) с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения в диапазоне 550 - 4000 см^{-1} , где в качестве оптического материала использовался кристалл из селенида цинка. Исследования по методу выполнялись на оборудовании Центра коллективного пользования РХТУ им. Д.И.Менделеева.

Для определения антиоксидантной активности (АОА) использовали реакцию со стабильным свободным радикалом 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилом (ДФПГ) [4].

Иммобилизацию в хитозан проводили, смешивая растворы Хт заданной концентрации и необходимых компонентов.

Нами были синтезированы композиты на основе Хт, цистеина и Брм обладающие протеолитической, антиоксидантной и некоторыми другими биологическими активностями. Было изучено изменение биологической активности в процессе получения, высушивания и хранения (в жидком и сухом виде) композитов. С помощью вискозиметрии, СЭМ, УФ-Вид и ИК спектроскопии изучено взаимодействие в растворе между компонентами смеси и в процессе хранения высушенных образцов.

Из данных, полученных при помощи УФ-Вид спектроскопии, можно сделать вывод, что между Хт и Сус отсутствуют сильные валентные взаимодействия в условиях получения (рН 3,5-4,0).

На рис. 1 приведены данные СЭМ некоторых образцов. Как видно из полученных данных структура и размер полученных композитов сильно отличаются в зависимости от состава. Деструкция (уменьшение размера) Хт подтверждается и данными вискозиметрии.

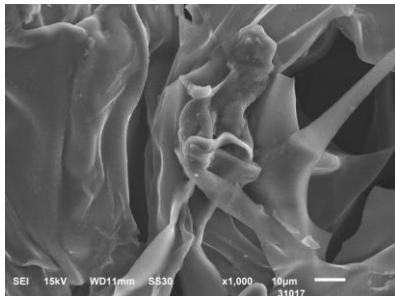


Рис. 1а. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), Хт

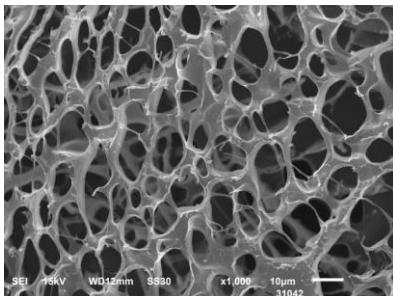


Рис. 1б. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), Хт-Цис-Брм

На рис. 2 приведены данные вискозиметрии, растворов Хт в присутствии изученных компонентов при 25°C.

Как видно из полученных данных деполимеризация Хт происходит не только под действием Брм, но цистеин и даже хранение в водном растворе уксусной кислоты деполимеризует Хт [5].

ИК спектры биополимеров трудно однозначно интерпретировать. В спектрах изученных образцов есть широкая полоса 3700 – 3000 cm^{-1} с двумя максимумами, принадлежащая валентным колебаниям -OH и -NH связей. Также в обоих образцах наблюдается полоса 3000-2300 с двумя максимумами, отражающая валентные колебания CH-связей. В области 1800-1200 cm^{-1} есть четыре максимума, принадлежащие деформационным колебаниям амино- и CH_2 , CH_3 групп. В области 1200-800 идет широкая полоса, на которой выделяются 3 пика, отображающие валентные колебания C-O, C-N, C-C связей. Для диапазона 800 - 400 cm^{-1} 1 максимум, принадлежащий валентным колебаниям C-S связей. Сильная полоса при 3650 cm^{-1}

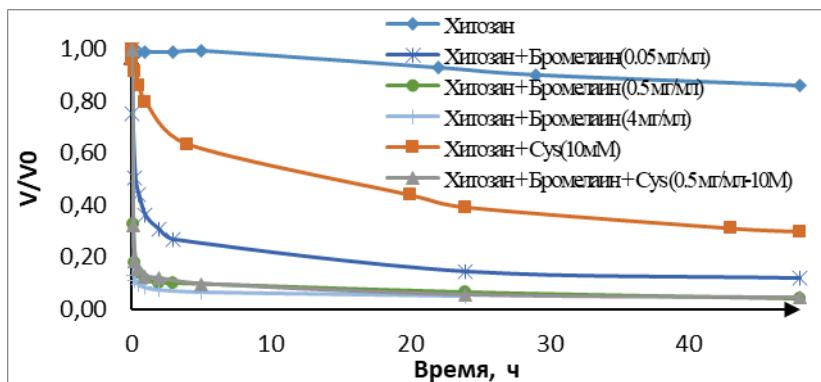


Рис. 2. Падение вязкости растворов Хт в зависимости от добавленного компонента.

возникает у вторичных спиртовых групп, не связанных водородной связью. Связывание водородными связями значительно сдвигает этот пик в сторону меньших частот. Но в области $3500\text{--}5100\text{ cm}^{-1}$ полоса поглощения аминогрупп. Пиранозное кольцо характеризуется асимметричными колебаниями 914 cm^{-1} и симметричными колебаниями при 770 cm^{-1} . Характеристика $3450\text{--}3225\text{ cm}^{-1}$ обусловлена растяжением связи N–H вторичного N-замещенного амида $3600\text{--}3100$. Обусловлена колебаниями N–H, O–H связей 2981 cm^{-1} . Обусловлена растяжением связи C–H $3100\text{--}2800$. Вызвана растяжением C–H связей 1650 cm^{-1} . Вызвана C=O-растяжением карбоксильной группы $1635\text{--}1630\text{ cm}^{-1}$. Вызвана колебаниями C–N, N–H связей $1600\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$. Обусловлена наличием C–C-связей $1558\text{--}1550\text{ cm}^{-1}$. Обусловлена колебаниями C–N, N–H связей $1429\text{ и }1321\text{ cm}^{-1}$. Вызваны деформацией C–H в алкильных радикалах аминокислотных остатков $1409\text{--}1406\text{ и }1379\text{--}1316\text{ cm}^{-1}$. Вызваны деформационными колебаниями O–H и C–H в пиранозном кольце $868\text{ и }850\text{ cm}^{-1}$. Связаны с процессами деформации ароматического кольца остатков триптофана и тирозина $1200\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$. Обусловлена растяжением C–O–C связей $1150\text{--}1050\text{ и }705\text{--}570\text{ cm}^{-1}$. Обусловлены наличием C–S связей [8]. Для хитозановых композиций характерно изменение пиков в области $1200\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$, отражающие собственные колебания экзоскелета в его пиранозной структуре [8]. Кроме того, характеристическими пиками хитозановых композитов являются пики амида 1 (1650 cm^{-1}), амида 2 (1580 cm^{-1}) и амида 3 (1300 cm^{-1}). Данные колебания также вносят значительную помеху в определения пиков перехода цистеина в форму цистина [9].

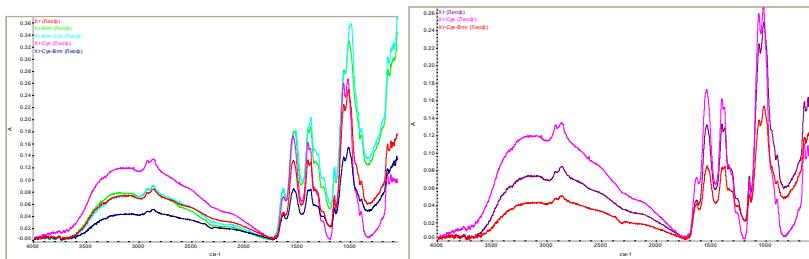


Рис. 3. ИК-спектры Хт в зависимости от добавленного компонента (после получения).

Как уже было упомянуто ранее, тиоловая группа цистеина легко подвержена модификациям. Образование цистина в системе несет за собой снижение антиоксидантной активности, а также ингибиование (в первую очередь за счет цистина), входящего в композицию Брм. Цистеин в зависимости от условий получения композита по-разному реагирует с молекулой Хт [6,7].

Было изучено изменение АОА Cys в 1/15M фосфатном буферном растворе (ФБ) pH 6,2 при 25 °C и иммобилизованного в хитозановый гель Cys (Хт-Cys, Хт-Cys-Брм, Хт-Брм-Cys) в зависимости от условий высушивания. Для этого образцы помещались в раствор ФБ 6,2 и через определенные промежутки времени в них определялась АОА. Полученные данные для лиофилизатов приведены на рис. 4-5. Необходимо учитывать, меняющуюся собственную АОА активности олигохитов. В работе [10] приведены наши данные о изменении АОА Cys в пленках Хт и иммобилизованного на ДАЦ, ДАЦ-Хт.

Было изучено влияние высушивания на сохранение (по казеину) протеолитической активности (ФА) и АОА хитозана (Хт), бромелайна (Брм), цистеина (Cys) и их композитов. ФА определяли аналогично [11]. Были сняты УФ-Вид спектры и изучено изменение ФА и АОА при помещении препаратов в 1/15M фосфатный буферный раствор (ФБ) pH 6,2 (модель гнойной раны) при 25 °C в зависимости от состава композита. Для этого образцы помещались в раствор ФБ 6,2 и через определенные промежутки времени определяли ФА и АОА либо раствора (р-р), либо общую (препарата+ раствора лиоф). Биологическая активность лиофилизатов не полностью реализуется в растворе, часть активного препарата (10-30%) остается в нерастворимой части.

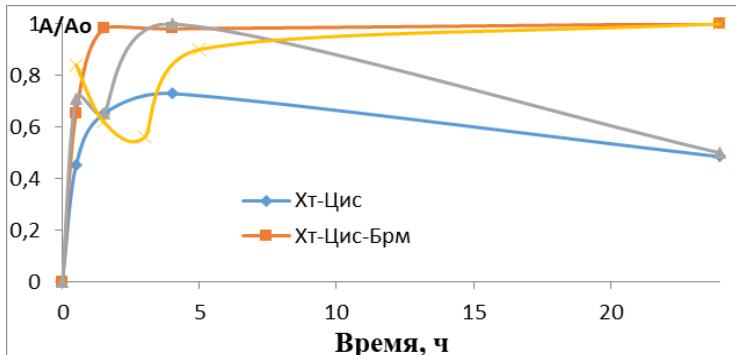


Рис. 4. АОА ФБ 6,2; 25°C в зависимости от добавленного компонента во времени.

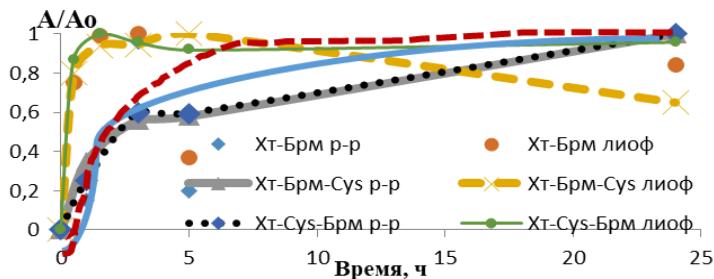


Рис. 5. ФА препаратов в ФБ 6,2; 25°C в зависимости от времени выдерживания.

Лиофилизаты содержащие в своем составе цистеин отличаются от изученных нами ранее препаратов. Они практически не растворяются ни в воде, ни в 1/15M ФБ pH 6,2 (в отличии от, например лиофилизатов трипсина, химопсина). Это возможно происходит при модификации аминогруппы Хт Cys. Возможно твердофазное образование каких-либо тиолированных производных Хт [11]. В работе [12] показаны возможные механизмы окисления Cys, в том числе и в белках организмов. Причем в окислительных превращениях могут принимать не только активные формы кислорода.

Композиты Хт-Cys более устойчивы по сравнению с немодифицированным Cys. Следует отметить, что в процессе получения, хранения и использования композита Хт- Cys -Брм

происходит инактивация Cys и Брм, а также деполимеризация макромолекул Хт.

Библиографический список

1. Rezvani Ghomi E. et al. Wound dressings: Current advances and future directions //Journal of Applied Polymer Science. 2019. Т. 136. №. 27. Р. 47738.
2. Мосолов В.В. Протеолитические ферменты. М.: Наука. 1971. 414с.
3. 'S.A.S.H. Ajlia, 'F.A.A. Majid Efficacy of Papain-based Wound Cleanser in Promoting Wound Regeneration //Pakistan Journal of Biological Sciences, 2010 -13 (12): 596-603ISSN 1028-8880, DOI: 10.3923/pjbs.2010.596.603
4. Molyneux P. The Use of the Stable Free Radical Diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for Estimating Antioxidant Activity // Songklanakarin J. Sci. Technol. 2004. Vol. 26. Iss.2. P.211-219.
5. D. P. Chattopadhyay and Milind S. Inamdar Aqueous Behaviour of Chitosan // International Journal of Polymer Science Volume 2010, Article ID 939536, 7 pages doi:10.1155/2010/939536
6. Pravina Piste Cysteine –master antioxidant // International Journal of Pharm. Chemical and Biological Sciences. 2013. V.3. Iss.1. P.143-149.
7. Alaa El-Din A. Gawad and Medhat A. Ibrahim Spectroscopic Analyses of Chitosan Interactions with Amino Acids // Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 2012. Vol. 9, P. 5, doi:10.1166/jctn.2012.2154
8. Elviri, L., Asadzadeh, M., Cucinelli, R. et al Macroporous chitosan hydrogels: Effects of sulfur on the loading and release behaviour of amino acid-based compounds// Carbohydrate Polymers, 2015, 132, 50–58.
9. Берестова Т. В. и др. Окисление L-цистеина в присутствии солей переходных металлов // Вестник Башкирского университета. 2020. Т. 25., №2. С. 297-301.
10. Быкова А.А., Ванюшенкова А.А., Смолина А.М. и др. Исследование влияния условий иммобилизации и хранения на антиоксидантную активность цистеина //Успехи в химии и химической технологии: сб. науч. тр. Том XXXVIII, № 8 (287). М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2024. С.143-148.
11. Белов А.А. Разработка промышленных технологий получения новых медицинских материалов на основе модифицированных волокнообразующих полимеров, содержащих биологически активные белковые вещества. Дисс. на соис. уч. степ. докт. техн. Наук. М., РХТУ, 2009. –385 с.
12. Lisa J. Alcock, Michael V. Perkins and Justin M. Chalker Chemical methods for mapping cysteine oxidation//Chem. Soc. Rev., 2018, 47, 231 DOI: 10.1039/c7cs00607a.

УДК 577.15.08+606.61

¹Ванюшенкова А.А., аспирант,

¹Белов А.А., д. техн. наук, профессор,

(1 –Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ОКИСЛЕНИЯ ЗВЕНЬЕВ ДИАЛЬДЕГИДПРОИЗВОДНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ НОСИТЕЛЕЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ КОМПОЗИЦИЙ

Аннотация: Разработка стратегий адресной доставки лекарств — важная задача современной фармацевтики. Особое внимание уделяется созданию препаратов с контролируемым высвобождением активных компонентов, минимизирующими нагрузку на организм пациента. Данная работа посвящена исследованию возможности использования диальдегидцеллюлозы, полученной путем периодического окисления целлюлозы, в качестве полимерной основы для создания препаратов с контролируемым высвобождением действующих веществ. Основное внимание уделено изучению физико-химических и биологических свойств диальдегидцеллюлозы, влиянию степени окисления на эти свойства, а также оценке токсичности и антибактериальной активности продуктов распада диальдегидцеллюлозы и влиянию на них степени модификации полисахарида.

Ключевые слова: диальдегидполисахариды, депо-препараты, терапевтический агент, раневое покрытие.

Сегодня разработка стратегий и препаратов адресной доставки лекарственных веществ представляет собой одну из приоритетных задач, в контексте создания препаратов с контролируемым, точечным высвобождением активных компонентов, не перегружающим организм пациента. При этом, как известно, разработчику необходимо обеспечить как защиту непосредственно действующего вещества от воздействия организменной среды, не являющейся таргетируемой, так и обеспечить защиту организма от продуктов распада лекарственной основы [1]. Для обеспечения данного эффекта, зачастую, при разработке используют соединения полисахаридной природы. Они способны к биодеградации, будучи при этом устойчивыми к воздействию внешних факторов, включая экстремальные значения pH, температуры и механические нагрузки. Кроме этого, полисахариды обладают высокой сорбционной емкостью, транспортной функциональностью и позволяют разработчикам контролировать

кинетику выхода лекарственных средств, обеспечивая постепенную реализацию, тем самым снижая общую нагрузку на пациента [2].

Среди препаратов полисахаридной природы, целлюлозные материалы приобрели статус одной из наиболее востребованных матриц, преимущественно благодаря тому факту, что целлюлоза представляет собой легкодоступный биополимер, характеризующийся низкой рыночной стоимостью. Однако, сама нативная целлюлоза является химически инертной и требует предварительной функционализации для того, чтобы взаимодействовать с физиологически активными соединениями. Кроме того, известно, что нативная целлюлоза не подвергается ферментативному гидролизу в человеческом организме, хотя и признана частично биодеградируемым материалом.

В качестве полимерной основы в нашей работе была использована диальдегидцеллюлоза [3], полученная методом периодатного окисления целлюлозы по реакции Малапрада, показанной на рисунке 1 [4]. Данный выбор объясняется тем, что диальдегидполисахариды – водорастворимы, биосовместимы, биоразлагаемы, а альдегидные группы являются удобными местами связывания физиологически активных веществ [5].

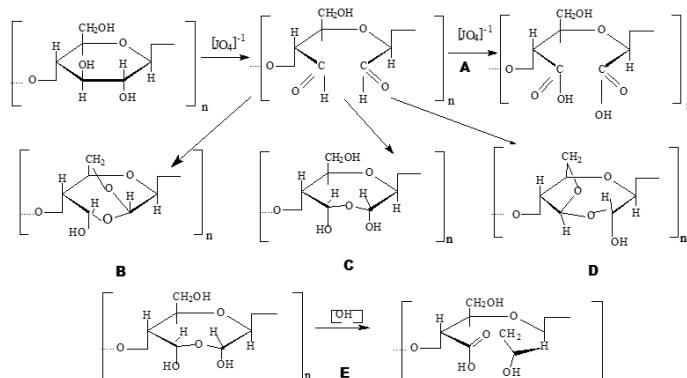


Рисунок 1. Взаимодействие периодата с целлюлозой.

Главным фактором, определяющим результат периодатного окисления, является химическое строение звеньев основной цепи исходного полимера. И, в отличие от некоторых других полисахаридов, в ангидроглюкозном звене целлюлозы имеется только одна С - С связь способная вступать в реакцию Малапрада, что позволяет достичь контролируемого результата. Кроме того, варьируя

мольное соотношение полимер:IO₄⁻, можно достичь различных степеней окисления матрицы, что позволяет видоизменять ее механические, физико-химические и биологические свойства.

При перидатном окислении параллельно с основной протекают и побочные реакции [4,6]. И обе данные реакции приводят к размыканию ангидроглюкозного цикла с образованием гидролитически неустойчивых звеньев, по которым легко протекает деструкция. Данный вопрос подробно обсуждался нами ранее [7,8], и, было показано, что процесс гидролитической деструкции синтезированных нами материалов, начинается сразу после помешения его в жидкую среду. Состав продуктов распада диальдегидцеллюлозных носителей, выделяемых во внешнюю среду достаточно сложен для идентификации имеющимися методами и может включать в свой состав соединения, имеющие различные активные группы.

Для изучения данного вопроса нами был получен ряд диальдегидполисахаридов различных степеней окисления; реакцию проводили в темноте при 20°C, в колбе, при перемешивании, время реакции варьировалось. Полимер очищали диализом против дистиллированной воды. Степень окисления полученных носителей определялось с использованием 3,5-динитро-салициловой кислоты (ДНСК) [9] и составила 0,28 и 1,2 мМоль/г носителя соответственно. Данные степени окисления целлюлозы были выбраны за счет достаточности степени функционализации для дальнейшей иммобилизации действующего вещества, при сохранении требуемых механических свойств.

Для дальнейших исследований кинетики метаболизма, синтезированных диальдегидполисахаридов, нами были получены УФ-Вид спектры образцов, полученных следующим образом. Навеску материала заливали 1/15M ФБ pH 6.2 при гидромодуле 30–50, и помешали в водяной термостат (37°C) при периодическом перемешивании. Через заданные интервалы времени определяли необходимый параметр. Полученные результаты представлены на рисунке 2.

Усиление плеча в спектральной области, лежащей около 240 нм показывает о преобладании карбонильных групп в образцах, полученных при низком времени выдерживания в модельных условиях, кроме того, в той же области располагается область, соответствующая енолам дикарбоновых соединений. По достижении определенного времени выдерживания, приблизительно равного 144 часам наблюдается снижение интенсивности, описанной выше

области, с интенсификацией пика 190-200 нм, соответствующего карбоксильным соединениям. Мы связываем данное наблюдение с частичным автоокислением имеющихся альдегидных групп до соответствующих кислот в ходе протекания процессов деструкции. Причем скорость протекания данного процесса напрямую зависит от изначальной степени окисления ангидроглюкозных звеньев.

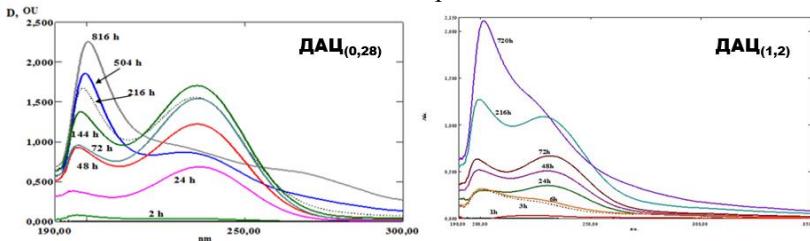


Рисунок 2. УФ-Вид спектры вытяжек ДАЦ (0,28) и ДАЦ (1,2) в 1/15М ФБ 6,2 при 37°C через различные интервалы времени.

Для дальнейших исследований были выбраны наиболее показательные промежутки времени выдерживания материалов, а именно нормальное и пролонгированное время экспозиции материала на раневой поверхности, время, соответствующее максимальному присутствию альдегидных групп в продуктах распада, а также время, соответствующее автоокислению большей части до карбоксилов.

В нашей предыдущей работе [8] было рассмотрено влияние продуктов гидролитической деструкции на используемые нами в качестве действующего вещества комплексы протеаз. Данные показали, что продукты гидролитической деструкции нативной целлюлозы не оказывают существенного влияния на протеолитическую активность мультиферментного препарата, аналогично растворам глюкозы. Однако производные модифицированной целлюлозы, полученные при длительном периоде экспозиции в модельной среде, снижают ферментативную активность, проявляя свойства, схожие с действием формальдегида. Степень модификации полисахарида прямо коррелирует с уровнем ингибирования активности энзиматического комплекса.

При проверке комплекса биологических активностей препарата, применяемого для раневого дебридмента, необходимо показать влияние степени модификации носителя на биоцидную активность системы, а также влияние на бактериальные тест-штаммы непосредственно продуктов гидролиза матрицы. Для определения antimикробной активности продуктов распада

диальдегидполисахаридов, способных к высвобождению физиологически активных веществ, использовали модифицированный микрометод серийных разведений [10]. Инокуляция проводилась культурой бактерий *Staphylococcus aureus* 209Р в концентрации 4×10^6 КОЕ/мл. Полученные данные представлены на рисунке 3.

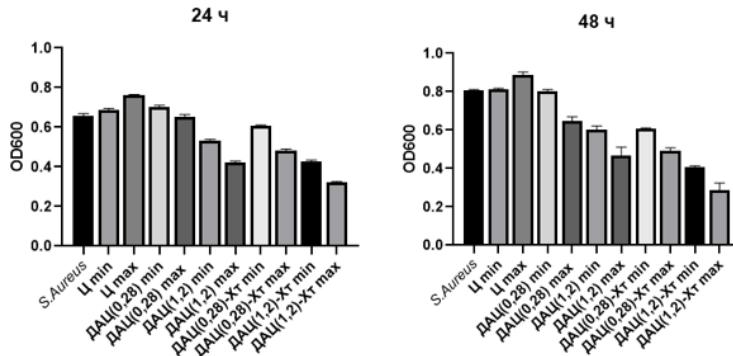


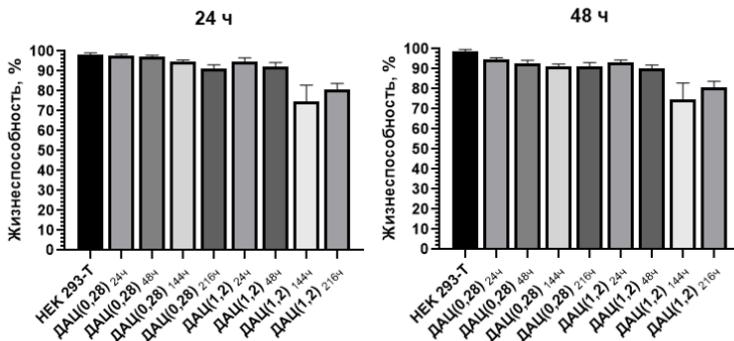
Рисунок 3. Антибактериальная активность препаратов методом серийных разведений по отношению к культуре *S. aureus*. Результаты выражены как среднее \pm среднеквадратичное отклонение, полученное по крайней мере в трех повторениях эксперимента.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о незначительном ингибировании роста *Staphylococcus aureus* в среде присутствия продуктов деградации модифицированной целлюлозы, коррелирующее со степенью окисления ангидроглюкозных звеньев; в тот момент как образец, полученный при метаболизации нативной целлюлозы данные свойства не проявляет. Мы связываем наличие биоцидной активности продуктов распада окисленного носителя со взаимодействием свободных карбонильных групп с интегральными белками клеточной мембранны с дальнейшим изменением их конформационных свойств. Помимо этого, как видно из рисунка 3, были проведены испытания лекарственных матриц, полученных со-полимеризацией окисленного носителя и хитозанового полимера. Введение в систему хитозана снижает степень деструкции диальдегидной матрицы и, за счет выделения олигомеров в процессе метаболизации также оказывает биоцидное действие на Грамположительных представителей контаминантной флоры.

Цитотоксичность измеряли на культуре тканей НЕК 293Т. Для анализа цитотоксичности образцов клетки НЕК 293Т выращивали на

среде DMEM с высоким содержанием глюкозы с добавлением 10% фетальной бычьей сыворотки. HEK 293T снимали с подложки с помощью 0,25% раствора трипсина, рассевали на 24-луночный планшет в концентрации 5×10^5 кл/мл и инкубировали 24 часа при 37°C и 5 % CO₂.

В лунки планшета, в которых находилось по 1 мл питательной среды, вносили вытяжки диальдегидполисахаридных матриц, полученные при оптимальных временах экспозиции, описанных ранее. Клетки с образцами инкубировали в течение 24 часов и 48 часов при 37°C и 5 % CO₂ и проводили оценку жизнеспособности клеток с использованием реактива трипановый синий. Полученные данные о цитотоксичности исследуемых образцов представлены на рисунке



4.

Рисунок 4. Анализ цитотоксического воздействия по отношению к культуре клеток человека HEK 293T. Результаты выражены как среднее \pm среднеквадратичное отклонение, полученное по крайней мере в трех повторениях эксперимента.

Исследование показало, что ни один из исследованных образцов не обладает критически значимым токсическим воздействием на исследованную культуру ткани. Однако, витальность HEK 293T снижается при увеличении степени модификации полисахаридной матрицы. Кроме того, следует отметить, что пиковое значение снижения соотношения жизнеспособных клеток приходится на препарат, соответствующий максимальному выходу соединений, обладающих альдегидными группами, и снижается при времени, соответствующему автоокислению до карбоновых кислот.

Из всего вышеперечисленного следует сделать вывод, что степень модификации полисахаридной матрицы, полученной в ходе реакции

Малапрада коррелирует с показателями не только механических свойств полученных матриц, но и с биологическими свойствами. Ее влияние на биологические системы, рассмотренные в данной публикации тем значительнее, чем выше количество окисленных ангидроглюкозных звеньев. Однако, при низком времени экспозиции, рекомендованном как максимальное возможное при реализации препарата пациентом, матриц в условиях, моделирующих раневую среду, негативное воздействие исследованных образцов минимально. Что делает данные диальдегидполисахаридные системы эффективными при создании ранозаживляющих композиций на их основе.

Библиографический список

1. Torchilin V. P. Drug targeting // European journal of pharmaceutical sciences. 2000. V.11. P. S81-S91.
2. Current-status and applications of polysaccharides in drug delivery systems / Prasher P. et al. // Colloid and Interface Science Communications. 2021. V.42. P. 100418.
3. Singh M., Ray A. R., Vasudevan P. Biodegradation studies on periodate oxidized cellulose // Biomaterials. 1982. V.3. Iss.1. P. 16-20.
4. Malaprade L. Action of polyalcohols on periodic acid. Analytical application // Bulletin de la Societe Chimique de France. – 1928. – Т. 43. – P. 683-696.
5. Ding W., Wu Y. Sustainable dialdehyde polysaccharides as versatile building blocks for fabricating functional materials: An overview // Carbohydrate Polymers. 2020. V. 248. P. 116801.
6. Potential Biosoluble Carriers: Biocompatibility and Biodegradability of Oxidized Cellulose. / Singh, M.; Ray, A.R.; Verma, P.V.K.; Guha, S.K. // Biomaterials, Medical Devices, and Artificial Organs. 1979. V.7 - P. 495–512.
7. Синтез и исследование свойств композиционных материалов на основе целлюлозы и хитозана содержащие различные терапевтические агенты. Часть 3. Гидролитическая деструкция перевязочных материалов на основе диальдегидцеллюлозы / Ванюшенкова А.А., Досадина Э.Э., Белов А.А. и др. // Бутлеровские сообщения. 2019. Т.57. №8. С.47-59.
8. Ванюшенкова А.А., Белов А.А. Синтез и исследование свойств композиционных материалов на основе целлюлозы и хитозана содержащие различные терапевтические агенты. Часть 6. Инактивация протеаз продуктами гидролитической деструкции материалов на основе диальдегидцеллюлозы. // Бутлеровские сообщения. 2024 Т.77. №1. С. 65–78.
9. Белов А.А. Текстильные материалы, содержащие иммобилизованные гидролазы для медицинских и косметологических целей. Получение. Свойства. Применение: монография. Germany: LAP LAMBERT Acad. Pub.242 с.

10. Сидоренко С. В., Кокалов В. Е. Антибиотикограмма: диско-диффузионный метод, метод серийных разведений. Интерпретация результатов // Sanofi Pasteriur. Москва: "Арина. 1999. №. 31. С. 25.

УДК 667.272/267

Ванюшкина А.А., студент,

Землякова Е.С., канд. техн. наук, доц.

*(Калининградский государственный технический университет,
г. Калининград, Россия)*

**БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЙ КОМПЛЕКС ИЗ
СИНЕ-ЗЕЛЕНЫХ ВОДОРОСЛЕЙ *ARTHROSPIRA PLATENSIS*
И ПОТЕНЦИАЛ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПИЩЕВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ (ОБЗОР)**

Аннотация: В работе дана характеристика микроорганизмов, содержащих биологически активный комплекс фикобилипротеинов. Изучены свойства, которые фикоцианины оказывают на организм. Описан способ выделения белкового пигмент-комплекса из биомассы спирулины. Рассмотрены перспективы использования фикоцианинов в качестве обогащающей добавки в пищевой промышленности.

Ключевые слова: фикоцианин, фикобилипротеины, спирулена платенсис, цианобактерии, экстракция, биологическая ценность

Arthrosphaera platensis (*A. platensis*) – род цианобактерий класса *Cyanophyceae*, порядок Осциллаториевые. Представляет собой свободноплавающие нитевидные цианобактерии с гомоцитными трихомами, скрученные в правильную левостороннюю спираль [1].

На основании сходства физиологических процессов с водорослями цианобактерии изначально получили название «синезеленые водоросли», однако дальнейшие исследования позволили установить прокариотическое строение клетки и отнести их к бактериям. В настоящее время в пищевой промышленности употребляется синонимичное коммерческое название «спируллина» или «синезеленая микроводоросль спируллина», которое обычно объединяет в себе два вида: *Arthrosphaera platensis* и *Arthrosphaera maxima*.

Полезные свойства спируллины обуславливаются входящими в состав клетки белками, витаминами, макро- и микроэлементами. Химический состав спируллины: белки – 57,5 %, жиры – 7,7 %, углеводы – 23,9 %. Из жирорастворимых витаминов в спируллине присутствуют А, бета-каротин, Е и К. Из водорастворимых – витамины С, В₁, В₂, В₃(PP), В₄, В₅, В₆ и В₉ [2].

Наибольший интерес представляет белковый комплекс спирулины, представленный водорастворимыми фикобилипротеинами, которые могут составлять до 25% сухого вещества клетки. Он содержит в себе все незаменимые для организма человека аминокислоты: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан и фенилаланин. Даже несмотря на то, что по содержанию серосодержащих аминокислот (метионина и цистеина) и лизина спирулина уступает животным белкам, она превосходит растительные источники белка, такие как, например, бобовые.

У *A. platensis* имеется 2 вида фикобилипротеинов: С-фиконцианин с максимумом поглощения при длине волны равной 620 нм и аллофикацианин с максимумом поглощения при длине волны равной 650 нм (общ. – фикоцианины) [1].

Фикоцианины – это пигмент-белковые комплексы синего цвета, молекулярная масса которых 134000 – 273000 Да, белковая часть состоит из глобулярных белков, представляющих собой ассоциаты из нескольких субъединиц, с каждой из которых ковалентно соединены от 2 до 4 хромофорных групп – фикоцианобилинов, которые и определяют биологически активные свойства фикоцианинов [3].

Антиоксидантные свойства. За счет наличия в составе комплекса фикоцианобилинов, фикоцианины обладают сильными антиоксидантными свойствами, которые могут превосходить антиокислительные свойства аскорбиновой кислоты. Они поглощают и устраниют свободные радикалы, которые образуются в результате обменных процессов или попадают в организм из окружающей среды (например, с выхлопными газами), вызывают окислительные процессы в организме, и приводят к повреждению клеток. Данное свойство фикоцианинов способствует восстановлению клеток, замедляет процессы старения, укрепляет иммунитет, оптимизируют обменные процессы в организме, обуславливают профилактику сердечно-сосудистых заболеваний, диабета, болезни Альцгеймера и Паркинсона, а также проблем с глазами [4].

Доказано, что фикоцианины способны ослабить окислительный гемолиз эритроцитов за счет снижения образования малонового диальдегида и увеличения активности ферментов супероксиддисмутазы, каталазы и глутатионпероксидазы в эритроцитах, что предупреждает повреждение эритроцитов и их эритротоз (запрограммированную гибель) [5].

Противовоспалительные свойства. Исследования, проведенные на крысах, показали, что в сочетании с антиоксидантным действием, биологически активные вещества спирулины, в частности С-

фикоцианин, способны оказывать на организм противовоспалительное действие. С-фикоцианин ингибирует транскрипционный фактор NF-к, нарушение регуляции которого вызывает воспаление, аутоиммунные заболевания, развитие вирусных инфекций и рака, и индуцирует активацию ядерного фактора-эритроидного 2-родственного фактора 2 (Nfr2), защищающего клетки и ткани от токсинов, окислительного стресса и канцерогенов [6].

Иммуномодулирующие и антивирусные свойства. Исследования показывают, что экстракты из спирулины способны ингибировать образование вирусных бляшек и снижать репликацию вируса гриппа в клетках, подавляя инфекционный процесс [7]. Другая работа отражает иммуномодулирующее действие водного экстракта *A. platensis*: более чем у 50% добровольцев-мужчин, которые принимали по 50 мл экстракта в течение 2-х месяцев, существенно увеличивался синтез γ -интерферона, регулирующего весь комплекс реакций иммунного ответа организма [8].

Получение фикоцианина из биомассы *A. platensis*

Фикоцианин хорошо растворим в воде, на основании этого самым быстрым, удобным и недорогим способом является экстракция белкового комплекса водой из высушенной биомассы спирулины.

Биомассу промывают для удаления загрязнений пресной питьевой водой в соотношении 10:1. Далее центрифугированием проводят отделение влаги до остаточного содержания сухих веществ 20%.

Следующий этап – дезинтеграция клеток синезеленых микроводорослей. Данный этап нужен для разрушения клеточных стенок и оптимизации процессов экстракции. Без данного этапа экстракция занимает порядка 4 – 5 суток, что значительно снижает производительность производства. Химические и физические методы дезинтеграции способны изменить свойства фикобилипротеинов, поэтому приоритетным является механический метод разрушения клеток, например, перемалывание в блендере ножевого типа, 1000 об/мин в течение 45 секунд.

Затем следует непосредственно экстракция комплекса водой $t = 4^{\circ}\text{C}$, для ускорения процесса экстракции проводят при постоянном перемешивании частотой 60 об/мин. При таких условиях равновесная концентрация пигмента в растворе достигается уже через 1,25 часа. Для более полного извлечения фикоцианинов из массы проводят повторное экстрагирование при тех же условиях в течение 30 минут, после чего полученные экстракты объединяют. Повторное извлечение позволяет увеличить выход белкового комплекса на 4%.

Экстрагент с растворенным в нем комплексом и небольшим количеством примесей отделяют от твердой части центрифугированием в течение 4 минут.

Следующий этап – фракционирование фикобилипротеинов. Его производят высаливанием 80% сульфатом аммония в присутствии фосфатного буфера при pH 7, при $t = 4^{\circ}C$ в полной темноте. Фикоцианины выпадают в осадок, а в растворе остается фикоэритрин, который также перешел в раствор после экстракции. Полученный осадок центрифугируют при значении фактора разделения 1240 g в течение 10 минут.

Полученный осадок содержит до 70% влаги, поэтому для получения порошкообразного фикоцианина его подвергают сушке в потоке воздуха. Оптимум температуры – $35^{\circ}C$, при повышении способность фикоцианина растворяться в воде снижается [9].

Перспективы использования фикоцианина в пищевой промышленности

Фикоцианин, зачастую, используется в пищевой промышленности как натуральный краситель, он придает продуктам насыщенный синий цвет. Однако, возможности его использования не ограничиваются одним лишь красящим веществом, ведь благодаря своим полезным свойствам он может использоваться для повышения биологической ценности продуктов.

Кроме того, в настоящее время растет спрос на «натуральные» продукты, без добавления синтетических пищевых добавок. Все больше людей задумываются о своем питании. По опросам на 2023 год около 75–80% респондентов стремятся вести здоровый образ жизни, примерно 70% — следят за здоровьем и проходят регулярные обследования, а порядка 60% стараются питаться правильно. По прогнозам к 2025 году на органическую продукцию будет приходиться до 5% от всего мирового рынка сельскохозяйственной продукции [10].

Фикоцианин, вводимый в продукты в качестве обогащающей добавки, позволяет получить не только функциональный и полезный продукт, но еще и придает продукту приятный, интересный вид, так как окрашивает его в синий цвет, а смешивание с уже окрашенными продуктами позволит получить большую вариативность окрасок и расширить ассортимент продукции.

Недостаток данного биологически активного комплекса заключается в том, что его невозможно добавить в некоторые виды продукции, например, мясо и мясопродукты, молоко, так как нетрадиционное синее окрашивание будет вызывать отторжение у потребителя.

Большой перспективой для использования фикоцианина обладает кондитерская промышленность. Разноцветные кондитерские изделия привычны потребителю и наоборот, пользуются спросом. Кондитерский рынок России – один из самых динамичных и конкурентноспособных сегментов. В 2024 году по результатам опроса выяснилось, что 96% россиян регулярно покупают сладости, полностью отказываются от сладкого только 2% населения страны [11].

Кроме того, кондитерские изделия чаще всего обладают низкой биологической ценностью. В большинстве выпускаемых изделий много быстроусвояемых углеводов, избыток которых связан с риском развития ожирения, насыщенных жиров и трансжиров, мало белка и неполноценный аминокислотный состав. Обогащение белковым комплексом позволит получить продукт повышенной биологической ценности, который будет благотворно влиять на здоровье потребителя, а отсутствие вкуса и запаха у добавки не изменит вкусовые качества готовой продукции.

Заключение

В работе дана характеристика цианобактерий *A. platensis*, содержащих биологически активный комплекс фикобилипротеинов. Описаны антиоксидантные, противовоспалительные, антивирусные и иммуномодулирующие свойства, которые фикоцианины оказывают на организм. Рассмотрены перспективы использования фикоцианинов в качестве обогащающей добавки в кондитерской промышленности.

Библиографический список

1. Ботаника: в 4 т. Т. 1. Водоросли и грибы: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г.А. Белякова, Ю.Т. Дьяков, К.Л. Тарасов. М.: Издательский центр «Академия». 2006 – 320 с.
2. Спирулена сушеная – химический состав, пищевая ценность // FitAdult. URL: <https://fitaudit.ru/food/122550> (дата обращения: 22.03.2025)
3. Фикоцианины // Большая советская энциклопедия. в 30-ти т. 3-е изд. М.: Советская энциклопедия, 1969 - 1986. ил., карт. URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/116/148.htm> (дата обращения 22.03.2025).
4. Рудевич И. Что такое антиоксиданты и зачем они нужны // РБК. 2021. URL: <https://style.rbc.ru/health/6087cea19a7947e2a406d99b> (дата обращения 22.03.2025).
5. Zeng QH, Wang JJ, Zhang YH, Song YQ, Liang JL, Zhang XW. Recovery and identification bioactive peptides from protein isolate of *Spirulina platensis* and their in vitro effectiveness against oxidative stress-induced erythrocyte hemolysis.

J Sci Food Agric. 2020. DOI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32248525/> (дата обращения: 23.03.2025).

6. Finamore A, Palmery M, Bensemhaila S, Peluso I. Antioxidant, Immunomodulating, and Microbial-Modulating Activities of the Sustainable and Ecofriendly Spirulina. Oxid Med Cell Longev. 2017. DOI: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5274660/> (дата обращения: 23.03.2025)

7. Chen, YH., Chang, GK., Kuo, SM. et al. Well-tolerated Spirulina extract inhibits influenza virus replication and reduces virus-induced mortality // Sci Rep 6, 24253. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep24253> (дата обращения 23.03.2025)

8. Ratha SK, Renuka N, Rawat I, Bux F. Prospective options of algaederived nutraceuticals as supplements to combat COVID-19 and human coronavirus diseases // Nutrition. 2021. DOI: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33412367/> (дата обращения: 23.03.2025).

9. Ефимов. А.А. Обоснование получения фикоцианина из синезеленых водорослей как пищевой добавки // Фундаментальные исследования. 2007. № 11 С. 80-82 URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=3733> (дата обращения: 24.03.2025).

10. Российский рынок органического и здорового питания: итоги 2023 и перспективы 2024 года // WorldFood Moscow. 2023. URL: <https://world-food.ru/ru/media/news/2024/april/22/rynek-organicheskoy-produkci/> (дата обращения 24.03.2025).

11. Кондитерский рынок в 2025: аналитика и тренды // ADPASS. 2024. URL: <https://adpass.ru/konditerskij-rynek-v-2025-analitika-i-trendy/> (дата обращения: 24.03.2025).

УДК 577.15.08

Гарманова Е.С., студентка IV курса бакалавриата,
Ерохин Л.М., аспирант,
Красноштанова А.А., д-р хим. наук, проф.
(Российский химико-технологический университет
имени Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОСИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ХИТОЗАНА И КАРРАГИНАНА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК α -АМИЛАЗЫ

Аннотация. В данной статье изложены результаты сравнения температурного и pH-диапазонов максимальной ферментативной активности α -амилазы для нативного фермента и иммобилизованного в полисахаридных матрицах на основе хитозана и каррагинана. Показано, что упомянутые диапазоны существенно расширяются в случае иммобилизации фермента, особенно при использовании в качестве носителя хитозан-каррагинанового комплекса.

Ключевые слова: амилаза, ферментные препараты, крахмал, иммобилизация, хитозан, каррагинан.

Введение

Амилолитические ферменты — это группа ферментов, которые расщепляют крахмал на более простые сахара, такие как глюкоза, мальтоза и декстрины. Крахмал состоит из двух основных компонентов: амилозы (линейные цепи глюкозы, связанные α -1,4-гликозидными связями) и амилопектина (разветвленные цепи с дополнительными α -1,6-гликозидными связями в точках ветвления). В зависимости от механизма воздействия амилазы можно разделить на несколько типов: α -амилаза, β -амилаза, глюкоамилаза и пуллуланаза [1].

α -Амилаза выполняет функцию расщепления крахмала, разрывая внутренние α -1,4-гликозидные связи в произвольных участках молекулы. Этот процесс приводит к разжижению крахмального клейстера и образованию смеси декстринов — коротких цепочек, состоящих из остатков глюкозы [2].

Амилазы продуцируют различные микроорганизмы, в том числе, грибы, дрожжи и бактерии. Среди бактерий-продуцентов выделяют термостабильные и алкалофильные штаммы, такие как *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus stearothermophilus*.

Термостабильные α -амилазы бактерий используются для обработки крахмала при высоких температурах, что ускоряет процессы желатинизации и осахаривания. Важно учесть, что оптимальная температура для бактериальных α -амилаз - 75–95 °C и pH - нейтральный или щелочной диапазон, которые делают их пригодными для текстильной и крахмалоперерабатывающей отраслей [3].

Важно понимать, что эффективность работы ферментов во многом зависит от температуры. Повышение температуры ускоряет химические процессы: молекулы движутся быстрее, что увеличивает частоту их столкновений и вероятность протекания реакции. Однако чрезмерный нагрев может привести к денатурации фермента. Не менее важным фактором является кислотность среды (pH). Большинство ферментов активны в нейтральной среде, но существуют исключения. Таким образом, для каждого фермента существуют специфические условия (температура, pH) и отклонение от этих параметров может снизить эффективность или полностью подавить работу фермента [4].

Для того чтобы повысить устойчивость ферментов к изменениям температуры и pH, а также расширить диапазон условий, при которых они сохраняют активность, часто используют метод иммобилизации ферментов — фиксацию ферментов на твердых носителях или в гелевых матрицах с сохранением их активности. Кроме того,

иммобилизация α -амилазы позволяет существенно улучшить её функциональные свойства: фиксация ферментов на специализированных матрицах повышает устойчивость к денатурации, расширяя возможности их применения, в том числе в системах с органическими растворителями. Также возможно повышение специфичности реакций — ограничение подвижности фермента часто повышает его избирательность к субстратам [5].

Для иммобилизации применяют материалы различной природы, однако одними из наиболее перспективных считаются полисахариды (каррагинан, целлюлоза, хитозан, альгинаты) и их модифицированные формы. Эти биополимеры обладают низкой стоимостью, высокой биосовместимостью, способностью к функционализации и являются не токсичными, что позволяет адаптировать носители под конкретные задачи.

Каррагинан — природный полисахарид, получаемый из красных морских водорослей семейства *Rhodophycae*. Его молекулярная масса варьируется в пределах 200–800 кДа. Основу структуры каррагинана составляют повторяющиеся звенья сульфатированной галактозы и 3,6-ангидрогалактозы, что определяет его функциональные свойства [6].

Каррагинаны — это гидроколлоиды, выполняющие функции вязких загустителей и термообратимых гелеобразователей. Данный полисахарид отличается способностью формировать устойчивые комплексы с белками. Это свойство обусловлено электростатическим взаимодействием между отрицательно заряженными сульфатными группами каррагинана и остатками аминокислот, несущими частичный положительный заряд. Температура формирования геля варьируется от 35 до 50°C и зависит от концентрации каррагинана, а также типа катионов (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , NH_4^+) в системе [7].

Ещё одним важным для иммобилизации полисахаридом является хитозан. Он представляет собой биополимер, содержащий реакционноспособные функциональные группы: амино- ($-NH_2$), гидроксильные ($-OH$) и ацетамидные ($-NHCOCH_3$). Его уникальность заключается в том, что он способен растворяться в водных растворах с кислой средой ($pH < 6,5$), где происходит протонирование аминогрупп при C_2 -атоме D-глюкозаминовых звеньев. Это превращает хитозан в поликатионный электролит, что объясняет его взаимодействие с анионными соединениями. Кроме того, хитозан является единственным катионным биополимером природного происхождения, так как в отличие от синтетических аналогов, хитозан получают путем деацетилирования хитина, содержащегося в панцирях ракообразных или клеточных стенках грибов.

Хотелось бы отметить, что сегодня хитозан активно применяется в создании инновационных адсорбентов и гелевых систем, что позволяет создавать на их основе широкий спектр функциональных материалов. К ним относятся гидрогели, жидкокристаллические системы, мембранные, нановолокнистые структуры, наночастицы, пористые губки и микрокапсулы. Благодаря биоразлагаемости и отсутствию токсичности хитозан считается одним из наиболее перспективных экоматериалов. Эти характеристики делают хитозан ключевым материалом для разработки экологичных решений в пищевой промышленности, сельском хозяйстве и биомедицине [8, 9].

Материалы и методы

В качестве субстрата в исследовании использовали растворимый крахмал производства Realfine Chemical Co., Ltd. (Китай). В качестве основы для создания полисахаридных гранул использовались хитозан с молекулярной массой 200 кДа и степенью деацетилирования более 80% производства Sigma-Aldrich и йота-каррагинан производства MOLECULARMEAL. Источником α -амилазы служил ферментный препарат «АмилоЛюкс-А», с активностью 300000 ед/мл, производства Сиббиофарм. Для определения общей амилолитической активности использовали ДНСК-реактив производства Acros Organics (Бельгия).

Каррагинановые и комплексные хитозан-каррагинановые гранулы получали методом ионотропного образования. Основу гранул формировали из 4,0% (масс.) раствора каррагинана, который смешивали с 20,0% (масс.) раствором хлорида кальция (для чистого каррагинана) и с комбинированным раствором хлорида кальция (15,0% масс.) и хитозана (0,1% масс.) — для комплексных гранул. Для иммобилизации использовали метод включения фермента в формируемый гель. α -амилазу добавляли в гелевую матрицу на стадии её формирования в тех же растворах, предварительно разбавляя ферментный препарат в 5000 раз. Каррагинан через инъекционную иглу (0,7x40 мм) постепенно вводили в раствор сшивящих агентов (CaCl_2 или CaCl_2 +хитозан). Полученные гранулы подвергали декантации и промывке буферным раствором для удаления избытка ионов. Для создания требуемого значения pH среды использовали соответствующие буферные растворы: 0,1 М ацетатные (pH 4-5,0) — для кислых условий или 0,01 М фосфатные (pH 5,5-8) — для нейтрального и слабощелочного диапазонов.

Активность α -амилазы определяли стандартным ДНС-методом, который заключается в измерении ОП при длине волны 546 нм раствора, содержащего редуцирующие вещества, образовавшиеся в результате инкубации субстрата с ферментом, в течение 10 минут

[10]. За единицу активности (Ед) принимали такое количество фермента, которое катализирует образование 1 мкмоль редуцирующих за 1 минуту при гидролизе субстрата содержанием 1,0 масс. % по сухому веществу.

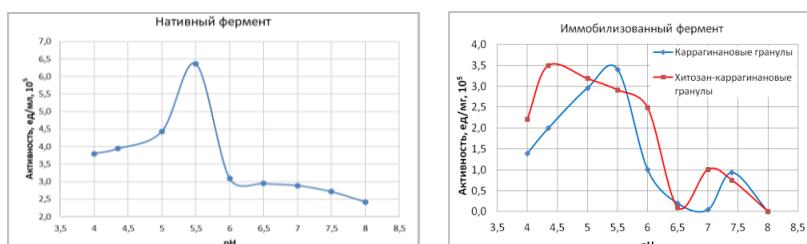
Результаты и обсуждение

Для сравнения диапазонов высокой активности свободного и иммобилизованного фермента проводили опыты с использованием каррагинановых и хитозан-каррагинановых гранул при различных значениях температуры и pH. Сравнивали диапазоны активности нативного фермента (ед/мл ферментного препарата) и иммобилизованных (ед/мг иммобилизованного белка).

Размеры получаемых сферических гранул практически не зависели от типа используемой полисахаридной матрицы и составляли 3–4 мм в диаметре.

В ходе исследования было установлено, что диапазон высокой активности фермента значительно увеличивается в случае его иммобилизации (Рис. 1). При этом показано, что увеличение диапазона более выражено в случае использования хитозан-каррагинановой матрицы. Этот факт согласуется с тем, что многие комплексы хитозан – кислый полисахарид – белок являются более стабильными, чем кислый полисахарид – белок. При использовании хитозан-каррагинанового носителя наблюдались более высокие значения активности фермента (в среднем на 55 %), чем в случае применения каррагинановой матрицы.

Также установлено, что при иммобилизации в хитозан-каррагинановые гранулы происходит расширение оптимального диапазона действия фермента в сторону кислых значений pH вплоть до 4,5 и в сторону увеличения температуры вплоть до 70 °C. Иммобилизация фермента в каррагинановые гранулы также позволяет сместить оптимальный температурный диапазон в сторону более высокой температуры.



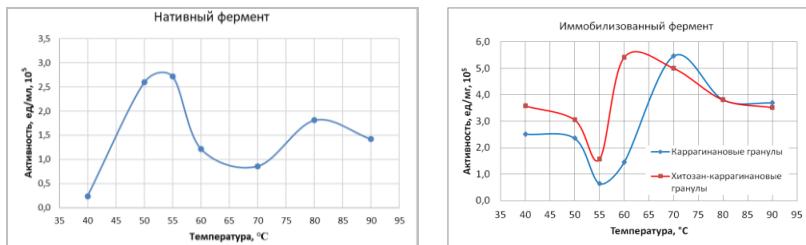


Рис.1. Сравнение температурного и рН-диапазонов высокой активности нативной и иммобилизованной α -амилазы

Выводы

Установлено, что применение метода адсорбционной иммобилизации α -амилазы на каррагинановой и хитозан-каррагинановой матрицах позволяет существенно увеличить температурный и рН-диапазоны высокой ферментативной активности. Особенно значимого увеличения диапазона удалось достичь при использовании хитозан-каррагинанового носителя. Расширение данных диапазонов может позволить более эффективно проводить промышленные процессы гидролиза с использованием иммобилизованных ферментов, так как увеличивает стабильность производства за счёт снижения потерь при возможных колебаниях параметров, при которых проводится процесс.

Библиографический список

- Папахин А. А., Бородина З.М. Использование пуллуланазы в качестве биокатализатора процесса гидролиза крахмала // Пищевые системы. – 2021. – Т. 4, № 4. С. 269-277.
- Разработка продуцента комплексного ферментного препарата для переработки крахмалсодержащих отходов с фильтр-прессов при производстве хлебопекарных дрожжей / С. С. Перкин [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83, № 3(89). С. 106-114.
- Никитина, Е. В. Бактериальные источники амилолитических ферментов: характеристика и нетрадиционное применение // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18, № 19. С. 245-248.
- Шаврин И. Э., Богомазова А. А. Общая характеристика ферментов // Наука через призму времени. 2022. № 6(63). С. 29-31.
- Адсорбционная иммобилизация ферментов на альгинатах: свойства и применение препаратов на их основе. Краткий обзор / Лавлинская М. С. [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. 2023. Т. 23. № 5. С. 924-937.

6. Афанасьева Ю. И. Влияние камедей на синерезис каррагинана // Пищевые системы. 2021. Т. 4, № 3S. С. 17-21.
7. Влияние ультразвукового воздействия на свойства йота-каррагинана и гуаровой камеди / Нициевская К. Н. [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53, № 2. С. 357-367.
8. Получение pH-чувствительных систем альгинат натрия / поливиниловый спирт и хитозан / поливиниловый спирт для доставки лекарственных средств / Лыткина Д. Н. [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2024. № 34. С. 6-18.
9. Гужинов А. В., Салищева О. В. Функциональный хитозан-альгинатный гидрогель // Пищевые технологии: Сборник тезисов III Международного Симпозиума, Кемерово, 20–21 сентября 2024 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2024. С. 48-50.
10. Miller G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar // Analytical chemistry. 1959. V. 31. №. 3. P. 426-428.

УДК 663.41

Гузов М.Ю., студент,
Салманова Д.А., канд. техн. наук.
(Северо-Кавказский федеральный университет,
г. Ставрополь, Россия)

ОБЗОР ВОЗМОЖНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОБАВОК, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПИВА

Аннотация: В данном аналитическом обзоре рассмотрено применение в пивоварении различных функциональных добавок, способных улучшить органолептические свойства, стабильность и пищевую ценность пива. В последние годы растет интерес к натуральным и специализированным продуктам, и внесению в производимые продукты дополнительных функциональных добавок, таких как антиоксиданты, пробиотики, витамины, экстракты растений и другие биологически активные компоненты, которые могут придать пиву дополнительные полезные свойства.

Ключевые слова: пивоварение, биотехнология производства пива, функциональные продукты, биологически активные компоненты.

Развитие направления производства пива с функциональными свойствами связано не только с запросами потребителей, но и с общемировой тенденцией к созданию продуктов питания с улучшенными характеристиками. В частности, функциональное пиво может стать альтернативой традиционным напиткам, сочетая в себе привычные вкусовые качества с дополнительной пользой для здоровья. Однако внедрение таких добавок требует тщательного

изучения их влияния на технологические процессы, микробиологическую стабильность и сенсорный профиль напитка. Цель исследования – провести обзор некоторых возможных функциональных добавок, применяемых в пивоварении, оценить их влияние на технологический процесс, качество и потребительские характеристики готового продукта. Актуальность работы обусловлена растущим спросом на функциональные пищевые продукты и необходимостью расширения ассортимента пива с повышенной пищевой и биологической ценностью. В настоящее время, в открытом доступе существуют данные о внесении различных функциональных добавок в процесс пивоварения и влиянии добавок на функциональные свойства пива. Некоторые из функциональных добавок, используемых в процессе пивоварения:

- Бамия;
- Грибы (а именно *Ganoderma lucidum*);
- Коллаген;
- Спирулина;
- Фруктовые добавки;
- Экстракт аралии маньчжурской;
- Экстракты трав.

Рассмотрим некоторые существующие варианты функциональных добавок в пивоварении более подробно.

Пиво с добавлением свежей бамии.

Бамия – травянистое однолетнее теплолюбивое и засухоустойчивое растение. У нее очень мощная корневая система, у диких сортов, растущих в естественной природе, стержневой корень проникает в глубину почвы на 1-1,5 м. Пиво, приготовленное из свежей бамии, имеет более высокую концентрацию терпенов, таких как стирол, типичный для вкуса мутного пшеничного пива [1]. Более того, свежее пиво из бамии содержит кариофиллен, что способствует возникновению нового аромата. Внесение бамии в рецептуру пшеничного пива способствует улучшению вкусового профиля и аромата нового пива. А богатое содержание антиоксидантов в бамии увеличивает полезные свойства продукта.

*Пиво с *Ganoderma lucidum*.*

Ganoderma lucidum – это лекарственный гриб, который используется во множестве исследований, касающихся пищевых направлений [12].

Чтобы сочетать добавку с пивом добавляют спиртовые экстракты *Ganoderma* к классическому пиву в рекомендуемых суточных дозах (0,1–1,5 мл/л) для получения приемлемых функциональных свойств.

Аналогично используют экстракты и микрокапсулированные полифенольные соединения из *Ganoderma*, которые затем добавляют к пиву, что дает положительную сенсорную оценку.

Пиво с коллагеном.

Коллаген – это структурный белок, составляющий основу соединительных тканей организма (кожа, хрящи, суставы). С возрастом его выработка снижается, что приводит к морщинам, болям в суставах и снижению эластичности кожи. Добавление коллагена в пиво превращает его в функциональный напиток [1], который:

- Поддерживает здоровье кожи (уменьшает сухость, улучшает тонус).

- Укрепляет суставы и связки (важно для активных людей и спортсменов).

- Содержит белок (в отличие от обычного пива).

Для внесения используется гидролизованный коллаген (пептиды) – он легко растворяется, не влияет на вкус и прозрачность. Основные источники:

- Животный (бычий, свиной, рыбий) – самый распространенный.

- Морской (из чешуи рыб) – лучше усваивается, но дороже.

- Веганский (из пшеницы или дрожжей) – редкий вариант для крафтовых пивоварен.

Коллаген добавляется в пиво на этапе финальной фильтрации или перед розливом, чтобы избежать потерь при брожении.

Вкусовой анализ показывает, что при добавлении качественного гидролизованного коллагена вкус будет нейтральным, но дешевые варианты коллагена могут давать легкий «костный» привкус. Добавка может немного снижать пеностойкость из-за белкового состава. Если коллаген добавлен в больших дозах – возможен легкий осадок.

Пиво с молочнокислыми бактериями.

Кисломолочное пиво (иногда называемое «лактопиво» или «кефирное пиво») – это экспериментальный продукт, сочетающий традиционное пивоварение с молочнокислой ферментацией. Такой напиток обладает необычным вкусом, легкой кислинкой и потенциальной пользой для пищеварения [13].

В этом пиве часть брожения происходит не только за счет пивных дрожжей (*Saccharomyces*), но и благодаря молочнокислым бактериям (*Lactic Acid Bacteria*). В результате получается напиток с кисловатым, освежающим вкусом (как у Гозе или Берлинер Вайссе, но с более мягкой текстурой), легкой «йогуртовой» нотой (если используются определенные штаммы бактерий). Для данного продукта также характерно пониженное содержание алкоголя (2–4%).

Благодаря симбиозу во время брожения для продукта характерен пробиотический эффект. Также полезным свойством данного пива является легкость для пищеварения – молочная кислота помогает расщеплять белки. Данный сорт пива подходит для «здорового» сегмента ввиду низкого содержания алкоголя.

Пиво со спирулиной.

Спирулина – это сине-зелёная микроводоросль, известная как «суперфуд» благодаря высокому содержанию белка, витаминов (B1, B2, B12), железа и антиоксидантов. Добавление её в пиво создаёт необычный гибрид – функциональный напиток с потенциальной пользой для здоровья и ярким внешним видом [11].

Спирулина повышает иммуностимулирующий эффект (бета-глюканы, фикоцианин). Содержит легкоусвояемый белок (до 60% от состава). Также она даёт яркий зелёный или бирюзовый оттенок (если добавлена в большом количестве). Благодаря ей в пиве появляется лёгкая «морская» или травянистая нота (зависит от внесенного количества) [4].

Её вносят в пиво после основного брожения (иначе дрожжи могут «съесть» часть полезных веществ) на этапе карбонизации, чтобы сохранить цвет.

Пиво с фруктовыми добавками.

В настоящее время стремительно развивается внедрение добавок винограда в производство пива. В винограде содержатся различные биоактивные вещества, такие как фенольные соединения и антоцианы. Особый сорт пива с добавлением винограда производится путем ферментации сусла в сочетании с различными соотношениями пивного сусла и мускатного винного сусла. Полученные продукты обладают специфическими сенсорными характеристиками, включая горечь, терпкость и свежесть.

Пиво с добавлением виноградного сусла содержит в семь раз больше фенольных соединений, чем обычное пиво. Употребление такого пива положительно сказывается на частоте сердечных сокращений и кровяном давлении, поддерживая их в пределах нормы [8].

Пиво с экстрактом аралии маньчжурской.

Существующие данные о дегустации пива с экстрактом аралии маньчжурской показывают, что наиболее полным, гармоничным вкусом обладают образцы с экстрактом из ветвей аралии. Приготовленное пиво отвечает требованиям ГОСТ и является полноценным напитком. Использование ветвей в качестве сырья для

экстрактов является экономически выгодным, поскольку ветви, в отличие от корней, являются возобновляемыми частями растения.

Известно, что в аралии биологически активные вещества представлены главным образом арапозидами, которые являются гликозидами олеаноловой кислоты, проявляющей адаптогенные и антиоксидантные свойства [10].

Пиво с добавлением экстрактов трав.

Добавление лекарственных или ароматических трав или их экстрактов в пиво может привести к получению приятного вкуса напитка. Пивом с наилучшими органолептическими показателями является пиво с экстрактом мелиссы. Пиво с наилучшими показателями функциональности – с экстрактом тимьяна (наивысшее содержание общих фенолов и антиоксидантная активность) [14]. Для всех сортов пива с добавлением экстракта наблюдается высокое содержание фенолов даже в конце срока хранения [2,6].

Производство напитков с экстрактами растительного сырья имеет множество преимуществ:

- богатый химический состав, что благоприятно влияет на здоровье человека (тонизирующее, профилактическое и др. действия);
- специфический вкус и аромат;
- введение экстрактов растительного сырья позволяет минимизировать добавление сахара;
- красящие вещества, присутствующие в экстрактах растений, могут создавать в напитках различные цветовые тона без внесения искусственных красителей.

Современное пивоварение выходит за рамки традиционных рецептур, превращаясь в площадку для экспериментов с полезными и необычными ингредиентами.

Функциональные добавки – будь то коллаген, спирулина, пробиотики или адаптогены – открывают новые возможности для создания пива, которое не только радует вкусом, но и потенциально приносит пользу здоровью.

Однако у этого тренда есть и обратная сторона:

- Польза требует доказательств – многие заявленные свойства (например, усвоение коллагена из пива) пока не подтверждены существующими исследованиями.
- Вкус и польза – не все добавки гармонично сочетаются с классическими пивными профилями.
- Стоимость – такие сорта часто дороже обычного пива, что ограничивает их массовую популярность.

Будущее этого направления зависит от технологий, которые позволяют сохранять пользу без ущерба для вкуса, и от готовности потребителей платить больше за пиво с функциональными свойствами. Пока же данное направление остаётся интересной нишней на стыке гастрономии, науки и ЗОЖ-культуры – дерзкой, неоднозначной, но определённо заслуживающей внимания и дальнейшего изучения.

Библиографический список

1. Агеева, Н. М. Пищевые добавки, применяемые в производстве безалкогольной и алкогольной продукции / Н. М. Агеева, Г. Ф. Музыченко, С. Д. Бурлака // Пищевая технология. Краснодар, 2013. 52 с.
2. Георгиевский, В. П. Биологически активные вещества лекарственных растений. / В. П. Георгиевский, Н. Ф. Комиссаренко, С. Е. Дмитрук // Новосибирск: Наука, 1990. 333 с.
3. Гернет, М.В. Перспективы расширения ассортимента напитков брожения для пивоваренных заводов малой мощности [Текст] / М.В. Гернет // Пиво и напитки. 2017. С. 14–17.
4. Минюк, Г. С. Одноклеточные водоросли как возобновляемый биологический ресурс / Г. С. Минюк, И. В. Дробецкая, И. Н. Чубрикова, Н. В. Терентьева // Морской экологический журнал. 2008. №2, Т. 7. С. 5-23.
5. Моисеева, М. В. Функциональные напитки с использованием настоев лекарственных растений / М. В. Моисеева, М. К. Алтуньян, Н. П. Фирсткова // Известия вузов. Пищевая технология. 2012. № 2 - 3. С. 92-94.
6. Поверин, Д. И., Поверин А. Д. Применение современных технологий для обеспечения качества и безопасности новых видов функциональных продуктов питания – напитков чайных из лекарственного растительного сырья / Д. И. Поверин, А. Д. Поверин // Биологически активные добавки. 2001. № 3 (6). С.12 – 17.
7. Помозова, В. А. Технология слабоалкогольных напитков: теоретические и практические аспекты / В. А. Помозова – Кемерово, 2002. – 152 с.
8. Сосюра, Е. А. Напиток функционального назначения на основе виноградного сока / Е. А. Сосюра, Б. В. Бурцев, Т. И. Гугучкина // Вестник АПК Ставрополья. 2011. Т. 4. № 4. С. 18 – 21.
9. Стадничук, И. Н. Фикобилипротеины. Биологическая химия. / И. Н. Стадничук // Москва: Мир, 1990.
10. Шретер, А. И. Целебные растения Дальнего Востока и их применение / А. И. Шретер. Владивосток: Дальневосточное книжное издательство ИПК «Дальпресс», 2000. 144 с.
11. Beisler, N. Integration of *Arthrosphaera platensis* (spirulina) into the brewing process to develop new beers with unique sensory properties / N. Beisler, M. Sandmann // Frontiers in Sustainable Food Systems. 2022. Vol. 6. P. 918772.

12. Cirlincione, F. Technological and organoleptic parameters of craft beer fortified with powder of the culinary-medicinal mushroom *Pleurotus eryngii* / F. Cirlincione, A. Pirrone, I. M. Gugino, A. Todaro, V. Naselli, N. Francesca, M. L. Gargano // Journal of Fungi. 2023. Vol. 9. №. 10. P. 1000.

13. Hinojosa-Avila, C. R. Enhancing Probiotic Viability in Beer Fermentation: Selection of Stress-Resistant Lactic Acid Bacteria and Alternative Approaches / C. R. Hinojosa-Avila, T. García-Cayuela // ACS Food Science & Technology. 2024. Vol. 4. №. 11. P. 2575-2584.

14. Solgajová, M. EFFECT OF THE ADDITION OF SELECTED HERBS ON THE TECHNOLOGICAL AND SENSORY QUALITY OF BEER / M. Solgajová, Š. Dráb, D. Straka, A. Mendelová, A. Kolesárová, J. Mareček // Journal of Microbiology, Biotechnology & Food Sciences. 2024. Vol. 13. №. 6. P. 1-4.

УДК 582.284:582.67

Королева Е.Д., магистрант

Кокоришвили Р.А., магистрант

Калёнов С.В., д-р техн. наук, проф.

*(Российский химико-технологический университет
Им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОЛИЗАТОВ ЗЛАКОВ В ГЛУБИННОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ БАЗИДИОМИЦЕТОВ

*Аннотация: В исследовании из плодовых тел были выделены клетки базидиомицетов, изучены оптимальные условия их культивирования на ферментативных гидролизатах злаковых культур. Установлено, что ферментолизаты на основе кукурузной и овсяной муки являлись наиболее перспективными субстратами для выращивания *Agaricus bisporus* и *Cantharellus cibarius* глубинным способом. При культивировании *Agaricus bisporus* с использованием гидролизата кукурузной муки выход биомассы составил 24,8 г/л. Полученные данные подтверждают возможность применения глубинного культивирования грибов-базидиомицетов в пищевой промышленности, в том числе для биотехнологического производства ферментов и других ценных метаболитов. Ключевые слова: базидиомицеты, *Cantharellus cibarius*, *Agaricus bisporus*, ферментативные гидролизаты, глубинное культивирование базидиомицетов.*

Введение

Культивирование съедобных грибов имеет долгую историю и является важной частью агропромышленного производства в разных странах мира. Грибы издавна ценились как питательный и полезный продукт. Благодаря высокому содержанию клетчатки, всем незаменимым аминокислотам, витаминам D₂ и группы В, а также низкому содержанию жиров, они стали важной частью рациона

человека [1]. Низкая калорийность делает их особенно привлекательными для диетического питания.

Искусственное разведение съедобных грибов имеет глубокие традиции в Юго-Восточной Азии. *Auricularia auricula-judae* и её близкие виды начали культивировать в Китае и Корее около 600 года н. э. на древесине, и до сих пор ежегодно в этих странах производят около 300 тыс. тонн этого гриба, что составляет 10,9% мирового объёма [2]. Базидиомицеты содержат множество физиологически активных веществ, включая разнообразные гликаны, пептидогликаны, пептиды, а также различные низкомолекулярные терпеновые, стероидные и фенольные соединения. Подчеркивая важность съедобных базидиомицетов как полезных для здоровья продуктов, некоторые исследователи рассматривают роль съедобных грибов в предупреждении сердечно-сосудистых заболеваний. Эти утверждения подкрепляются результатами исследований по способности базидиомицетов, таких как *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus citrinopileatus*, *P. florida* и *P. ostreatus*, проявлять гипохолестеринемические эффекты с использованием различных механизмов действия. Эти эффекты могут включать уменьшение плотности липопротеинов, улучшение липидного обмена и ингибирование активности специфической редуктазы, что, в свою очередь, помогает предотвратить развитие атеросклероза. Помимо плодовых тел, в пищу используется вегетативный мицелий грибов, который становится основой для ряда высокопитательных продуктов. Например, темпе (ферментированный белковый продукт питания из соевых бобов) производится путём ферментации гриба *Rhizopus oligosporus* или *Rhizopus oryzae*, в качестве субстрата используются соевые бобы [3], данный продукт питания используется как мясозаменитель. Применение мицелия не только помогает разнообразить рацион, но и снижает нагрузку на окружающую среду, уменьшая потребность в животноводстве и сокращая углеродный след.

Мицелий грибов выделяется высоким соотношением белка к энергетической ценности. Например, в говяжьем филе содержится 0,18 г белка на 1 ккал, тогда как у *P. ostreatus* этот показатель выше — 0,21 г белка на 1 ккал [4]. Кроме того, в мицелии грибов содержит предшественник витамина D₂ — эргостерол. Витамин D₂ в свою очередь является структурным аналогом витамина D₃. Витамин D₃ вырабатывается в коже под действием солнечного света или поступает с продуктами животного происхождения. Вегетарианская или веганская диета может привести к дефициту этого витамина, что в свою очередь может вызвать остеомаляцию и рахит.

Грибы, в частности вешенки, являются важным источником кальция для веганов. Они содержат в два раза больше таких минералов, как кальций, фосфор и железо, по сравнению с мясом свинины и говядины, что делает их важной частью растительного рациона. Таким образом, культивирование базидиомицетов представляет собой перспективную область, обладающую значительным потенциалом в различных отраслях, от пищевой и фармацевтической промышленности до экологических технологий. Развитие методов их выращивания и изучение метаболических процессов открывают новые возможности для создания функциональных продуктов питания, биологических препаратов и экологически чистых технологий. В этой статье рассматриваются ключевые аспекты культивирования базидиомицетов, их роль в биотехнологии и перспективы дальнейших исследований в данной области. Целью данного исследования является разработка методов оптимизации роста грибов с акцентом на снижение экономических затрат, связанных с использованием дорогих субстратов. Особое внимание уделяется поиску недорогих гидролизатов в качестве субстратов, что позволит повысить экономическую эффективность процесса.

Экспериментальная часть

Объектами данного исследования являются грибы *Cantharellus cibarius* (лисичка), и *Agaricus bisporus* (шампиньон). Первый вид представляет собой гриб, широко распространённый в лесных экосистемах различных регионов мира, и был собран в смешанном лесу центральной России, а шампиньон, массово производимый для пищевой промышленности, был приобретён в свежем виде для дальнейшего исследования.



Рис. 1. *C. cibarius*. на твердой питательной среде



Рис. 2. Глубинная культура *C. cibarius*.



Рис. 3. Микроскопия *C. cibarius*.



Рис. 4. *A. bisporus* на твердой питательной среде



Рис. 5. Глубинная культура *A. bisporus*



Рис. 6. Микроскопия *A. bisporus*

Плодовые тела были очищены от растительных остатков и частиц почвы, промыты стерильной водой и высушены. Затем они были фрагментированы, и образец ткани из центральной части с использованием стерильного пинцета перенесен на твердую питательную среду [7]: Пептон - 1,5 %; Дрожжевой экстракт - 0,25 %; Пивное сусло - 3 %; Сахар - 1 %; pH - 4,5–5. Кроме того, использовалась среда «сусло-агар» с более ограниченным составом и сниженной ресурсной затратностью (NaCl: 9 г/л; MgSO₄: 0,2 г/л; Пивное сусло: 10 г/л). После выделения чистой культуры (Рис. 1.) на чашках Петри глубинное культивирование (Рис. 2.) проводилось при 30 °C на шейкере при интенсивном (150 об/мин) перемешивании в течение недели.

С целью снижения себестоимости производства в качестве питательной среды были использованы доступные и широко распространенные крупы: геркулес (ООО «Центральная крупорядная компания»), пшеничная (ООО «Торговая компания»), кукурузная (ООО «Компания «Ангстрем Трейдинг») и мультизлаковая (АО «Петербургский мельничный комбинат»). Пищевая ценность круп на 100 г продукта представлена в таблице 1. Крупы разводили водопроводной водой с гидромодулем 1:20. pH раствора регулировали добавлением растворов NaOH и HCl. Полученную смесь подвергали тепловой обработке в автоклаве при давлении 1 ати в течение 20 минут. Ферментативный гидролиз осуществлялся с применением фермента Протосубтилин Г3х в концентрации 2% от массы круп. Время гидролиза составило 2 часа в температурном диапазоне 50–55 °C. Для очистки от сгустков крупы, полученные гидролизаты фильтровали через марлю.

Таблица 1. Ориентировочные значения пищевой ценности круп на 100 г продукта, заявленные производителями

Название крупы	Содержание белков, г	Содержание жиров, г	Содержание углеводов, г
Пшеничная крупа	11,5	1,3	67,9
Геркулес	11,0	6,0	70,0
Кукурузная	8,3	1,2	71,0
Мультизлаковая	11,0	3,0	63,0

Глубинное культивирование проводилось при температуре 30 °С на шейкере с интенсивным перемешиванием в течение недели. Результаты культивирования грибных культур на гидролизатах различных круп, а также на базовой питательной среде с различными сахарами представлены в таблице 2. Сравнительный анализ выхода биомассы отражён на соответствующем графике (Рис. 4.).

Таблица 2. Эффективность выращивания высших грибов на разных субстратах

Питательная среда	Среда «сусло-агар»	Базовая среда с различными сахарами			Гидролизаты муки			
		Мальтоза	Сахароза	Глюкоза	Кукурузная	Овсяная	Пшеничная	Мультизлаковая
Абсолютно сухая биомасса <i>C. cibarius</i> , г/л	5,6	8,8	6,4	9,2	12,1	13,4	13,2	9,8
Абсолютно сухая биомасса <i>A. bisporus</i> , г/л	9,2	11,4	14,1	12,7	24,8	22,7	17,9	18,3

Примечание: представленные значения являются среднеарифметическими значениями, эксперименты проводились в трех повторностях.

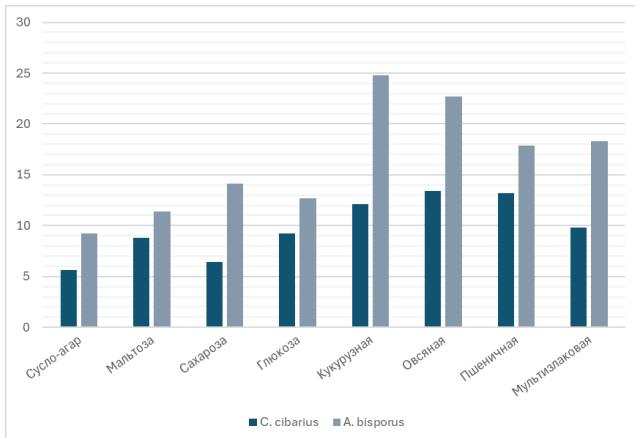


Рис. 4. Выход биомассы на разных субстратах.

Заключение

Было произведено глубинное культивирование высших грибов, а именно: *C. cibarius*, *A. bisporus*, клетки которых были выделены непосредственно из плодовых тел. Полученные результаты демонстрируют допустимость применения гидролизатов, которое не только улучшает продуктивность в несколько раз, но и позволяет существенно сократить затраты на дорогостоящие компоненты питательных сред. Это свидетельствует о высоком потенциале применения доступных и экономически эффективных субстратов в масштабных биотехнологических процессах. Полученные результаты открывают новые перспективы для дальнейшего использования грибной биомассы в качестве пищевой добавки.

Библиографический список

1. Manzi P. et al. Nutrients in edible mushrooms: an inter-species comparative study //Food chemistry. 1999. Т. 65. №. 4. С. 477–482.
2. Сысуев В. А. и др. Грибы как культура сельскохозяйственного производства //Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. №. 1 (62). С. 4–10.
3. Ahlborn J. et al. Upcycling of food industry side streams by basidiomycetes for production of a vegan protein source //International journal of recycling of organic waste in agriculture. 2019. Т. 8. С. 447-455.
4. Andersen G., Souci S. W., Garching Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie. Lebensmitteltabelle für die Praxis: Der Kleine Souci-Fachmann-Kraut. Wiss. Verlag-Ges., 2011.

5. Rajarathnam S., Shashirekha M. N. U., Bano Z. Biodegradative and biosynthetic capacities of mushrooms: present and future strategies //Critical Reviews in Biotechnology. 1998. Т. 18. №. 2–3. С. 91–236.

6. Бадалян С. М., Мнауакаян В. Л., Арутюнян Л. С. Химическое и фармакологическое исследование высших грибов //Микология и фитопатология. 1996. Т. 30. №. 4. С. 79–86.

7. Видяпин В. И. и др. Способ выращивания мицелия boletus edulis. 2004.

УДК 665.58

Малыхина А. И., магистрант

Клименко М. А., магистрант

Василенко М. И., канд. биол. наук, доцент

*(Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕТИНОИДОВ И МИКРОБНЫХ ЛИЗАТОВ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ПРОБЛЕМНОЙ КОЖИ

Аннотация: Здоровое состояние кожи на сегодняшний день является актуальной темой для разработки и создания новых рецептур лекарственной косметики, поэтому в данной статье представлены хорошо известные ретиноиды и набирающие популярность микробные лизаты. Описана характеристика каждого компонента, проведен сравнительный анализ.

Ключевые слова: ретиноиды, микробные лизаты, акне, ретинол, пробиотические компоненты.

На сегодняшний день разнообразие химических компонентов поражает своим масштабом. С развитием химических технологий сырьевая база парфюмерно-косметической индустрии расширяется с невероятной скоростью. Всё чаще мы сталкиваемся с проблемой выбора подходящего ингредиента для достижения максимального эффекта с минимальным негативным воздействием.

В современных реалиях агрессивного воздействия синтетических веществ избежать практически невозможно. Многие традиционные химические компоненты в составе косметических средств оказывают отрицательное влияние на состояние здоровья целевой аудитории.

Нарушение барьерной функции кожи приводит к её сухости, шелушению и повышению чувствительности. Причиной этого часто оказывается агрессивность синтетических компонентов препаратов, полученных при помощи химического синтеза. Поверхностно-активные вещества нарушают гидролипидный баланс кожи, отдушки и консерванты вызывают аллергические реакции и раздражения кожи, а некоторые химические соединения, накапливаясь в организме, влекут

за собой нарушение работы эндокринной системы организма. Нарушение естественной микрофлоры кожи приводит к дисбалансу микробиома, что провоцирует появление акне или даже экземы.

Биотехнологи предлагают экологичные, безопасные и более выгодные решения проблемы, предлагая варианты получения необходимых ингредиентов путём культивирования микроорганизмов [1].

При уходе и лечении проблемной кожи сегодня всё чаще используют такие химические вещества, как ретиноиды. Но зачастую не каждый задумывается о побочных действиях применения данного компонента, так как альтернативных вариантов по факту не существует.

Ретиноиды - это химические вещества являющиеся производными формами ретинола (витамин А), структурная химическая формула которого представлена на рисунке 1.

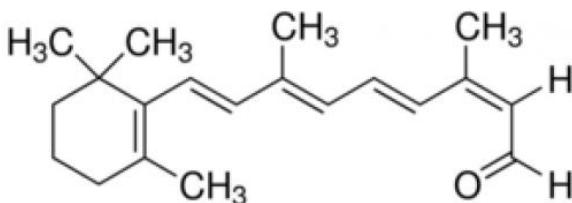


Рис. 1 - Структурная формула ретинола.

Косметологическая роль ретиноидов заключается в стимуляции обновления клеток эпидермиса, а именно синтеза коллагена, отвечающего за упругость кожи. Принцип действия состоит в связывании ретиноидов с рецепторами и присоединении образовавшегося комплекса к соответствующему гену, следствием чего является активация процессов, направленных на регуляцию себума, а именно секрета сальных желёз. Стоит отметить ряд значимых преимуществ ретиноидов: противовоспалительное, регенерирующее, иммуномодулирующее действие, предотвращение образования комедонов (скопление кожного сала и кератина в волосяном фолликуле) [2].

В настоящее время ретиноиды классифицируют по поколениям. К первому поколению относятся неароматические ретиноиды: ретиналь - промежуточная форма витамина А, ретинол, изотретиноин и алитретиноин (противоопухолевые препараты). Вторая группа

представлена моноароматическими ретиноидами, наиболее известный из которых этретинат, использующийся для лечения псориаза. Третье поколение - это синтетические или полиароматические ретиноиды: тазаротен, адапален, бексаротен. К последнему поколению относятся пираноны, предупреждающие фотостарение кожи [3].

Получение ретиноидов осуществляется с использованием разных способов и методов. Химических синтезов неисчислимое множество, каждый из которых универсален, однако большинство из них предусматривает использование токсичных компонентов, а также сложные химические процессы [4].

Примером химического синтеза служит получение синтетических ретиноидов: бексаротен образуется при взаимодействии металлического лития и пентаметилбромтетралина. Аналогичными химическими методами выделяют и другие ретиноиды третьего поколения, иногда ретинол.

Преобразование бета-каротина в ретинол при помощи совокупности природных и химических соединений является полусинтетическим методом получения ретиноидов. Достоинством вышеупомянутых способов является массовое производство, точный контроль и комбинация натуральных и синтетических веществ.

Изучено множество природных источников выделения ретинола, из растений (морковь, шпинат и другие листовые овощи), а также из продуктов животного происхождения (печень, молочные изделия, яйца). Для каждого источника существует свой конкретный способ выделения витамина А. Таким образом, недавно был разработан метод получения ретинола из рыб, активно выращиваемых на территории РФ, путём микроволнового разложения в среде инертного газа. Этот метод позволяет синтезировать ретинол в наиболее чистой форме, не требующей дальнейшей обработки, что является преимуществом перед химическими способами получения, однако не во всех случаях удастся добиться массового выхода продукта [5].

Менее известными, но перспективными методами выделения ретинола можно назвать биотехнологические способы, предусматривающие биосинтез ретиноидов посредством использования микроорганизмов. Обширность познания микробного производства каротиноидов имеет успех в исследованиях, чего нельзя сказать о ретиноидах. Однако, недавно был разработан метод получения смеси, состоящей из ретинола, ретиналя и ретинолацетата при культивировании модифицированных клеток *Escherichia coli* на среде с додеканом [6].

В целом, из-за ограничений к применению ретинол занимает не самое выгодное положение при выборе, например, агента по борьбе с акне.

В области бьюти-индустрии сегодня начинают набирать популярность варианты использования таких сырьевых компонентов, как лизаты бактерий, позволяющие добиваться видимого эффекта в кратчайшие сроки. Стоит отметить, что данный компонент создаётся при помощи биотехнологических методов, тем самым совершая инновационный скачок в мире косметологии и косметической индустрии в целом.

Лизаты - это продукты разрушения бактериальных клеток, которые содержат белки и ферменты. Своё широкое применение в косметике они получили как пробиотические компоненты, преимуществом использования которых является их способность к улучшению барьерных функций кожи.

Лизаты бактерий рода *Bifidobacterium* укрепляют защитный слой кожи, помогая противостоять агрессивным воздействиям окружающей среды (УФ-излучение, загрязнения). Также, данные компоненты способствуют укреплению гидролипидного слоя кожи. Лизаты бактерий рода *Lactobacillus* снижают воспаления, за счёт нейтрализации свободных радикалов; лизаты дрожжей *Saccharomyces* стимулируют выработку коллагена, способствуя обновлению и регенерации кожи [7].

В качестве активного агента в уходе за проблемной кожей применение лизатов является наиболее целесообразным, так как они обеспечивают регуляцию микробиома кожи. Благодаря содержанию фрагментов клеточных стенок бактерий, а именно пептидогликанов, которые действуют как сигнальные молекулы для иммунных клеток кожи, лизаты обладают иммуномодуляцией. При экземе лизаты способны модулировать иммунный ответ, за счёт содержания в своём составе фрагментов пептидов и других молекул полезных бактерий.

Основными методами получения лизатов являются механическое разрушение, химический и ферментативный лизис, автолиз и генетическая модификация. Механическое разрушение клеток осуществляется при помощи высокого давления (гомогенизация) или ультразвука. Однако данный метод не самый эффективный, так как существует риск повреждения термочувствительных белков. При химическом лизисе происходит разрушение липидной мембраны посредством воздействия на неё дегергентов (SDS, Triton X-100). Липидную клеточную стенку можно разрушить изменением pH при воздействии щёлочью или кислотой. Химический лизис считается

одним из доступным способом получения лизатов, однако недостатком является необходимость в дополнительной очистке от химических остатков. Во время ферментативного лизиса для разрушения стенок клеточной мембранные используются ферменты. Например, лизоцим расщепляет пептидогликан в клеточных стенках бактерий. Таким образом получают лизаты бактерий рода *Lactobacillus*.

Наиболее ценным и качественным способом получения лизатов является автолиз. Процесс заключается в самопреваривании клеток под действием их собственных ферментов. Запуск процесса осуществляется при изменение условий среды, а именно температуры, pH и осмотического давления, то есть автолиз делится на термический автолиз, автолиз, индуцированный изменением pH, осмотический шок и ферментативный автолиз. Достоинством данного метода является сохранение биоактивных молекул (белков, пептидов и ферментов) в их нативной форме с минимальными химическими загрязнениями.

Автолиз позволяет получить лизаты различного вида микроорганизмов с улучшенной иммуномодулирующей активностью. Микробиомные препараты, полученные данным способом, хорошо подходят для лечения акне и экземы, благодаря содержанию в своём составе постбиотиков [8].

Сравнивая лизаты и ретиноиды сложно сказать о преимуществах одного, так как разные соединения имеют свои особенности.

Ретиноиды обладают доказанной эффективностью и долгосрочным действием, благодаря стимуляции клеточной активности регулируется выделение себума, что обеспечивает противовоспалительное действие. Однако агрессивное воздействие на общий организм, вызывающее множество побочных эффектов, среди которых сухость кожи, носовое кровотечение, повышенная фоточувствительность являются недостатком.

Лизаты же вызывают меньшую раздражительность, имеют широкий спектр активных компонентов; благодаря своей естественной формуле подстраиваются под индивидуальное строение кожи и обладают высокой степенью совместимости, минимизируя аллергические реакции. Данный продукт малоизучен и требует проведения дальнейших научных исследований.

В зависимости от степени тяжести проблем с кожей есть возможность выбрать подходящий продукт, проконсультировавшись предварительно со специалистом. Исследование ретиноидов и лизатов способствует развитию новых терапий и косметических решений, что в итоге улучшает качество жизни людей, заботящихся о здоровье своей кожи [9]. Их интеграция в комплексную терапию (ретиноиды и

лизаты) позволяет достичь максимальных результатов при минимальных сроках.

Библиографический список

1. Гриб, А. А. Ретиноиды как основа терапии акне: роль системных и топических препаратов / А. А. Гриб // Аллея науки. 2024. Т. 1, № 9(96). С. 202-215.
2. Устинов, М.В. Гипотеза реализации противорецидивного эффекта системного изотретиноина при акне / М.В. Устинов // Клиническая дерматология и венерология. 2019. Т. 18, № 4. С. 505-511.
3. Лазикян, Е.А. Новый способ получения ретиноида бексаротена / Е.А. Лазикян, В.С. Осташенков, Л.В. Коваленко // Успехи в химии и химической технологии. 2017. Т. 31, № 12. С. 24-26.
4. Бауманн, Л. Косметическая дерматология. Принципы и практика / Л. Бауманн. - М.: МЕДпресс-информ, 2019. 688 с.
5. Просеков, А.Ю. Общая биология и микробиология: Учебное пособие / А.Ю. Просеков. - СПб.: Просп. Науки, 2022. - 320 с.
6. Ивчатов, А.Л. Микробиология: Монография. / А.Л. Ивчатов. М.: АСВ, 2019. 120 с.
7. Сысуев, Е.Б. Технологические исследования стандартного образца ретинола пальмитата, полученного из природного сырья. / Е.Б. Сысуев, Е.Ф. Степанова, В.Д. Носкова // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2023. Т. 23(9), № 19. С. 19-26.
8. Чан, Х.Дж., Юн, С.Х., Рю, Х.К. и др. Производство ретиноидов с использованием метаболически модифицированной кишечной палочки в двухфазной системе культивирования. *Microb Cell Fact* 10, 59 (2011). <https://doi.org/10.1186/1475-2859-10-59>.
9. Возможности использования топических ретиноидов и азелаиновой кислоты в терапии акне / О.А. Катханова, Г.Н. Бурцева, А.В. Соловьева // Вестник дерматологии и венерологии. 2024. Т. 100, № 1. С. 63-72.

УДК 665.58

Малыхина А. И., магистрант

Василенко М. И., канд. бiol. наук, доцент

*(Белгородский государственный технологический
Университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)*

«ЗЕЛЁНЫЕ» КОНСЕРВАНТЫ В ПАРФЮМЕРНО- КОСМЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация: Долгосрочная сохранность косметических средств является одной из основополагающих факторов при разработке составов. Противостоять быстрой порче продуктов позволяют консерванты. В данной статье представлены экологически благоприятные антимикробные агенты, которые являются безопасными как для здоровья целевой аудитории, так и для окружающей среды.

Ключевые слова: консерванты, противомикробные агенты, активные вещества.

Все продукты косметического производства состоят на 90% из воды, благодаря чему остро встаёт вопрос о долгосрочной сохранности изделий в состоянии, пригодном для использования. Этот момент немаловажен как для производителей, так и для потребителей. Всем известно, что водная среда является благоприятной для роста и развития различных видов микроорганизмов, в том числе и болезнетворных. Составы создаваемых композитов, содержащие малое количество воды, или же продукты, рецептуры которых включают высокий процент содержания спиртов, позволяют избежать подобных проблем. В косметической промышленности в качестве защитных компонентов применяют широкий спектр антимикробных веществ. Ключевое значение имеет способность консервантов сохранять свою противомикробную активность на протяжении всего срока использования продукции.

При выборе противомикробных агентов (консервантов) следует учитывать ряд требований, предъявляемых к ним [1]:

- согласно закону косметической промышленности, использование консервантов, не входящих в список разрешённых - недопустимо;
- применяемые химические соединения должны быть безопасны и эффективны в борьбе с определёнными видами микроорганизмов;
- хорошо растворимы в составе получаемого продукта;

- они должны сохранять долгосрочность действия;
- быть доступными и недорогими.

Кроме того, активное развитие микроорганизмов в водной среде требует, чтобы консерванты обладали хорошей водорастворимостью. При введении консервантов необходимо соблюдать допустимые нормы pH и учитывать совместимость компонентов косметических средств.

Данные показатели индивидуальны для каждого вида консерванта или антимикробного агента, эффективность которых тестируется непосредственно в готовом продукте.

При разработке рецептур разработчики придерживаются определённой схеме введения необходимых компонентов в том или ином составе. На выбор компонентного состава в первую очередь влияет направленность действия изделий и принадлежность продукта к определённой группе косметических средств. В таблице 1 представлены основные виды косметических изделий с базовыми компонентами [2].

Таблица 1. Базовые составы косметических средств.

Виды	Основа растворитель	Технологические ингредиенты	Биологические активные вещества	Консерванты
Продукция косметическая жидкая	Вода, спирт, спиртоводные растворы или спиртовые вытяжки	Гелеобразователи и карбоксиметилцеллюлоза, гуаровая камедь, ксантановая камедь, каррагинан, карбомер)	Витамины и их производные; органические кислоты; антиоксиданты, экстракты и вытяжки из растений, керамиды	В качестве консервантов могут использовать как химические соединения кислоты, спирты, парабены, так и природные вещества - экстракты, эфирные масла.
Продукция косметическая гигиеническая молочная	Вода	Гелеобразователи и эмульгаторы на основе ПАВ (лаурил сульфаты, бетаин, и др.), пенообразователи (кокамиды)		

Декоративная косметика на эмульсионной основе	Вода, минеральные масла, растительные масла, силиконы	Эмульгаторы и загустители (полисорбаты, лецитин, стеариновая кислота, глицерил моностеарат, миристиловый спирт и др.), пигменты, красители		
Кремы косметические	Вода, минеральные и растительные масла	Гелеобразователи (карбоксиметилце ллюзоза (КМЦ), гуаровая камедь, ксантановая камедь, каррагинан, карбомер)		

Многие компоненты средств частично обладают антимикробным действием в отношении конкретных штаммов микроорганизмов. Исключение составляют биологически активные добавки, красители, пигменты, сухие экстракты и водные вытяжки.

При разработке косметических средств специалисты отдают предпочтение комбинированию антимикробных соединений для достижения синергетического эффекта. Например, практически все поверхностно-активные вещества обладают антимикробной активностью, однако с узким спектром действия. В свою очередь эмульгаторы при взаимодействии с консервантами повышают их растворимость и равномерное распределение в формуле. В частности, эмульгатор лецитин (а также и антиоксидант) предотвращает окисление и гидролиз консервантов, продлевая их действие.

Согласно действующему законодательству, косметическим средствам надлежит прибывать в пригодном для употребления состоянии не менее, чем в течение 30 месяцев, в противном случае на них обязательно должен быть указан срок годности.

Существует ряд способов предотвращения порчи продуктов, в том числе и косметических, среди которых наиболее эффективными

являются варианты введения в состав средств различных консервантов [3]. Консерванты - это вещества, препятствующие появлению размножению микроорганизмов в различных средствах, что позволяет сохранять их качество в течение длительного срока. Не стоит забывать, что этому способствует и соблюдение гигиенических норм производства.

Наиболее экологически благоприятными консервантами являются те, которые относятся к группе «зелёных» ингредиентов, то есть, имеющие низкую токсикологическую нагрузку. К группе таких веществ можно причислить глицерилкаприлат, бензиловый и фенилэтиловый спирты, дегидроуксусная и бензойная кислоты и других, относящихся к перечню допустимых компонентов в области эко-консервантов [4].

Промышленное получение данных соединений не оказывает негативного воздействия на окружающую среду, а риск аллергических реакций у потребителей минимален. Например, в результате синтеза дикетена и уксусной кислоты получают дегидроуксусную кислоту, а глицерилкаприлата получают путём этерификации каприловой кислоты и глицерина. Используемые кислоты и спирты имеют природное происхождение, тем самым наделяя создаваемое соединение «экологичностью».

Бензойная кислота содержится в ягодах клюквы и брусники, а бензиловый спирт присутствует в составе некоторых фруктов и чая. Исходя из этого, разработчики используют в качестве антимикробных агентов растительные экстракты, эфирные масла и спиртовые вытяжки из указанных видов растительности.

Однако, для достижения нужного эффекта необходимо также учитывать «против каких микроорганизмов должен работать консервант». Согласно литературным данным и проведённым исследованиям, наиболее часто косметические средства подвергаются загрязнению следующими видами микроорганизмов: *Aspergillus niger*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Candida albicans* и *Escherichia coli*.

При проведении аналитической работы и сбору информации о консервантах от различных поставщиков, наибольшее внимание привлекли образцы, имеющие широкое распространение в сфере бытии-индустрии [5]. Для наглядности полученной информации, данные представлены в таблиц

Таблица 2. Наиболее распространённые экоконсерванты бытовой индустрии.

№	Наименование	Активные вещества
1	Reanti CHAP	Каприлгидроксамовая кислота, гидроксиацетофенон, пропандиол
2	Reanti HCH	1,2-гександиол, каприллигликоль, гидроксиацетофенон
3	Sensicare C 3000	Дегидроуксусная кислота, бензиловый спирт
4	Sharomix HB	Бензиловый спирт, 1,2-гександиол
5	LecoGuard PP3	Метилпарабен, этилпарабен, пропилпарабен, феноксиэтанол

Общим преимуществом данных агентов является широкий спектр действия. При тестировании консерванта LecoGuard PP3 была установлена устойчивость к таким микроорганизмам, как *Escherichia Coli*, *Pseudomonas Aeruginosa*, *Staphylococcus Aureu* и *Candida Albicans*. Данный консервант практически идеально подходит для использования в косметической промышленности, однако имеющиеся в составе парабены склонны вызывать аллергическую реакцию у целевой аудитории [6]. Консервант Sensicare C 3000, относящийся к экоконсервантам, при проведении эксперимента показал не менее эффективную антимикробную устойчивость. Однако данный консервант трудно растворяется в воде, из-за чего его рекомендуют вводить на ранней стадии производства, для обеспечения равномерного распределения по всей системе [7]. Данные консерванты имеют доступный диапазон pH, не требуют особых сложностей при вводе в систему, а также их процент ввода не является критичным для здоровья целевой аудитории (не превышает 1%).

Использование «зелёных» консервантов позволяет создать безопасный продукт не только по отношению к компонентному составу, но и для здоровья людей.

Библиографический список

- Сальникова О. Н., Балык В., Капустина Д. Д. Экологический мониторинг загрязненности водоёмов Белгородского района по данным дистанционного зондирования // Вектор ГеоНаук. 2021, № 2. С. 48-54.
- Н. Н. Костродымов. Парфюмерно-косметическая промышленность и санитарная охрана атмосферного воздуха // ЦОЛИУВ. Москва. С. 54-55.

3. Симбирева И. Д., Шматова В. М. Экологизация уходовых косметических средств в современном мире // Актуальные исследования №47. 2023 г. С. 177.
4. Agnia. Органическая косметика: сайт. - URL: <https://agnia-bio.ru/?ysclid=m2m680hui3436639042>
5. Василенко М. И., Хрипкова А. П., Половнёва Д. О. Особенности микробоценозов контаминированных косметических средств // Наукоемкие технологии и инновации: сб. докл. Межд. научн. конф., Белгород 2023. С.533-537.
6. Татьяна Пучкова. Основы косметической химии. Базовые ингридиенты // Школа косметических химиков. Москва - 2017.
7. ТР ТС "О безопасности парфюмерно-косметической продукции" 009/2011
8. Баласанян С.Ю. Сравнительный анализ натуральных и синтетических консервантов в пищевой индустрии // Вестник науки №12 (69) том 4. С. 1390 - 1400. 2023 г.

УДК 637.146

Наумкина К.К., студентка
Агафонова С.В., канд. техн. наук, доцент
(Калининградский государственный технический
университет, г. Калининград, Россия)

ВЛИЯНИЕ ФУКОИДАНА НА СКВАШИВАНИЕ СМЕСИ ДЛЯ КИСЛОМОЛОЧНОГО МОРОЖЕНОГО

Аннотация: экспериментально обоснован выбор закваски при сквашивании молочно-сливочной смеси для производства кисломолочного мороженого. Исследована динамика кислотообразования при получении смеси для кисломолочного мороженого при одновременном внесении закваски молочнокислых микроорганизмов и пребиотика фукоидана. Установлено интенсифицирующее действие фукоидана на процесс сквашивания.

Ключевые слова: Кисломолочное мороженое, симбиотические свойства, фукоидан, закваска, кислотность.

В настоящее время большое внимание уделяется изучению полисахаридов, выделенных из таких природных источников, как бактерии, грибы, водоросли и растения. Полисахариды бурых водорослей представлены альгиновыми кислотами, ламинаранами и фукоиданами, проявляющими различную биологическую активность.

Фукоиданы проявляют чрезвычайно широкий спектр биологической активности, что является причиной повышенного интереса к ним. Так, в

литературе имеются сообщения о противоопухолевых и противовоспалительных свойствах фукоиданов. Особый интерес вызывает антикоагулянтное действие фукоиданов. Кроме того, эти соединения, как правило, являются иммуностимуляторами [1, 2, 3]. По этой причине их можно отнести к так называемым «поливалентным биомодуляторам» [4].

Фукоиданы – водорастворимые, высокосульфатированные, разветвленные гомо- и гетерополисахариды из морских бурых водорослей, в составе которых основным моносахаридным остатком является L-фукоза [5].

Фукоидан можно получить из ряда водорослей: *Fucus vesiculosus*, *Cladosiphon okamuranus*, *Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida*. В водах Балтийского моря чаще всего можно встретить *Fucus vesiculosus*, который является основным сырьем для получения фукоидана.

Если рассматривать рынок функциональных молочных продуктов, то на первом месте, несомненно, находятся кисломолочные напитки. За счет формы и текстуры они наиболее легко усваиваются в организме, а обогащение про- и/или пребиотиками позволяет дополнительно усилить их естественные свойства, а также дополнить новыми. Следует учитывать, что, как и другие виды продуктов, они могут иметь ряд недостатков, к которым зачастую относятся малый срок хранения, нестабильность консистенции, возникающая по причине недоработок технологии приготовления и ошибок в работе оборудования, постокисление из-за наличия молочнокислых бактерий. Эти недостатки в меньшей степени свойственны такому виду кисломолочной продукции как мороженое. Кисломолочное мороженое имеет длительные сроки хранения, в течение которых полностью сохраняется пробиотический потенциал продукта.

Новаторское обогащение питательными веществами и высокая пищевая ценность позволяют качественно усилить изменения ассортимента мороженого. Молочнокислые микроорганизмы в кисломолочных продуктах стимулируют собственные защитные системы организма, повышая его устойчивость ко многим заболеваниям и неблагоприятным факторам среды [6, 7].

Разработка кисломолочного мороженого, обогащенного пребиотиком морских макроводорослей, а именно фукоиданом, является актуальным направлением исследования.

Целью настоящего исследования является установление влияния фукоидана на получение смеси для кисломолочного мороженого. Для достижения цели решались задачи по обоснованию выбора закваски и

установлению влияния фукоидана на динамику кислотообразования при сквашивании смеси для кисломолочного мороженого.

Молочная смесь для сквашивания состояла из топленого молока и сливок, смесь нормализовалась по жирности 4 %. Сквашивание проводили в термостате при температуре 40 °С, до достижения кислотности 70-90 °Т. Определение кислотности титриметрическим методом (по ГОСТ 3624-92) проводили каждый час в течение 12 ч. Для сквашивания молочной смеси использовали следующие закваски, представленные на рынке:

- закваска для ряженки «Полезная партия» (*Streptococcus salivarius* ssp. *Thermophilus*);
- закваска для простокваси Мечниковской и йогурта «Эвиталия» (*Streptococcus thermophiles*, *Lactobacillus delbruekii* subsp. *Bulgaricus*).

Одновременно с заквасками в два образца вносили фукоидан («Доктор море», Россия) в виде порошка – сущеного экстракта из морских водорослей. Фукоидан добавляли в количестве 240 мг на 1 л нормализованной смеси.

Динамика кислотообразования при сквашивании нормализованной молочной смеси и нормализованной молочной смеси, обогащенной фукоиданом, представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Динамика кислотообразования при сквашивании нормализованной молочной смеси и нормализованной молочной смеси, обогащенной фукоиданом.

Из графика, представленного на рисунке 1, видно, что закваска «Полезная партия» обеспечивает достижение требуемой кислотности молочно-сливочной смеси за 11-12 ч. В образцах с закваской «Эвиталия» по прошествии 12 ч кислотность не превышала 50 °Т.

Фукоидан ускоряет сквашивание нормализованной молочной смеси. Через 12 часов образец с закваской «Полезная партия» и с фукоиданом показал кислотность 74 °Т, а образец без фукоидана – 72 °Т, при этом

наибольшие различия в кислотности двух образцов отмечались на 7 час сквашивания.

Поскольку образцы с закваской «Эвиталия» не достигли требуемой кислотности в течение 12 ч сквашивания, их кислотность исследовали по прошествии 24 ч. Образец с фукоиданом достиг кислотности 101 °Т, а образец без фукоидана – 88 °Т.

По результатам исследования обоснования выбора закваски установлено, что наиболее эффективной является закваска «Полезная партия». При разработке обогащенного пребиотиком кисломолочного мороженого фукоидан может вноситься на этапе сквашивания молочно-сливочной смеси и выступать в роли катализатора молочнокислого брожения. В дальнейших исследованиях актуально получение из сквашенной ряженки кисломолочного мороженого с симбиотическими свойствами.

Библиографический список

1. Lee N.Y., Ermakova S.P., Choi H.K. et al. Fucoidan from *Laminaria cichorioides* inhibits AP1 transactivation and cell transformation in the mouse epidermal JB6 cells // Mol. Carcinog. 2008. Vol. 47. P. 629–637.
2. Lee N.Y., Ermakov, S.P., Zvyagintsev, T.N. et al. Inhibitory effects of fucoidan on activation of epidermal growth factor receptor and cell transformation in JB6 Cl41 cells // Food Chem. Toxicol. 2008. Vol. 46. P. 1793–1800.
3. Heavisides E. et al. Seasonal Variations in the Metabolome and Bioactivity Profile of *Fucus vesiculosus* Extracted by an Optimised, Pressurised Liquid Extraction Protocol // Marine Drugs. 2018. Vol. 16 (12). P. 503.
4. Вищук О. С., Ермакова Светлана Павловна, Фам Дюк Тин, Шевченко Наталья Михайловна, Буи Минг Ли, Звягинцева Татьяна Николаевна Противоопухолевая активность фукоиданов бурых водорослей // ТМЖ. 2009. № 3. С. 92-95.
5. Запорожец Т. С., Гажа А. К., Звягинцева Т. Н., Маляренко О. С., Беседнова Н. Н. Клеточные и молекулярные механизмы иммуномодулирующего действия фукоидана из бурых водоросли *Fucus evanescens* // ТМЖ. 2018. № 4. С. 49-52.
6. Пищиков Г. Б. Разработка кисломолочного мороженого, обогащенного пребиотически и биологически активными добавками / Г. Б. Пищиков, А. Д. Поповских // Мир инноваций. 2024. № 3. С. 57-65.
7. Федоренко Д. Д. Совершенствование рецептуры кисломолочного мороженого без сахара, обогащенного пребиотиками / Д. Д. Федоренко, С. В. Агафонова // Материалы X Международного Балтийского морского форума: в 7 т. Т. 4. Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. С. 173-180.

Нежданова А.И., студент
Василенко Т.А., канд. техн. наук, доцент
(Белгородский государственный технический
университет, г. Белгород, Россия)

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СИНТЕЗА L-ЛИЗИНА (ОБЗОР)

Аннотация: В обзорной статье представлен обзор биотехнологических методов синтеза L-лизина. Описаны разработки, позволяющие усовершенствовать микробиологический метод получения лизина и выделения его из культуральной жидкости. Незаменимая аминокислота входит в состав белков, важна при травмах, накапливает кальций в организме. Среди множества штаммов-продуцентов, наиболее распространенными в Российской Федерации являются ауксотрофные по гомосерину мутанты *Corynebacterium glutamicum* (род *Corynebacterium*) и *Brevibacterium flavum* (род *Brevibacterium*).
Ключевые слова: L-лизин, аминокислота, культуральная жидкость, лизиносодержащий раствор, микробиологический синтез, фермент, культивирование.

В настоящее время аминокислоты находят широкое применение в пищевой, фармакологической, сельскохозяйственной промышленности [1]. Особое место занимает аминокислота лизин, повышенный интерес к которой обусловлен широким спектром действия. L-лизин – это диаминомонокарбоновая аминокислота, по характеру заряженности боковых радикалов относится к полярным аминокислотам с положительным зарядом [2]. Структурная формула лизина приведена ниже (рис. 1).

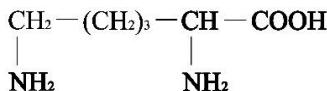


Рис. 1. Структурная формула лизина.

L-лизин является незаменимой аминокислотой, поскольку организм не может его синтезировать [3]. Она участвует в образовании коллагена, выработке антител, гормонов и ферментов, оказывает противовирусное действие, особенно в отношении вирусов, вызывающих герпес и острые простудные инфекции. Способствует росту и восстановлению тканей, выработке антител, ферментов, гормонов и альбуминов. Недостаток лизина в организме может выражаться в развитии усталости,

неспособности к концентрации, раздражительности, повреждении сосудов глаз, потере волос, анемии и в проблемах в репродуктивной сфере. Кроме того, лизин рекомендуется людям, потребляющим малокалорийную или недостаточно богатую белковыми веществами пищу [4, 5].

Микроорганизмы способны синтезировать лизин из различных источников углерода и азота. Лизин образуют бактерии, актиномицеты, сине-зеленые водоросли, цианобактерии, некоторые виды микроскопических грибов. Промышленность располагает значительным количеством гомосеринзависимых мутантов, способных образовывать большие количества внеклеточного лизина. Они относятся к родам *Brevibacterium*, *Micrococcus*, *Corynebacterium*, *Pseudomonas*, *Aerobacter*. Основными видами этих бактерий являются *Brevibacterium flavum*, *Brevibacterium ammoniagenes*, *Micrococcus glutamicus*, *Corynebacterium glutamicum*, *Corynebacterium hoogii*, *Azotobacter suis* и другие. У нас в стране в качестве продуцента лизина используют ауксотрофные по гомосерину мутанты *Corynebacterium glutamicum* и *Brevibacterium flavum*. *Corynebacterium glutamicum* [6, 7].

Один из способов получения L-лизина на основе микробиологического синтеза, предусматривает культивирование с использованием различных штаммов-продуцентов родов *Corynebacterium* и *Brevibacterium*. Источником углерода в питательных средах служит меласса, технический сахар, техническая глюкоза. В качестве ростового фактора (источника аминного азота) используются кукурузный экстракт, кислотные гидролизаты белково-витаминного концентрата (БВК) и биомассы продуцента. Известные в России способы получения L-лизина, реализованные в промышленных масштабах, ориентированы на использование мелассы и гидролизатов БВК, а конечным продуктом являлся жидкий концентрат лизина (ЖКЛ) или высушенный на отрубях концентрат кормового лизина (ККЛ). Метод основывается на процессе биосинтеза L-лизина на ферментационных средах, предусматривающий приготовление ферментационной среды с углеводной, белковой и солевой частями, культивирование в ферментере на основной ферментационной среде штамма-продуцента с внесением дополнительной ферментационной среды в ходе процесса культивирования, при поддержании величины pH, температуры культивирования, аэрации и перемешивания, отличающийся тем, что в качестве штамма-продуцента используют *Corynebacterium glutamicum* ВКМ Ас-2577Д (BIGOR 55). Основная питательная среда содержит ферментолизат крахмалсодержащего сырья в количестве 8,0–15,0 % по глюкозе. Питательную среду загружают в

ферментер в количестве 1/3 от его рабочего объема; вносят 10-20% посевного материала, выращенного в две стадии. Через 8–16 ч культивирования начинают подачу дополнительной ферментационной среды, в которой концентрация всех компонентов в 2,0–3,5 раза больше, чем в основной, поддерживая концентрацию редуцирующих веществ в культуральной жидкости в пределах 4–8 %, причем после достижения максимального объема жидкости в аппарате через 60–66 ч культивирования и далее каждые 6–12 ч в течение всего остального процесса биосинтеза производят отбор ферментационной жидкости из ферментера в количестве 10–15 % от максимального объема и передают ее в аппарат для дробления, в котором продолжают процесс биосинтеза в течение 6–12 ч при тех же условиях, что и в основном аппарате, но без подачи дополнительной питательной среды. Затем выделяют L-лизин. Данная методика позволяет вести процесс биосинтеза в течение длительного времени без снижения скорости синтеза L-лизина и обеспечивает получение культуральной жидкости с концентрацией L-лизина перед выделением не ниже 100 г/л [8].

Штаммы рода *Corynebacterium*, а именно *Corynebacterium glutamicum*, представляют собой грамположительные микроорганизмы, которые широко используются для получения L-лизина. Модифицированный полинуклеотид, кодирующий транскетолазу (Tkt), где инициирующий кодон полинуклеотида заменен на ATG. Представлен модифицированный микроорганизм рода *Corynebacterium* для продукции L-лизина, который обладает повышенной активностью транскетолазы по сравнению с ее эндогенной активностью, где инициирующий кодон полинуклеотида, кодирующего транскетолазу, заменен на ATG. Изобретение позволяет получать L-лизин с высокой продуктивностью [9].

В настоящее время для выделения или очистки L-лизина от примесей все более частое применение находят электромембранные методы. Один из них предполагает получение L-лизина из лизинодержащих растворов, включая обработку рацемата L-ванильной кислотой с получением солей D- и L-лизина, удаление D-формы, разложение гидротартрата лизина методом электродиализа в электродиализаторе с чередующимися катионообменными и биполярными мембранами в интенсивном токовом режиме, перезаряжая L-лизин в катионную форму. При этом процесс электродиализа ведут при плотности электрического тока от 12 до 18 $\text{mA}/\text{см}^2$, а освобождающийся из гидротартрата разделяющий агент направляют повторно на стадию разделения рацемата. Данный способ позволяет исключить использование для ионообменника концентрированных

растворов кислот, разделяющий агент (L-винную кислоту) используют многократно, достигается высокий коэффициент разделения смеси от 950 до 1100. Методика применима в пищевой, фармацевтической и медицинской промышленности [10].

Известен способ извлечения лизина из культуральной жидкости, состоящий в том, что раствор культуральной жидкости с pH 7 пропускают через колонну с карбоксильным ионитом КБ-4П-2 в NH_4 -форме до достижения равновесия. Каждые 100 г ионита сорбируют 6-8 г лизина. Ионит промывают водой и проводят десорбцию лизина 0,5-5,0%-ным раствором NH_4OH . При этом десорбируется 80-90 % лизина и получают 1-2%-ный раствор лизина. Способ состоит в том, что раствор лизина в культуральной жидкости пропускают через карбоксильный ионит в смешанной в соотношении 1:1-4 водородно-натриевой форме с последующей десорбцией щелочным реагентом. Предпочтительно десорбцию лизина проводить 14-20%-ным раствором гидроксида натрия. Данный способ позволяет получить растворы лизина более высокой концентрации, уменьшить объем используемой аппаратуры, объем получаемых сточных вод, упростить процесс за счет устранения операции отмычки ионита. Метод находит применение в медицине, пищевой промышленности и сельском хозяйстве [11].

На основе вышеизложенного можно сделать вывод о том, что существует большое количество методов синтеза аминокислоты L-лизина. Различают микробиологические методы получения, которые основываются на способности микроорганизмов продуцировать большое количество внеклеточного лизина в процессе культивирования. В качестве продуцентов выступают штаммы родов *Corynebacterium* и *Brevibacterium*. Для выделения L-лизина частое применение находят электромембранные методы. Они основываются на получении L-лизина из лизинсодержащих растворов, включая обработку рацемата L-винной кислотой с получением солей D- и L-лизина. Так же в работе описаны методики усовершенствования микробиологического метода получения лизина и выделения его из культуральной жидкости.

Библиографический список

1. Агупова М.В., Бобрешова О.В., Карпов С.И. Вязкостные, электропроводящие и спектральные свойства растворов моногидрохлорида лизина // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. № 1. С. 117-122.
2. Оболонская О.С., Головко О.В., Головко Е.В. Исследование механизма образования химической связи, колебательных и электронных свойств L-лизина и L-аргинина // Успехи современного естествознания. 2019. № 3-2. С. 162-168.

3. Кулинцев В.В., Османова С.О., Омарова М.О. Потребность в лизине молодняка свиней // Аграрная наука. 2011. № 9. С. 16-19.

4. Лизин – одна из важнейших незаменимых аминокислот в обеспечении полноценного питания / О.В. Бобрешова, А.С. Фаустов, М.И. Чубирко, В.И. Попов, И.В. Аристов, П.И. Кулинцов; под общ. ред. А.С. Фаустова. Воронеж. 2003. - 80 с.

5. Артёмова В.А., Лемехова А.А., Пендерин Е.А. Токсикологическая оценка попутных отходов производства лизин сульфата // Белгород: Изд-во БГТУ 2019. С. 185-189.

6. Овсянников, Ю. С. Основы биотехнологии / Ю. С. Овсянников. Киров: ООО «Издательство «Радуга-ПРЕСС», 2024. – 226 с.

7. Микроорганизм, обладающий продуктивностью по L-лизину, и способ получения L-лизина с использованием этого микроорганизма: пат. 2 683 551 С1 Рос. Федерации. № 2018101385 / Питер Л.И; заявл. 27.06.16; опубл. 28.03.19, 18 с.

8. Способ биосинтеза L-лизина: пат. 2486248 С2 Рос. Федерации. № 2011126521/10 / Герман Л.С; заявл. 29.06.11; опубл. 27.06.13, 12 с.

9. Способ получения L-лизина с использованием микроорганизмов, обладающих способностью продуцировать L-лизин: пат. 2615454 С1 Рос. Федерации. № 2015156910 / СиДжей ЧеилДжеданг Корпорейшн; заявл. 21.12.2012; опубл. 04.0417, 31 с.

10. Способ получения L-лизина: пат. 2223946С1 Рос. Федерации. № 2002127880/04 / Елисеева Т.В; заявл. 17.10.02; опубл. 20.02.04, 6 с.

11. Способ выделения лизина из культуральной жидкости: пат. 2056941 С1 Рос. Федерации. № 5065795/26 Ферапонтов Н.Б.; заявл. 03.08.92; опубл. 27.03.96, 3 с.

УДК 664.38:796/799

Некрасова Ю.О., аспирант

Мезенова О.Я., д-р техн. наук, профессор

*(Калининградский государственный технический
университет, Калининград, Россия)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИТАМИННОГО СОСТАВА СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОТЕИНОВОГО ПРОДУКТА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ СПОРТИВНОГО ПИТАНИЯ

Аннотация: Исследован состав водорастворимых витаминов в сырье, которое используется для производства протеинового продукта. В качестве сырья для производства протеинового продукта выступают сублимированный порошок облепихи, яблочный жмых, кедровый орех, жмых льняного семени, шоколадная глазурь, как источник белка – пептидная добавка и белково-минеральная добавка, полученные методом ферментативно-термического гидролиза из чешуи рыб. Для идентификации витаминов использовали метод

высокоэффективной жидкостной хроматографии. Были исследованы следующие биологически активные вещества: В1 (тиамин), В2 (рибофлавин), В3 (никотиновая кислота), В6 (тиридоксин), В9 (фолиевая кислота).

Ключевые слова: витамины, биологически активные вещества, спортивное питание, протеиновый продукт.

Спортивное питание является быстрорастущим сектором. Потребность к быстрому восполнению энергетических затрат, улучшение спортивных результатов и снижение риска травм и заболеваний привело к росту спроса на научно-обоснованные решения в области производства новых пищевых продуктов для поддержания нормальной жизнедеятельности. Спортивное питание производится в различных форматах: от напитков до снеков. Наиболее популярным продуктом является протеиновый батончик [1].

Надлежащий баланс макронутриентов (белков, углеводов, жиров) и микронутриентов (витаминов, минералов и другие биологически активные соединения) имеют решающее значение для оптимизации спортивных результатов. Достижение оптимальной производительности требует значительно больших затрат энергии, чтобы избежать возникновения таких заболеваний, как мышечные травмы, окислительный стресс, снижение физической работоспособности во время соревнований. Кроме того, в спорте восполнение запаса воды, витаминов и минералов, потребляемых во время тренировок, имеет важное значение. В данном случае витамины играют ключевую роль в многочисленных метаболических реакциях и некоторых процессах биохимической адаптации мышц, вызванных спортивной активностью. Водорастворимые витамины не синтезируются в организме, поэтому должны регулярно быть в рационе человека [1, 2].

Разрабатываемый продукт производится из следующих компонентов: пептидная и белково-минеральная добавки, полученные из чешуи рыб, сублимированный порошок облепихи, яблочный жмых, льняной жмых, кедровый орех, шоколадная глазурь. В качестве источника белка и минеральных веществ выступают добавки, полученные из чешуи рыб. Сублимированный порошок облепихи, яблочный жмых, льняной жмых, кедровый орех являются источником биологически активных соединений, как витамины, минералы, флавоноиды и других микроэлементов, необходимых в спортивном питании [3, 4].

Облепиха является ценным растением и богатым источником различных биологически активных веществ. Различные питательные вещества и биологически активные компоненты включают минералы,

витамины, полисахариды, ненасыщенные жирные кислоты, терпеноиды, полифенольные соединения, нестериоидные соединения, флавоноиды, органические кислоты и летучие компоненты. Благодаря этому исключительному химическому составу облепиха обладает широким спектром различных положительных биологических, физиологических и лечебных эффектов, таких как антиоксидантное и иммуномодулирующее, кардиопротекторное и антиатерогенное, антибактериальное и противовирусное действие [5].

Жмых льняного семени образуется после прессования масла. Данный продукт отличается высоким содержанием белка, а также клетчатки. Также содержатся такие минералы как калий, кальция, железо, магний, фосфор [6].

Яблочный жмых – источник витаминов группы В, а также витамина С, минеральных веществ, пищевых волокон. Также содержится связующее вещество – пектин [3, 4].

Кедровый орех является источником ценного жира, в состав которого входят полиненасыщенные жирные кислоты, витамины, минеральных веществ [3, 4].

Целью данного исследования является идентификация водорастворимых витаминов методом высокоэффективной хроматографии в сырье для производства протеинового батончика, предназначенного для спортивного питания. Определение витаминов осуществлялось на хроматографе Shimadzu серии LC-2010A. В качестве неподвижной фазы выступала колонка Nucleosil 100-5 C18 (5мкм 4.6 x 250мм), подвижной фазой являлся раствор – ацетонитрил, вода и ледяная уксусная кислота в соотношении 15:85:1 соответственно. Пробы взвешивали с точностью до 0,001 г и растворяли в воде. Продолжительность процесса – 30 мин.

Результаты эксперимента представлены в табл. 1. Также в таблице приведены показатели суточной потребности в витаминах исходя из методических рекомендаций МР 2.3.1.253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации».

Таблица 1. Количество водорастворимых витаминов в сырье для производства протеинового батончика (мг/100г).

Витамин	Сублимированый облепиховый порошок	Кедровый орех	Яблочный жмых	Жмых льняного семени	Суточная потребность, мг/сутки
B1 (тиамин)	45,7	0,4	2,0	9,6	1,5
B2 (рибофлавин)	0,3	0,5	0,8	-	1,8
B3 (ниацин)	31,6	0,1	0,5	10,1	20,0
B6 (пиридоксин)	6,9	-	0,3	2,0	2,0
B9 (фолиевая кислота)	-	1,8	-	3,1	400

Из табл. 1 видно, что тиамин был идентифицирован во всех образцах. Наибольшее его содержание отмечается в сублимированном порошке облепихи и превосходит суточную норму потребления более чем в 30 раз. Также жмых льняного семени отличается повышенным содержанием данного витамина и превосходит суточную норму потребления в 6,4 раза. Тиамин (витамин B1) участвует в метаболизме глюкозы, поддерживает функции нервной мембраны и поддерживает синтез миелина и нескольких нейромедиаторов, например, ацетилхолина, серотонина и аминокислот (аспартата и глутамата). Также тиамин играет важную роль в ферментативных процессах, участвующих в развитии мозга, его функционировании, поддержании межнейронной коммуникации. При недостатке витамина B1 отмечается плохой сон, рассеянность внимания [2, 7].

Наибольшее содержание рибофлавина отмечается в яблочном жмыхе и составляет 44% от суточной потребности. Данный витамин не был обнаружен в жмыхе льняного семени. Рибофлавин (витамин B2) участвует в углеводном, белковом и жировом обменах. Принимает участие в обмене железа, образовании кровяных клеток – эритроцитов. Также защищает сетчатку глаза от неблагоприятного воздействия УФ-лучей. При недостатке витамина B2 воспаляются слизистые оболочки, развивается светобоязнь, проявляется восприимчивость к инфекционным заболеваниям [2, 7].

Витамин В3 идентифицирован во всех образцах, но наибольшее содержание отмечается в сублимированном порошке облепихи и составляет 158% от суточной нормы. Также в жмыхе льняного семени содержится около 10 мг на 100 г данного витамина, что составляет около 50% от суточной нормы. Витамин В3 (ниацин) является незаменимым в работе сердечно-сосудистой и нервной систем, улучшает кровоснабжение, расширяет сосуды. При недостатке витамина В3 поражаются кожа, органы пищеварения и нервная система [2, 7].

Витамин В6 не был обнаружен в кедровом орехе. Однако остальные образцы содержат данный витамин. Витамин В6 (пиридоксин) участвует в регуляции обмена белков, аминокислот. Также положительно влияет на когнитивные функции: улучшает память, мышление. В результате недостатка поступления витамина воспаляется слизистая оболочка языка и полости рта, наблюдается заторможенность и повышенная усталость [2, 7].

Витамин В9 был обнаружен в двух образцах – кедровом орехе и жмыхе льняного семени. Фолиевая кислота (витамин В9) участвует в образовании эритроцитов и гемоглобина, регуляции процесса деления клеток. К недостаткам витамина В9 относятся ухудшение состояния волос и ногтей, бледность кожных покровов, образование язв в полости рта [2, 7].

Сублимированный порошок облепихи отличается высоким содержанием витаминов В1, В3 и В6. В кедровом орехе и льняном жмыхе содержится важная для организма фолиевая кислота. В яблочном жмыхе также отмечено повышенное содержание тиамина.

Исходя из проведенных исследований, можно сделать вывод, что исследуемое сырье является перспективным источником водорастворимых витаминов, что положительно скажется на пищевой ценности проектируемого продукта – протеинового батончика, предназначенного для спортивного питания.

Библиографический список

1. Николаева, М. А., Худяков, М. С.Худякова, О. Д. Состояние и перспективы развития рынка продуктов спортивного питания в России и за рубежом // Российский внешнеэкономический вестник. 2015. № 6. С. 65–78.
2. Хисамиева Л. И. Витамины и их физиологическое значение: учебно-методическое пособие / Л.И. Хисамиева, И.И. Хабибрахманов, Зиятдинова, Т.Л. Зефиров. Казань: Вестфалика, 2022. 44 с
3. Некрасова, Ю. О., Мезенова, О. Я., Мерзель, Й.-Т. Обоснование использования биопотенциала гидролизатов коллагенсодержащего рыбного

сырья в протеиновом спортивном питании // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. № 4. С. 603–616.

4. Некрасова, Ю.О., Романенко, Н.Ю., Мезенова, О.Я. Специализированные продукты спортивного питания с использованием протеиновых композиций гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья// Вестник МГТУ. 2021. Т. 24, № 4. С. 414–427.

5. Использование порошка облепихи в производстве кондитерских изделий / Типсина И.И., Матюшев В.В., Присухина Н.В. [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2013. №5. С. 223 – 228.

6. Шанина, Е.В. Перспективы применения вторичного сырьевого ресурса (жмыха льна) в производстве овсяного печенья // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5. С. 202–209.

7. Биологически активные вещества. Витамины, ферменты, гормоны: учебно-методическое пособие / Е.Е. Брешенко, К.И. Мелконян. Под ред. проф. И.М. Быкова. Краснодар, 2019. 125 с.

УДК 664.681

Омельченко А.Е., студент

Агафонова С.В., канд. техн. наук, доцент

(Калининградский государственный технический
университет, г. Калининград, Россия)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУКИ ИЗ ЖМЫХА СЕМЯН КОНОПЛИ ПОСЕВНОЙ (*CANNABIS SATIVA*) В ПРОДУКТАХ СПОРТИВНОГО ПИТАНИЯ

Аннотация: экспериментально подтверждена возможность использования муки из жмыха семян конопли в качестве альтернативного источника белка для производства протеинового печенья, предназначенного для питания спортсменов. Мука из жмыха семян конопли практически не находит применения в производстве традиционных пищевых продуктов, в то время как ее химический состав и органолептические свойства свидетельствуют о пригодности использования при производстве мучных кондитерских изделий.

Ключевые слова: *Cannabis sativa*, жмых, семена конопли, белок, протеиновое печенье

Еда всегда была предметом первой необходимости, но часто она также является удовольствием, побуждающим людей покупать все больше и больше продуктов, независимо от того, необходимо это или нет. В мире, где пищевые отходы становятся «нормой», проблема их количества становится все более важной, а последствия для окружающей среды вовсе не являются незначительными. Пищевые

отходы – существенный источник загрязнения окружающей среды, также могут быть этической проблемой с точки зрения глобального голода. В связи с этим правильное управление пищевыми отходами должно быть приоритетной задачей для производителей в этой отрасли [4].

Решением данной проблемы может явиться вторичное использование отходов в пищевой промышленности. Так, отходы от переработки масличных культур, как правило, характеризуются удовлетворительными показателями качества и безопасности, имеют приятные органолептические свойства и могут использоваться в составе различных пищевых продуктов в качестве источников белка, жира, пищевых волокон, макро- и микроэлементов. Примером такого вида отходов может являться жмых семян конопли посевной, остающийся после экстракции конопляного масла.

Конопля посевная (*Cannabis sativa*) — прямостоячее травянистое однолетнее растение семейства коноплевых с широким спектром пищевой и фармакологической направленности. В традиционной медицине конопля используется для снижения уровня холестерина, лечения желудочно-кишечных расстройств и играет важную роль в противовоспалительном, антибактериальном и иммуномодулирующем действии. Семена конопли содержат приблизительно 25-35 % липидов, 20-25 % белков, 20-30 % углеводов и 4-7,6 % золы. Семена конопли богаты полиненасыщенными жирными кислотами, их жир содержит 53-60 % линолевой кислоты (C18:2, n-6), 15-25 % α -линоленовой кислоты (C18:3, n-3) и 3-6 % γ -линоленовой кислоты (C18:3, n-6). Кроме того, семена конопли богаты витаминами и минеральными веществами [2].

Семена конопли характеризуются высоким содержанием белков и биологически активных соединений. Содержание белка увеличивается в случае удаления липидной части при производстве масла, таким образом, жмых содержит белка больше, чем семена. Жмых содержит остаточное масло в количестве, достигающем 10 %, и сырой белок в количестве 30-50 %, что близко к соевому шроту (35-50 % белка). Кроме того, жмых богат такими белками, как эдестин и альбумин, которые легко усваиваются за счет высокой биологической ценности и содержания всех незаменимых аминокислот [1].

Сравнительный анализ муки из жмыха конопли и пшеничной муки по таким показателям, как влажность, зольность, кислотность и содержание сырой клейковины, по содержанию общего жира и белка, а также по общему содержанию пищевых волокон (табл. 1) показал высокий потенциал использования жмыха в составе хлебобулочных и

мучных кондитерских изделий в качестве источника белка и пищевых волокон [5].

Таблица 1. Физико-химические показатели пшеничной муки и муки из жмыха семян конопли [2].

Показатель	Пшеничная мука	Мука из жмыха семян конопли
Содержание влаги, %	$14,10 \pm 0,07$	$8,24 \pm 0,11$
Содержание сырой клейковины, %	$24,80 \pm 0,13$	-
Зольность, %	$0,49 \pm 0,01$	$6,21 \pm 0,05$
Кислотность, градусы	$2,33 \pm 0,06$	-
Содержание общего белка, %	12,45	$31,62 \pm 0,22$
Содержание жира, %	1,04	$8,19 \pm 0,13$
Общее содержание пищевых волокон, %	1,51	$43,76 \pm 0,34$

В таблице 2 представлен аминокислотный состав белка семян конопли в сравнении с «идеальным» белком ФАО/ВОЗ, демонстрирующий его высокую биологическую ценность.

Таблица 2. Аминокислотный состав жмыха семян конопли [2].

Аминокислоты	Содержание в жмыхе семян конопли, г/100 г белка	Содержание в «идеальном» белке ФАО/ВОЗ, г/100 г белка
Валин	$2,89 \pm 0,11$	4,0
Изолейцин	$5,72 \pm 0,08$	3,0
Лейцин	$8,14 \pm 0,07$	6,1
Лизин	$3,86 \pm 0,08$	4,8
Метионин+цистеин	$2,05 \pm 0,14$	2,3
Тreonин	$5,48 \pm 0,13$	2,5
Фенилаланин+тироzin	$8,91 \pm 0,18$	4,1
Гистидин	$3,14 \pm 0,16$	1,6

Стоит обратить внимание также на присутствие в муке из жмыха семян конопли гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК), которая известна своей потенциальной пользой для здоровья. В настоящее время прилагаются большие усилия для разработки новых технологий обогащения продуктов питания ГАМК [3].

Так же было обнаружено, что мука из жмыха семян конопли является ценным источником большого количества макро- и микроэлементов. В таблице 3 представлен минеральный состав муки из жмыха семян конопли.

Таблица 3. Минеральный состав муки из жмыха семян конопли [2]

Минералы	Содержание в жмыхе семян конопли, мг/100 г
Магний	883,36 ± 5,86
Калий	1594,95 ± 5,61
Фосфор	1851,42 ± 4,73
Марганец	13,14 ± 0,07
Железо	10,54 ± 0,09
Цинк	11,88 ± 0,14
Медь	1,92 ± 0,06

Принимая во внимание имеющиеся значения, можно сделать вывод, что 85–96 % суточной потребности взрослого человека в цинке и железе содержится в 100 г муки из жмыха семян конопли. Магний, фосфор, марганец и медь также содержаться в муке в большом количестве. Сравнение аналогичных макро- и микроэлементов для пшеничной муки показало, что мука из жмыха конопли превосходит пшеничную муку по количеству всех упомянутых элементов.

Твердые отходы конопли являются богатым источником биологически активных веществ, таких как фенольные соединения (табл. 4).

Таблица 4. Количествоенный состав фенольных соединений в муке из жмыха семян конопли [2]

Фенольное соединение	Содержание, мг/кг
Бензойная кислота	32,61 ± 0,11
2-гидроксибензойная кислота	59,60 ± 0,09
Каннабизин А	17,76 ± 0,14

Каннабизин Б	$11,66 \pm 0,09$
Каннабизин С	$15,16 \pm 0,11$
Изомер каннабизина В	$7,94 \pm 0,06$
Каннабизин Q	$5,11 \pm 0,05$
Каннабизин F	$151,56 \pm 0,28$

Согласно анализу, в муке из жмыха семян конопли было обнаружено 14 фенольных компонентов. Наибольшее относительное содержание было выявлено для лигнанамида каннабизина F (151,56 мг/кг муки из жмыха семян конопли), с долей 28,30 % от общего содержания фенолов [2]. Фенольные соединения группы лигнанов, включающей в себя лигнанамиды, представляют собой каннабизиноподобные соединения, обладают противовоспалительным действием и антиоксидантной активностью [5].

Конопляный жмых является побочным продуктом, получаемым при извлечении масла, и в большинстве случаев используется в качестве корма для животных. Несмотря на это, химический состав этого сырья и его низкая стоимость делают его привлекательным ингредиентом для разработки продуктов питания с добавленной стоимостью.

Целью настоящего исследования было получение протеинового печенья с включением в состав муки из жмыха семян конопли. Для достижения цели решалась задача по разработке рецептуры печенья с количественным содержанием белка в готовом продукте не менее 20 %.

За основу разрабатываемой рецептуры была взята базовая рецептура овсяного печенья, на основе пшеничной и овсяной муки, с добавлением сливочного масла, сахара, соли и воды. Мука из конопляного жмыха добавлялась взамен части муки и сахара. В качестве стабилизирующего структуру компонента вносили ксантановую камедь.

Полученный в лабораторных условиях кафедры пищевой биотехнологии экспериментальный образец представлен на рисунке 1. Количество белка в данном образце достигает 25 %, 6 % приходится на белок муки из жмыха конопли.



Рис. 1. Экспериментальный образец протеинового печенья с включением муки из жмыха семян конопли.

По результатам обзора научной литературы и собственных исследований можно сделать вывод об актуальности использования муки из жмыха семян конопли в технологии протеинового печенья. Принимая во внимание высокое содержание белка в готовом продукте, сниженное количество сахара, высокий уровень магния, можно рекомендовать печенье для употребления спортсменами. Нехватка магния и белка затрудняют восстановление у людей, испытывающих высокие физические нагрузки, и может приводить к мышечным болям и судорогам. Фенольные компоненты конопли, обладающие противовоспалительным действием и антиоксидантной активностью, также способствуют повышению толерантности организма к физическим нагрузкам. Разработка протеинового печенья, обогащенного жмыхом семян конопли, является актуальным направлением расширения ассортимента продукции спортивного питания.

Библиографический список

1. Effects of partial replacement of soybean meal with hemp seed (*Cannabis sativa L.*) cake on the growth and meat quality in female three-yellow chickens /Qin He [et al.] //Poultry Science. 2025. № 104.
2. Hemp Seed Cake Flour as a Source of Proteins, Minerals and Polyphenols and Its Impact on the Nutritional, Sensorial and Technological Quality of Bread / Tatiana Capcanari [et al.] // Foods. 2023. № 23.
3. Hempseed as a nutritious and healthy human food or animal feed source: a review / Youjie Xu [et al.] // International Journal of Food Science and Technology. 2021. № 12. Pages 530–543.

4. Industrial hemp seed: from the field to value-added food ingredients / Rachel A. Burton [et al.] //Journal of Cannabis Research. 2022. Pages 2-13.

5. Shanshan Wang, Qian Luo, Peihong Fan. Cannabisin F from Hemp (Cannabis sativa) Seed Suppresses Lipopolysaccharide-Induced Inflammatory Responses in BV2 Microglia as SIRT1 Modulator// International Journal of Molecular Sciences. 2019. № 20.

6. Обоснование рецептурного состава концентратов напитков на основе белка конопли для спортивного питания / С.В. Меренкова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 12. С. 220-228

УДК 577.1

Половиева Д.О., ассистент

Часовских Б.А., студент

Полухина В.А., студент

(Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ БИОХИМИЯ НА СОСЕДНИХ ЭЛЕМЕНТАХ (ОБЗОР)

Аннотация: В работе приводится обзор по химическим элементам (кремний и бор), относящимся к альтернативной биохимии – ряд теорий и гипотез о возможности существования форм жизни, частично или полностью отличающихся биохимически от возникших на Земле. Кремний, как и углерод способен формировать до четырёх крепких связей с другими атомами, что упрощает создание сложных молекулярных структур. На Земле его запасы намного превышают запасы углерода. Однако выбор углерода в качестве основы жизни не был связан с его доступностью. Что касается такого элемента как бор главная проблема его использования в биохимии заключается в крайне малом содержании во Вселенной – его значительно меньше, чем углерода. Несмотря на теоретическую возможность существования альтернативной биохимии в специфических условиях, на данный момент подобные знания остаются только гипотетическими, и в настоящее время их пока невозможно применить на практике.

Ключевые слова: альтернативная биохимия, жизнь, углерод, бор, кремний, азотная биохимия, азотно-водородные соединения.

Альтернативная биохимия объединяет теории и гипотезы, исследующие возможность существования организмов с иными биохимическими свойствами, чем у земных живых существ. Эти предположения рассматривают, к примеру, возможность замены углерода на иные элементы в молекулярной структуре или использование других растворителей вместо воды, выполняющих аналогичные функции. [1, 2].

Основные признаки и определения жизни. Согласно Национальному управлению по аэронавтике и исследованию космического пространства (NASA) в рамках экзобиологических исследований жизнь определяется как химическая система, способная изменяться по законам дарвиновской эволюции. Для этого требуются четыре базовых условия. Первое – программы или организмы должны быть способны к самовоспроизведению (репликация) [2]. Второе – при копировании должны возникать случайные изменения (мутации). Третье – такие изменения необходимо передавать потомству (наследственность). Четвёртое – ошибки копирования должны отражаться на успешности последующего размножения (естественный отбор) [3].

Жизнь на Земле основывается на химии углерода, в комбинации с другими элементами, находящимися близко к нему в периодической таблице элементов (а так же водородом) (C, N, O, S, P, H), которые могут формировать устойчивые ковалентные связи благодаря маленьким атомным радиусам. Это позволяет строить биополимеры, где мономеры в большинстве случаев соединены через атомы кислорода, серы или водородные мостики, что позволяет структурам быть легко разобранными обратно на исходные элементы, без существенных затрат энергии [4].

Биохимия на основе кремния. Углерод может формировать до четырёх крепких связей с другими атомами, что упрощает создание сложных молекулярных структур. Кремний, будучи его химическим аналогом, также способен на это, и на Земле его запасы намного превышают запасы углерода. Однако выбор углерода в качестве основы жизни не был связан с его доступностью. Кремний обладает также и играющими важную роль отличиями. Например, его атомный радиус больше, что делает связи Si-Si значительно менее прочными по сравнению с C-C. Кремний не может так эффективно формировать двойные связи, как углерод, что ограничивает его способность к образованию газообразных соединений. Например, углекислый газ (CO_2) является газом при нормальных условиях, в то время как диоксид кремния (SiO_2) – это кристалл (кварц), который химически инертен [5].

Многие соединения кремния нестабильны в присутствии воды, аммиака или кислорода, являющегося одним из самых распространенных газов во вселенной (рис. 1).

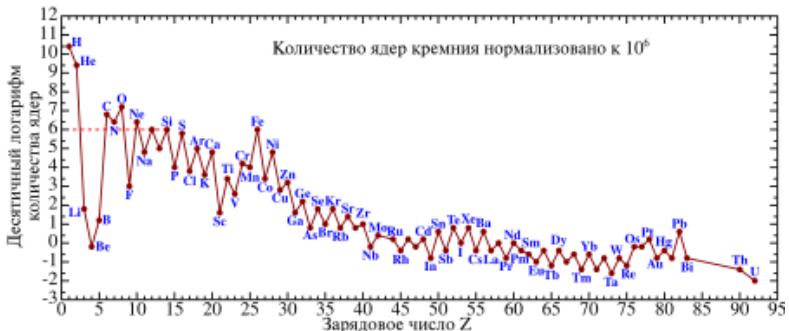


Рис. 1. График распространённости химических элементов во вселенной.

Это делает кремний малоподходящим для поддержания биохимических процессов в условиях, похожим на земные. Поэтому, в космических условиях кремний чаще встречается в виде оксида кремния и силикатов [3, 4].

Основные ограничения для бора. Атом бора обладает тремя валентными электронами, что позволяет ему формировать три химические связи с кислородом, как в случае борной кислоты H_3BO_3 . Однако атом бора не может полностью заполнить свою внешнюю электронику до восьми электронов, что позволяет ему образовывать уникальные дополнительные связи с тремя атомами одновременно. В взаимодействии с азотом бор способен создавать соединения, аналогичные органическим соединениям углерода, например, боразол, который является неорганическим аналогом бензола [5].

И хотя большинство соединений бора обладают высокой химической активностью и легко реагируют с водой, что приводит к образованию борной кислоты, главная проблема использования бора для биохимии заключается в его крайне малом содержании во Вселенной – его значительно меньше, чем углерода (рис. 1). Кроме того, ядра бора менее стабильны, что приводит к их быстрой трансформации в углерод или гелий в звездах. Небольшие количества бора возникают лишь в результате воздействия космических лучей на межзвёздную материю. Это ограничивает возможности появления жизни на основе бора, поскольку такие системы были бы крайне нестабильны с точки зрения ядерной физики [6].

Азотная биохимия при экстремальных условиях. Сложные азотосодержащие молекулы могут формироваться при очень высоких давлениях, значительно превышающих атмосферное. Профессор Артём Оганов из Нью-Йоркского университета в Стоуни-Брук и Сколковский

институт науки и технологий показали, что при давлении выше 360 000 атмосфер азот способен образовывать стабильные цепи, кольца и плоские структуры, схожие по сложности с углеводородами. В этих экстремальных условиях могут возникнуть азотно-водородные соединения с разнообразием, подобным углеводородным цепям. Однако такая биохимия пока известна только по результатам квантово-механических расчетов поведения атомов и молекул [5]. Экспериментально воспроизвести подобные условия крайне сложно из-за необходимости применения специализированных гидравлических прессов с алмазными столами, которые могут создавать такие давления лишь в малых объемах [7].

Естественные условия для такой азотной биохимии могли бы существовать на планетах с экстремальными атмосферными характеристиками, таких как Уран или Нептун, где наблюдаются водно-аммиачные океаны на больших глубинах [1].

Таким образом, формирование жизненных форм на основе элементов, отличных от углерода, сталкивается с серьезными ограничениями. Низкая распространенность таких элементов, особенности их химической активности и ограничения в стабильности создаваемых ими молекул значительно снижают вероятность образования сложных живых структур. Несмотря на теоретическую возможность существования альтернативной биохимии в специфических условиях, на данный момент подобные системы остаются гипотетическими и слабо совместимыми с нормальными условиями.

Библиографический список

1. Топунов А.Ф., Шумаев К.Б. Альтернативная биохимия и распространенность жизни // Бюллетень специальной астрофизической обсерватории РАН. 2006. Т. 60-61. С. 106-110.
2. Кожанова Е.А., Черных А.А., Рубанов Ю.К., Токач Ю.Е. Состояние вопроса очистки дымовых газов от диоксида серы // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. № 3. С. 160-163.
3. Лебедев М.С., Ядыкина В.В., Выродова К.С. Влияние особенностей состава шунгита различных месторождений на структурообразование полимерно-битумного вяжущего // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2024. № 9. С. 8-25.
4. Калитина Е.Г., Челноков Г.А., Брагин И.В., Харитонова Н.А. Микробиологический состав термальных вод Приморского края // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №1. С. 160-163.
5. Хоровиц Н. Поиски жизни в Солнечной системе: пер. с анг. / Под ред. и с предисл. М.С. Крицкого. М.: Мир, 1988. 188 с.

6. Иванова Я.О. Обзорная статья по проблемам альтернативной биохимии и химической эволюции // Молодой ученый. 2013. № 10. С. 61-63.

7. Лутовинов А.А. Как вселенная создавала элементы [Электронный ресурс] // Научная россия. URL: <https://scientificrussia.ru/articles/kak-vselennaya-sozdaet-elementy> (дата обращения: 20.10.2024).

УДК 664.38:577.151:561.284.579.61

Русанова Е. И., бакалавр

(Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия)

МИКОПРОТЕИН: ИСТОЧНИКИ, ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Аннотация: В данной статье речь пойдёт о производстве грибного белка (микопротеина), который может стать альтернативным источником протеина как для питания человека, так и для кормления животных. В статье описываются различные методы выращивания микопротеина, включая глубинное культивирование и твердофазную ферментацию. Особое внимание уделяется актуальности микопротеина на мировом рынке, что связано с растущим интересом к вегетарианским и веганским диетам. В статье рассматриваются различные формы применения микопротеина, включая добавки и готовые продукты.

Ключевые слова: Микробиологический белок, микопротеин, дефицит белка, функциональные продукты.

Урбанизация и климатические изменения увеличивают число случаев недоедания во всём мире. В настоящее время внимание уделяется альтернативным источникам пищи и питательных веществ, поскольку существующие не могут удовлетворить растущий спрос населения.

Грибной белок или микопротеин — это термины, обозначающие белки, получаемые в процессе выращивания нитевидных грибов на растительной биомассе. Они считаются альтернативными источниками белка, которые можно использовать в пищу людям или в качестве корма для животных.

Преимущества микопротеина [1]:

- Высококачественный растительный белок.
- Богат аминокислотами, витаминами (B2, B6, D) и минералами (цинк, селен, железо).
- Содержит пищевые волокна для здоровья кишечника.

- Превосходит большинство растительных белков по составу и усвояемости.
- Экономически выгоден и поддерживает синтез мышечной ткани.
- Полезен при различных заболеваниях.
- Перспективен для пищевой промышленности.

Для производства грибного биотехнологического белка традиционно используются плесневые грибы, среди которых можно выделить следующие [2,3]:

- *Fusarium venenatum* — микроскопический грибок, наиболее распространённый для производства микропротеина. Это не патогенный почвенный гриб, содержащий большое количество белка 65–76 % и клетчатки.
- *Aspergillus oryzae* используется в пищевой и кормовой промышленности Китая и Японии для производства напитков и продуктов питания. В его биомассе содержится 44,8 % белка, что делает его альтернативным источником белка.
- *Trichoderma viride* — микроскопический грибок, который может быть использован как продуцент белка, содержание которого в биомассе составляет 40–45 %.
- Используются грибы рода *Penicillium*, с помощью которых получают корм, содержащий до 30 % белка, путём переработки растительных отходов, таких как зерновые или грубые корма, увеличивая их питательную ценность за счёт повышения содержания белка.

Также возможно использование мицелия съедобных базидиальных грибов в качестве белковой биомассы. Они содержат много пищевых волокон, белка и мало жиров. Однако, продолжительный период выращивания затрудняет потребление грибов. Использование макромицетов в виде мицелия – альтернатива, поскольку их можно получить быстрее. [4]

- Интерес вызывает получение белковой биомассы путем глубинного культивирования штамма *Pleurotus ostreatus*. В высушенной биомассе гриба преобладают ненасыщенные жирные кислоты, витамины, аминокислоты и минеральные вещества. Биомасса гриба имеет грибной аромат, не патогенна. [5] Важно учитывать не только содержание белка, но и его качество. Усвояемость белка микропротеина *F. venenatum* составляет 86%, а щелочной экстракции *Pleurotus ostreatus* например — 100%. Усвояемость растительных белков ниже: сухая

экструдированная смесь нутовой и ячменной муки — 59%, ячменная мука — всего 33%. [2]

Микопротеин производится из сельскохозяйственных отходов путем ферментации с использованием микроорганизмов. Большинство микопротеиновых грибов выращивают методом глубинной ферментации в больших биореакторах с питательным бульоном и собирают их непрерывно с помощью фильтрации. Этот метод обеспечивает высокую производительность, но требует значительных капиталовложений на строительство и обслуживание биореактора. Используют и метод твердофазной ферментации, при котором мицелий грибов выращивается на древесной щепе или переработанные твёрдые пищевые и сельскохозяйственные отходы. Эта стратегия позволяет обойтись без биореакторов, хотя требует контроля температуры и влажности. [6]

Классический микопротеин производится путем непрерывной ферментации *Fusarium venenatum* на углеводном субстрате при температуре 28–30 °C и pH 6. Процесс занимает около шести недель и сопровождается регулярными проверками на микотоксины. Для достижения безопасности содержание РНК в грибковой биомассе минимальное. [1]

Дальнейший процесс зависит от желаемой формы: высушенной биомассы или белка из экстрагированной биомассы. Биомасса содержит белок, клеточную стенку, жир, углеводы, минеральные соли и нуклеиновые кислоты. Белок из биомассы содержит белок, свободные аминокислоты и значительно меньше нуклеиновых кислот.

Для получения чистого белка после ферментации используют как механические (бисерная мельница, высокопроизводительный гомогенизатор, ультразвуковые и микроволновые устройства), так и немеханические (замораживание, осмотический шок, термолиз) методы разрушения клеточной стенки. После разрушения клеток белки выделяют с помощью центрифугирования, термического осаждения, изменения pH или добавления солей. Для очистки белков применяют хроматографию и мембранные процессы. Нуклеиновые кислоты удаляют ферментативно, химически или термически с 10% до менее 2%. Завершающим этапом является сушка препаратов.

Для получения цельной высушенной биомассы после извлечения из ферментера культуральная среда сразу подвергается термической обработке для снижения концентрации РНК. Грибную биомассу нагревают в течение 30–45 минут при температуре выше 68 °C. После центрифугирования культурального бульона микопротеин извлекается в виде пасты. [1,2]

Касаемо вопроса о влиянии микопротеина на организм существуют исследования, проведённые группой учёных под руководством Жанны Х. Боттин, которые показали, что употребление микопротеина может оказывать положительное влияние, но существуют и риски (Табл.1).

Таблица 1. Преимущества и недостатки микопротеинов [7].

Преимущества	Недостатки
Употребление микопротеина может регулировать аппетит и влиять на потребление энергии, снижая его. Микопротеин помогает контролировать вес, так как способствует более длительному чувству насыщения и снижает вероятность перекусов.	Сильные аллергические реакции у людей с аллергией на плесень, особенно у тех, кто чувствителен к токсинам плесени. Однако, большинство исследований показало хорошую переносимость микопротеинов и минимальное количество побочных эффектов.
Микопротеин снижает инсулиновогенный индекс и повышает чувствительность периферических тканей к инсулину.	Микопротеины могут повысить уровень пуринов и пиримидинов в организме, что может увеличить риск подагры и диабета у предрасположенных к этим заболеваниям. Поэтому важно проводить снижение содержания нуклеиновых кислот.
Употребление микопротеина увеличивает доступность аминокислот с разветвлёнными боковыми цепями и способствует синтезу мышечного белка у молодых мужчин.	
Микопротеин является естественным источником антиоксидантных соединений и может быть полезен при высоком уровне холестерина и сердечно-сосудистых заболеваниях.	

Актуальность микопротеина на мировом рынке обусловлена растущим интересом к растительным, вегетарианским и веганским диетам. В связи с этим существуют различные варианты его использования как в виде добавок, так и в виде множества продуктов, содержащих биомассу съедобных микроорганизмов. Эти продукты и добавки можно употреблять в пищу напрямую или использовать в качестве ингредиента для приготовления блюд.

Добавки микопротеина могут быть использованы в различных формах, таких как порошки, капсулы или готовые белковые напитки. Они также могут быть включены в широкий ассортимент продуктов, таких как супы, соусы и обработанные пищевые продукты, в также спортивное питание. [2]

Микопротеин используется для создания заменителей мяса (фарш, котлеты), бекона, сосисок, молочных продуктов, майонезов, мягких видов сыров, продуктов экструзионной обработки (рисовые, кукурузные хлопья), а также добавляется к хлебу или выпечке для повышения их питательной ценности.[2,8,9]

Великобританский Бренд Quorn является одним из наиболее известных производителей продуктов на основе микопротеина. Основным ингредиентом продукции компании являются микопротеины, получаемые из гриба *F. venenatum*. Продукция компании содержит много белка, мало жира и образует мало отходов. Проводятся исследования использования Quorn в сухих завтраках и в качестве заменителя жира при производстве мороженого и йогурта.

Положительным фактором является волокнистое строение выращенной культуры (текстура массы мицелия близка к таковой у естественных продуктов). Хотя для достижения желаемой текстуры в продуктах, имитирующих мясо, необходимо добавлять яичный белок или другие связующие вещества, чтобы скрепить гифы. [6]

Таким образом, у продукта может быть имитирована текстура мяса, а за счёт добавок — его вкус и цвет.

Но Quorn не единственная компания, занимающаяся микопротеином, существуют такие продукты как:

- Имитационный бекон MyBacon®(США), изготовленный из мицелия вешенки рода *Pleurotus*
- Имитатор вяленого мяса марки Rhiza (США), изготовленный из мицелия *Neurospora crassa*
- Имитатор йогурта марки Fy (США), изготовленный из мицелия *Fusarium* штамма *flavolapis*

А также компании- производители микопротеина как добавки

- ETERNAL: Эта компания использует технологию Mycofood™, чтобы производить микопroteины из грибов в биореакторах.
- Millow: Шведская компания Millow также занимается разработкой ингредиентов на основе микопroteина с использованием сухого метода ферментации.
- ENOUGH: Шотландская компания ENOUGH производит ингредиент ABUNDA с помощью погружной ферментации для бизнес-клиентов.

В России идею микопroteина развивает НПК "МикоТех" «Научно-производственная компания «МикоТех» создана для разработки новых функциональных продуктов питания.» [10]

Таким образом в отличие от Великобритании, где микопroteин используется в продуктах Quorn, Россия пока не имеет крупных производителей этого белка. Также многие россияне еще не знают о существовании и преимуществах микопroteина, что снижает спрос на этот продукт. Для того чтобы микопroteин стал более актуальным в России, необходимо комплексное решение, включающее поддержку научных исследований в области микопroteина, образование потребителей, развитие новых продуктов и стимулирование местных производителей.

Резюмируя всё вышесказанное, можно сделать вывод, что грибной белок, или микопroteин, представляет собой перспективный альтернативный источник белка, который может быть использован в пищу людям или в качестве корма для животных. Он обладает рядом преимуществ, таких как высокое качество белка, богатый аминокислотный состав, содержание витаминов и минералов, а также пищевых волокон. Многочисленные исследования показали, что употребление микопroteина приносит много пользы для здоровья. Однако для его широкого применения необходимо дальнейшее исследование и разработка технологий производства.

Библиографический список

1. Role of mycoprotein as a non-meat protein in food security and sustainability: A review /Saeed F. [et al]//International Journal of Food Properties. 2023. Т. 26. №. 1. С. 683-695.
2. Fungal proteins: Sources, production and purification methods, industrial applications, and future perspectives /Pobiega K. [et al]//Applied Sciences. 2024. Т. 14. №. 14. С. 6259.
3. Мельников Б. Е., Городнова Е. А., Мельников Е. Б. Перспективы использования способа иммобилизации мицелия базидиального гриба *pleurotus*

pulmonarius для получения белковой биомассы в условиях замкнутых систем // ХБЗ. 2020. №3-4.

4. Production of edible mycoprotein using agroindustrial wastes: Influence on nutritional, chemical and biological properties /Stoffel F. [et al] //Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2019. Т. 58. С. 102227.

5. Способ получения белковой биомассы гриба пат. 2189395 RU. / Биттеева М.Б. и др; заявл. 31.07.2000; опубл. 20.09.02. 7c

6. Linder T. What next for mycoprotein? //Current Opinion in Food Science. 2024. С. 101199.

7. Mycoprotein as a meat substitute: production, functional properties, and current challenges-a review /Khan R. [et al.] //International Journal of Food Science and Technology. 2024. Т. 59. №. 1. С. 522-544.

8. Khalid A. A. Mycoprotein and New Sources of Protein //Inland Norway University, 2023.

9. Use of Pleurotus albidus mycoprotein flour to produce cookies: Evaluation of nutritional enrichment and biological activity /Stoffel F. [et al] //Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2021. Т. 68. С. 102642.

10. ООО "НПК МИКОТЕХ" [Электронный ресурс] // НПК МИКОТЕХ: сайт. URL: <https://navigator.sk.ru/orn/1124408>.

УДК 577.151

Ренфельд Ж.В., канд. биол. наук.,

Черных А.М.,

Баскунов Б.П., канд. хим. наук.,

Горина С.Ю., аспирант.,

Коломыцева М.П., канд. биол. наук.,

(ФИЦ «Пущинский научный центр биологических исследований РАН»

(Институт биохимии и физиологии микроорганизмов

им. Г.К. Скрябина РАН), г. Пущино, России)

НОВАЯ ПЕРСПЕКТИВНАЯ РЕКОМБИНАНТНАЯ ЛАККАЗА АСКОМИЦЕТА, НАИБОЛЕЕ АКТИВНАЯ В НЕЙТРАЛЬНО-ЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ

Аннотация: в работе представлена подробная характеристика новой рекомбинантной лакказы гриба рода *Myrothecium* с алкалофильными свойствами. Алкалофильные грибные лакказы крайне редко встречаются в природе и представляют значительный интерес для использования в новых развивающихся технологиях внутриклеточного синтеза ценных соединений, биотопливных ячейках имплантируемых приборов, в нанобиотехнологиях и биосенсорах. Представленная рекомбинантная лакказа эффективно олигомеризует фенилпропаноиды в нейтральной среде, с образованием соединений, востребованных в пищевой и фармакологической промышленности. Комплекс исследований показал, что гликозилирование фермента необходимо

для поддержания его активности, так как дегликозилированная форма рекомбинантной лакказы полностью теряет ферментативную активность.

Ключевые слова: алкалофильная грибная лакказа, рекомбинантная лакказа, аскомицет, олигомеризация фенилпропаноидов.

Лакказа (КФ 1.10.3.2, CAZy – AA1_1; синонимы: *n*-дифенол: кислород оксидоредуктаза, фенол оксидаза, голубая оксидаза) представляет собой полифункциональный фермент, играющий ключевую роль в метаболизме грибов, обеспечивая деградацию лигнина – структурно сложного полимерного соединения растительного происхождения. Большинство изученных грибных лакказ наименее активно окисляют фенольные соединения в кислой среде [1]. Редко встречающиеся в природе алкалофильные грибные лакказы вызывают повышенный научный интерес в связи с их потенциалом применения в промышленных и биотехнологических процессах, требующих устойчивости и высокой ферментативной активности в нейтрально-щелочных средах, например: в биосинтетических платформах для получения фармацевтически и промышленно ценных соединений, в биосенсорах, имплантируемых биотопливных элементах, 3D-nanoустройствах для медицины, синтезе C-N гетерополимерных красителей [2-5].

Рекомбинантные лакказы обладают рядом преимуществ перед ферментами, выделенными из природных источников. Например, их можно экспрессировать в эукариотических системах (таких как *Pichia pastoris* или *Aspergillus*), что позволяет получать большие количества белка. Использование аффинных тегов (например, His-тега) упрощает очистку, а методы направленной эволюции и рационального дизайна дают возможность модифицировать свойства ферментов (устойчивость к рН, температуре, органическим растворителям). Это делает их перспективными для биотехнологии и промышленности [6-7].

Поэтому целью настоящей работы явилось получение рекомбинантной алкалофильной лакказы аскомицета рода *Myrothecium* посредством гетерологической экспрессии с последующей характеристикой очищенного рекомбинантного фермента.

Гриб рода *Myrothecium*, продуцирующий исследуемую алкалофильную лакказу, был найден благодаря широкомасштабному скринингу мицелиальных грибов, представленных в Всероссийской Коллекции Микроорганизмов РАН (ИБФМ РАН, ФИЦ ПНЦБИ РАН). Ген исследуемой алкалофильной лакказы гриба *Myrothecium* был успешно клонирован в дрожжи *Pichia pastoris*, и рекомбинантный фермент получен в количестве, достаточном для исследований. Для очищенного белка были определены основные физико-химические

(температурный и pH оптимумы) и кинетические параметры (K_m , k_{cat} , k_{cat}/K_m). Подобно нативной лакказе, рекомбинантная форма фермента сохранила свою максимальную активность и способность катализировать олигомеризацию фенилпропаноидов в нейтрально-щелочной среде [8]. Этот процесс, в отличие от естественной деполимеризации лигнина, открывает перспективы для синтеза фармацевтических, нутрицевтических и промышленно ценных соединений [8].

Исследование свойств рекомбинантного фермента показало, что его максимальная стабильность наблюдалась в кислой среде при температуре 4°C. Кроме того, фермент сохранял активность после замораживания при -70°C и последующего оттаивания без значительной потери исходной активности. Эксперименты по N-дегликозилированию рекомбинантной лакказы в денатурирующих и нативных условиях позволили установить ключевую роль гликозилирования в поддержании ее функциональной структуры. Исследовано влияние различных солей металлов, органических растворителей, **неионогенных и ионогенных** детергентов, а также **хелатора металлов** – ЭДТА, на активность рекомбинантной лакказы в кислой (pH 5.0) и нейтральной (pH 7.2) среде. В нейтральной среде рекомбинантная лакказа демонстрировала более высокую устойчивость к хлоридам одновалентных металлов по сравнению с кислыми условиями. Однако в кислой среде большинство протестированных солей металлов вызывало активацию фермента.

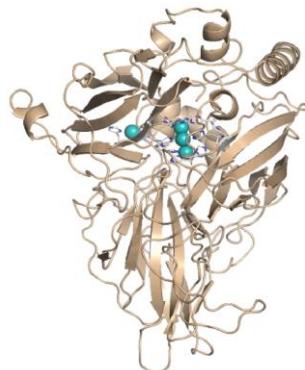


Рис. 1. Структура алкалофильной лакказы гриба рода Myrothecium. Ионы меди в активных центрах лакказы показаны голубыми сферами.

Исследования выполнены в рамках НИР Минобрнауки РФ “Молекулярные механизмы биодеградации ксенобиотиков” №122040100068-4.

Библиографический список

1. Aza P., Camarero S. Fungal laccases: Fundamentals, engineering and classification update // Biomolecules. 2023. № 13. P. 1716.
2. Marienhagen J., Bott M. Metabolic engineering of microorganisms for the synthesis of plant natural products // J. Biotechnol. 2013. № 163. P. 166-178.
3. Pezzella C., Guarino L., Piscitelli A. How to enjoy laccases // Cell. Mol. Life Sci. 2015. № 72. P. 923-940.
4. Gałzka A., Jankiewicz U., Szczepkowski A. Biochemical characteristics of laccases and their practical application in the removal of xenobiotics from water // Appl. Sci. 2023. № 13. P. 1-43.

УДК 579.66; 57.083.132

Сачавский А.А., аспирант,

Иванов А.С., магистр,

Мельник М.Д., магистр,

Калёнов С.В., докт. техн. наук, проф.

*(Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)*

ВЛИЯНИЕ НЕМЕТАНОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ *CUPRIAVIDUS NECATOR* НА НАКОПЛЕНИЕ В БИОМАССЕ ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА В ХОДЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МЕТАНОТРОФОВ II-ТИПА

Аннотация: получение бактериальной биомассы, содержащей значительное количество полигидроксибутирата, является перспективным направлением в области культивирования метанокисляющих сообществ на основе метанотрофов II-типа. На примере *Methylosinus trichosporium* было обнаружено, что неметанотрофные бактерии *Cupriavidus necator* способны образовывать устойчивые бинарные сообщества с основной культурой при использовании метана в качестве единственного органического источника углерода. Установлено улучшение ростовых характеристик исследуемого метанотрофного сообщества по сравнению с использованием чистой культуры, а также увеличение доли полигидроксибутирата в биомассе: содержание ПГБ 24,5±1,49% от АСВ для метанотрофной культуры II типа и 31,0±3,25% от АСВ для бинарного сообщества.

Ключевые слова: метанотрофные сообщества, полигидроксибутират, *Cupriavidus necator*

Введение.

Производство экологичных природных полимерных материалов, являющихся альтернативой распространённым пластикам на основе продуктов нефтехимической отрасли, представляется актуальной задачей в биотехнологии [1]. Среди возможных направлений в данной области особая роль отводится бактериальному синтезу соединений группы полигидроксиалканоатов и полигидроксибутирату (ПГБ) в частности [2][3]. Данные соединения, являющиеся биополиэфирами, обладают характеристиками, сходными с синтетическими полипропиленом и полиэтиленом, но при этом положительно выделяются своей биосовместимостью и биодеградируемостью [4]. Способность синтезировать в клетках значительные количества ПГБ в качестве запасающего соединения продемонстрировал широкий спектр как грамположительных, так и грамотрицательных бактерий [5]. Однако, основным фактором, ограничивающим производство полигидроксибутиратов в промышленных масштабах, является его высокая себестоимость [6]. Решением этой проблемы может выступать использование в ходе культивирования микроорганизмов доступного и недорого сырья, к которым относят метан [6][7]. По данной причине отдельный интерес для исследований в сфере получения ПГБ представляют метанотрофные сообщества на основе аэробных метанокисляющих бактерий [8]. Метанокисляющие бактерии включают в себя группу микроорганизмов, входящих в семейства *Gammaproteobacteria*, *Alphaproteobacteria* и *Verrucomicrobia*, которые способны усваивать метан и ряд других C₁-соединений в качестве единственного источника углерода [9][10]. Установлено, что метанотрофы II типа, например *Methylosinus trichosporium* и *Methylocystis hirsuta*, в результате биоконверсии метана в определённых условиях культивирования накапливают в клетках до 50% ПГБ от абсолютно сухого веса получаемой биомассы [11][12]. Наибольший синтез ПГБ метанотрофами наблюдался при несбалансированности питательных веществ в ростовой среде, а именно высоком соотношении C:N, что может быть вызвано низкой концентрацией минеральных источников азота или же применением безазотных питательных сред [13][14]. В последние годы особое внимание уделяется культивированию смешанных метанотрофных сообществ, в которых метанокисляющая бактерия, являющаяся доминантной культурой, образует трофические цепи с неметанотрофными микроорганизмами-спутниками [15]. Использование сообществ вместо чистых культур имеет ряд преимуществ, среди которых повышение стабильности и зачастую продуктивности процесса культивирования [16][17].

Неметанотрофные бактерии в составе метанотрофных консорциумов также способны снижать ингибирующее воздействие метаболитов (например, формальдегида), образующихся в ходе метаболизма метана основной культурой и её лизиса [17]. Одним из распространённых микроорганизмов-спутников в природных и обогащённых метанотрофных сообществах выступает *Cupriavidus necator* (ранее известен как *Ralstonia eutropha*) – грамотрицательная мезофильная палочковидная бактерия, способная как к автотрофному, так и гетеротрофному росту [18][19][20]. Представители рода *Cupriavidus* используются как продуценты ПГБ и белков с высокой эффективностью на широком спектре субстратов в том числе в составе парных сообществ с метанотрофами [21][22][23].

Таким образом, культивирование парных метанотрофных сообществ, состоящих из метанотрофа II типа и неметанотрофной бактерии *Cupriavidus necator* является перспективным подходом для получения микробной биомассы с высоким содержанием ПГБ в легко контролируемых и селективных условиях ведения процесса.

В работе было проведено совместное культивирование метанокисляющих бактерий *Methylosinus trichosporium* и *Cupriavidus necator* в условиях дефицита минерального азота в ростовой среде. Установлено наличие ПГБ в культивируемых культурах. Исследован показатель наработки биомассы в ходе культивирования чистой и смешанной культурой. Осуществлено сравнение содержания ПГБ в биомассе чистой метанотрофной культурой и бинарного сообщества. По итогам работы был сделан вывод о возможности применения *C. necator* в качестве микроорганизма-спутника в составе синтетических метанотрофных сообществ в целях увеличения содержания ПГБ в получаемой биомассе.

Материалы и методы.

В качестве объектов исследования были выбраны коллекционные штаммы *Methylosinus trichosporium* (ВКМ B-2119) и *Cupriavidus necator* (ВКМ B-1323). Подготовку инокулята чистой и смешанной метанотрофной культуры проводили в периодическом режиме в стерильных условиях на среде NMS при температуре 27°C на колбах объёмом 250 мл с разъёмом для подачи метановоздушной смеси при перемешивании на шейкере со скоростью 170 об/мин [24]. Объёмная доля метана в газовоздушной среде, обновляемая в колбах каждые 24 часа, составляла 30-35%. Подготовка проводилась в течение 7 дней до достижения оптической плотности (ОП) суспензии при 600 нм $\geq 0,6$ (длина оптического пути 10 мм). При достижении целевого значения ОП, аликовоты инокулятов (5 об. % от объёма среды) пересевали на

новые колбы с чистой средой. Перед пересевом оценивали чистоту метанотрофной и смешанной культуры на предмет наличия контаминации сторонними бактериями методом светопольной микроскопии. С целью стимулирования синтеза ПГБ в ходе проведения эксперимента новая среда NMS содержала 0,1 г/л KNO_3 . Инкубирование проводили в течение 5 дней в аналогичных подготовке инокулята условиях. В начале эксперимента и каждые 24 часа, включая момент окончания инкубирования, из колб стерильно отбирали пробы суспензии для определения содержания абсолютно сухого веса (ACB) и содержания ПГБ в биомассе. Для оценки сходимости и воспроизводимости полученных результатов опыты по культивированию осуществляли в трёх повторностях. Первичную оценку наличия ПГБ в культивируемых культурах осуществляли посредством окрашивания фиксированных препаратов суспензий 0,3%-ным раствором Судана черного В в этаноле и 0,5% водным раствором сафранина [25]. Количественное определение ПГБ в биомассе проводили модифицированным методом Лоу, заключающимся в предварительной экстракции водорастворимых соединений из биомассы 2М соляной кислотой, осаждении в хлороформе ПГБ биомассы, образовании под действием концентрированной серной кислоты производного ПГБ (круточной кислоты) и определении поглощения полученного раствора при 235 нм [26]. По итогам эксперимента делали вывод о влиянии бактерии *C. necator* на накопление биомассы и содержания ПГБ в ходе культивирования модельной метанотрофной культуры.

Результаты и обсуждение.

Значения накопления АСВ биомассы в культивируемых суспензиях (Рисунок 1) указывают на увеличение содержания сухого веса в суспензии при культивировании смешанного сообщества с *C. necator* относительно чистой бактерии *M. trichosporium*: на 1-3 день культивирования разница составляла не более 5%, однако на 4 и 5 день ведения процесса периодического культивирования она превышала 10%. Полученные результаты свидетельствуют о более продуктивном процессе наработки бактериального сырья в ходе совместного культивирования метанотрофной культуры с такими микроорганизмами как *C. necator*.

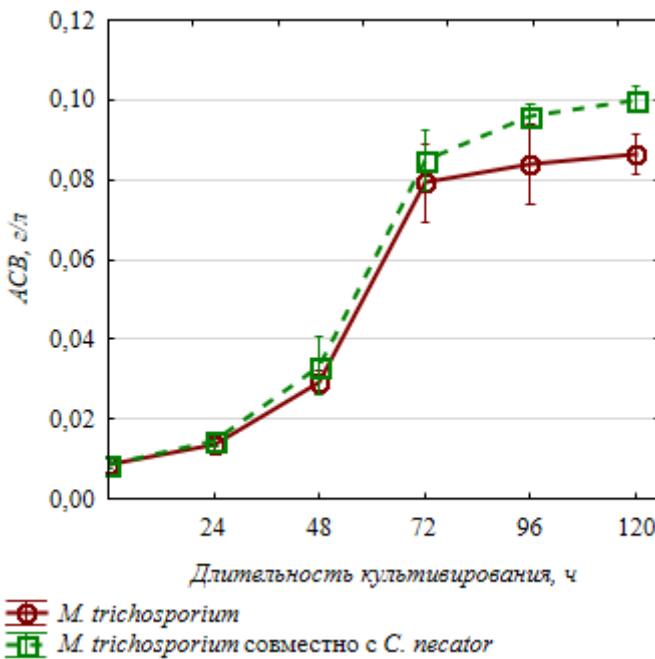


Рис. 1. Накопление биомассы чистой и смешанной метанотрофной культурой.

Тёмные вкрапления в клетках, наблюдаемые в результате микроскопии при окрашивании препаратов суспензий раствором 0,3%-ным раствором Судана чёрного В с 0,5% водным раствором сафранина, указывают на наличие интенсивного синтеза ПГБ в обоих культурах начиная с 3 дня ведения процесса (Рисунок 2 а-б). Отмечен синтез ПГБ как культурой *M. trichosporium*, так и неметанотрофным спутником *C. necator*.

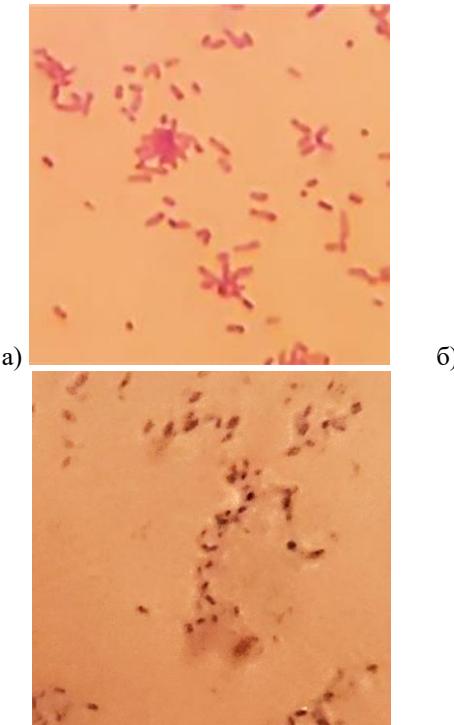


Рис. 2. ПГБ в клетках культивируемых культур. а) начало эксперимента; б) 5-й день культивирования при дефиците минерального азота в среде.

Анализ доли полигидроксибутират в получаемой биомассе демонстрирует, что накопление ПГБ чистым метанотрофным микроорганизмом начинается на 3-е сутки культивирования, в то время как для смешанного метанотрофного сообщества наличие ПГБ в клетках ($10,4 \pm 0,99\%$) наблюдали уже на 2-й день инкубирования (Рисунок 3). Данные различия в результатах могут быть обусловлены более быстрым перестроением метаболических путей, направленных на накопление полигидроксибутират, у бактерии *C. necator* по сравнению с модельной метанокисляющей бактерией *M. trichosporium*. Отмечено увеличение интенсивности синтеза ПГБ при культивировании смешанной культуры. (Рисунок 3 а-б). Так, содержание исследуемого биополимера на 5-й день культивирования составило $24,5 \pm 1,49\%$ от АСВ для чистого метанотрофа II типа и $31,0 \pm 3,25\%$ от АСВ для бинарного сообщества. Накопление полигидроксибутират в смешанной культуре наблюдали вплоть до 5-х суток инкубирования, тогда как в

чистой культуре содержание ПГБ достигло максимума на 96-й час и далее не увеличивалось.

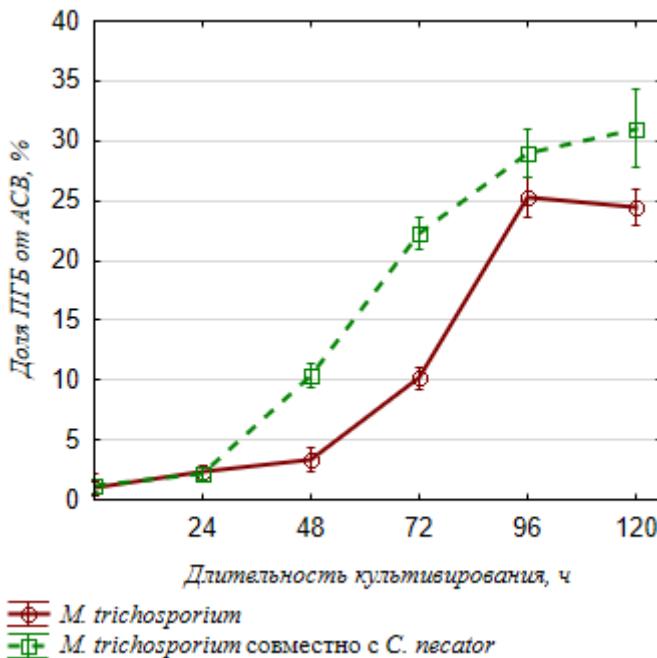


Рис. 3. Накопление ПГБ чистой и смешанной метанотрофной культурой.

Из результатов, полученных в ходе текущего исследования, было установлено, что наличие *Cupriavidus necator* в качестве микроорганизма-спутника в составе метанотрофного сообщества на основе метанокисляющих бактерий II типа (например, *Methylosinus trichosporium*) способствует накоплению биомассы культивируемого консорциума, а также способствует повышенному уровню накопления в ней ПГБ при использовании среды с низким содержанием минерального азота.

Библиографический список

1. Müller-Santos M. et al. The protective role of PHB and its degradation products against stress situations in bacteria //FEMS microbiology reviews. 2021. T. 45. №. 3. C. fuaa058
2. Verlinden R. A. J. et al. Bacterial synthesis of biodegradable polyhydroxyalkanoates //Journal of applied microbiology. 2007. T. 102. №. 6. C. 1437-1449.
3. Dalton B. et al. A review on biological synthesis of the biodegradable polymers polyhydroxyalkanoates and the development of multiple applications //Catalysts. 2022. T. 12. №. 3. C. 319.
4. McAdam B. et al. Production of polyhydroxybutyrate (PHB) and factors impacting its chemical and mechanical characteristics //Polymers. 2020. T. 12. №. 12. C. 2908.
5. Grigore M. E. et al. Methods of synthesis, properties and biomedical applications of polyhydroxyalkanoates: a review //Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition. 2019. T. 30. №. 9. C. 695-712.
6. Cardoso L. O. B. et al. Enrichment of *Methylosinus*-dominant consortia from mangroves for polyhydroxybutyrate (PHB) production //Journal of Environmental Chemical Engineering. 2022. T. 10. №. 5. C. 108490.
7. Getachew A., Woldesenbet F. Production of biodegradable plastic by polyhydroxybutyrate (PHB) accumulating bacteria using low cost agricultural waste material //BMC research notes. 2016. T. 9. C. 1-9.
8. Zhang Y. et al. Biosynthesis of poly-3-hydroxybutyrate with a high molecular weight by methanotroph from methane and methanol //Journal of natural gas chemistry. 2008. T. 17. №. 1. C. 103-109.
9. Guerrero-Cruz S. et al. Methanotrophs: discoveries, environmental relevance, and a perspective on current and future applications //Frontiers in microbiology. 2021. T. 12. C. 678057.
10. Jiang H. et al. Methanotrophs: multifunctional bacteria with promising applications in environmental bioengineering //Biochemical Engineering Journal. 2010. T. 49. №. 3. C. 277-288.
11. Strong P. J., Xie S., Clarke W. P. Methane as a resource: can the methanotrophs add value? //Environmental science & technology. 2015. T. 49. №. 7. C. 4001-4018.
12. Rahnama F. et al. PHB production by *Methylocystis hirsuta* from natural gas in a bubble column and a vertical loop bioreactor //Biochemical engineering journal. 2012. T. 65. C. 51-56.
13. Rostkowski K. H., Pfluger A. R., Criddle C. S. Stoichiometry and kinetics of the PHB-producing Type II methanotrophs *Methylosinus trichosporium* OB3b and *Methylocystis parvus* OBBP //Bioresource technology. 2013. T. 132. C. 71-77.
14. Zaldívar Carrillo J. A., Stein L. Y., Sauvageau D. Defining nutrient combinations for optimal growth and polyhydroxybutyrate production by *Methylosinus trichosporium* OB3b using response surface methodology //Frontiers in microbiology. 2018. T. 9. C. 1513.

15. Ho A. et al. Biotic interactions in microbial communities as modulators of biogeochemical processes: methanotrophy as a model system //Frontiers in Microbiology. 2016. T. 7. C. 1285.
16. Ho A. et al. The more, the merrier: heterotroph richness stimulates methanotrophic activity //The ISME journal. 2014. T. 8. №. 9. C. 1945-1948.
17. Stock M. et al. Exploration and prediction of interactions between methanotrophs and heterotrophs //Research in microbiology. 2013. T. 164. №. 10. C. 1045-1054.
18. Esembaeva M. A. et al. A Study of the Community Relationships Between Methanotrophs and Their Satellites Using Constraint-Based Modeling Approach //International Journal of Molecular Sciences. 2024. T. 25. №. 22. C. 12469
19. Ошкін І. Ю. и др. Молекулярний аналіз складу мікрофагального спільноти, формуючоїся при неперервному культивуванні *Methylococcus* sp. Concept-8 на природному газі //Мікробіологія. 2020. T. 89. №. 5. C. 556-565.
20. Tang R. et al. Metabolic engineering of *Cupriavidus necator* H16 for improved chemoautotrophic growth and PHB production under oxygen-limiting conditions //Metabolic engineering. 2020. T. 61. C. 11-23.
21. Dalsasso R. R. et al. Polyhydroxybutyrate (PHB) production by *Cupriavidus necator* from sugarcane vinasse and molasses as mixed substrate //Process Biochemistry. 2019. T. 85. C. 12-18.
22. Wei Y. H. et al. Screening and evaluation of polyhydroxybutyrate-producing strains from indigenous isolate *Cupriavidus taiwanensis* strains //International journal of molecular sciences. 2011. T. 12. №. 1. C. 252-265.
23. Kerckhof F. M. et al. From biogas and hydrogen to microbial protein through co-cultivation of methane and hydrogen oxidizing bacteria //Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2021. T. 9. C. 733753.
24. Dedysh S. N., Dunfield P. F. Cultivation of methanotrophs //Hydrocarbon and lipid microbiology protocols: Isolation and cultivation. 2017. C. 231-247.
25. Manju J., Prabakaran P. Comparative study on screening methods of polyhydroxybutyrate (PHB) producing bacteria's isolated from root nodules of selected leguminous plants //Int J Eng Sci Invent. 2015. T. 4. №. 11. C. 23-28.
26. Космачевская О. В. и др. Влияние условий культивирования на синтез поли-3-гидроксибутирата клубеньковыми бактериями *Rhizobium phaseoli* //Прикладная биохимия и микробиология. 2020. Т. 56. №. 1. С. 60-68.

Текучева Д.Н., с.н.с., канд. биол. наук,

Свило Д.А., студент

Карпов М.В., м.н.с.,

Бяков А.А., аспирант

Донова М.В., гл.н.с., докт.биол.наук, профессор

(ФГБУН Федеральный исследовательский центр
«Пущинский научный центр биологических исследований

Российской академии наук»,

Институт биохимии и физиологии микроорганизмов
им. Г.К. Скрябина РАН, Пущино, Московская обл., Россия)

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СТЕРИНОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕГНЕНОЛОНА ПУТЕМ ИХ БИОТРАНСФОРМАЦИИ

Аннотация: Рекомбинантный штамм *Mycobacterium smegmatis* mc²155, несущий гетерологическую экспрессионную кассету кДНК генов 20,22-десмоловазы (*CYP11A1*), ферредоксина надпочечников (*Adx*) и ферредоксинг-НАДФ(+)редуктазы (*AdR*) коры надпочечников быка, использовался в качестве цельноклеточного биокатализатора в процессе получения pregnenolona из природных стеринов. Целью исследования являлась оценка трансформации нативных и химически модифицированных (метоксиметилзамещенных (MOM)) производных холе- и фитостерина в зависимости от регламента (способа и срока) внесения субстрата, соотношения субстрата к солюбилизатору – метилциклогексстрину, а также нагрузки субстрата. Оценивалась полнота утилизации субстратов, эффективность их биоконверсии в целевые продукты, содержание побочных стероидных соединений. Результаты свидетельствуют о перспективности использования МОМ-холестерина для получения pregnenolona с использованием рекомбинантного штамма, экспрессирующего холестерин гидроксилазную/лиазную систему млекопитающих.

Ключевые слова: Рекомбинантный штамм, *Mycobacterium smegmatis*, pregnenolон, холестерин, 20,22-десмоловаза, P450scc, метилциклогексстрин.

Прегненолон (3β-гидроксипрген-5-ен-20-он, C₂₁H₃₂O₂, м.в. - 316,48 г/моль, CAS 145-13-1) является первым метаболитом катаболизма холестерина в цепочке стероидогенеза млекопитающих. В медицинской практике pregnenolон используется в качестве нейропротектора при хроническом стрессе, депрессии, каннабиоид-зависимых расстройствах нервной системы, [1] важен в процессах запоминания и обучения. Прогестерон (прегн-4-ен-3,20-дион, C₂₁H₃₀O₂, м.в. - 314,46 г/моль, CAS 57-83-0) играет решающую роль в женской fertильности и эмбриональном развитии человека. Прогестерон и pregnenolон синтезируются в гонадах, надпочечниках, во всех частях центральной

нервной системы позвоночных с помощью холестерин гидроксилазной/лиазной ферментной системы.

В настоящее время субстанции прогестерона и прененолона производят путем многостадийного химического синтеза [2] или поэтапно путем биотехнологической трансформации фитостеринов до 22-гидрокси-23,24-биснорхол-4-ен-3-она и их дальнейшей химической модификации [3]. Экологически чистым и более экономически целесообразным является одностадийный биотехнологический способ с применением цельноклеточных биокатализаторов – генетически модифицированных непатогенных организмов. Так, для получения прогестерона и прененолона использовались генетически модифицированные штаммы бактерий *Escherichia coli* [4, 5, 6], *Bacillus megaterium* [7], а также актиномицетов *Saccharomyces cerevisiae* [8], *Yarrowia lipolytica* [9], однако, продуктивность штаммов была крайне невысокой.

Перспективным представляется способ с применением штаммов быстрорастущих микелицибактерий (ранее классифицировались как *Mycobacterium* [10]) из холестерина в качестве стартового субстрата [11]. Гидрофобная клеточная стенка с высоким содержанием миколовых кислот и эффективными системами транспорта липофильных соединений обеспечивает высокую биодоступность труднорастворимых стероидов [12]. Однако, наличие у микелицибактерий, таких как *M. smegmatis*, собственных систем деградации гонанового ядра и алифатической боковой цепи [13], приводит к снижению общей эффективности продукции целевых прогестагенов и образованию нежелательных побочных продуктов. Кроме того, холестерин является довольно дорогим и малодоступным субстратом для промышленного использования.

Экономически более привлекательны в качестве субстрата фитостерины, которые получают из отходов целлюлозно-бумажной (талловое масло, талловый пек) или лесохимической и пищевой (деодоризаты рафинизации растительных масел) промышленности.

С целью увеличения эффективности продукции прененолона из стеринов предложена химическая модификация субстратов путем введения метоксиметильной (МОМ) группы по положению 3 β -ОН-группы в кольце А стероидного ядра. путем введения метоксиметильной (МОМ) с получением метоксиметилового эфира субстратов. Этот подход наряду с увеличением кратности внесения индуктора обеспечил значительное (до 85% мольн.) увеличение выхода МОМ-замещенного прененолона из МОМ-холестерина (1 г/л) при снижении (до 1% мольн.) образования примесных стероидов [11].

Целью настоящего исследования являлось изучение возможности повышения продукции МОМ-прегненолона из МОМ-производных холе- и фитостеринов рекомбинантным штаммом *Mycolicibacterium smegmatis*, экспрессирующим холестерин гидроксилазную/лиазную систему млекопитающих.

Материалы и методы

В работе использовали рекомбинантный штамм *M. smegmatis* pNS 11, созданный на основе непатогенного штамма *M. smegmatis mc²*, путем введения плазмидной конструкции для контролируемой экспрессии кДНК генов, кодирующих белки цитохрома P450scc (CYP11A1), адренодоксина (Adx) и адренодоксиредуктазы (AdR) коры надпочечников быка [11]. Бактерии выращивали в присутствии гигромицина В (40 мкг/мл) в питательной среде следующего состава (г/л): $K_2HPO_4 \times 3H_2O$ – 0,5; KH_2PO_4 – 0,5; $(NH_4)_2HPO_4$ – 1,5; $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,2; $FeSO_4 \times 7H_2O$ – 0,005; $ZnSO_4 \times 7H_2O$ – 0,002; Твин 80 – 1; фруктоза – 10; глицерин – 5; дрожжевой экстракт – 5, бактопептон – 5, рН 7,0. Плотные питательные среды готовили, добавляя бактоагар (1,5%) и использовали для хранения штамма при 4°C.

Культуру для инокуляции наращивали двумя последовательными пересевами в колбах объемом 750 мл, содержащих 50 мл среды с гигромицином В. Культивирование проводили в течение 44–48 и 30–32 часов соответственно при 37°C в аэробных условиях на лабораторном инкубационном шейкере INFORS HT Multitron (Швейцария) (200 об/мин). Далее для вносили 10% (об./об.) 2-го инокулята в среду аналогичного состава, но приготовленную на 0,04 М К-фосфатном буфере, рН 7,2 без антибиотика. Индукцию синтеза рекомбинантных белков проводили при посеве, а также каждые 12 ч 4х-кратно (0,12, 24, 36 ч роста) амидом уксусной кислоты равными долями до суммарной концентрации 2 г/л.

МОМ-холестерин и МОМ-фитостерин получали как описано в [11]. Субстрат вносили через 24 ч после инокуляции однократно или дробно каждые 12 ч (24, 36,48 ч роста). Стерины растворяли в кипящем 2-пропаноле и вносили в раствор метил-β-циклодекстрин (в мольном соотношении 1:5 к субстрату) и добавляли 2 г/л ТВИН 80. Далее смесь обрабатывали УЗ-облучением и вносили в ростовую среду. В случае дробного внесения первая доза субстрата вносилась, как описано выше, а далее в виде раствора в 2-пропаноле. То есть весь метил-β-циклодекстрин вносился в 24 часа с учетом полной нагрузки субстрата.

Для ТСХ-анализа стероиды экстрагировали этилацетатом. Экстракты наносили на хроматографическую пластинку (ALUGRAM SIL G/UV254, Германия), разделение стероидных продуктов проводили

в системе растворителей н-гептан:акетон:бензол = 36:3,6:0,7 (об/об). МОМ-холестерин, МОМ-прегненолон, МОМ-ДГЭА и другие производные на пластинах визуализировали после распыления раствора $MnCl_2$ и нагревания в УФ свете при длине волны 365 нм.

Результаты

Основными продуктами биоконверсии МОМ-холестерина рекомбинантными клетками *M. smegmatis* являлись МОМ-прегненолон и МОМ-дегидроэпиандростерон (МОМ-ДГЭА), являющийся продуктом полного окисления боковой цепи МОМ-холестерина (Рис.1). Субстрат в концентрациях 0,3 и 1,5 г/л почти полностью конвертировался в течение 24 и 72 часов, соответственно. Степень биоконверсии субстрата в целевой продукт достигала 90 и 75% (мольн.), соответственно, а выход МОМ-ДГЭА составлял 7-11% (мольн.). Между тем, наряду с образованием основных продуктов отмечалось накопление ряда других метаболитов, предположительно, продуктов частичного окисления боковой цепи таких как МОМ-замещенные стероидные карбоксикислоты и альдегиды (структура не установлена) (рис. 1, красная рамка). Накопление таких соединений может препятствовать гидроксилированию при С22, осуществляемому 20,22-десмоловазой [14].

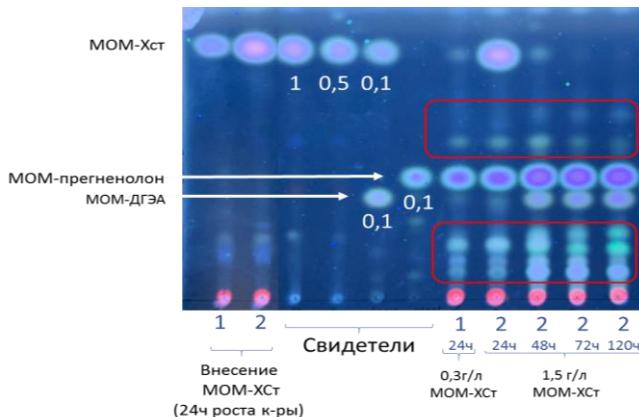


Рис. 1. Тонкослойная хроматограмма экстракта культуральной жидкости при трансформации 0,3 (1) и 1,5 (2) г/л МОМ-холестерина в динамике.

МОМ-прегненолон являлся также основным продуктом при биоконверсии МОМ-фитостерина штаммом *M. smegmatis* pNS11 (рис.2). Его выход составил ~20% (мольн.) при исходной концентрации субстрата 3 г/л. Однако, полной конверсии субстрата не наблюдалось

даже за 120 часов. Увеличение концентрации метилциклогексстраина не оказывало существенного влияния на выход целевого продукта.

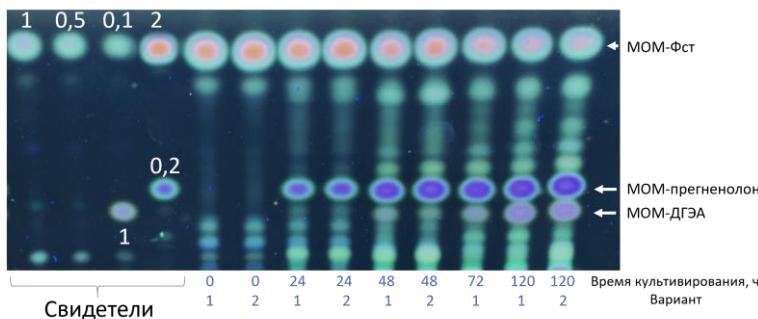


Рис. 2. Тонкослойная хроматограмма экстракта культуральной жидкости при трансформации 3 г/л МОМ-фитостерина в динамике. Мольное соотношение субстрата к метил- β -циклогексстрину - 1:3 (вар.1) и 1:5 (вар. 2).

В сравнении с МОМ-фитостерином, МОМ-холестерин конвертировался более эффективно (рис 3). Уже за 24 часа выход МОМ-прегненолона достиг 60-70% (мольн.) (титр составил 1.5 – 1.7 г/л) при почти полном исчерпании субстрата. Изменение концентрации солюбилизирующего агента – метил- β -циклогексстрину и в этом случае не оказывало заметного влияния на биоконверсию.

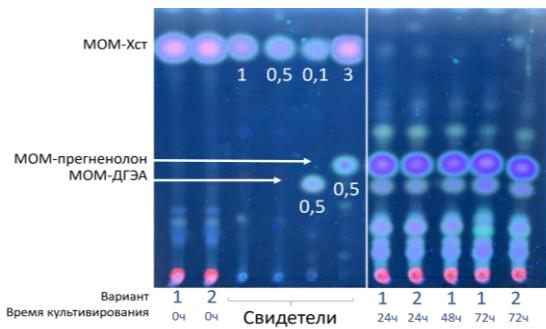


Рис. 3. Тонкослойная хроматограмма экстракта культурыальной жидкости при трансформации 3 г/л МОМ – холестерина. Мольное соотношение субстрата к метил- β -циклогексстрину 1:5 (вар.1) и 1:10 (вар.2).

Дробное 3-кратное внесение субстрата позволило увеличить выход МОМ-прегненолона до 80% мольн. и снизить почти вдвое нежелательное образование МОМ-ДГЭА (до 5% мольн.) (рис.4).

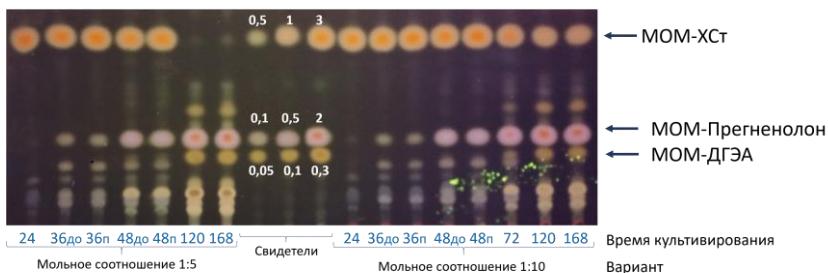


Рис. 4. Тонкослойная хроматограмма экстракта культуральной жидкости при трансформации 3 г/л МОМ-холестерина в динамике. Субстрат вносили дробно: 2 г/л+0,5 г/л+0,5 г/л. Мольное соотношение субстрата к метил- β -циклогексадекстрину - 1:5 и 1:10. (до – пробы взята до внесения МОМ-холестерина, п – после внесения).

Полученные результаты указывают на перспективность использования миколицибактерий, гетерологично экспрессирующих ферменты холестерин гидроксилазной/лиазной системы млекопитающих, в биотехнологии получения прогненолона при использовании холестерина, замещенного метоксиметильной группой по 3-му положению стероидного ядра.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122040500054-3).

Библиографический список

1. Neuro(active)steroids actions at the neuromodulatory sigma1 (sigma1) receptor: biochemical and physiological evidences, consequences in neuroprotection / Maurice T. [et al.] // Pharmacol. Biochem. Behav. 2006. V. 84. № 4. P. 581-597.
2. Donova M. Microbial Steroid Production Technologies: Current Trends and Prospects // Microorganisms. 2021. V. 10. Article number 53.
3. Fernandes P., Cabral J.M. Phytosterols: applications and recovery methods // Bioresour Technol. 2007. V. 98. P. 2335–2350.
4. Expression of functional bovine cholesterol side-chain cleavage cytochrome P450 (P450scc) in E coli / Wada A. [et al.] // Arch Biochem Biophys. 1991. V. 290. P. 376–380.

5. Functional reconstruction of bovine P450scc steroidogenic system in *Escherichia coli* / Makeeva D.S. [et al.] // *Am J Mol Biol.* 2013. V. 3. № 4. P. 173–182.
6. Analysis of in vivo activity of the bovine cholesterol hydroxylase/lyase system proteins expressed in *Escherichia coli* / Efimova V.S. [et al.] // *Mol Biotechnol.* 2019. V. 61. P. 261–273.
7. Functionalized PHB granules provide the basis for the efficient side-chain cleavage of cholesterol and analogs in recombinant *Bacillus megaterium* / Gerber A. [et al.] // *Microb Cell Fact.* 2015. V.14. Article number 107.
8. Self-sufficient biosynthesis of pregnenolone and progesterone in engineered yeast / Duport C. [et al.] // *Nat Biotechnol.* 1998. V. 16. № 2. P. 186–189.
9. Pregnenolone overproduction in *Yarrowia lipolytica* by integrative components pairing of cytochrome P450scc system / Zhang R. [et al.] // *ACS Synthetic Biology.* 2019. V. 8. № 12. P. 2666–2678.
10. Gupta R.S., Lo B., Son J. Phylogenomics and Comparative Genomic Studies Robustly Support Division of the Genus *Mycobacterium* into an Emended Genus *Mycobacterium* and Four Novel Genera // *Front Microbiol.* 2018. V. 9. Article number 67.
11. Pregnenolone and progesterone production from natural sterols using recombinant strain of *Mycobacterium smegmatis* mc² 155 expressing mammalian steroidogenesis system / Karpov M.V. [et al.] // *Microb Cell Fact.* 2024. V. 23. № 1. Article number 105.
12. Daffe M., McNeil M., Brennan P.J. Major structural features of the cell wall arabinogalactans of *Mycobacterium*, *Rhodococcus*, and *Nocardia* spp // *Carbohydr Res.* 1993. V. 249. P. 383–398.
13. Payne A.H., Hales D.B. Overview of steroidogenic enzymes in the pathway from cholesterol to active steroid hormones // *Endocr Rev.* 2004. V. 25 P. 947–970.
14. Substrate specificity of adrenocortical cytochrome P-450scc. I. Effect of structural modification of cholesterol side-chain on pregnenolone production / Morisaki M. [et al.] // *J Steroid Biochem.* 1980. V.13. №5. P. 545–550.

УДК 574(075.8)

Фатеева Е.А., студент,
Лупандина Н.С., канд. техн. наук
(Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АУДИТ В БИОТЕХНОЛОГИИ

Аннотация: Экологический аудит является неотъемлемой частью биотехнологии, поскольку любая производственная отрасль оказывает влияние на окружающую среду. Он выступает ключевым инструментом в системе экологического менеджмента, обеспечивая механизм контроля за соблюдением

природоохранных требований, снижение экологических рисков и повышение экологической ответственности предприятий. На примере крахмало-паточного производства, использующего в производственном цикле биотехнологические процессы, проведём оценку мероприятий по очистке производственных сточных вод, охране атмосферного воздуха от загрязнений, утилизации отходов производства.

Ключевые слова: биотехнология, экологический аудит, окружающая среда, крахмало-паточное производство.

Биотехнология является перспективной и развивающейся отраслью, которая позволяет решить разные технологические задачи в сферах медицины, сельского хозяйства, энергетики, в промышленности и даже космонавтике. Она предполагает использование в этих целях возможностей живых организмов, их систем и продуктов жизнедеятельности.

Но, как и любое производство, биотехнологическое способно оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Это влияние выбросов и отходов, в том числе биологических отходов, химических реагентов, отработанного оборудования на воздух, почву, воду и биологические ресурсы; неэффективное использование ресурсов, приводящее к их истощению.

Для минимизации этого воздействия и обеспечения устойчивого развития отрасли, всё большее значение приобретает экологический аудит.

Экологический аудит представляет собой независимую оценку деятельности организаций на соответствие экологическим требованиям, нормативам и стандартам. Он выступает ключевым инструментом в системе экологического менеджмента, обеспечивая механизм контроля за соблюдением природоохранных требований, снижение экологических рисков и повышение экологической ответственности предприятий [1].

В России экологический аудит начал развиваться в 1993 году в рамках программы приватизации государственных предприятий. В дальнейшем его нормативная база расширялась, включая постановления правительства, регулирующие лицензирование и сертификацию экологической деятельности [2].

Существенное влияние на развитие экологического аудита в России оказали международные стандарты ИСО 14000, которые легли в основу национальной системы сертификации экологического менеджмента [3]. В России нормативное регулирование экологического аудита находится в стадии становления, поскольку отсутствует специальный федеральный закон, регулирующий все аспекты его проведения.

Одной из главных проблем правового регулирования экологического аудита в России является его фрагментарность. Несмотря на наличие отдельных законодательных актов, процесс аудита не имеет единой нормативной базы, что создает неопределенность в его применении. Другой серьезной проблемой является отсутствие в российском законодательстве требований к обязательному экологическому аудиту, он остается добровольной процедурой [4].

Экологический аудит можно разделить на две основные группы [5]:

- 1) Информационный аудит, направленный на сбор и анализ данных о деятельности предприятия и ее воздействии на окружающую среду.
- 2) Контролирующий аудит, оценивающий соответствие деятельности предприятия установленным нормативам и стандартам.

В процессе сбора информации удалось посетить завод по глубокой переработке зерна кукурузы и производству крахмало-паточной продукции и изучить проектную документацию. На основе этого провести экологический аудит предприятия и оценить мероприятия по очистке производственных сточных вод, охране атмосферного воздуха от загрязнений, а так же утилизации отходов производства.

Объектом экологической оценки в данной работе являлся природно-техногенный блок, включающий следующие элементы:

Техногенный блок – предприятие по глубокой переработке зерна кукурузы;

Природный блок – с юго-запада а расстоянии в 500 м от площадки находится – водоем, впадающий в реку; с северо-запада от площадки находятся земли сельскохозяйственного использования с посевом сельскохозяйственных культур. На юге от площадки находится существующая жилая застройка.

Крахмало - паточное предприятие в процессе переработке зерна кукурузы применяет биотехнологии на различных этапах производства.

При подготовке сырья используется ферментативная обработка зерна. Это нужно для разжижения зерновой массы перед экстракцией крахмала. Данный процесс повысит выход продукта. Микроорганизмы так же могут удалить некрахмальные примеси и улучшить качество продукта.

Измельчённую кукурузу вместе с переливами из гидроциклонов, используемых для отделения зародышей, инкубируют в резервуаре-реакторе с протеазой. Протеаза гидролизует белок - глютен, который окружает гранулы крахмала. Так нарушается взаимодействие крахмал — глютен и они могут быть легко разделены.

При переработке крахмальной суспензии с последующим получением глюкозных и мальтодекстриновых сиропов, патоки используется ферментативный (энзиматический) гидролиз. Замена им кислотного гидролиза позволяет получать продукты с заданными свойствами и контролировать степень гидролиза. Так получают продукты с разным показателем декстрозного эквивалента.

Процесс ферментативного гидролиза крахмала состоит из нескольких основных технологических стадий. Первая стадия - это процесс ферментативного разжижения, протекающий в два этапа, с промежуточной высокотемпературной обработкой. Вторая стадия включает процесс ферментативного осахаривания разжиженного крахмала. Процесс разжижения протекает с применением ферментного препарата α -амилазы, а процесс осахаривания – с применением комплекса ферментных препаратов: глюкоамилазы, мальтогенной альфа-амилазы, пулулланазы.

Так же биотехнологии используются при биологической очистке сточных вод. Микроорганизмы разлагают органические загрязнения и снижают нагрузку на окружающую среду.

Рассмотрим, какая работа ведётся по минимизации негативного воздействия работы производства.

- Очистка производственных сточных вод

Для экономии воды и охраны окружающей среды запроектирована система оборотного водоснабжения.

Сточные воды имеют загрязнения различной органической природы, в том числе трудно - или не разлагаемые, а также с минеральными солями. Приемником сточных вод является водный объект рыбохозяйственного значения - река.

Для оптимизации процессов очистки сточных вод из общего потока на стадии разработки системы водоотведения предприятия выделены:

- основной поток производственных сточных вод, высококонцентрированный по органическим загрязнениям и относительно незагрязненный солями;

- поток высокоминерализованных сточных вод после регенерации ионообменных смол участка осветления сиропа крахмалопаточного производства.

Основной поток органически загрязненных сточных вод направлен на очистные сооружения биологической очистки, поток высокоминерализованных стоков, составляющий не более 8% от основного – на отдельную обработку

Процесс биологической очистки сточных вод предусматривает использование следующих основных технических и технологических

решений: предварительная механическая очистка сточных вод; охлаждение поступающих сточных вод; усреднение сточных вод; анаэробная биологическая очистка; очистка биогаза; аэробная биологическая очистка; обезвоживание избыточного ила; очистка отработанного воздуха; охлаждение очищенных сточных вод.

Для отделения очищенных вод от активного ила на стадии аэробной биологической очистки применяются мембранные модули. Технология утилизации обезвоженного осадка направлена на получение из него азотно-фосфорного удобрения с внесением его на собственные поля сельхозпредприятий. С учетом характера образования сточных вод осадок будет абсолютно безопасным удобрением. С этой целью осадок, в связи с тем, что он содержит не только высоко стабилизированный активный ил из аэротенков, но и менее стабильную флотопену, будет подвергаться компостированию.

Кроме биологически загрязненных сточных вод в отдельный поток для очистки выделены высокоминерализованные сточные воды (ВМСВ), которые обрабатываются на отдельной специальной установке обессоливания. Полученные после центрифугирования соли (хлорид натрия) подвергаются расфасовке в мягкие контейнеры типа "биг-бег" для поставки потребителям согласно ТУ 2152-082-00209527-99 «Противогололедный материал на основе хлористого натрия».

- Охрана атмосферного воздуха от загрязнений

В ходе инвентаризации выбросов вредных веществ в атмосферу проектируемого производства выявлено 122 источника выбросов загрязняющих веществ 41 наименования.

Анализируя данные проекта нормативов допустимых выбросов можно сделать вывод, что загрязняющие вещества, выбрасываемые предприятием не превышают ПДК на границе СЗЗ (санитарно-защитной зоны) и ближайшей нормируемой территории.

Технологические процессы сушки продуктов сопровождаются выделением тепловых газов с примесями частиц продукта. Технологическое сушильное оборудование укомплектовано дополнительным оборудованием, гарантированно обеспечивающим выбросы отводящих газов в атмосферный воздух с минимальным содержанием примесей - значительно ниже установленных в РФ нормативных требований: оборудование гарантирует содержание примесей до 20 мг/м³ при нормативе – до 50 мг/м³.

Эффективность очистки обеспечивается применением на всех воздушных потоках, выбрасываемых в атмосферный воздух, рукавных фильтров вместо общепринятых воздушных циклонов. Такое решение также позволит снизить потери основных продуктов.

Мешочные фильтры спроектированы для постоянной скорости фильтрования и рассчитаны на двухгодичный срок службы. Очистка фильтров производится за счет импульсов сжатого воздуха, направленных через сопла в верхнюю часть каждого мешка. Частицы продукта попадают обратно в сушилку. Так оборудование по улавливанию воздушных примесей продукта предохраняет воздух от загрязнений и значительно снижает потери сухих веществ продуктов, увеличивая их выход.

- Утилизация отходов производства

Производство является безотходным, так как все составные части кукурузного зерна перерабатываются в готовую продукцию.

В процессе производственной деятельности предприятия образуются отходы производства и отходы потребления, всего 43 наименования, в том числе: 1 класса опасности – 1 наименование – 0. 04 т; 2 класса опасности – 1 наименование – 0. 04 т; 3 класса опасности – 7 наименований – 785.587 т; 4 класса опасности – 26 наименований – 5548.338 т; 5 класса опасности – 17 наименований – 5978.971 т.

Общая масса ожидаемого образования отходов в 2025 году предполагается равной 12312.976 т.

Из образующихся отходов производства и потребления на объекты конечного размещения планируется вывезти 7289.804 т отходов, другим предприятиям на переработку и обезвреживание будет передано 5023.172 т.

Отходы производства и потребления в периоды их накопления для вывоза на объекты конечного размещения и специализированные предприятия подлежат временному хранению (накоплению) на территории предприятия. Единовременное накопление отходов составляет 62.45 т.

При организации мест временного хранения (накопления) отходов приняты меры по обеспечению экологической безопасности. Оборудование мест временного хранения (накопления) проведено с учетом класса опасности, физико-химических свойств, реакционной способности образующихся отходов, а также с учетом требований соответствующих ГОСТов и СНиП.

Отходы, хранящиеся в производственных помещениях, защищены от влияния атмосферных осадков и не воздействуют на почву, атмосферу, подземные и поверхностные воды. Их воздействие на окружающую среду может проявиться только при несоблюдении правил их сбора и хранения.

По результатам анализа предприятие не будет оказывать отрицательного воздействия на земельные ресурсы и геологическую среду района размещения объекта.

Поскольку потоки сточных вод разделены по физико-химическим показателям, после очистки становятся безопасными. Из обезвоженного осадка получают азотно-фосфорного удобрения с внесением его на собственные поля сельхозпредприятий. А после очистки высокоминерализованных потоков получают и реализуют «Противогололедный материал на основе хлористого натрия».

Функционирование предприятия не приведет к формированию приземных концентраций загрязняющих веществ, превышающих санитарно-гигиенические нормативы, что позволяет квалифицировать выбросы как допустимые.

Проведена оценка объемов отходов производства и потребления, образование которых обусловлено данным строительством. Все площадки накопления и хранения отходов отвечают нормам экологической безопасности, суммарный нормативный объем предельного накопления составит 65,45 т.

Из изложенного следует, что принятые проектные решения при строительстве завода по комплексной переработке кукурузы соответствуют существующему природному законодательству по охране окружающей среды. Уровень воздействия на окружающую среду является допустимым.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (ред. 08.08.2024) // КонсультантПлюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 12.03.2025).
2. Приказ Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 30 марта 1998 г. № 181 «Об экологическом аудировании в системе Госкомэкологии России» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901718717> (дата обращения: 12.03.2025).
3. Бекболсынова А.С., Дюсенбаева К.Н. Экологический аудит как перспективное направление в области «зеленой» экономики // Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 2021.
4. Гумарова Р.Р. О правовом регулировании экологического аудита // Право и политика. – 2024. – № 10. DOI: 10.7256/2454-0706.2024.10.69392.
5. Навасардова Э.С., Тахумова О.В. Основные направления экологического менеджмента и аудита компаний как фактор предотвращения глобальной

катастрофы // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2017. № 3 (60).

УДК 641.85

Фомина Л. В, преподаватель

Золотарева А. М. проф., д.т.н.

(Восточно-Сибирский государственный

университет технологий и управления

Республика Бурятия г. Улан-Удэ.)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ ОБЛЕПИХОВОГО ЖОМА

Аннотация: экспериментально подтверждена возможность использования проросшего облепихового жома в качестве источника питательных веществ для функциональной добавки: облепиховый жом. Разработка технологических решений концентратов на основе получения активированного облепихового сырья, активированный способ позволяет улучшить качество облепихового жома, за счет повышения его биологических ценностей.

Ключевые слова: облепиховый жом, биологически активные вещества.

Преимуществом натуральных пищевых концентратов является их комплексность химического состава и возможность с помощью осуществлять обогащение одновременно витаминами, белками и минеральными веществами. Среди плодовых и ягодных культур особое место в России, в том числе и на территории Республика Бурятия занимает облепиха, которая является ценным источником биологически активных веществ. В Республике Бурятия сосредоточено 15% массивов облепихи.

Модернизация технологического процесса обработки облепихового жома, позволяет получить новый активированный продукт. Процесс активации муки облепихового концентрата позволяет увеличить количество витаминов и минеральных веществ и придать функциональную направленность готового продукта. В эксперименте доказано, что мука облепихового концентрата, обладает выраженными технологическими свойствами и может быть рекомендована не только в качестве источником БАВ, но и функционального ингредиента, для хлебобулочных изделий.

Целью работы является разработка технология функциональной добавки на основе облепихового жома. В плодах облепихи ученые зафиксировали более 70% биологически активных веществ. Ягода облепихи является лидером по содержанию каротиноидов,

аскорбиновой кислоты и третьим по величине источником витамина Е среди всех растений. Таким образом, ферментативные процессы, протекающие при активации, приводят к цитологическим изменениям, нарушениям клеточной структуры и частичному растворению эндосперма, оно способствует накоплению витаминов, в результате повышается биологическая ценность продукта. Аминокислотный состав семян облепихи и обработанных по прототипу и заявленному способу представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Аминокислотный состав семян облепихи и обработанных по прототипу и заявленному способу.

Аминокислоты	Семена облепихи, мг/л	Прототип, мг/л	Изобретение, мг/л
Фенилаланин	0,98	2,18	1,98
Лейцин + Изолейцин	1,76	7,10	6,84
Валин	1,39	2,52	3,01
Пролин	0,565	0,847	0,91
Серин	3,21	1,91	2,14
Глицин	1,70	2,35	2,31

В облепиховом жоме присутствует значительное количество белковых веществ, в среднем порядка 20%, биологическая ценность которых определяется аминокислотным составом. Следует отметить, что в среднем более чем на 13% увеличилось количество незаменимых аминокислот, таких как валин, пролин, серин, что повышает биологическую ценность добавки. В литературе приводятся сведения химического состава облепихового жома, который приведен в таблице 2, в сравнении с прототипом и заявленным способом.

Таблица 2. Химический состав активированного облепихового жома.

Показатели	Содержание		
	Семена облепихи	Прототип	Изобретение
Белки, %	25,06	24,6	20,9
Липиды, %	15,45	16,11	18,3
Углеводы, %, в т.ч.	25,67	29,31	34,61
Клетчатка, %	18,21	19,12	24,17

Пектин, %	3,46	3,53	3,72
Крахмал, %	1,71	1,64	1,64
Моно-дисахара, %	2,29	2,31	2,37
Флавоноиды, %	1,54	2,14	2,41
Токоферолы, мг%	84,01	88,5	88,6
Каротиноиды, мг %	4,25	4,77	5,13
Аскорбиновая кислота, мг %	6,51	7,61	8,14
Тиамин, мг %	1,02	1,67	1,59
Рибофламин, мг %	0,25	0,45	0,50

Анализ химического состава показывает, что в активированном облепиховом жоме увеличивается содержание липидов, углеводов на 13,6 и 18,0% соответственно. Также повышается в активированном облепиховом жоме содержание биологически активных веществ, таких как флавоноиды, токоферолы, каротиноиды, тиамин, рибофламин, аскорбиновая кислота, в среднем от 3 до 7 %. Значительное количество липидов обуславливает наличие жирорастворимых биологически активных веществ, в том числе каротиноидов и токоферолов, содержание которых выше, по сравнению с прототипом, в среднем на 5,8 %, проявляющих антиокислительные свойства. Активированный облепиховый жом содержит большое количество пищевых волокон, из которых состоит оболочка плодов и семени. Активированный облепиховый жом-это натуральный природный продукт, так же, в нем содержится полезные вещества находящие в естественных и сбалансированных количествах. Установлено, что вещества входят в органическую систему живой ткани. Доказано, что ферменты образующиеся в прорастании облепихового жома, расщепляют сложные запасные вещества, такие как, углеводы более простые сахара, они необходимы для будущего роста растений. Для расширения ассортимента и направлений использования вторичного растительного сырья проведена активация ферментативным способом. Преимуществами муки облепихового концентрата является, его специфичность благодаря использованию биотехнологических факторов которые гарантируют его безопасность, трудоемкости, эффективность, и при незначительной специфичности. В разработки новейшей технологии выявлено, что использование активированного облепихового жома в пищу организма человека тратит гораздо меньше сил на переваривание и усвоения, полученных из облепихового жома. Доказано, что активированный облепиховый жом, имеют в составе широкий набор полезных веществ, микроэлементов, витаминов, так же положительное влияние на организм человека.

Клейковина- представляет собой сложный белковый комплекс обладающий уникальным свойством при взаимодействии с водой он образует эластичную клейкую массу. Количество и качество клейковины показывает указывающий на состояние белково-протеиназного комплекса муки. На качество клейковины при отмывании влияет много факторов: температура, жесткость воды, продолжительность отлежки теста, сила и вид воздействия на тесто при отмывании. Массовая доля сырой клейковины в пшеничном зерне варьирует от 7 до 50%. Содержание клейковины в муке считается высоким, если ее массовая доля достигает 28%. Содержание клейковины в основном зависит от сорта пшеницы и от условий ее выращивания. В условиях пониженных температур клейковины в зерне накапливается меньше. Поэтому корректировка хлебопекарных свойств муки осуществляется с использованием функциональных добавок. Однако, следует отметить, что чаще всего улучшителями, являются добавки, химического происхождения, что является отрицательным фактором при обсуждающих вопросов безопасности правильного питания.

По результатам исследования активации муки обленихового концентрата, предусматривающий получение обленихового жома, обработку ультразвуком, активацию в течение суток, сушку и измельчение. В результате воздействия собственных ферментов морфология и микроструктура анатомических частей обленихового жома претерпевает изменения. Доказано, что мука обленихового концентрата обладает выраженными и технологическими свойствами и может быть рекомендована не только в качестве источников БАВ, но и функционального ингредиента. При введении муки обленихового концентрата, ее стадии приготовления густой опары в количестве 3% приводит к незначительному снижению содержания клейковины, при этом позволяет улучшить ее качество за счет укреплени.

Библиографический список

- 1.Агибалова, В.С Разработка научно обоснованных рецептур хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности с применением пер- 81 спективных фитообогатителей: дис. ... канд. Сельхоз. наук: 05.18.01 / Агибалова Варвара Сергеевна; [Место защиты: Мичурин. гос. аграр. ун-т]. Воронеж, 2016. 203 с.
- 2.Безотходная переработка плодов обленихи: Рекомендации. Новосибирск, 2009. 40с

3.Матвеева И.В. Хлебопекарные улучшители // Сб. тез. Семинара «Применение пищевых добавок в производстве продуктов питания». СПб, 2005. № 3. С. 47-52;

4.Павлова А.Б., Чиркина Т.Ф. способ использования древесной зелени облепихи в пищевой промышленности // современные научноемкие технологии. 2005. № 5. С. 57-58;

5.Шаззо Азамат Айдомирович, Фролова Елена Александровна, Спильник Елена Павловна, Шаззо Бэла Казбековна Использование нетрадиционного растительного сырья при производстве хлебобулочных изделий функционального назначения // Новые технологии. 2010. №2.

УДК 641.522.8/634.7

**Чернобровина А.Г., канд.техн.наук, доцент
Куликова Н.Е., канд.техн.наук, доцент
Роева Н.Н., д-р хим.наук, профессор
(ФГБОУ ВО Российской биотехнологический
университет; Москва, Россия.)**

ПОЛУЧЕНИЕ ЭКСТРАКТА-ПОЛУФАБРИКАТА ИЗ ЯГОД КЛЮКВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Аннотация: в результате комплексного применения ферментных препаратов, обладающих широким спектром активностей, удалось получить сок-гидролизат ягод клюквы, с новыми, полезными для здоровья функциональными свойствами, за счет увеличения содержания ценных компонентов, в том числе, витаминов, биоактивных флавоноидных веществ и других соединений. Сравнительный анализ сока-гидролизата ягод клюквы и сока, полученного без применения ферментных препаратов, выявил незначительные изменения (увеличения) по содержанию органических кислот в соке-гидролизате. Установлено, что проведение ферментативной обработки (МЭК) ягод клюквы приводит к увеличению экстракции органических кислот (в 1,3-1,5р). Анализ биохимического состава ягод клюквы и продуктов ее переработки сока-гидролизата позволяет рассматривать данные ягоды и сок-гидролизат в качестве ценного полуфабриката для производства продуктов питания.

Ключевые слова: сок-гидролизат, полифенольные вещества, ферментные препараты, биокатализ.

Одной из важных мировых проблем является проблема питания. Взаимосвязь между характером питания и здоровьем доказана многочисленными масштабными исследованиями ученых-диетологов. Увеличение потребления высококалорийных фастфудов, а также продуктов, полученных с использованием искусственных пищевых добавок: ароматизаторов, красителей и консервантов, к сожалению,

подтверждают тот факт, что структура питания изменилась в худшую сторону. Несбалансированное питание, приводит к патологическим изменениям в организме человека, наносит ущерб здоровью: повышается заболеваемость взрослых и детей аллергией, учащаются случаи заболевания ЖКТ, многие люди страдают ожирением, снижается иммунитет, умственная и физическая работоспособность. В этой связи особое внимание уделяется направлению по разработке и производству продуктов питания, обладающих полезными для здоровья свойствами. Одним из важных путей сохранения здоровья нации следует считать новый научно-обоснованный подход к разработке технологий получения продуктов «здорового питания». Эти продукты, являясь источником поступления необходимых нутриентов в организм человека, способны регулировать концентрацию вредных веществ и выполнять защитные функции организма [1].

Последнее направление использования продуктов питания получило наименование функциональное, что подразумевает потребление экологически чистых продуктов естественного происхождения [1,2].

Для разработки таких продуктов часто используется дикорастущее сырье, в том числе плодово-ягодное. Среди лесных ягод особое внимание следует уделить клюкве, поскольку она пользуется популярностью среди населения благодаря ее пользе при употреблении в свежем и переработанном виде. Ягоды клюквы уникальны по своему составу, обладают биозащитными функциями в организме и используются при простудных заболеваниях, а также для профилактики заболеваний. Полезные для здоровья функциональные ингредиенты ягод находятся в оболочке и мякоти ягод в виде связанного каркаса полимеров, поэтому для разрушения целостности биополимеров (полисахаридов, в том числе клетчатки и пектина) и наибольшей их доступности были проведены исследования по оценке эффективности применения современных биокатализаторов при переработке ягод клюквы.

Известно, что ферментативный катализ, основанный на применении препаратов микробного синтеза, во многом способствует интенсификации процессов при переработке плодово-ягодного сырья и существенно повышает сокоотдачу ягод и экстрактивную способность растительной ткани [3,4]. Поэтому применение биокатализитических методов обработки ягод клюквы будет способствовать не только увеличению выхода сока, но и существенному повышению его качества и пищевой ценности за счет извлечения и перевода в растворимую часть продукта целого комплекса натуральных ингредиентов ягод

(полисахаридов, витаминов, органических кислот, биоактивных полифенольных соединений и др.).

Целью нашей работы явились исследования, по применению предварительной биотехнологической обработки ягод клюквы, с целью максимального извлечения функциональных компонентов в сок-полуфабрикат, для последующего его применения в рецептурах пищевых продуктах.

Материалы и методы

В работе использовали ягоды клюквы, собранные в Московской области 2024 г. В качестве ферментных препаратов пектолитического действия применяли ПЕКТИНАЗУ (полигалактуроназа) - сухой ферментный препарат, получен в результате культивирования селекционированного штамма гриба *Aspergillus foetidus* с последующей очисткой и концентрированием. (производитель – биотехнологическая компания Биопрепарат) и целлюлолитического действия ЦЕЛЛЮЛАЗУ - жидкий ферментный препарат, получен путём культивирования селекционированного штамма гриба *Trichoderma reesei* и последующей очистки и концентрирования. Суммарное содержание фенольных соединений определяли модифицированным методом Фолина-Чокальтеу. Суммарное содержание антоцианиновых пигментов проводится методом дифференциальной спектрофотометрии [5]. Определение катехинов в исследуемых образцах проводили методом ОФ ВЭЖХ со спектрофотометрическим детектированием [5]. Редуцирующие сахара определяли ускоренным иодометрическим методом, основанным на определении количества окисленной меди до и после восстановления щелочного раствора меди сахаром, содержание С.В. определяли рефрактометрическим методом, методом титрования определяли кислотность, витамин С – иодометрическим методом, органические кислоты методом ВЭЖХ [5, 6].

Результаты

Применение ферментных препаратов гидролизующих только один вид субстрата не приведет к полной и глубокой биотрансформации полимеров [3,4,6], составляющих основу ягод, поэтому переработку клюквы вели при совместном использовании ферментных препаратов Пектиназа и Целлюлаза, обладающих набором ферментативных систем пектолитического, целлюлолазного и гемицеллюлазного действия.

С учетом имеющихся технологий получения сока, ягоды клюквы дробили, вносили ферментные препараты Пектиназа и Целлюлаза в мезгу в равных концентрациях (рекомендуемых фирмой производителем) и вели обработку в оптимальных для действия ферментов условиях в течение 2-х часов. Об эффективности

комплексного действия ферментов судили по выходу сока. Контролем служил сок, полученный при тех же условиях, но без внесения ферментных препаратов. В результате комплексного применения ферментных препаратов, обладающих широким спектром активностей, удалось получить сок-гидролизат ягод клюквы, с новыми, полезными для здоровья функциональными свойствами, за счет увеличения содержания ценных компонентов, в том числе, витаминов, биоактивных флавоноидных соединений и других соединений, представленных в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика сока и сока-гидролизата ягод клюквы

Показатели	Сок ягод клюквы (контроль)	Сок-гидролизат ягод клюквы
С.В.,%	9,00	10,00
Полифенольные соединения, мг/л	565,00	1245,00
Катехины, мг/л	410,00	615,00
Антоцианы, мг/100мл	156,20	376,40
Лейкоантоцианы, мг/100мл	137,00	155,00
Флаванолы, мг/100мл	160,04	180,00
Кверцитин, мг/100мл	12,23	14,02
Мирицетин, мг/100мл	4,30	5,60
Витамин С, мг/100мл	59,60	76,80
Рибофлавин мг/100мл	0,38	0,65
РВ, в пересчете на глюкозу, г/100мл	3,2	4,7
Титруемая кислотность по лимонной к-те	8,2	9,5
pH	2,3	2,1

Установлено, что проведение ферментативной обработки ягод клюквы приводит к накоплению биологически активных полифенольных соединений (в 2,2 р.), антоцианов (в 2,4 р.), в том числе лейкоантоцианов и катехинов (в 1,5р), участвующих в формировании антиоксидантного статуса организма.

В состав сока-гидролизата также входит целый ряд важнейших витаминов, регулирующих процессы метаболизма и физиологические функции организма. Данные хроматографического анализа свидетельствуют, что концентрация витамина С в соке-гидролизате из ягод клюквы увеличивается в 1.3 раза и составляет 76.8 мг/100 мл против 59,6 мг/100 мл в контрольном образце сока из ягод брусники.

Немаловажное значение отводится органическим кислотам в ягодах клюквы. Органические кислоты, в том числе фенольные кислоты, благоприятно влияют на жировой обмен и активизируют деятельность пищеварительного тракта. Они не повышают кислотную нагрузку на организм человека, поскольку в процессе обмена веществ быстро окисляются [7]. Кроме того, вкус сока-гидролизата, свойственный ягодам, обусловлен, прежде всего, наличием органических кислот в сочетании с сахарами получаемых ферментализаторов. В составе ягод содержится бензойная и салициловая кислоты, благодаря их наличию ягоды, сок и морс обладают антисептическими, антимикробными и жаропонижающими свойствами.

Данные по изучению влияния обработки ягод клюквы ферментными препаратами на выход (экстракцию) органических кислот в сок-гидролизат представлены в табл.2

Таблица 2. Содержание органических кислот в соке и соке-гидролизате из ягод клюквы

Наименование кислоты	Содержание в соке из ягод клюквы, мг/100 мл	Содержание в соке-гидролизате из ягод клюквы, мг/100мл
Лимонная кислота	183	224
Хлорогеновая кислота	7,84	8,77
Урсоловая кислота	115,04	125,34
Бензойная кислота	72,90	103,80
Салициловая кислота	7,78	9,78

Сравнительный анализ сока-гидролизата ягод клюквы и сока, полученного без применения ферментных препаратов, выявил незначительные изменения (увеличения) по содержанию органических кислот в соке-гидролизате. Установлено, что проведение ферментативной обработки (МЭК) мезги ягод клюквы приводит к увеличению выхода в сок – гидролизат органических кислот (в 1,3-1,5p),

Анализ биохимического состава ягод клюквы и продуктов ее переработки сока-гидролизата позволяет рассматривать данные ягоды и сок-гидролизат в качестве ценного полуфабриката для производства продуктов питания. Поэтому для наиболее широкого применения сока-гидролизата в пищевых технологиях был получен концентрат сока-гидролизата ягод клюквы (КСГК), который увеличивает технологические свойства продукта. В процессе концентрирования

повышаются микробиологические показатели, способствующие увеличению сроков хранения, а также увеличиваются антирадикальные свойства, благодаря увеличению концентрации соединений, обладающих антиоксидантными свойствами.

Наиболее перспективным направлением применения КСГК (концентрат сока-гидролизата клюквы) является разработка рецептур пищевых продуктов повышенной биологической ценности. В лабораторных условиях проведены исследования по применению концентрата - гидролизата ягод клюквы при производстве безалкогольных напитков, кондитерских и хлебобулочных изделий.

По результатам исследований разработаны рецептуры безалкогольных сокосодержащих напитков. Состав напитков обогащен комплексом полезных для здоровья природных ингредиентов, входящих в состав концентрата: антицианов, обеспечивающих приятный цвет напитку, органических кислот, создающих сбалансированный вкус, полифенольных соединений, витаминов и минеральных веществ, обуславливающих антиоксидантные свойства напитка.

Такие напитки повышают иммунитет, способствуют усвоению других продуктов, оказывают адаптогенное, антистрессовое, общеукрепляющее действие, способствуют очищению организма, сохранению здоровья и увеличению продолжительности жизни [1,3,4,7]. Они прекрасно подходят для диетического питания, диабетического питания и питания для детей. Ведутся дальнейшие исследования по применению ферментативных в рецептурах кондитерских изделий, которые будут содержать в своем составе целый ряд натуральных физиологически активных ингредиентов, свойственных ягодам клюквы.

Таким образом, получение пищевых продуктов на основе натурального сырья позволит не только решить проблемы рационального использования плодов и ягод, но и эффективно использовать высокую пищевую ценность сырья и его функциональные свойства, что, в совокупности, сделает питание человека более сбалансированным и здоровым.

Библиографический список

1. Акимов М. Ю., Макаров В. Н., Жбанова Е. В. Роль плодов и ягод в обеспечении человека жизненно важными биологически активными веществами // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. №. 2. С. 56-60.
2. Перегончая О. В. и др. Сравнительный анализ состава ягод дикоросов как обогащающих пищевых ингредиентов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2023. Т. 11. №. 3. С. 23-30.
3. Чечеткина А. Ю. и др. Комплексная переработка ягод брусники и клюквы // Ползуновский вестник. 2021. №. 2. С. 75-81.
4. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Куликова Н.Е., Попова О.Ю. Ферментативная соковая фракция дикорастущих ягод: получение, аналитическое изучение ингредиентного состава и перспективы его применения. //Пиво и напитки: безалкогольные, алкогольные, соки, вино. 2020. №2. С. 34-39.
5. Эллер К.И., [и др.] Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России. 2004. 240 с.
6. Ермаков А.И. и др. Методы биохимического исследований растений. Л : Агропромиздат, Ленинградское отд., 1987. 432с.
7. Абрамова И.М, Морозова С.С., Головачева С.С., Галлямова Л.П., Шубина Н.А Эффективность применения ферментных препаратов для обработки плодово-ягодного сырья при приготовлении полуфабрикатов для ликероводочных изделий //Пищевая промышленность. 2018. №. 11. С. 85-89.

УДК 663.052

Шалота Н.В., аспирант

(Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия)

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА КСАНТАНОВОЙ КАМЕДИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Аннотация: Ксантановая камедь – производимый биотехнологическим способом полисахарид, который широко используется как загуститель в пищевой промышленности, а также в нефтедобывающей, фармацевтической, косметической и других отраслях. По результатам анализа рынка полисахарида показано, что ксантановая камедь имеет большое значение для импортозамещения в Российской Федерации. Обосновано, что использование вторичного растительного сырья (мелассы свекловичной и кукурузного экстракта) в питательных средах для биосинтеза

ксантана целесообразно для уменьшения затрат на производство полисахарида. Совершенствование биотехнологии синтеза ксантановой камеди с целью повышения экономической эффективности производства является актуальным.

Ключевые слова: ксантановая камедь, биотехнология, *Xanthomonas campestris*, пищевая добавка, вторичное растительное сырье, меласса свекловичная, кукурузный экстракт

Микробные полисахариды находят широкое применение во многих отраслях экономики. Это обусловлено всё возрастающим в современных условиях интересом к полимерным материалам, безопасным для окружающей среды, а также большим разнообразием ценных практических свойств биополимеров [1]. Среди известных в настоящее время микробных полисахаридов наибольшее значение для применения в промышленности имеет ксантановая камедь. Ксантановая камедь – водорастворимый экзополисахарид, продуcentом которого являются мезофильные аэробные бактерии рода *Xanthomonas* [2].

Ксантан широко используется в пищевой, нефтедобывающей, фармацевтической, текстильной промышленности, а также в растениеводстве, медицине, в производстве косметических средств, бытовой химии и других продуктов [3]. В зависимости от цели применения ксантан выполняет функцию загустителя, стабилизатора консистенции, влагоудерживающего компонента или носителя. Многообразие сфер применения ксантана связано с физико-химическими и технологическими свойствами полисахарида. К преимуществам ксантана относится устойчивость вязкой среды к воздействию как высокой, так и низкой температуры; сохранение высокой вязкости в широком диапазоне значений pH среды; стабильность при замораживании-дефростации; снижение вязкости при перемешивании; эффективность при низких концентрациях; микробиологическая устойчивость при хранении; стабильность в растворах солей и т. д. [4] Эти свойства позволяют применять ксантан в составе при различных видах технологической обработки продукции.

В пищевой промышленности ксантан используется при производстве кисломолочных (в частности, йогуртов, десертов), мясных продуктов, майонезов, соусов, хлебобулочных изделий, фруктовых начинок, напитков, низкокалорийных и функциональных продуктов питания и многих других продуктов. Ксантан признан безопасным веществом для здоровья человека. Загуститель разрешен к применению как пищевая добавка Е415 в продуктах питания в Российской Федерации [5].

Помимо вышеназванных отраслей развиваются новые области применения ксантана. Так, ксантан рассматривается в качестве компонента экологически безопасных упаковочных материалов для пищевых продуктов [6, 7]. Это представляет интерес в будущем для создания комбинированных покрытий на основе ксантана и других биополимеров, используемых как заменители трудно утилизируемых синтетических полимеров.

В настоящее время на российском рынке ксантан полностью представлен товарными формами импортного производства. Следует отметить, что объем использования ксантана в промышленности ежегодно растет, при этом на данный момент в России производство ксантана отсутствует. В связи с этим ксантановая камедь является одним из ключевых продуктов, подлежащих импортозамещению в Российской Федерации [8].

Как видно из определения, приведенного в начале статьи, ксантановая камедь производится только методом микробного синтеза. Продуценты ксантана являются удобным биотехнологическим объектом. Так, для выделения ксантана из культуральной жидкости не требуется дезинтеграция клеток продуцента ввиду того, что данный полисахарид является экзометаболитом. Помимо этого свойства ксантана зависят от состава питательной среды и режима культивирования продуцента [3]. Следовательно, регулируя условия культивирования, можно синтезировать полисахарид с определенной молекулярной массой и технологическими свойствами, необходимыми для конкретной области применения. Кроме того, сырьем для производства ксантана могут быть дешевые, накапливающиеся в больших объемах вторичные продукты пищевых и перерабатывающих предприятий. Использование вторичного растительного сырья (мелассы свекловичной и кукурузного экстракта) в составе питательных сред для биосинтеза ксантана позволяет уменьшить затраты на производство и повысить его экономическую эффективность [9].

Таким образом, можно сделать вывод, что проведение исследования по совершенствованию биотехнологии синтеза ксантановой камеди с целью создания экономически эффективного способа производства пищевой добавки является актуальным.

Библиографический список

1. Получение бактериальных экзополисахаридов на средах с отходами биотехнологических производств / А. О. Богатырева [и др.] // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 24. С. 142–145.

2. Осовская И. И., Васильева А. П., Бородина А. М. Дополнительные главы технологии полимерных материалов. Водорастворимые полимеры: учебное пособие. СПб: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. 63 с.
3. Характеристика нового штамма *Xanthomonas campestris* M 28 – продуцента ксантана, исследование генома, условий культивирования и физико-химических и реологических свойств полисахарида / В. В. Ревин [и др.] // Прикладная биохимия и микробиология. 2021. Т. 57, № 3. С. 251–261.
4. Xanthan Gum Production of *Xanthomonas* spp. Isolated from Different Plants / T. Gümüş [et al.] // Food Science and Biotechnology. 2010. No. 19. Pp. 201–206.
5. Технический регламент Таможенного союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» ТР ТС 029/2012 [Электронный ресурс] : принят Решением Совета ЕЭК от 20 июля 2012 г. № 58. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902359401> (дата обращения: 01.10.2022).
6. Использование полисахаридных биоразлагаемых материалов для первичной упаковки пищевых продуктов / К. Е. Белоглазова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 1 (367). С. 61–64.
7. Комбинированные съедобные пленки на основе ксантановой камеди / Д. Е. Быков [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, № 2. С. 110–116.
8. План мероприятий по импортозамещению в отрасли химической промышленности Российской Федерации [Электронный ресурс] : приказ Минпромторга России от 15 ноября 2022 г. № 4743. URL: https://consultant.ru/document/cons_doc_LAW_433376 (дата обращения: 10.12.2022).
9. Шалота Н. В. Разработка элементов технологии биосинтеза ксантановой камеди из вторичного растительного сырья: выпускная квалификационная работа / Шалота Никита Владиславович. Краснодар, 2024. 95 с.

УДК 637.3.04

Юнович Д.Д., магистрант
Василенко М.И., канд. биол. наук, доцент
(Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
БАКТЕРИЙ *LACTOBACILLUS BULGARICUS* В СОСТАВЕ
СЫРНЫХ ЗАКВАСОК**

Аннотация: В статье представлено исследование свойств заквасочных микроорганизмов вида *Lactobacillus bulgaricus* с целью их использования в составе бактериальных заквасок для производства сыра. В ходе исследования проведен анализ технологически значимых параметров для созревающих сыров в различных условиях, а также их влияние на органолептические

свойства конечного продукта. Результаты экспериментов демонстрируют потенциал *Lactobacillus bulgaricus* для улучшения текстуры и аромата сыров. Ключевые слова: болгарская палочка, культивирование, бактериальная закваска, ростовые характеристики, интенсивность кислотообразования.

Одним из ключевых компонентов процесса производства сыра является закваска, представляющая собой смесь живых микроорганизмов, необходимых для ферментации молока. В последние годы в сыроделии всё более широкое применение находят различные добавки, которые стимулируют и улучшают процесс создания закваски. Одной из таких добавок является болгарская палочка, или *Lactobacillus bulgaricus*, известная своими уникальными свойствами.

Lactobacillus bulgaricus – один из ключевых микроорганизмов, используемых в производстве молочных продуктов, особенно йогуртов. Болгарская палочка играет важную роль в ферментации и созревании молока, обладая способностью преобразовывать лактозу в молочные кислоты, что способствует улучшению вкусовых качеств и продлению срока хранения.

Болгарская палочка может применяться в производстве итальянских сыров (кашотта, пармезан), которые требуют термофильных условий. В этих случаях она часто сочетается с другими термофильными бактериями, такими как *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus helveticus*, для достижения необходимой кислотности и текстуры сыра [1].

Lactobacillus bulgaricus является сильным кислотообразователем: уровень кислотности варьируется в пределах 200-350 °Т в зависимости от штамма. В процессе гликолиза эти микроорганизмы в основном производят D(-) молочную кислоту, а также небольшие количества органических кислот (муравьиная и уксусная кислоты) и ацетальдегида, которые придают ферментированным молочным продуктам характерный йогуртовый вкус и аромат [2].

Использование *Lactobacillus bulgaricus* не только улучшает органолептические свойства сыров, но и открывает возможности для создания функциональных продуктов, таких как сыры с повышенным содержанием гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК) или обогащённые фолатами [3].

Некоторые исследования указывают на то, что применение *Lactobacillus bulgaricus* позволит регулировать цвет продукции, придавая ей более однородный и привлекательный вид. Такое преимущество достигается несколькими факторами. Наиболее важным из них является, ферментация, в процессе которой происходит

изменение рН среды, влияющее на растворимость пигментов и других компонентов, что приводит к более однородному цвету. Кроме того, некоторые штаммы могут иметь антиоксидантные свойства, что помогает предотвратить окисление и изменение цвета продукта, сохранить яркость и насыщенность цвета в течение более длительного времени [4].

Продукция, изготовленная с добавлением *Lactobacillus bulgaricus*, демонстрирует более длительный срок хранения благодаря микрофлоре, которая подавляет рост патогенных микроорганизмов. Это связано с образованием метаболитов, ингибирующих развитие *spoilage*-микроорганизмов.

Болгарская палочка может взаимодействовать с другими микроорганизмами в закваске, подобно тому, как она взаимодействует с термофильным стрептококком при производстве йогурта [5].

В данной статье приводятся результаты анализ параметров, имеющих технологическое значение для процесса созревания сыров, таких как ростовые характеристики и интенсивность кислотообразования (активная и титруемая кислотности) производственных штаммов *Lactobacillus bulgaricus*.

Для изучения способности *Lactobacillus bulgaricus* обеспечить необходимые условия при производстве и созревании сыров были протестированы два производственных штамма, входящих в состав бактериальных заквасок для сыров с низкой температурой второго нагревания, полученных в ходе собственных исследований.

Микробиологический состав бактериальных заквасок, используемых для исследования ростовых характеристик и интенсивности кислотообразования, представлен в табл. 1.

Таблица 1. Микробиологический состав бактериальных заквасок

Номер образца	Бактериальная формула	Состав микрофлоры
1	StST, LbDB	<i>Streptococcus thermophilus, Lactobacillus bulgaricus</i>
2	LbH, StST, LbDB	<i>Lactobacillus helveticus, Streptococcus thermophilus, Lactobacillus bulgaricus</i>

В рамках наших исследований была поставлена задача изучить особенности развития штаммов *Lactobacillus bulgaricus* при технологически важных температурах хранения, созревания и

культтивирования (4 ± 2 °C; 10 ± 2 °C; 40 ± 2 °C, соответственно), а также проанализировать динамику метаболизма лактозы в процессе превращения в молочную кислоту, контролируя изменения титруемой и активной кислотностях.

Результаты анализа представлены рисунке 1. На графиках хорошо видно, что при оптимальных условиях культивирования (40 ± 2 °C) максимальный прирост клеток бактерий в жидкой молочной среде наблюдается к 24 часам и составляет $6,0-9,0 \times 10^8$ КОЕ/см³. Среда культивирования имела стандартный состав и включала такие компоненты, как молоко, сахар, минералы, вода, витамины. При этом все изученные штаммы демонстрировали схожие показатели с минимальными отклонениями от средних значений для данного вида.

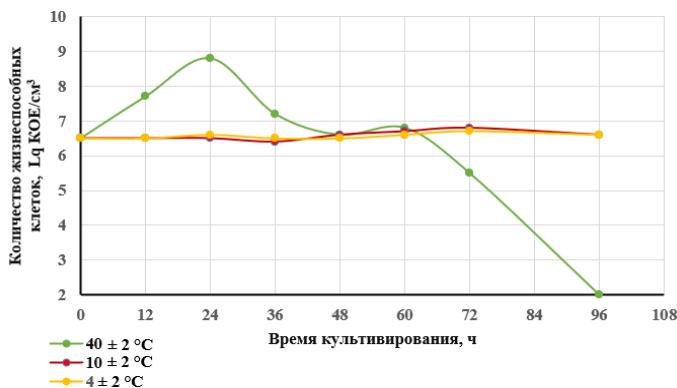


Рис. 1. Динамики роста штаммов *Lactobacillus bulgaricus* в различных температурных условиях культивирования.

После достижения максимального количества клеток, через 24 часа культивирования при оптимальной температуре, штаммы болгарской палочки быстро переходили в стадию вымирания. Скорость вымирания клеток в этих условиях являлась весьма высокой, и к 96 часам с момента начала культивирования объем клеточной массы уменьшился на шесть порядков и составил 10^2 КОЕ/см³. Таким образом, для болгарской палочки критически важно обеспечить быстрое охлаждение молочной среды после достижения максимального числа жизнеспособных клеток.

При температуре 10°C и 4°C все штаммы болгарской палочки не развивались, что подтверждалось отсутствием увеличения количества жизнеспособных клеток по сравнению с исходным уровнем. Таким

образом, болгарская палочка не имеет способности к росту и развитию при температурах, ниже оптимальных для созревания и хранения сыра.

Средние значения динамики титруемой кислотности ($^{\circ}\text{T}$) *Lactobacillus bulgaricus* при разных температурах культивирования в молочной среде представлены на рис. 2. Кислотообразующая активность, а именно титруемая кислотность испытуемых штаммов болгарской палочки в оптимальных температурных режимах, т.е. при 40 ± 2 $^{\circ}\text{C}$, в среднем колебалась в интервале 200-270 $^{\circ}\text{T}$. На стадии экспоненциального роста через 6-8 часов культивирования разброс показателей титруемой кислотности между штаммами минимальный, что полностью согласуется с результатами по приросту количества жизнеспособных клеток.

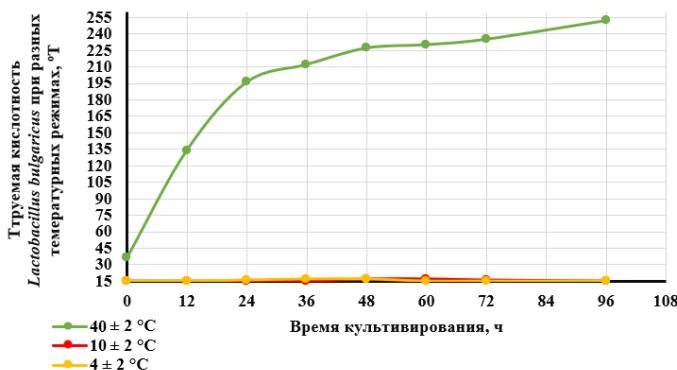


Рис. 2. Средние значения титруемой кислотности ($^{\circ}\text{T}$) *Lactobacillus bulgaricus* при разных температурах культивирования в молочной среде.

Минимальные значения pH (активная кислотность) для всех штаммов болгарской палочки достигались к 24 часам культивирования и составляли 3,4-3,6 ед. pH, что указывало на то, что штаммы эффективно ферментировали углеводы, производя кислоты, которые снижали уровень pH среды, а так же свидетельствовало о значительной ацидофильности микроорганизмов данного вида. Средние значения активной кислотности (pH) *Lactobacillus bulgaricus* при разных температурах культивирования в молочной среде представлены на рис. 3.

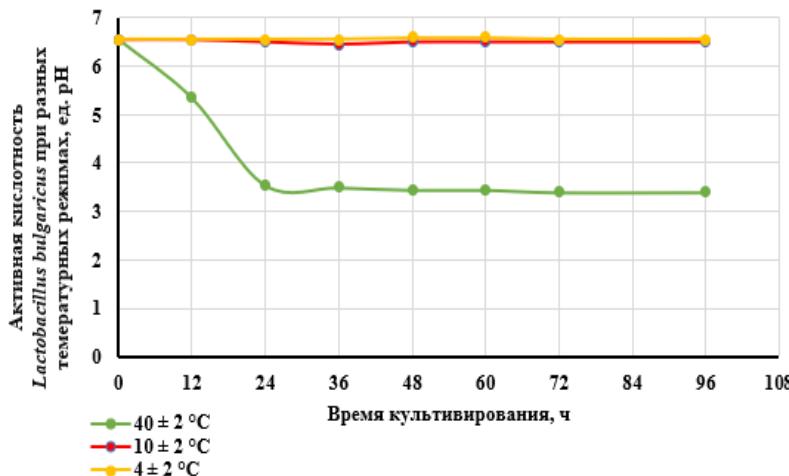


Рис. 3. Средние значения активной кислотности (pH) *Lactobacillus bulgaricus* при разных температурных режимах культивирования в молочной среде.

При низких температурах, таких как 10 °C и 4 °C, активность производственных штаммов *Lactobacillus bulgaricus* значительно снизилась. Это объясняется тем, что процессы ферментации, включая метаболизм лактозы, связанный с образованием молочной кислоты, практически остановились, результатом чего явилось, отсутствие прироста титруемой кислотности и снижение активной кислотности.

В заключении важно отметить, что полученные данные подтверждают целесообразность использования *Lactobacillus bulgaricus* в технологиях производства сыров и открывают новые горизонты для разработки высококачественных заквасок, соответствующих требованиям современного потребителя.

Библиографический список

1. Беспоместных, К. В. Исследование биохимических и морфологических свойств штаммов бактерий рода *Lactobacillus* / К. В. Беспоместных, А. Г. Галстян, Е. В. Короткая // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 2. С. 94-98.
2. Молоко и молочная продукция: актуальные вопросы производства: сборник материалов международной научно-практической конференции 22-24 июня 2021 г. Углич, ВНИИМС – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 2021.378 с.

3. Оценка поступления гамма-аминомасляной кислоты с рационом питания человека / В. А. Саркисян, А. А. Кочеткова, В. В. Бессонов [и др.] // Вопросы питания. 2024. Т. 93, № 1. С. 120-124.

4. Бактерии рода *Lactobacillus*: общая характеристика и методы работы с ними: Учебно-методическое пособие / Д.Р. Яруллина, Р.Ф. Фахруллин. Казань: Казанский университет, 2014. 51 с.

5. Микробиология молока и молочных продуктов: учебное пособие / канд. биол. наук, доц. В.В. Зарицкая; канд. техн. наук Ю. И. Держапольская. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного гос. аграрного ун-та, 2017. 89 с.

Секция 2. БИОКОНВЕРСИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИ

УДК 663.18.

Куликова Н.Е., канд.техн.наук,
Чернобровина А. Г., канд. техн.наук,
Максимова В.В., студент,
Волчецкая М.А., студент
(Российский биотехнологический университет,
г. Москва, Россия)

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА БИОСМЕСИ НА ОБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ДРОЖЖЕВЫХ КЛЕТОК ПРИ АКТИВАЦИИ

Аннотация: Настоящая научная работа посвящена изучению влияния биосмеси, состоящей из сока картофельного крахмала и молочной сыворотки - как вторичного сырья пищевой промышленности, на обменные процессы дрожжевых клеток при активации. Изучен химический и физико-химический состав ингредиентов биосмеси, что позволило выявить положительную тенденцию к значительному улучшению бродильной активности хлебопекарных дрожжей.

Ключевые слова: дрожжи, активация, биосмесь, клеточный сок картофеля, молочная сыворотка.

Введение. Состав питательной среды предопределяет активность ферментов дрожжей и интенсивность биохимических реакций, без которых невозможен процесс брожения. Взаимосвязь клеток с питательной средой зависит от доступности веществ среды для вовлечения их в процесс метаболизма [1].

Многими исследователями показано, что большое значение для жизнедеятельности дрожжевой клетки имеют ионы металлов [1-13].

Очень часто присутствие того или иного иона металла является необходимым для работы ферментов клетки, в ряде случаев они могут входить в активный центр фермента, влиять на взаимную ориентацию разных участков молекулы белка или других макромолекул. Важная роль отводится ионам металлов и в транспорте питательных веществ [2, 3].

Известно, что наиболее эффективному восстановлению бродильных функций анаэробных дрожжевых клеток способствует их предварительная реактивация в питательных средах, содержащих легко сбраживаемые сахара [2, 4].

До настоящего времени конкретный механизм проникновения углеводов в клетки микроорганизмов остается невыясненным, однако по мнению многих исследователей, важную роль в этом процессе играют ионы таких металлов, как калий и натрий [1-6],

Ряд авторов считают, что перенос питательных веществ в клетку осуществляется путем активного транспорта ионов, который происходит в результате связывания K/Na - зависимой АТФ ионов натрия в клетке и последующим обменом их на ионы калия внешней среды [3-7]. При этом имеет место большой перепад концентраций ионов натрия с двух сторон клеточной мембраны, что по мнению этих авторов приводит в движение белковые насосы, транспортирующие в клетку глюкозу и другие питательные вещества. Предполагают также, что связывание натрия с K/Na - зависимой АТФ существенно повышает сродство фермента к глюкозе [1-2].

В свою очередь, наличие в среде сахаров способствует проникновению в дрожжевые клетки таких катионов, как калий и магний [2-5]. Поступление этих двухвалентных катионов в клетки осуществляется мембранными переносчиками, которые синтезируют только за время ферментации дрожжами сахаров в присутствии ионов калия.

Ранее Куликовой Н. Е. и др. [4] была показана возможность и разработаны условия активации хлебопекарных дрожжей в биосмеси состоявшей из клеточного сока картофеля и молочной сыворотки, являющихся вторичными продуктами пищевой промышленности, содержащих сахара, аминокислоты, витамины, минеральные вещества и другие полезные ингредиенты.

Целью настоящей работы является изучение влияние состава биосмеси, на обменные процессы дрожжевых клеток при активации в данных условиях.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследований использовали три образца сушенных дрожжей I сорта (таблица 1).

Таблица 1. Характеристика сушенных дрожжей.

Наименование показателя	ед. измерения	Показатели качества проб сушенных дрожжей		
		1	2	3
подъемная сила стандартный метод	мин	90	103	112
подъемная сила ускоренный метод	мин	26,2	29,5	33,0
влажность	%	8,0	9,0	9,0
стойкость	месяц	6.....9	4.....5	не более 3

Модельная система биодобавки в питательную среду для активации дрожжей состоит из равных объемов 1:1 клеточного сока картофеля и молочной сыворотки, pH молочной сыворотки 4,0-4,2; содержание СВ в клеточном соке картофеля 5,0 (масс), температура реактивации 30-32Со, продолжительность реактивации 60 минут [4]. Определение содержания некоторых микроэлементов (Cu+2, Cd+2, Zn+2, Pb+2) в биосмеси проводили методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе с чувствительностью на уровне 1/10 допустимого уровня (ПДК) и ниже. Содержание ионов калия и натрия в питательных средах определяли методом эмиссионного анализа на пламенном фотометре ПФА 378. Анализ содержания ионов кальция и магния проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии в пламени на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS 7090G. Анализ углеводного состава проводили методом высокоэффективной гель-хроматографии в системе «Spektrophysics» и хроматографа «Dionex». Подъемную силу дрожжей определяли по быстроте подъема теста, а также по методу всплывающего шарика [2-6]. Ферментативную активность дрожжей оценивали по активности β -фруктофuranозидазы и α -глюказидазы газометрическим методом [4-8].

В качестве субстратов использовали водные растворы глюкозы, фруктозы и их смесь, а также эти растворы с добавлением ионов металлов (K+, Na+, Ca2+, Mg 2+). Концентрация углеводов и металлов

в растворах была равна их содержанию в биосмеси клеточного сока картофеля и молочной сыворотки, в которой также контролировали изменение содержания углеводов в процессе активации дрожжей.

Дрожжи инкубировали в этих средах при 30...32°C в течение 90 минут, через определенные промежутки времени отбирали пробы, которые подвергали центрифугированию для отделения дрожжевых клеток, и затем в надосадочной жидкости определяли содержание глюкозы и фруктозы.

Результаты и обсуждения.

Исследован углеводный и минеральный состав в исследуемых биодобавках (смесь клеточного сока картофеля и молочной сыворотки), показано, что они богаты такими ионами, как K+, Na+, Ca2+, Mg 2+, кроме того в небольших количествах содержатся ионы Zn2+, Cu2+, Fe3+, Mn2+, ионы Mo2+, Pb2+, Cd2+ обнаружены не были (таблица 2).

Таблица 2. Углеводный и минеральный состав биодобавок.

Компоненты	Содержание компонентов в объектах исследования
Углеводы. г/100г СВ	
глюкоза	12,4±0,0200
фруктоза	10,9±0,0100
сахароза	0,34±0,0001
мальтоза	0,07±0,0001
Минеральные вещества /100г СВ	
K+	1661±1,000
Na+	76±0,1000
Ca2+	43±0,2000
Mg 2+	37±0,0200
Cu2+	
Zn2+	0,398±0,0230
Fe3+	2,11±0,1200
	0±0,0001

Ионы отдельных металлов могут оказывать различное влияние на жизнедеятельность дрожжевых клеток. С целью выяснения влияния отдельных ионов металлов, обнаруженных в биодобавках на бродильную активность дрожжей, определяли подъемную силу и ферментативную активность дрожжей, после инкубации их в растворах, содержащих ионы металлов в концентрациях, соответствующих их содержанию в биосмеси. Данные этих исследований представлены в таблице 3.

Таблица 3. Влияние ионов металлов на бродильные свойства дрожжей.

Вариант опыта	Подъемная сила дрожжей	Ферментативная активность, мин	
		β -фруктофуранозидазы	α -глюкозидазы
Контроль	29,9	61±0,1	185±0,2
Ca ²⁺	31,7	67±0,1	206±0,1
Mg ²⁺	25,3	55±0,2	165±0,01
Na ⁺	28,0	58±0,001	185±0,2
K ⁺	28,7	62±0,02	185±0,1
Zn ²⁺	29,5	62±0,01	180±0,02
Cu ²⁺	32,8	65±0,002	200±0,2

Как видно из таблицы 3. калий, цинк и натрий практически не оказывают влияния на подъемную силу и ферментативную активность дрожжей, а ионы кальция и меди даже вызывают ухудшение этих показателей и лишь присутствие в среде ионов магния несколько улучшает бродильную активность дрожжей. Методом газожидкостной хроматографии нами был изучен состав сахаров исследуемых биодобавок (табл.2). Анализ полученных данных показал, что сбраживаемые дрожжами сахара в биодобавках представлены в основном глюкозой и фруктозой, содержится также сахароза и в небольших количествах мальтоза.

С целью изучения влияния обнаруженных в биодобавках сахаров и ионов металлов на бродильные свойства дрожжей готовили модельные смеси, представляющие собой водные растворы с содержанием этих компонентов, близким и содержанию сахаров и ионов металлов в биосмеси клеточного сока картофеля и молочной сыворотки. В этих растворах при оптимальных условиях инкубировали дрожжи и затем определяли их подъемную силу и ферментативную активность (табл.4). Для сравнения в таблице

приведены также данные при активации дрожжей в биосмеси клеточного сока картофеля и молочной сыворотки.

Таблица 4. Влияние состава реактивационной среды на бродильную активность сушеных хлебопекарных дрожжей.

Состав инкубационной среды	Подъемная сила дрожжей сек	Ферментативная активность, мин	
		β -фруктофуранозидазы	α -фруктофуранозидазы
Вода (контроль)	дрожжи	29,6±0,3	60±0,15.
сока картофеля и сывороткой		18,5±0,1	40±0,12
Раствор, сахаров		21,5±0,2	47±0,023
Раствор, содержащий, растворы сахаров.		28,6±0,25	58±0,2
Раствор сахаров совместно с ионами металлов		16,0±0,20	35±0,3

Как видно из представленных данных, присутствие в среде сахаров улучшает показатели бродильной активности дрожжей. При инкубации дрожжей в растворе, содержащем только ионы металлов заметного изменения их бродильных свойств не наблюдается. В то же время при применении раствора сахаров совместно с ионами металлов показатели бродильной активности дрожжей улучшались в большей степени, чем после инкубации их в растворе углеводов. В период выдерживания дрожжей в этих растворах изучали также процесс газообразования. Установлено, что интенсивнее процесс накопления диоксида углерода протекает в среде, содержащей сахара и ионы металлов. Уже после первых 10 минут выдерживания дрожжей в этой

среде скорость газообразования была на 10...15 % выше по сравнению с инкубацией дрожжей в углеводной среде.

Таким образом, из полученных данных следует, что ионы металлов в тех концентрациях, в которых они содержатся в биосмеси, индивидуально практически не влияют на бродильную активность дрожжей, однако их добавление в раствор сахаров вызывает заметное повышение ферментативной активности и улучшение подъемной силы дрожжей.

До настоящего времени конкретный механизм проникновения углеводов в клетки микроорганизмов остается невыясненным, однако по мнению многих исследователей, важную роль в этом процессе играют ионы таких металлов, как калий и натрий [8-15]. Ряд авторов считают, что перенос питательных веществ в клетку осуществляется путем активного транспорта ионов, который происходит в результате связывания K/Na - зависимой АТФ ионов натрия в клетке и последующим обменом их на ионы калия внешней среды [3-8]. При этом имеет место большой перепад концентраций ионов натрия с двух сторон клеточной мембранны, что по мнению этих авторов приводит в движение белковые насосы, транспортирующие в клетку глюкозу и другие питательные вещества. Предполагают также, что связывание натрия с K/Na - зависимой АТФ существенно повышает средство фермента к глюкозе [1, 9].

В свою очередь, наличие в среде сахаров способствует проникновению в дрожевые клетки таких катионов, как калий и магний [13-15]. По мнению автора, поступление этих двухвалентных катионов в клетки осуществляется мембранными переносчиками, которые синтезируют только за время ферментации дрожжами сахаров в присутствии ионов калия. Учитывая вышеизложенное, а также полученные нами результаты (табл. 3.), целесообразным представлялось провести исследования по влиянию ионов металлов K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, содержащихся в биодобавках, на процесс ассимиляции дрожжевыми клетками сахаров, а также изучить, как при этом изменяется концентрация этих ионов в среде.

В качестве субстратов использовали водные растворы глюкозы, фруктозы и их смесь, а также эти растворы с добавлением ионов металлов (K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺). Концентрация углеводов и металлов в растворах была равна их содержанию в биосмеси клеточного сока картофеля и молочной сыворотки, в которой также контролировали изменение содержания углеводов в процессе активации дрожжей.

Дрожжи инкубировали в этих средах при 30...32°C в течение 90 минут, через определенные промежутки времени отбирали пробы,

которые подвергали центрифугированию для отделения дрожжевых клеток, и затем в надосадочной жидкости определяли содержание глюкозы и фруктозы.

Результаты показали, что, глюкоза дрожжами начинает сбраживаться сразу же после добавления растворов, содержащих этот углевод. Активное усвоение фруктозы в течение всего периода инкубации наблюдается только в отсутствие в среде глюкозы, а в растворах, содержащих одновременно оба сахара, к числу которых относится и биосмесь, т.е, тогда, когда концентрация глюкозы в среде снизится почти вдвое. Это можно объяснить тем, что глюкоза обладает способностью вызывать метаболитную репрессию, в результате чего подавляется синтез ряда индуцированных ферментов [2-11]. Фруктозоизомераза, под действием которой фруктоза превращается в глюкозу, является также индуцированным ферментом и ее синтез, по-видимому, зависит от наличия и концентрации глюкозы в среде.

Результаты проведенных исследований показали, что присутствие ионов металлов в среде способствует более интенсивному усвоению дрожжевыми клетками сахаров (глюкозы, фруктозы). Так, на протяжении всего периода инкубации дрожжей в модельной смеси, содержащей сахара и ионы металлов наблюдается снижение в ней содержания глюкозы и фруктозы в среднем на 25...30% по сравнению с инкубацией сушеных дрожжей в углеводной среде без ионов металлов. При этом следует отметить, что из модельной смеси сахаров и ионов металлов дрожжи усваивают даже несколько большее количество углеводов, чем из биосмеси клеточного сока картофеля и молочной сыворотки. Это может быть связано с тем, что клеточный сок картофеля и молочная сыворотка представляет собой достаточно сложную биологическую систему, в которую входит целый ряд веществ, способных оказывать не только активирующее, но и, по-видимому, некоторое угнетающее действие на дрожжевые клетки.

В процессе ферментации дрожжами углеводов, среды анализировали также на содержание ионов металлов. Результаты этих исследований представлены в табл.5.

Таблица 5. Изменение содержания ионов металлов в инкубационной среде.

Продолжительность инкубации, мин	Содержание ионов металлов, кг/100 мл среды			
	K ⁺	Na ⁺	Ca ⁺	Mg ⁺²
0		4,5±0,01	2,6±0,01	2,2±0,02
	100±0,2	5,1±0,01	2,60,003	2,2±0,015
15	96±0,01	7,0±0,002	2,6±0,002	2,1±0,01
30	90±0,02	7,5±0,003	2,4±0,01	2,0±0,005
45	87±0,01	7,1±0,002	2,4±0,01	2,0±0,02
60	92±0,01	7,1±0,01	2,3±0,01	1,8±0,01
75	95±0,013	6,8±0,01	2,1±0,003	1,5±0,001
90	97±0,013	68±0,013	2,1±0,013	1,5±0,013

Из представленных данных следует, что при сбраживании дрожжевыми клетками углеводов в присутствии ионов металлов наблюдается некоторое снижение содержания ионов кальция и магния в среде, а также имеют место заметные колебания концентрации ионов калия и натрия. Причем в первые 45 минут инкубации происходит снижение содержания ионов калия и увеличение содержания ионов натрия, а затем (через 60...90 мин) - наоборот: некоторое увеличение концентрации в среде ионов калия и снижение содержания ионов натрия.

Аналогичные результаты были получены и при активации прессованных дрожжей в модельных системах, содержащих ионы металлов и сахара.

Таким образом, на основании проведенных экспериментов можно заключить, что присутствие ионов металлов при ферментации клетками углеводов среды приводит к значительному улучшению бродильной активности дрожжей, что обусловлено более эффективной утилизацией сахаров, проникновению которых в клетку, по-видимому, способствуют ионы металлов.

Библиографический список

1. Маслов А. В., Мингалеева З. Ш., Решетник О. А. Применение грибного порошка вёшенки обыкновенной для активации прессованных хлебопекарных дрожжей //Индустрія питання/Food Industry. 2020, 5(4), 38-44. DOI 10.29141/2500-1922-2020-5-4-6
2. Лукина О. В., Лукина Д. В. Анализ способов и технических средств, предназначенных для активации хлебопекарных дрожжей //Вестник Курганской ГСХА. 2013, 4 (8), 82-84
3. Савчик А. В., Новик Г. И. Каротиноидсинтезирующие дрожжевые грибы и их применение в биотехнологии (обзор литературы) //Пищевая промышленность: наука и технологии. 2021,13(3), 70-83
4. Куликова Н.Е., Чернобровина А.Г., Роева Н.Н. Эффективность некоторых биологических добавок из побочных продуктов пищевой промышленности при активации хлебопекарных дрожжей //Химия и химическая технология. 2024. т. 2024. №. 3. с. 8.
5. Русина И. М., Колесник И. М. Порошок томатов как перспективная добавка для активации хлебопекарных дрожжей при производстве крекеров //Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. 2020, 10(1), 66-77
6. Федосеева О. В. и др. Исследование эффективности применения пищевой добавки" Порошок грушевый" для активации хлебопекарных прессованных дрожжей //Новые технологии. 2018, (1). 94-99.
7. Корнен Н. Н. и др. Исследование влияния растительных пищевых добавок на эффективность активации прессованных хлебопекарных дрожжей //Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2017, (3) 3-7
8. Хатко З. Н., Стойкина А. А. Хлебопекарные дрожжи: характеристика и способы их активации //Новые технологии 2016, (2), 39-44.
9. Осипова М. В. Способ активации хлебопекарных дрожжей //Наука, бизнес, власть-триада регионального развития. 2018, 115-119.
10. Сафина Д. Р. и др. Способы повышения бродильной активности хлебопекарных дрожжей //Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2019, (1), 94-119
11. Панкина И. А., Черникова Д. А. Хлебопекарные дрожжи: характеристика и изучение их физико-химических показателей //Проблемы конкурентоспособности потребительских товаров и продуктов питания. – 2019. – С. 241-244).
12. Эртен, Х., Агирман, Б., Гюндюз, КПБ, Чаршанба, Э., Серт, С., Биркан, С. и Тангюлер, Х. Значение дрожжей и молочнокислых бактерий в переработке пищевых продуктов. *Переработка пищевых продуктов: стратегии оценки качества*, 2014, 351-378.
13. Володин Д. Н. и др. Особенности переработки творожной сыворотки //Переработка молока. 2017. №. 3. С. 6-9.
14. Бабенышев С. П. и др. Основные аспекты получения напитков из молочной сыворотки с добавлением растительных полисахаридов на основе

использования процесса ультрафильтрации //Техника и технология пищевых производств. 2015. №. 3 (38). С. 5-10.

15. Корнен Н. Н. и др. Исследование влияния растительных пищевых добавок на эффективность активации прессованных хлебопекарных дрожжей //Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2017, 44(3), 3-7.

УДК 665.213.4

¹Мезенова О.Я., д-р техн. наук, профессор

¹Агафонова С.В., канд.техн.наук, доцент

¹Романенко Н.Ю., канд.техн.наук, доцент

¹Калинина Н.С., зав.лабораториями

¹Волков В.В., директор Центра белка

²Жила Н.О., канд. биол. наук, ст.научн.сотр.

²Киселев Е.Г., канд. техн. наук, ст.научн.сотр.

(1 – Калининградский государственный технический
университет, Калининград, Россия,

2 – Институт биофизики Сибирского отделения
Российской академии наук, Красноярск, Россия)

ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЖИРА ИЗ ЖИРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ШПРОТНЫХ ПРОИЗВОДСТВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

Аннотация: Исследован ферментативный способ получения жира из голов копченой кильки (отходов шпротных производств) с применением фермента алкалаза. Определены рациональные параметры ферментолиза, позволяющие получать высокий выход продукции: дозировка фермента, температура и продолжительность процесса. Полученный жир проанализирован по показателям качества. Анализ состава жирных кислот показал высокое содержание в жире полиненасыщенных и длинноцепочечных жирных кислот. Экстрагированные жиры успешно применены в качестве углеродного субстрата для синтеза целевых продуктов биотехнологии - белков одноклеточных и биоразлагаемых пластиков полигидроксиалканоатов.

Ключевые слова: рыбный жир, шпротные отходы, фермент алкалаза, качество жира, жирнокислотный состав, биотехнологический синтез, биоразлагаемый пластик.

Рыбный жир является источником ценных биологически активных веществ (ненасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, жирорастворимых витаминов, каротиноидов, гормонов), востребованных во многих отраслях промышленности, включая

микробный синтез продуктов биотехнологии [1]. Перспективным источником рыбного жира являются отходы рыбоперерабатывающих производств (головы, внутренности, кости и другие непищевые части рыбы), включая отходы шпротных производств. В Калининградской области в настоящее время из балтийской кильки вырабатывается около 80% всех отечественных консервов «Шпроты в масле», при этом в качестве отходов ежесуточно накапливается от 2 т до 10 т голов копченой кильки, которые утилизируются [2]. Традиционным способом получения жира из рыбного сырья является термический, однако он позволяет извлекать только резервные жиры [3]. Для наиболее полного извлечения жировой фракции из жирсодержащих рыбных отходов представляется перспективным ферментативный метод выделения жира, предусматривающий применение протеолитических ферментов. Способ является относительно новым и основан на энзимологическом растворении протеиновой стенки жировой клетки. Он считается щадящим методом, идет при температурах не выше 60-70 °С, что позволяет сохранить уникальные биологически активные вещества [1, 4, 5].

Целью данных исследований являлось изучение и оценка эффективности ферментативной экстракции жира из голов копченой кильки - отходов производства консервов «Шпроты в масле» - с применением протеолитического фермента алкалаза (Alcalase 2,5L).

Фермент алкалаза наиболее изучен, характеризуется высокой активностью, положительно апробирован при выделении жира из отходов от разделки лососевых рыб и другого жирсодержащего сырья [5-7]. Положительным свойством алкалазы является ее термоустойчивость (до 70 °С) при оптимуме действия в нейтральной среде [8-10].

На данном этапе изучали влияние основных факторов ферментативного способа выделения жира из голов копченой кильки на выход жира (ВЖ) и качество экстрагируемого жира с последующими рекомендациями по использованию в микробном синтезе продуктов биотехнологии. Варьировали дозировку фермента, температуру процесса и продолжительность ферментативной обработки. Основными показателями качества жира являлись: кислотное число (КЧ), перекисное число (ПЧ), тиобарбитуревое число (ТБЧ), аницидиновое число (АЧ), которые определяли по ГОСТ 7636. Биологическую ценность жира оценивали по составу жирных кислот с применением метода газовой хроматографии (ГХ TRAXE GC 2000 Ultra FINNIGAN).

В экспериментах для получения достоверных зависимостей из 3-х основных факторов, влияющих на степень извлечения (выход) жира и его показатели (температура, продолжительность, дозировка фермента), варьировали только одним, при этом два других фактора фиксировали на уровне предполагаемого оптимума.

Результаты исследований по выделению жира из голов копченой кильки с применением фермента алкалазы приведены в табл. 1. В данных экспериментах максимально полученный выход жира составляет 12,8 - 13,4% от массы сырья, что соответствует степени его извлечения 73,6 - 77,0% и является неплохим показателем эффективности ферментативной экстракции.

Таблица 1. Влияния основных факторов ферментативного метода извлечения жира из голов копченой кильки на выход и показатели качества жира при использовании фермента алкалаза.

Показа тель качеств а жира	Температура, °С ($\tau = 40$ мин, М ферм. 0,2 %)			Продолжительност ь, мин (T= 50°C, M фер. 0,2 %)			М фермента, % (T= 50°C, $\tau = 40$ мин)		
	30	50	70	20	70	100	0,2	0,4	0,6
ВЖ, г/100 г сырья	10,5	11,0	12,6	10,5	12,8	12,0	11,0	13,4	12,4
КЧ, мг КОН/г	6,5	6,4	7,2	6,4	6,8	7,2	6,4	6,9	6,5
ПЧ, ммоль О / кг	11,0	9,2	17,8	9,1	11,7	18,2	9,2	11,4	11,4
ТБЧ, ед. опт.пл.	0,12	0,23	1,23	0,12	0,35	0,68	0,225	0,22 3	0,24 3
АЧ, у.е.	12,8	13,5	21,0	11,7	12,5	21,3	13,5	12,2	12,6

Из данных табл. 1 следует, что выход жира из голов копченой кильки максимальен при дозировке фермента 0,4% при $T= 50^{\circ}\text{C}$ и $\tau = 40$ мин. (13,4 % массы сырья), а также при дозировке фермента 0,2% при $T=70^{\circ}\text{C}$ в течение 40 мин. (12,6% массы сырья) и при $T=50^{\circ}\text{C}$ в течение 70 мин. (12,8 % массы сырья).

Однако при дозировке фермента 0,4% возрастают ПЧ и ТБЧ жира (соответственно 11,4 ммоль активного О /кг; 0,223 ед. опт.пл.), что указывает на интенсификацию окислительных процессов в жире. Это

свидетельствует об окислительных процессах в жире и накоплении в нем первичных и вторичных продуктов окисления (ПЧ = 17,8 ммоль активного О/кг; АЧ = 21,0; ТБЧ=1,231ед. опт.плотности). В случае снижения температуры ферментолиза, но удлинения его продолжительности отмечены те же тенденции по снижению качества жира и накоплению в нем продуктов гидролиза и окисления.

Наилучшими значениями показателей качества отличался жир, выделенный из ферментируемой рыбоводной системы в течение 40 минут с дозировкой алкалазы 0,2% при $T = 40^{\circ}\text{C}$. При выходе жира 12 % он характеризовался приемлемыми показателями качества (КЧ = 6,0 мг КОН/г; ПЧ = 8,9 ммоль акт. О / кг; ТБЧ = 0,122 ед. оптической плотности) при допустимых для натурального киличного жира значениях физико-химических характеристик (ТР ЕАЭС 040/2016).

В табл. 2 представлены результаты определения состава жирных кислот (ЖК) жира, извлекаемого из голов копченой с применением алкалазы в процессе варьирования основных параметров ферментолиза (дозировки фермента, T , τ). Показатель ЖК-состава липидов является индикатором их биологической ценности, который наиболее отражает пригодность липидов к биотехнологическому синтезу.

Таблица 2. Состав жирных кислот (ЖК) жира, полученного из голов копченой кильки с применением фермента алкалазы при варьировании параметров процесса извлечения жира (см. табл. 1).

Жирные кислоты*	Условия ферментолиза		
	$T = 30^{\circ}\text{C};$ $\tau = 20$ мин, М фер.= 0,025 %	$T = 50^{\circ}\text{C};$ $\tau = 60$ мин, М фер.= 0,3 %	$T = 70^{\circ}\text{C};$ $\tau = 100$ мин.; М фер. = 0,6 %
8:0	0.09	-	-
9:0	0.20	-	-
10:0	0.13	-	-
i-13:0	0.03	0.02	-
14:0	3.45	4.26	4.02
i-14:0	0.36	0.39	0.37
ai-14:0	0.21	0.14	0.12
15:0	0.46	0.56	0.49
i-15:0	0.17	0.13	0.12
16:0	15.97	19.67	18.92
i-16:0	0.40	0.26	0.22
ai-16:0	0.61	0.54	0.59
16:1 ω 7	4.57	5.56	5.23
16:1	0.41	0.43	0.39

16:1	0.12	0.13	0.12
16:2ω6	-	0.13	0.14
17:0	0.30	0.32	0.31
17:1	0.49	0.53	0.53
18:0	5.48	5.31	5.14
18:1ω9	37.88	29.74	31.64
18:1ω7	1.87	2.11	2.06
18:3ω3	1.75	2.54	2.44
18:4	1.05	1.52	1.46
20:0	0.14	0.31	0.37
20:1ω9	0.18	0.41	0.45
20:2ω6	0.09	0.34	0.36
20:4ω6	0.94	0.97	0.84
20:4	0.00	0.19	0.39
20:5ω3	6.04	6.87	6.40
22:6ω3	15.09	14.52	14.37
24:1ω9	1.50	1.88	2.22
Σ НЖК	30.01	32,03	30,47
Σ ПНЖК	24,96	27,08	26,40
Σ ПНЖК ω3	22,88	23,93	23,21
Σ длинн. ЖК	23,98	25,61	25,57

Как следует из данных табл. 2, все жиры голов копченой кильки являются источниками повышенного количества ненасыщенных жирных кислот (67,97-69,99%), при этом значительных изменений в составе жирных кислот при варировании параметров процесса ферментации не обнаружено. Во всех образцах количество жирных кислот было близкими: суммарное содержание ПНЖК (24,96 - 27,08%), ПНЖК ω3 (22,88 – 23,93%), длинноцепочечных ЖК (23,98 – 25,61%).

Таким образом, использование ферментативного способа извлечения жира с применением ферментного препарата Alcalase можно считать рациональным для получения рыбных жиров, богатых полиненасыщенными жирными кислотами. Такие жиры, несмотря на наличие продуктов гидролиза и окисления (перекисей, низкомолекулярных кислот и альдегидов), вполне пригодны в качестве биотехнологического субстрата - источника углерода - в технологии получения белков одноклеточных и биоразлагаемых пластиков, что показали специальные биологические эксперименты [1].

Полученные жиры были использованы в качестве источника углерода в биотехнологических испытаниях, проведенных в ИБФ СО РАН (г. Красноярск), для синтеза продуктов биотехнологии. В

зависимости от состава среды были синтезированы белковая биомасса и «зеленые» биопластики – микробные полигидроксиалканоатов [10].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-64-10007, <https://rscf.ru/project/23-64-10007/>

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-64-10007, <https://rscf.ru/project/23-64-10007/>

Библиографический список

1. Жила Н.О., Волков В.В., Мезенова О.Я., Киселев Е.Г., Волова Т.Г. Отходы рыбопереработки – перспективный субстрат для синтеза целевых продуктов биотехнологии // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2023. Т. 16. № 3. С. 386-397.
2. Агафонова С.В., Мезенова О.Я., Дамбирович Л.В. Оценка безопасности и биологической ценности очищенного жира из вторичного шпротного сырья // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2023. № 4 (393). С. 123-128.
3. Мезенова О.Я., Агафонова С.В., Романенко Н.Ю., Калинина Н.С., Волков В.В. Исследование процесса выделения жира из отходов рыбопереработки в качестве сырья для биотехнологического синтеза полигидроксиалканоатов // Вестник MAX. 2024. № 1. С. 50-59.
4. Боева Н.П., Бредихина О.В., Петрова М.С., Баскакова Ю.А. Технология жиров из водных биологических ресурсов: Монография. М.: Изд-во ВНИРО, 2016. 107 с.
5. Дамбирович Л. В., Агафонова С. В. Ферментативная экстракция жира из вторичного сырья атлантической скумбрии и его использование в функциональном питании // Вестник MAX. 2022. № 2. С. 48–55.
6. Aitta E., Damerau A., Marsol-Vall A., Fabritius M., Pajunen L. Kortesniemi M., Yang B. Enzyme-assisted aqueous extraction of fish oil from Baltic herring (*Clupea harengus membras*) with special reference to emulsion-formation, extraction efficiency, and composition of crude oil. Food Chemistry. 2023. 424. P. 136381.
7. Aitta E., Damerau A., Marsol-Vall A., Fabritius M., Pajunen L. Kortesniemi M., Yang B. Enzyme-assisted aqueous extraction of fish oil from Baltic herring (*Clupea harengus membras*) with special reference to emulsion-formation, extraction efficiency, and composition of crude oil. Food Chemistry. 2023. 424. P. 136381.
8. Kotsoni E., Daukšas E., Aas G.H., Rustad T., Tiwari B.K., Cropotova J. Quality Assessment of Fish Oil Obtained after Enzymatic Hydrolysis of a Mixture of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Rest Raw Material Pretreated by High Pressure. Marine drugs. 2024. 22(6): P. 261.
9. Indera N.I.M., Iberahim N.I., Lutpi N.A., Dahalan F.A., Hamdzah M. Enzymatic hydrolysis extraction and quality assessment of fish oil from Patin catfish

(*Pangasius Hypophthalmus*). Environmental Quality Management. 2024. 33(3): PP. 91–101.

10. Zhila N.O., Kiselev E.G., Volkov V.V., Mezenova O.Ya., Sapozhnikova K.Yu., Shishatskaya E.I., Volova T.G. Properties of degradable polyhydroxyalkanoates synthesized from newwaster fish oils (WFO). Int. J. Mol. Sci. 2023. 24(16): PP. 1-18.

УДК 628.316.12

Силкова Е.В., студент

Василенко Т.А., канд. техн. наук, доцент

*(Белгородский государственный технический
университет, г. Белгород, Россия)*

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ МОДЕЛЬНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ КАОЛИНОМ

Аннотация: Нефтегазовая отрасль занимает особое место в промышленности и экономике многих стран, но вместе с этим наносит непоправимый вред экологии и человеку. В связи с этим остается актуальным вопрос поиска альтернативных методов очистки, которые будут более эффективными по сравнению с уже известными. В данной работе была проведена оценка сорбционной способности каолина по отношению к воде, загрязненной нефтепродуктами, на примере приготовленных модельных эмульсий на основе индустриального масла.

Ключевые слова: нефтепродукты, сточные воды, способы очистки, каолин, модельные эмульсии.

Загрязнение окружающей среды является одной из актуальных проблем. И из всех видов загрязнений, наиболее распространенным является загрязнение нефтью и нефтепродуктами, как водоемов, так и почв, что вынуждает продолжать искать более эффективные способы очистки. В водоемы нефтепродукты, такие как мазут, бензин, керосин и др., попадают при аварийных разливах в процессе транспортировки, вместе с талыми водами, при сбросах сточных вод предприятий, при бурении скважин и т.д. Большую опасность составляют и промышленные объекты, на которых хранятся отходы нефтепродуктов, тем самым являясь постоянными источниками вторичного загрязнения [1].

При наличии небольшого количества нефтепродуктов в воде могут изменяться её органолептические характеристики, если количество нефтепродуктов в воде увеличивается, то это может приводить к экологическим проблемам. Так, из-за малолетучих и нерастворимых в воде углеводородов на поверхности образуется пленка, которая

затрудняет процессы газообмена и приводит к нарушению процессов самоочистки в природе. Легкие нефтепродукты, к числу которых может быть отнесен и бензин, могут частично растворяться в воде, образуя с ней эмульсии, а минеральные масла, смазки и другие тяжелые нефтепродукты оседают на дно, приводя тем самым к нарушениям окислительно-восстановительных процессов и жизнедеятельности растений и бентоса [2].

Среди всех видов очистки вод от нефтепродуктов, следует выделить физико-химические, среди которых используется, как правило, два основных направления – эмульгирование и сорбция. Первый из них реализуется при участии диспергентов (композиций), имеющих в своем составе растворители, АПАВ, стабилизаторы, а также добавки синтетического происхождения. Сорбция в свою очередь представляет самопроизвольный процесс поглощения твердым телом веществ из окружающей среды. Этот метод очистки удобен тем, что не требует сложного приборного оформления, следовательно, прост в реализации. Для этих целей могут быть использованы вторичные материальные ресурсы и отходы производства [3, 4]. Важными характеристиками для используемых сейчас нефтесорбентов, являются [5]:

- плавучесть; для эффективного поглощения поллютанта сорбенты должны обладать высокой плавучестью, как во время сбора загрязнителя, так и после.

- скорость и полнота насыщения; при использовании в аварийных ситуациях большую роль может сыграть скорость поглощения. Также важно, чтобы сорбент был полностью насыщен поглощаемым веществом для rationalности его использования, в этом может помочь сорбент с маленьким диаметром.

- нефтеемкость; помогает характеризовать сорбент по тому, как хорошо, но будет удерживать уже поглощенные нефтепродукты.

- прочность; обеспечивает целостность сорбента во время сбора нефтепродуктов и уже насыщенного нефтепродуктами при транспортировке.

Наиболее обширной группой являются природные минеральные сорбенты, которые благодаря своим адсорбционным и ионообменным свойствам могут быть применены в разных областях. К ним могут относится горные породы и минералы, глины, угли, цеолиты, песок, мел и т.д. Помимо этого, они являются экологически безопасными, так как не вызывают вторичного загрязнения окружающей среды, и представляют собой дешевый и эффективный материал. Другой отличительной особенностью использования минеральных сорбентов

является многообразие составов, текстурных и структурных характеристик, соответственно, и разнообразие физико-химических свойств материалов. Помимо этого, можно использовать различные добавки, для улучшения их характеристик и модификаций. В настоящее время актуально применение природных минеральных сорбентов, что приводит к более тщательному и всестороннему изучению их свойств и способов их модификации [6].

Среди различных материалов последние годы наиболее активно начали применять в качестве сорбентов глинистые материалы. Благодаря малым размерам частиц и высокой удельной поверхности повышается их абсорбционная способность и ионообменные свойства. К числу таких материалов будет относится и каолин. Он имеет двухслойную структуру, в которой на один слой кремнекислородных тетраэдров приходится один слой алюмогидроксидных октаэдров, а сами слои прочно связаны вместе благодаря наличию водородных связей. Сам сорбционный процесс происходит лишь в поверхностном слое, что связано с кристаллизацией каолинита в форме моноклинной сингонии с образование жесткой структурной ячейки, что также обуславливает его хорошие сорбционные свойства [7].

В работе проведены исследования по использованию каолина в качестве сорбента для очистки модельных эмульсий от нефтепродуктов (рис. 1), которые были приготовлены на основе индустриального масла И-20. С этой целью были приготовлены модельные эмульсии с концентрацией нефтепродуктов – 4,67; 23,94 и 95,1 мг/дм³. Для очистки эмульсий был использован каолин Елененского месторождения с расходом – 0,5; 1; 1,5; и 2 г/дм³. По своему составу каолин включает, %: SiO_2 – 53,43; Al_2O_3 – 44,41; Fe_2O_3 – 0,787; TiO_2 – 0,509; K_2O – 0,346; MgO – 0,238 и другие соединения, такие как CaO , P_2O_5 , Na_2O , содержание которых составляет менее 0,1 %.



Рис. 1. Каолин Елененского месторождения.

Методика определения массовой концентрации нефтепродуктов осуществлялась с помощью метода ИК-спектрофотометрии. После подкисления пробы, проводилась её экстракция органическим растворителем, а именно четыреххлористым углеродом. В дальнейшем полученный экстракт сушили сернокислым натрием и пропускали через хроматографическую колонку, заполненную стекловатой и оксидом алюминия. Полученный элюат переносился в измерительную кювету и помещался в концентратомер [8].

После добавления каолина, эмульсии в течении часа перемешивались в статических условиях, а после отстаивались до полного осаждения взвеси с последующим анализом на содержание нефтепродуктов. Результаты по очистке модельных эмульсий каолином представлены в табл. 1 с последующими расчетами эффективности (рис. 2).

Таблица 1. Результаты очистки модельных эмульсий каолином

Расход каолина, г/дм ³	Начальная концентрация нефтепродуктов, мг/дм ³		
	4,67	23,94	95,1
	Конечные концентрация нефтепродуктов, мг/дм ³		
0,5	2,24	5,46	25,86
1	1,68	4,8	19,26
1,5	1,66	1,81	4,65
2	1,14	1,72	4,28

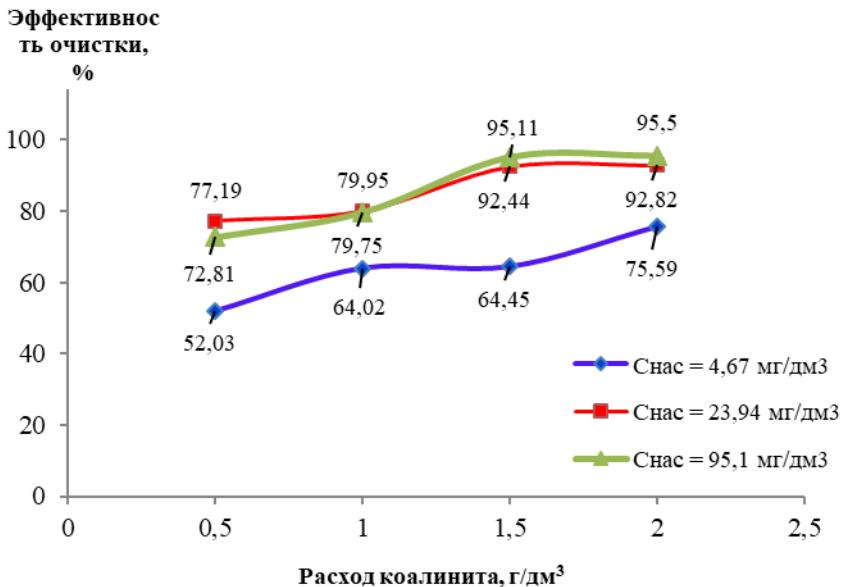


Рис. 2. Зависимость эффективности очистки модельных эмульсий на основе индустриального масла И-20 от расхода каолина.

Подводя итог, стоит отметить, что каолин оказался действенным сорбентом для очистки модельных эмульсий от нефтепродуктов. Показано, что эффективность очистки увеличивается с расходом используемого сорбента. Установлено, что при расходах каолина в эмульсиях 1,5 и 2,0 г/дм³ эффективность очистки отличается не значительно и составляет:

- 95,11% и 95,5 % соответственно при начальной концентрации нефтепродуктов 95,1 мг/дм³;
- 92,44 % и 92,82 % соответственно при начальной концентрации нефтепродуктов 24,94 мг/дм³.

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности использования меньшего расхода для экономии каолина – до 1,5 г/дм³. По результатам также можно сделать вывод о большей эффективности очистки при высоких концентрациях поллютанта, чем при низких.

Работа выполнена в рамках реализации федеральной программы поддержки университетов «Приоритет 2030» с использованием оборудования на базе Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Библиографический список

1. Гуславский А.И. Перспективные технологии очистки воды и почвы от нефти и нефтепродуктов / А.И. Гуславский, З.А. Канарская // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 20. С.191-199.
2. Методы определения нефтепродуктов в водах и других объектах окружающей среды (обзор) / Леоненко И.И. [и др.] // Методы и объекты химического анализа. 2010. Т.5 № 2. С.58-72.
3. Кулакова И.И., Лисичкин Г.В. Ликвидация аварийных разливов нефти // Сорбционная очистка поверхности акваторий от нефтяных загрязнений: уч. пособие. Москва, 2021. 82 с.
4. Василенко Т.А., Ляпкало Д.А. Использование термообработанных отходов в качестве сорбентов // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: сб. докл. Всероссийск. науч.-техн. конф., Белгород, 19–23 октября, 2020 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. С. 302-305.
5. Соловьева, Л.В. Химическая активация углеродных нефтесорбентов разработанных на основе углеродсодержащих и органических отходов / Л.В. Соловьева, Е.С. Ушакова // Химия и жизнь: сборник XX Междунар. науч.-практ. студ. конф., Новосибирск, 13 мая 2021 г. Новосибирск. 2021. С. 345-352.
6. Михайлова, О.А. Изучение структуры и свойств нативных и активированных природных минеральных сорбентов / О. А. Михайлова, Т. З. Лыгина // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2010. Т. 46. № 2. С. 199-207.
7. Пимнева Л.А. Модифицированные формы каолинита для извлечения ионов меди из природных и сточных вод / Л.А. Пимнева, О.В. Андреев // Фундаментальные исследования. 2018. № 5. С. 13-17.

УДК 579.6

**Сухорукова М.В., студентка
Василенко Т.А., канд. тех. наук, доц.
(Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)**

ОЦЕНКА БИОЦИДНЫХ СВОЙСТВ ЛАУРИЛСУЛЬФАТА НАТРИЯ

Аннотация: Данная работа представляет собой тщательное исследование, посвященное применению диско-диффузионного метода в биомеханике. В ней анализируются основные принципы данного подхода, его теоретические основы и практическое использование для изучения биомеханических процессов. В статье также рассматриваются ключевые преимущества диско-диффузионного подхода, такие как способность обрабатывать большие объемы данных и учитывать множество переменных, что делает

его важным инструментом для исследователей в области спортивной науки, реабилитации и медицины

Ключевые слова: диско-диффузионный метод, метод диффузии, микроразведение, организм, лаурилсульфат натрия.

Натрия лаурилсульфат – распространенный ингредиент в различных очищающих продуктах, включая шампуни, пасты для зубов и другие средства личной гигиены. В медицинской практике его применяют для намеренного вызывания раздражения кожи, а в фармацевтике – в процессе разработки медикаментов. Кроме того, он играет важную роль в изготовлении хлоропренового каучука, пластмасс и искусственного меха. Это действенный эмульгатор, характеризующийся моющими и амфифильными качествами. Установлен предельно допустимый уровень концентрации натрия лаурилсульфата в воздушной среде жилых зон – 0,01 мг/м³, что соответствует 4-му классу опасности с рефлекторным воздействием [1].

Диско-диффузионный метод представляет собой одну из основных технологий для исследования механических свойств биологических тканей и живых организмов. Этот метод объединяет элементы физики, биомеханики и математического моделирования, что позволяет с высокой точностью и детализацией анализировать процессы, происходящие в живых системах [2].

Диско-диффузионный метод основывается на концепции, которая сочетает дискретные и диффузионные подходы к анализу механических свойств. Дискретный подход позволяет исследовать локальные взаимодействия между клетками и тканевыми структурами, в то время как диффузионный метод помогает понять общее поведение тканей под нагрузками. Такой синтез дает возможность сформировать более полное представление о механических характеристиках и реакциях биологических систем на внешние воздействия [3].

Метод диффузии в агар-агаре, также известный как тест Кирби-Бауэра, – это метод, используемый для проверки чувствительности бактерий к антибиотикам. Он заключается в том, что на чашку Петри с агаром, покрытым бактериями, помещают диски, пропитанные антибиотиком. После инкубации бактерии растут везде, кроме дисков, если антибиотик действует. Чистая область вокруг диска называется зоной ингибиции [4].

Метод диффузии в агар для определения противомикробной активности помогает выявить устойчивость бактерий. Метод диффузии в агар по Кирби-Бауэру широко используется благодаря

своей надёжности. Принцип метода диффузии в агар основан на диффузии антибиотиков через агар для подавления роста бактерий.

Этот метод широко используется в диагностических лабораториях, чтобы помочь врачам подобрать подходящий антибиотик для лечения инфекций. Он также используется в исследовательских лабораториях для тестирования новых антибактериальных соединений.

Метод дисковой диффузии Кирби и Бауэра является одним из наиболее адаптивных качественных подходов, который часто используется для определения чувствительности к противомикробным препаратам. Тест на чувствительность к противомикробным препаратам определяет, насколько бактерия или грибок чувствительны к одному или нескольким противомикробным соединениям одновременно. Результаты этого теста помогают выбрать препарат, который наиболее успешно лечит инфекцию. Другие методы проверки чувствительности к антибиотикам включают анализ на разведение, Е-тест / эпсилометрический тест [5]. Чтобы оценить восприимчивость микробов к различным растительным экстрактам, вторичным метаболитам, антибиотикам и т.д., исследователи обычно используют метод диффузии в агаре. Ниже перечислены этапы метода диффузии в бумажных дисках [6]:

1. Сначала готовят чашки Петри с агаром Мюллера-Хинтона (МНА) и бульон Мюллера-Хинтона (МНВ).

2. Затем в эти бульоны вносят исследуемые бактерии с помощью петли и инкубируют при температуре 37 градусов Цельсия в течение 24 часов.

3. Перед началом теста простерилизовывают поверхность дезинфицирующим средством и включают горелку.

4. Точно обозначают на чашках Петри (МНА) название организма и регулируют мутность бактериальной суспензии, используя стандарты МакФарланда в качестве ориентира. Стерильной ватной палочкой полностью протрите поверхность чашки Петри, непрерывно вращая её, чтобы создать равномерный слой бактерий, и дайте ему высохнуть в течение ~5 минут.

5. Перед тем как брать диски, простерилизовывают пинцеты спиртом.

6. Аккуратно помещают диск поверх агаризованной питательной среды, на которой произведен ранее посев микроорганизмов.

7. Диски должны быть разделены друг от друга на расстояние ≥ 24 мм.

8. Инкубируют планшеты при температуре 37 градусов Цельсия в течение 24 часов.

9. После инкубации измеряют зону ингибиции и сравнивают с рекомендациями CLSI для оценки результатов.

Для применения диско-диффузионного метода необходимо высокоточное оборудование, которое обеспечивает проведение экспериментов в контролируемых условиях. В частности, используются специализированные механические тестеры, способные применять различные виды нагрузок на образцы тканей. Цель таких исследований заключается в анализе свойств, таких как эластичность, вязкость, прочность и другие механические характеристики, определяющие функциональность тканей в организме [7].

В эксперименте на застывшую питательную среду Сабуро – агар вносили по 200 мкл водной вытяжки из побочного продукта при разведении в 10^{-2} . Далее были приготовлены растворы лаурилсульфата натрия с концентрациями 5%, 10%, 15%. В чашки с культурой микроорганизмов поместили по 3 диска диаметром 10 мм, которые были ранее пропитаны в растворах. Далее поместили чашки в термостат при 28°C на 4 дня. Контролем служила среда, без присутствия дисков. По истечении времени мы измерили зоны фунгицидности рис. 1.

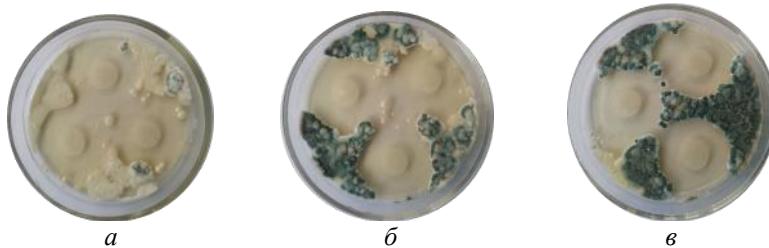


Рис. 1. Измерение зоны биоцидности: а – концентрация SLS в воде 5%; б – концентрация SLS в воде 10%; в – концентрация SLS в воде 15%.

При измерении зона фунгицидности с концентрацией SLS в воде 5% составила 40 мм; с концентрацией SLS в воде 10% составила 42 мм, а с концентрацией SLS в воде 15% составила 45 мм. В ходе исследования было экспериментально доказано, что при увеличении концентрации лаурилсульфата натрия увеличивается зона фунгицидности и подавляется рост бактерий.

Библиографический список

1. Бобров А. П., Маслов В. В., Ткаченко Т. Б. и др. Сравнительная оценка действия поверхностно-активных веществ на изменение кинетических агрегаций тромбоцитов // Институт стоматологии. 2010. № 3(48). С. 81.

2. Виолин Б.В., Гуляева А.Ю., Муравьева В.Б. Возможность использования дисковидфузионного метода для оценки чувствительности к антибиотикам в ветеринарии // Ветеринарный врач. 2013. № 6. С. 22-26.
3. Самойлова А.А., Лихачев И.В., Рогачева Е. В. Разработка отечественных наборов для определения чувствительности клинически значимых микроорганизмов к антибактериальным препаратам // В сборнике: Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения. Материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием. Пермь. 2020. С. 180-185.
4. Василенко Т.А., Бездетко Е.О. Изучение влияния антибиотика азитромицина на рост культуры почвенных микроорганизмов // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: сб. докл. Междунар. научн. конф., Алушта-Белгород, 30 мая – 3 июня, 2022 г. Белгород: Изд-во БГТУ, 2022. С. 365–370.
5. Методические указания по определению чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. МУК 4.2. 1890-04. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 91 с.
6. Семина Л.К. Авдуевская Н.Н., Скулябина З.А. Ориентировочный метод определения чувствительности микроорганизмов к комплексным антибактериальным препаратам // Ветеринария Кубани. 2021. № 2. С. 34-36.
7. Абдуллаева А.М., Удавлиев Д.И., Селюкова Ю.В. Определение чувствительности микроорганизмов к антибиотикам // Аллея науки. 2018. Т.3. № 10 (26). С. 436-440.

УДК 636.087

¹Таскин А.В., канд. хим. наук,
зав. лабораторией технологий

использования вторичных ресурсов,

¹Волкова В.Н., канд. техн. наук, доц.,

¹Федотов Д.Р., ассистент,
сотрудник лаборатории.

¹Шелковников К. К., специалист по
учебно-методической работе,
сотрудник лаборатории.

(Дальневосточный федеральный университет
г. Владивосток, Россия)

БИОКОНВЕРСИЯ СТОЧНЫХ ВОД И ОСАДКОВ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Аннотация: Проблема утилизации сточных вод и осадков очистных сооружений является одной из самых острых экологических проблем современного общества. Значительная часть сточных вод в малых муниципальных образованиях сбрасывается в водоёмы и на рельеф без очистки, загрязняя окружающую среду и нанося ощутимый вред экосистемам. Именно поэтому разработка методов, позволяющих не только утилизировать канализационные стоки, но получать положительные экологические и экономические результаты, является актуальной задачей для больших городов и малых поселений. Одними из самых простых и эффективных способов утилизации стоков являются их анаэробное или аэробное сбраживание и дополнительная биологическая переработка осадка. В статье представлены результаты экспериментов, имеющие, по мнению авторов, перспективу для практического внедрения.

Ключевые слова: канализационные стоки, биоконверсия, органическое вещество, вермикомпостирование.

В наше время любое поселение, независимо от занимаемой площади и числа проживающих, не должно функционировать без системы очистки сточных вод. Это жизненно необходимая инфраструктура, но в силу применяемых технологических решений, она же является одним из самых заметных негативных экологических результатов человеческой жизнедеятельности. Даже при соблюдении всех санитарно-экологических и технических требований по обслуживанию, вокруг канализационных очистных сооружений (КОС) в радиусе нескольких километров формируется специфический запах, делающий невозможным комфортное проживание в непосредственной

близости от КОС. Одной из причин этой проблемы является образование осадка (ила) в процессе очистки канализационных стоков. Масштаб проблемы: только в России ежегодно образуется около 100 миллионов тонн таких осадков при влажности 98%. В Московской области, например, под иловые поля отведено более 700 гектаров земли. Это сведения только по объектам, подлежащим учёту. Информация о том, как решаются вопросы по переработке и обезвреживанию жидких коммунальных отходов (ЖКО) в малых городах с развитым частным сектором и в деревнях в России практически отсутствует. Учитывая, что в стране насчитывается 936 малых и средних городов и свыше 150 000 поселков городского типа и сельских поселений, а это около 30 % населения РФ, можно утверждать, что проблема переработки ЖКО неканализированных объектов не менее актуальна, чем проблема переработки осадков КОС.

В лаборатории технологий использования вторичных ресурсов ДВФУ начиная с 2021 г. выполняются эксперименты по доведению до промышленной стадии технологических решений по безотходной переработке осадка городских очистных сооружений и отходов неканализованных объектов.

Первоначально планировалось реализовать в виде действующей экспериментальной установки технологическую схему, представленную на рисунке 1.



Рис. 1. Технологическая схема экспериментальной установки по утилизации канализационных стоков.

Но в связи с финансовыми затруднениями на практике была реализована установка без биореактора.

Цель данного этапа работы – определение возможности полной переработки канализационных стоков малого предприятия, не подключённого к канализации с численностью персонала 20 человек.

Описание блоков изготовленной установки.

Отходы жизнедеятельности персонала малого предприятия аккумулируются в ёмкостях объемом 2 м³ (рисунок 2). В течение одного года на предприятии накапливается две полных ёмкости.

Для создания субстрата нужной консистенции к канализационным стокам добавлялась скошенная трава и пищевые отходы. Трава и остатки пищи измельчались до размеров менее 1 см. на специально разработанной для выполнения этой задачи дробилке (рисунок 3).



Рис. 2. Ёмкости для сбора и хранения ЖКО.



Рис. 3. Дробилка для измельчения органических отходов.

В процессе работы было выявлено, что промышленно производимые дробилки в большинстве случаев не подтверждают заявленные характеристики (например, быстро забиваются при измельчении свежескошенной и сырой травы), не дают мелкого измельчения и не могут работать с разными видами органических отходов.

Отличительная особенность разработанной дробилки, в том, что она эффективно измельчает любые органические отходы, в том числе с твердыми включениями, свежескошенную, сырую, прелую и волокнистую траву.

Описание экспериментов.

На первом стадии исследований, подготовленный субстрат с ЖКО перерабатывался промышленными червями Eisenia foetida (Sav.). Состав субстрата – смесь, состоящая из отходов не канализованного объекта, смешанная в заданном процентном соотношении с

органическими отходами. В нашем случае, для корректировки состава субстрата, использовались садово-огородные и пищевые отходы. Проведена серия экспериментов по переработке смеси с разным соотношением ЖКО и органики:

- 50% ЖКО к 50% органических отходов;
- 40% ЖКО к 60% органических отходов;
- 30% ЖКО к 70% органических отходов.

Субстрат, состоящий только из жидких коммунальных отходов, не пригоден для жизнедеятельности червей и его переработка вермикомпостированием невозможна, так как он на 80% состоит из жидкой части. Вещества, содержащиеся в ЖКО, вне зависимости от их концентрации в субстрате, оказывают негативное воздействие на репродуктивные способности червей *Eisenia foetida* (Sav.). Даже в субстрате с соотношением 30% ЖКО к 70% органических отходов к пятому поколению червей наблюдается заметный спад воспроизведения по сравнению с исходным поколением. На 6 – 7 поколении черви погибают. Принципиально метод работает, но при планировании переработки ЖКО с использованием червей *Eisenia foetida* (Sav.) необходимо постоянно производить подселение свежих червей из маточника [1].

В ходе тестирования вермикомпоста полученного с использованием промышленных червей, было выявлено, что всхожесть семян кедра в коммерческом грунте составила 60%, а всхожесть семян на вермикомпосте – 100%. Содержание органического углерода в полученных вермикомпостируемых канализационных стоках составило 9,1%, при среднем содержании органического углерода в вермикомпостах, выше 20. Сумма Сгк и Сfk составила 2,43%. Органическое вещество вермикомпоста в основном представлено фульвокислотами – отношение Сгк/Сfk 0,27, что объясняется коротким временем и неполным циклом компостиования. После корректировки эксперимента, это соотношение может быть увеличено. Для определения содержания органического углерода в вермикомпосте, использован метод Анстета в модификации В. В. Пономаревой и Т. А. Николаевой. [2].

При переработке ЖКО промышленными червями отходы полностью трансформируются в полезный продукт (вермикомпост) с уменьшением объёма ориентировано на 25 – 30%, что в целом можно рассматривать как положительный результат. Но скорость переработки таким способом крайне низкая: 1 дм³ субстрата перерабатывается 30-ю особями червей от 1,5 до 2 месяцев при оптимальных условиях (температура, влажность, состав субстрата и

пр.). Из данного результата следует, что для организации технологического процесса по одностадийной переработке ЖКО промышленными червями требуются значительные производственные площади с соответствующей инфраструктурой и капитальными вложениями. В целом это не исключает возможность эффективности применения данного метода в отдельных случаях, при оптимальном сочетании условий и там, где требуется качественное удобрение.

На второй стадии исследований был апробирован вариант прямой переработки субстрата с ЖКО личинками Чёрной львинки BSFL – Black Soldier Fly Larvae (личинки мухи *Hermetia Illucens*).

Выявлено, что личинка в период роста эффективно перерабатывает субстрат с концентрацией ЖКО до 70 % и выше. Основная задача при подготовке субстрата состояла не в соблюдении соотношения ЖКО и органики, а в создании нужной консистенции субстрата, т.к. личинки, как и черви не выживают в жидкости.

Скорость переработки субстрата личинками многократно превышает скорость переработки червями. При оптимальной концентрации личинок, 1 дм³ субстрата перерабатывается за 1 сутки.

По результатам эксперимента в течение осенне-зимнего периода в помещении площадью 18 м², с одним инсектарием V=0.4 м³ для воспроизводства личинок, было переработано 1,5 м³ отходов человеческой жизнедеятельности и примерно столько же измельчённой травы и пищевых отходов, которые использовались как загуститель. В последующий весенне-летний период в разработанном и изготовленном инсектарии непрерывного действия уличного исполнения было переработано 1,8 м³ отходов, смешанных с таким же количеством измельчённой травы. Таким образом цель данного этапа работы была достигнута: годовой объём накопленных ЖКО малого предприятия, не подключённого к канализационной сети, был полностью переработан в потенциально товарный продукт.

Переработанные отходы представляют собой сухую, мелкозернистую рассыпчатую смесь, практически без запаха (см. рисунок 4). Объём конечного продукта на 40 – 60% меньше объёма отходов, направленных на переработку.



Рис. 4. Переработанные отходы.

Полученный результат подтверждается сведениями из [3], что личинки мухи Чёрная львинка способны поглощать практически любые биоотходы и сведениями из [4] по объему поглощения отходов отдельной личинкой.

Аналитические исследования полученной смеси на данной стадии не проводились, но в [5] сообщается, что степень гумификации перевариваемых органических соединений Чёрной львинкой в курином помете составляет 42 – 45%. В исследовании [6] выявлено, что водная вытяжка биокомпоста, получаемого от личинки Черной львинки, оказывает стимулирующее воздействие на зерна пшеницы.

Принципиально технология переработки канализационных стоков личинками черной львинки предполагает, помимо удобрения, получение нескольких товарных продуктов. По [4] когда личинки вырастают, они пригодны в пищу для многих животных, птиц и рыб. При избирательном режиме кормления личинки мухи Чёрная львинка съедобны и служат источником белка для человека. В настоящее время наблюдается тенденция промышленного выращивания этого насекомого для использования в химической, фармацевтической промышленности и в качестве альтернативы животным белкам и жирам для кормления сельскохозяйственных животных и аквакультуры.

В рамках выполненной работы протестирован вариант изготовления топливных брикетов (см. рисунок 5) из переработанных личинками отходов. Брикеты имеют калорийность более 4500 ккал/кг и зольность в пределах 8 %, что делает их вполне приемлемым топливом для бытовых и промышленных печей.



Рис. 5. Топливные брикеты из продуктов переработки канализационных отходов.

Заключение.

В целом результаты работы подтверждают возможность и работоспособность одностадийной безотходной переработки стоков не канализированных объектов и осадков централизованных канализационных очистных сооружений биологическими методами.

Подтверждена возможность получения товарных продуктов при переработке отходов человеческой жизнедеятельности на основе природоподобных технологий.

Получение товарных продуктов для известных областей использования (органическое сельское хозяйство, малая энергетика, фармацевтика и др.) показывает потенциальную возможность организации безубыточных производств по переработке отходов человеческой жизнедеятельности.

Производительность метода переработки канализационных отходов с использованием личинок мухи *Hermetia Illucens* многократно превышает производительность метода с использованием промышленных червей *Eisenia foetida* (Sav.). Решение по использованию метода принимается индивидуально для объекта в зависимости от целей переработки.

Выполнена начальная стадия прикладных исследований. Планируется поиск источников финансирования для их продолжения.

Библиографический список

1. Мухортов Д. И., Романов Е. М. Утилизация органических отходов при искусственном лесовосстановлении // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2013. №3 (19). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/utilizatsiya-organicheskikh-othodov-prisuskstvennom-lesovosstanovlenii> (дата обращения: 20.06.2023).
2. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1965. – 436 с.
3. Адаптация и перспективы разведения мухи Черная львинка (*Hermetia illucens*) в циркумполярном регионе / А. М. Антонов, Е. Лутовиновас, Г. А. Иванов, Н. О. Пастухова // Принципы экологии. 2017. № 3(24). С. 4-19.

4. Productive performance and blood profiles of laying hens fed *Hermetia illucens* larvae meal as total replacement of soybean meal from 24 to 45 week of age. / Marono S, Loponte R, Lombardi P, Vassalotti G, Pero M, Russo F, et al.// Poult Sci. 2017. Vol. 96. Pp.1783-1790.

5. Переработка куриного помета с использованием личинок черной львинки (*Hermetia illucens*): обзор / С. В. Свергузова, И. Г. Шайхиев, Ж. А. Сапронова, И. В. Бомба // Птицеводство. 2021. № 2. С. 68-73.

6. Сапронова, Ж. А. Зоокомпост личинок мухи *Hermetia illucens* как перспективный материал для поддержания плодородия в почвах / Ж. А. Сапронова, И. В. Бомба // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология: Сборник докладов. Международная научная конференция, Алушта-Белгород, 01–05 июня 2021 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2021. С. 332-335.

Секция 3. БИОТЕХНОЛОГИИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

УДК 579.63

¹Базаева Д.С., студент.

¹Василенко М.И., канд. биол. наук, доц.

(1-Белгородский Государственный Технологический Университет им. В.Г.Шухова, г. Белгород, Россия)

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВОЗДУХА НА ПРЕДПРИЯТИИ ООО «ТИТАНОВЫЕ ИНВЕСТИЦИИ»

Аннотация: В статье представлены результаты по исследованию возможности организации микробиологического контроля воздуха на предприятии. Установлено наличие необходимого оборудования для проведения работ по оценке обсемененности воздуха помещений и проведены предварительные эксперименты по определению содержания бактериальных культур в воздушной среде.

Ключевые слова: микробиологический контроль, лаборатория промышленной санитарии, контаминация воздуха производственных помещений, колоний образующая единица (КОЕ).

Армянский Филиал ООО «Титановые Инвестиции» (г. Армянск, Республика Крым) – крупнейший производитель и экспортёр химической продукции в Восточной Европе. На данный момент является единственным производителем диоксида титана на территории РФ.

Армянский Филиал ООО «Титановые Инвестиции» - комплекс производственных площадок, взаимосвязанных по принципу

законченного цикла производства диоксида титана. В производственную структуру входят:

- Цеха пигментной двуокиси титана;
- Сернокислотное производство;
- Цех аммофоса;
- Цех сернокислого алюминия и жидкого стекла (ЦСКАиЖС);
- Вспомогательные цеха.

Основная продукция предприятия – белый пигмент диоксид титана (TiO_2). Этот пигмент демонстрирует хорошую светостойкость и хорошо переносит погодные воздействия, считается незаменимым благодаря высокой яркости, химической стойкости, способности рассеивать свет и придавать блеск покрытиям, а также отсутствию токсичности.

Благодаря перечисленным свойствам широко применяется в производстве декоративной бумаги, лакокрасочных систем для промышленных и архитектурных покрытий.

Серная кислота

Кислота серная техническая применяется при производстве двуокиси титана, искусственного волокна, этилового спирта, удобрений, анилиновых красителей. Используется в металлургической, кожевенной и других отраслях промышленности.

Купорос железный технический ($FeSO_4$)

Используется в цементной промышленности для улучшения характеристик готовых стройматериалов, в электроэнергетике, химической промышленности и цветной металлургии[1].

Лаборатория промышленной санитарии

Предназначение имеющихся на предприятиях «Лабораторий промышленной санитарии» (ЛПС) - обеспечение санитарно-гигиенических условий труда и защита окружающей среды на промышленных предприятиях.

Работы, проводимые в лаборатории, включают:

- проведение санитарно-технической паспортизации; лаборатория обследует условия труда и оформляет санитарно-технические паспорта предприятий;
- контроль за загрязнением атмосферного воздуха; замеряется содержание вредных веществ, как на промышленной площадке, так и в санитарно-защитной зоне;
- контроль за технологическим оборудованием, в частности, за машинами, которые создают шум, вибрацию, пыле- и газовыделения;
- контроль за эффективностью сооружений и устройств по очистке и обезвреживанию производственных выбросов;

- контроль за обеспеченностью санитарно-бытовым помещением; также проверяется обеспечение спецодеждой, средствами индивидуальной защиты и спецпитанием.

Кроме того, лаборатории промышленной санитарии проводят: анализ воды, почвы, грунта, донных отложений, отходов, определение уровня таких физических факторов, как шум, инфразвук, вибрация, электромагнитные поля, микроклимат, освещённость и др.

В целях поддержания комфортных и безопасных условий труда на предприятиях [2] в задачи таких лабораторий включают проведениемикробиологического контроля за состоянием производственной среды.

На сегодняшний день в структуру ЛПС предприятия «Титановые Инвестиции» входит ряд специальных отделов:

- отдел оценки качества воды и почвы
- отдел оценки качества воздуха
- отдел оценки шумов и вибраций
- отдел оценки количества газовых примесей [1].

Так же организация микробиологического контроля на предприятии «Титановые Инвестиции» потребовала инвентаризации имеющегося лабораторного оборудования, показавшей наличие необходимого оборудования для микробиологического контроля. Было найдено все необходимое оборудование, а именно:

- Пипетки автоматические
- pH-метры
- Пробоотборники воздуха
- Стерилизаторы
- Центрифуги лабораторные
- Автоклавы
- Термостаты
- Сухожаровые шкафы
- Лабораторные холодильники

Методы исследования обсемененности воздуха

Санитарно-гигиеническая оценка воздуха производственных помещений проводится по двум микробиологическим показателям: общей бактериальной обсемененности (КМАФАнМ) и содержанию санитарно-показательных микроорганизмов – гемолитических стрептококков и стафилококков. Воздух производственных помещений считается чистым, если КМАФАнМ не превышает 1500 КОЕ/м³, а гемолитических стрептококков и стафилококков не более 16 в 1м³. В качестве питательных сред используют мясопептонныйagar

(для определения КМАФАнМ) и кровяной агар (для определения гемолитических стрептококков и стафилококков)[4].

Для определения микроорганизмов в воздухе помещений используют седиментационный и аспирационный методы.

Седиментационный метод основан на самопроизвольном оседании пылинок и капель вместе с микроорганизмами на поверхность плотной питательной среды в открытых чашках Петри.

Аспирационный метод заключается в принудительном оседании микроорганизмов из воздуха на поверхности плотных питательных сред. Осуществляется аспирационный метод с помощью специальных приборов (например, прибора Кротова), снабженных вентиляторами, которые засасывают воздух в прибор через клиновидную щель. В приборе воздух ударяется о поверхность плотной питательной среды в открытой чашке Петри.

Помимо нормируемых бактериальных показателей, в воздухе производственных помещений определяют наличие спор микроскопических грибов и дрожжей, произвольно оседающих на поверхности сусло-агара или среды Сабуро за 5 минут.

Снизить содержание микроорганизмов в воздухе можно путем его фильтрации через воздушные фильтры, применяя физические и химические методы обеззараживания воздуха: обработку ультрафиолетовыми лучами, хлорсодержащими препаратами в виде испарений и аэрозолей. Эффективным способом является озонирование воздуха [3].

Экспериментальная часть.

Предварительные эксперименты в рамках микробиологического контроля были ориентированы на определение показателя обсемененности воздуха помещений и цехов предприятия «Титановые Инвестиции».

Отбор проб проводили в следующих помещениях: заводоуправлении, первый, второй и третий цеха по производству титана, отделение по производству аммофоса, ремонтно-механический цех.

В рамках седиментационного метода отбора проб использовали агаризованный мясо-пептонный бульон (среда МПА), длительность фиксации составляла 15-20 минут. Чашки инкубировали в термостате при температуре 30 градусов в течение 48 часов. Подсчет выросших колоний осуществляли с использованием счетчика колоний (рис. 1).

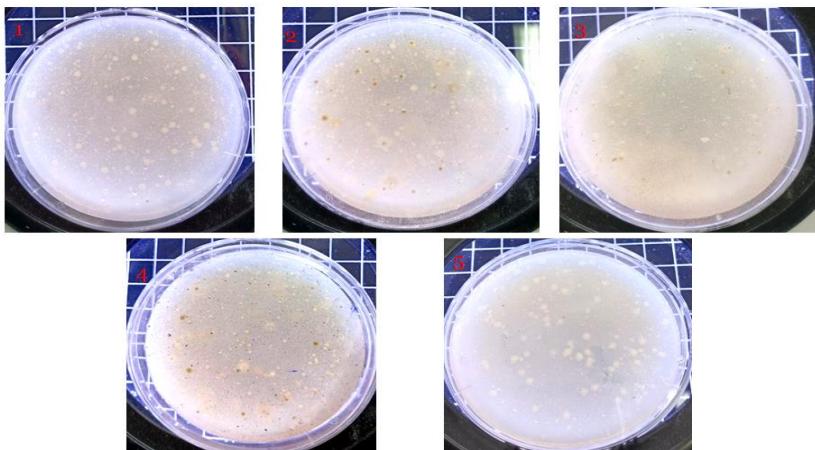


Рис. 1. Визуальная оценка процесса роста бактериальных клеток на твердой питательной среде.

Результаты исследования обсемененности воздуха

Как видно из данных таблицы 1, меньше всего колоний выросло в чашках, которые выдерживали в цехах по производству титана (50-59 колоний), наибольшее количество клеток осело при выдерживании чашек в помещении завоудоуправления (66). Но стоит отметить, что в пробах, собранных в завоудоуправлении и ремонтно-механическом цеху зафиксировано более 2х видов микроорганизмов, тогда как в основных производственных цехах от 3 до 6 видов.

Полученные данные сравнивали с установленными нормативными показателями на присутствие мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в воздухе производственных и непроизводственных помещений.

Таблица 1. Количество выявленных микроорганизмов в воздухе помещений и цехов предприятия.

Показатели	Объекты исследования				
	Производственные помещения				Непроизводственные помещения
	Цех 1 по производству титана	Цеха 2, 3 по производству титана	Отделение по производству аммофоса	Ремонтно-механический цех	
Допустимая норма содержания КМАФАНМ (МР 2.3.2.2327-08. 2.3.2.) КОЕ	До 70				До 100
Общее число выросших колоний (шт)	59	50	62	64	66
Видовое разнообразие (количество видов)	4	3	6	2	1

Воспользовавшись формулой Омелянского, провели расчет количества бактериальных колоний образующих единиц в кубическом метре воздуха цехов и помещений (табл. 2).

Расчет показал, что количество клеток микроорганизмов в 1 кубометре воздуха во всех исследованных помещениях не превышает норматива – в 5000 КОЕ в m^3 . Этот показатель для основного производства предприятия не превышает 2300 КОЕ в m^3 , тогда как в здании завоудоуправления достигает 3437 КОЕ в m^3 .

Таблица 2. Оценка обсемененности помещений при контроле санитарно-гигиенического состояния воздушной среды.

№	Место отбора проб	Общее число выросших колоний (шт.)	Время экспозиции мин	КОЕ в 1 м ³ воздуха
1	Здание завоудуправления	66	15	3437
2	Цех 1 по производству титана	59	20	2304
3	Цеха 2, 3 по производству титана	50	20	1953
4	Отделение по производству аммофоса	62	20	2421
5	Ремонтно-механический цех	64	15	3333

Расчет позволил констатировать, что количество клеток микроорганизмов в 1 кубометре воздуха во всех исследованных помещениях не превышает норматива – в 5000 КОЕ в м³. Этот показатель для основного производства не превышает 2300 КОЕ в м³, тогда как в здании завоудуправления достигает 3437 КОЕ в м³.

Таким образом, показана возможность проведения «Лабораторией промышленной санитарии» ООО «Титановые Инвестиции» микробиологических исследований воздухацехов и помещений.

Как показали предварительные эксперименты, на данный момент качество воздуха в исследуемых помещениях предприятия полностью соответствует нормам микробиологического загрязнения помещений промышленных предприятий.

Библиографический список

1. Информация о предприятии [Электронный ресурс] URL: <https://tioinvest.ru/> (дата обращения: 21.03.2025)
2. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды. Энциклопедия «Экометрия» / Под ред. Л.К. Исаева. – СПб.: Крисмас, 1998.

3. И.А. Еремина, О.В. Кригер Лабораторный практикум по микробиологии учебное пособие для студентов вузов / Кемерово 2005. С 83-95.

4. Контроль санитарно-гигиенического состояния воздушной среды [Электронный ресурс] URL: https://e-ecolog.ru/docs/pUSEVpmOfO_oTPPs4iTv5/2021 (дата обращения: 21.03.2025).

УДК 674.64:620.193.82

**Богданов В.Н., гл. специалист ЦТТ, ассистент,
Старостина И.В., канд. техн. наук, доцент.
(БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия)**

АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЕ СИЛИКАТНОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

*Представлены исследования по оптимизации составов антибактериальных покрытий на основе калийного силикатного стекла с использованием метода математического планирования эксперимента. В качестве функции отклика выбраны зоны биоцидности *E.coli* и *S.aureus*.*

Ключевые слова: биоцид, бактерии, тяжелые металлы, силикатное покрытие, металлические материалы, зона биоцидности.

Антибактериальные краски играют важнейшую роль в создании более здоровой и гигиеничной атмосферы в жилых и в общественных помещениях. Они помогают предотвратить распространение вредных микроорганизмов, что особенно актуально для медицинских учреждений, жилых домов и мест общественного пользования. Так, по результатам санитарно-бактериологических исследований объектов больничной среды в смывах с поверхностей выявлены такие возбудители, как *A.baumannii*, *P.aeruginosa*, *E.coli*, *K.pneumonia*, *Enterococcus spp*, *S.aureus*, *S.epidermidis* [1].

Лакокрасочные материалы и покрытия, применяемые в условиях, благоприятных для роста и развития плесневых грибов, бактерий и других микроорганизмов, являясь питательным субстратом для этих агентов биоповреждений, могут подвергаться микробиологическим повреждениям. Лакокрасочные покрытия подвергаются обрастианию живыми микроорганизмами, которые в процессе своей жизнедеятельности produцируют ферменты, кетоны, спирты и такие агрессивные метаболиты, как кислоты – органические (щавелевая, гликолевая, янтарная, уксусная и др.) и неорганические (азотная, серная, и др.), а также аммиак, сероводород, метан, углекислый газ.

Продукты жизнедеятельности микроорганизмов могут играть роль мощных катализаторов, ускоряющих химические реакции в несколько раз, что и приводит к быстрому разрушению отдельных материалов и изделий в целом [2 - 4].

Кроме того, агрессивное воздействие продуктов жизнедеятельности микроорганизмов сочетается с воздействием физических и химических внешних факторов (солнечная радиация, повышенная влажность, температура и т.д.). В большинстве случаев они взаимно дополняют друг друга, ускоряя и усугубляя разрушение материалов и ухудшая их эксплуатационно-технические и декоративные свойства. В реальных условиях бывает трудно определить, в какой мере повреждение лакокрасочного покрытия произошло за счет биологических, а в какой – за счет физико-химических факторов.

Основными агентами микробиологических повреждений лакокрасочных покрытий являются плесневые грибы. Бактериальные поражения встречаются реже, они характеризуются появлением бесцветного или окрашенного слизистого налета. Под слоем краски встречаются микробиоценозы сложного состава, включающие бактерии и грибы. Среди микроорганизмов, повреждающих лакокрасочные покрытия, часто встречаются грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Alternaria*, *Cephalosporium*, *Pullularia*, бактерии родов *Pseudomonas*, *Flavobacterium*. Повреждения покрытий грибами происходят либо за счет компонентов, входящих в состав покрытия, либо за счет веществ, загрязняющих поверхность покрытия, под действием метаболитов, выделяемых мицелием, который растет за счет загрязняющих покрытия веществ [5].

Современные методы снижения микробиологических загрязнений поверхностей основаны на двух подходах: первый – нанесение антиадгезионных, второй – биоцидных покрытий.

Причем второй подход более предпочтителен, поскольку при нанесении антиадгезионных покрытий инфекционные агенты не устраняются, и их присутствие обеспечивает высокий риск заражения для уязвимых пациентов. Элементы больничных конструкций, такие как операционные столы, кровати для скорой помощи, реабилитационные койки, изготавливаются в основном из хромоникелевой стали, иногда с гальваническим покрытием или покрытием порошковой краской. Длительная эксплуатация этих устройств и конструкций в тяжелых условиях приводит к тому, что они подвергаются механическому воздействию и повреждению защитных покрытий, что приводит к появлению очагов биологической коррозии [6].

Таким образом, создание устойчивых к биологическому воздействию композиций, специальных защитных покрытий и лакокрасочных материалов с антибактериальными свойствами является перспективным направлением по защите от биоповреждений строительных материалов, в том числе и металлических конструкций [7]. Актуальность этого направления подтверждается результатами исследования основных тенденций в лакокрасочной промышленности в 2025 году [8]. Данные, полученные с помощью платформы StarUs Insights Discovery Platform, которая охватывает более 4,7 млн стартапов и масштабируемых компаний по всему миру, показали, что производство антибактериальных красок занимает первое место в Топ-10 тенденций развития лакокрасочной промышленности.

Защита покрытий от разрушительного действия микроорганизмов осуществляется введением в состав лакокрасочных покрытий специальных биоцидных препаратов. Известными добавками, обладающими антибактериальными свойствами, являются композиты на основе металлов и наночастиц оксидов металлов - Ag, Cu, TiO₂, MgO, CuO, ZnO, Al₂O₃, Fe₂O₃, Fe₃O₄, MoO₃, NiO, CoFe₂O₄ [9 - 11]. Придание покрытиям биоцидных свойств основано на воздействии тяжелых металлов на микро- и макроорганизмы. Механизм действия таких биоцидных частиц может быть внутриклеточным и внеклеточным. В первом случае биоцидный эффект обусловлен их связыванием с внутриклеточными белками или молекулами ДНК. Во втором случае наночастицы, прикрепляясь к клеточным мембранам, разрушают целостность клетки или вызывают механическое повреждение клеточной стенки [12].

Учитывая, что лакокрасочные материалы являются сложными многокомпонентными системами, то их биоцидность зависит от состава и от химической природы отдельных компонентов. Важное значение имеет также характер ответных реакций микроорганизмов на воздействие биоцидов и их способность к адаптации. Однако на их месте со временем появляются новые виды, устойчивые к действию данных биоцидов и, как правило, не менее агрессивные к защитным пленкам. Необходимо отметить, что грибостойкость одного и того же лакокрасочного покрытия зависит также от места и условий применения, так как видовой состав грибов, поражающих защитное покрытие, специфичен для каждой почвенно-климатической зоны [13].

Цель данной работы - изучение комплексного влияния нескольких факторов на биоцидные свойства силикатных покрытий по стали с использованием метода математической статистики.

В качестве исходных материалов использовали:

- калиевое жидкое стекло с кремнеземистым модулем 3,48;
- латекс марки НОВОПОЛ 004А;
- пиритион цинка в качестве биоцидной добавки.

Количество латекса варьировалось с учетом рекомендаций, разработанных в предыдущих исследованиях [14].

Для сравнения и определения влияния указанных факторов на характеристики покрытий приведем формулы взаимосвязи между натуральными и кодированными значениями для КЖС с биоцидом:

$$x_1 = \frac{KJC-50}{33,866}, \quad x_2 = \frac{Биоцид-0,44}{0,43};$$

При определении чувствительности эшерихий и стафилококков к различным составам силикатного покрытия, содержащих биоцид, использовали микробиологический метод.

Для разработки оптимальных составов покрытий использовали метод математического планирования эксперимента. В качестве варьируемых факторов рассматривали содержание в составе краски КЖС и биоцида. В качестве функции отклика выбраны зоны биоцидности *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* – зоны отсутствия развития бактерий вблизи образцов силикатного покрытия, расположенных в чашках Петри с твердой питательной средой МПА, на которую предварительно вносили суспензии бактерий [14].

Критерий оптимизации – максимальная биоцидность при минимальной дозировке биоцида. План эксперимента в кодированных и натуральных координатах и матрица эксперимента представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Условия планирования эксперимента в кодированных и натуральных координатах.

Факторы		Уровни варьирования			Интервал варьирования
натуральный вид	кодированный вид	-1	0	1	
Количество КЖС, %	x_1	16,134	50,00	83,866	33,866
Количество биоцида, %	x_2	0,01	0,44	0,87	0,43

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента в кодированных координатах.

№ точки плана	X ₁	X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₁ X ₂
1	-1	-1	1	1	1
2	1	-1	1	1	-1
3	-1	1	1	1	-1
4	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0
6	0	1	0	1	0
7	0	-1	0	1	0
8	1	0	1	0	0
9	-1	0	1	0	0

Обработку результатов экспериментов выполняли методом математической статистики [15, 16]. Методом регрессионного анализа [17] получили следующее уравнение регрессии для:

бактерий *Escherichia coli*

$$Y=43,02+4,01 \cdot x_1+24,35 \cdot x_2+1,63 \cdot x_1^2-15,31 \cdot x_2^2+0,11 \cdot x_1^2 \cdot x_2^2$$

бактерий *Staphylococcus aureus*

$$Y=32,07+1,95 \cdot x_1+14,17 \cdot x_2+0,76 \cdot x_1^2-7,65 \cdot x_2^2-2,57 \cdot x_1^2 \cdot x_2^2$$

Коэффициент при факторе X₂ наиболее значим, из чего следует, что в исследуемом диапазоне изменения выбранных параметров даже небольшие изменения добавляемого биоцида будут заметно влиять на антибактериальные свойства силикатного покрытия по отношению к бактериям *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus*.

План и результаты опытов по комплексному исследованию влияния взаимодействия факторов на биоцидные свойства покрытия представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты экспериментальных исследований получения силикатных покрытий с биоцидом.

№ точки плана	Факторы		Отклики	
	Содержание, мас.%		Диаметр зоны задержки роста <i>E.coli</i> , мм	Диаметр зоны задержки роста <i>S.aureus</i> , мм
	КЖС	Биоцид		
1	16,134	0,01	2,4	0,9
2	83,866	0,01	8,9	8,9

3	16,134	0,87	63,1	49,3
4	83,866	0,87	81,3	57,3
5	50,00	0,44	56,2	44,3
6	50,00	0,87	72,2	53,3
7	50,00	0,01	5,7	4,9
8	83,866	0,44	62,4	48,3
9	16,134	0,44	49,9	40,3

По полученным уравнениям регрессии построены номограммы зависимостей (рис. 1).

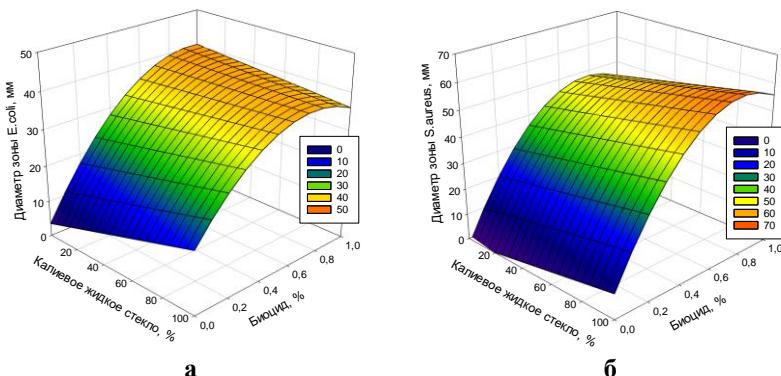


Рис. 1. Зависимость диаметра зоны биоцидности от количества и состава силикатного покрытия для бактерий:
а – *Escherichia coli*; б – *Staphylococcus aureus*.

Результаты исследований показали, что максимальными биоцидными свойствами в отношении как *Escherichia coli*, так и *Staphylococcus aureus* обладает силикатное покрытие состава, мас.-%: КЖС – 83,866; биоцид – 0,87%, латекс – 15,264%.

Библиографический список

1. Эсауленко Н.Б., Каменева О.А., Косякова К.Г. [и др.]. Нозокомиальные инфекции и микробиологический мониторинг в многопрофильных лечебных учреждениях // Медицинский алфавит. 2018. Т. 2, № 35. С. 14 – 19.
2. Василенко М.И., Латыпова М.М. Создание грибостойких покрытий с использованием отходов производства // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей

- среды: сб. докл. Междунар. научно-техн. конф., Белгород, 24-25 нояб. 2015 г. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова. Т. II. 2015. С.16-20.
3. Василенко М.И., Гончарова Е.Н. Микробиологические особенности процесса повреждения бетонных поверхностей // Фундаментальные исследования. 2013. № 4. С. 886 – 891.
4. Семенов С.А., Гумаргалиева К.З., Заикова Г.Е. Биоповреждения материалов и изделий техники // Горение, деструкция и стабилизация полимеров. М.: Научные основы и технологии, 2008. С. 73-79.
5. Пехташева Е.Л., Неверов А.Н., Заиков Г.Е., Стоянов О.В., Русанова С.Н. Биоповреждения и защита лакокрасочных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 10. С. 149-152.
6. Kenawy E.-R., Worley S. D., Broughton R. The Chemistry and Applications of Antimicrobial Polymers: A State-of-the-Art Review // Biomacromolecules. 2007. Vol. 8, No. 5. Pp. 1359 – 1384.
7. Гончарова Е.Н., Порожнюк Л.А. Исследование возможности использования отходов в качестве биоцидных добавок // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2006. № 13. С. 35-38.
8. Топ-10 тенденций лакокрасочной промышленности в 2025 году // Лакокрасочные материалы и их применение. 2025. № 1-2 (571). С.12-14.
9. Яценко Е. А., Рябова А.В., Храменкова А.В., Середин Б.М., Попов В.П., Аристкина Д.Н., Трофимов С.В., Кириленко М.А., Кузнецов О.Ю. Силикатные и электролитические полимер-оксидные покрытия медицинского назначения // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2021. № 2 (210). С. 92-101.
10. Rufus A., Sreeju N., Daizy P. Synthesis of Biogenic Hematite (α -Fe₂O₃) Nanoparticles for Antibacterial and Nanofluid Applications // RSC Adv. 2016. Vol. 6. Pp. 94206 – 94217.
11. Saxena V., Chandra P., Pandey L.M. Design and Characterization of Novel Al-Doped ZnO Nanoassembly as an Effective Ananoantibiotic // Appl Nanosci. 2018. Vol. 8, N 8. Pp. 1925 – 1941.
12. Kandelbauer A., Widsten P. Antibacterial melamine resin surfaces for wood-based furniture and flooring // Progress in Organic Coatings. 2009. Vol. 65. Pp. 305 – 313.
13. Ильичев В.Д., Бочаров Б.В., Горленко М.В. Экологические основы защиты от биоповреждений. М.: Наука, 1985. 264 с.
14. Богданов В.Н., Буханов В.Д., Везенцев А.И., Воронцова О.А. Бактерицидное действие экспериментального композиционного материала защитно-декоративного назначения // Бутлеровские сообщения. 2013. Т.34. № 5. С.100-105.
15. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Вильямс, 2016. 912 с.
16. Соколов Г.А., Сагитов Р.В. Введение в регрессионный анализ и планирование регрессионных экспериментов в экономике: учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2012. 202 с.
17. Зарубина В.С. Крищенко А.П. Математическая статистика XVII. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 424 с.

УДК 628.355, 57.083.13.

¹Вишневская И.С., студент
Сакаян Д.И., студент

²Хохлачев Н.С., канд. техн. наук.

(1 – Российский университет
дружбы народов им. Патриса Лумумбы,
г. Москва, Россия,
2 – ООО «Газпром ВНИИГАЗ» г. Санкт-Петербург)

СЕЛЕКЦИЯ СООБЩЕСТВА ГРАНУЛИРОВАННОГО АЭРОБНОГО ИЛА С ПОМОЩЬЮ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОНТРОЛИРУЕМОГО ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА

Аннотация: из-за возрастания антропогенного воздействия на водные экосистемы актуальной темой является разработка и улучшение существующих технологий очистки сточных вод. Одной из перспективных технологий является очистка с использованием гранулированного аэробного ила. В данной работе рассмотрена селекция сообществ гранулированного аэробного ила с помощью воздействия контролируемого оксидативного стресса.

Ключевые слова: гранулированный аэробный ил, контролируемый оксидативный стресс.

Очистка хозяйственно-бытовых сточных вод является важным фактором управления водными ресурсами и охраны окружающей среды. На сегодняшний день существует множество способов очистки, в том числе и биологическая, реализуемая с помощью разных технологий, включая метод с использованием флокул активного ила.

Применение флокул активного ила, не смотря на многочисленную апробацию имеет определенные ограничения в эффективности в сравнении с очисткой гранулами активного ила. Гранулированный аэробный ил обладает лучшими седиментационным свойствам, в виду повышенной плотности и размеров агломератов [1]. Одним из главных факторов перехода от флокул к гранулам является селекция медленнорастущих фракций сообщества активного ила, способных к выработке внеклеточных полимерных веществ (ВПВ) [2]. Воздействие контролируемым оксидативным стрессом на сообщество гранулированного аэробного ила должно способствовать к селекции микробиологических культур, имеющих механизмы защиты от сублетальных концентраций пероксида водорода, в том числе за счет синтеза ВПВ.

Для выделения чистых культур были отобраны два сообщества гранулированного аэробного ила (рис.1.).

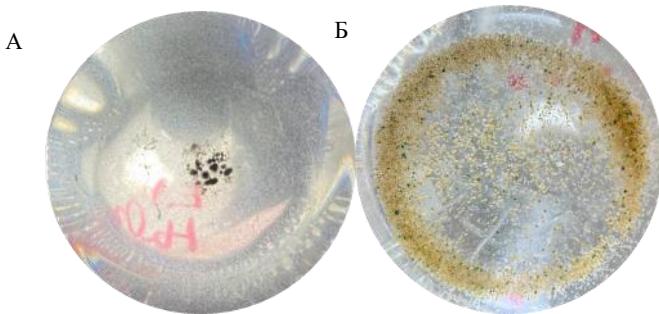


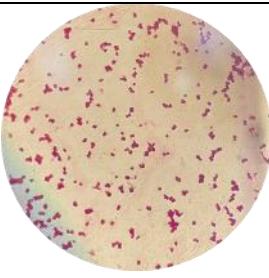
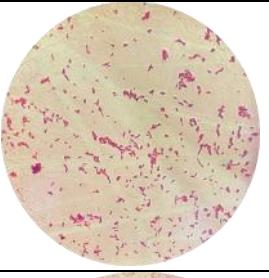
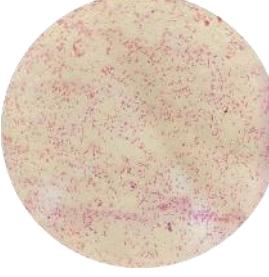
Рисунок 1. Сообщества гранулированного аэробного ила.

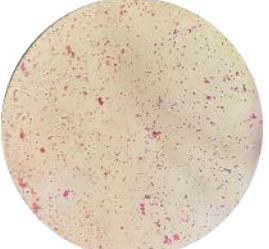
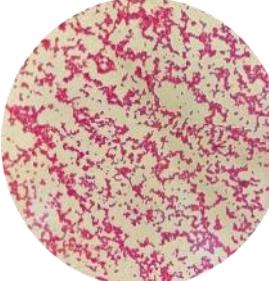
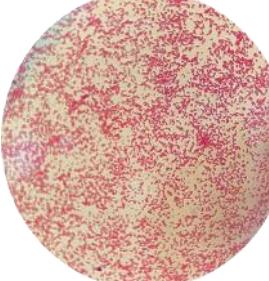
Сообщество А было изначально получено при воздействии агентов стресса в отъемно-доливном процессе очистки [3]. Данное сообщество характеризовалось серо-черным цветом и размером образуемых гранул до 3000 мкм. Второе сообщество было получено из первого, путем селекции в биологическом реакторе отъемно-доливного типа с рабочим объемом 2,5 литра [4]. Сообщество Б имеет желтый цвет и размер гранул до 500 мкм. Активность двух сообществ гранулированного ила постоянно поддерживалась путем пересевов и аэрирования в колбах на качалке. Пересевы происходили 2 раза в неделю в нестерильных условиях с селекцией быстро осаждающейся фракцией сообщества. В мерном цилиндре объемом 1 литр проходило отстаивание биомассы в течение 5 – 10 минут с дальнейшим сливом надосадочной жидкости для удаления медленно осаждающейся фракции. После вносились новая питательная среда объемом 100 мл. Периодическое культивирование осуществлялось на колбах Эрленмейера объемом 250 мл на шейкере S – 3L при 200 об./мин.

Для выделения изолятов был использован подход контролируемого оксидативного стресса. В колбы вносился пероксид водорода в сублетальных концентрациях. Концентрации вносимого пероксида варьировались в диапазонах 0,3 г/л – 0,9 г/л при пересчете на 100 % пероксида и постепенно увеличивалась по мере осуществления микробиологических пассажей. После проведения каждого пассажа чашки Петри инкубировались в термостате при температуре 30°C. Периодические пересевы продолжалась до снижения численности высеваемых колоний.

Дальнейшее исследование осуществлялось на основе полученных культур с 9-12 пассажей при воздействии контролируемого оксидативного стресса. В таблице 1 предоставлены результаты работы по выделению монокультур, которые потенциально могут отвечать за процессы гранулообразования в сообществе гранулированного аэробного ила и иметь повышенный синтез ВПВ.

Таблица 1. Выделенные изоляты из сообщества гранулированного аэробного ила.

Изолят	Полученные колонии	Микроскопия
1		
2		
3		

4		
5		
7		
8		

Далее полученные изоляты были идентифицированы методом молекулярно-генетического анализа 16S рРНК. Полученные

результаты были обработаны с использованием базы данных Genbank [5]. Проанализированные данные по сходимости генетических последовательностей полученных штаммов с наиболее близкими отображены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты BLAST-анализа.

Изолят	Название штамма	Идентичность, %
1	<i>Kocuria rhizophila</i> strain TA68	99,52
2	<i>Methylobacterium fujisawaense</i> strain DSM 5686	100,00
3	<i>Sinorhizobium arboris</i> LMG 14919 strain NBRC 100383	99,50
4	<i>Staphylococcus epidermidis</i> strain SCF93	99,93
5	<i>Ensifer adhaerens</i> strain NBRC 100388	99,93
7	<i>Kocuria marina</i> strain KMM 3905	99,79
8	<i>Planomicrobium okeanokoites</i> strain NBRC 12536	99,58

Выделенные монокультуры могут играть ключевую роль в процессах гранулообразования. Цель дальнейших исследований будет направлена на исследования возможности полученных изолятов к автоагрегированию и синтезу ВПВ.

Библиографический список

1. Pronk M. et al. Full scale performance of the aerobic granular sludge process for sewage treatment //Water research. 2015. Т. 84. С. 207-217.
2. de Kreuk M. K., Van Loosdrecht M. C. M. Selection of slow growing organisms as a means for improving aerobic granular sludge stability //Water Science and Technology. 2004. Т. 49. №. 11-12. С. 9-17.
3. Khokhlachev N. S. et al. The role of stress agents as operating factors in formation and functioning of granular aerobic activated sludge at model domestic wastewater treatment //Bioprocess and biosystems engineering. 2014. Т. 37. С. 1771-1779.
4. Изучение очистки сточных вод процесса культивирования метанокисляющих микроорганизмов гранулированным аэробным илом / Д.И. Сакаян, Н.С. Хохлачев, С.В. Калёнов, М.А. Руслякова // Бутлеровские сообщения. 2024. № 3. том 77. С. 99-112.

5. Standard Nucleotide BLAST // National Center for Biotechnology Information URL: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (дата обращения: 01.03.2025).

УДК 579.678

**Воробьева Ю.Р., студент
Половнева Д.О., ассистент
Бездетко Е.О., магистрант
Клименко М.А., магистрант**

*(Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)*

ПИЩЕВАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ: БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ И РИСКИ КОНТАМИНАЦИИ (ОБЗОР)

Аннотация: В статье представлен обзор пищевой микробиологии, ее актуальности и значимости для обеспечения безопасности и качества продуктов питания, которая обусловлена в последнее время ростом угроз, связанных с микробиологическим загрязнением (контаминацией) сырья и полуфабрикатов животного происхождения. Известно, что потребление продуктов питания, загрязненных патогенными микроорганизмами, может привести к серьезным последствиям для здоровья человека, включая пищевые отравления и инфекции. Также в работе приводятся мероприятия по регулированию и обеспечению безопасности продуктов питания, направленные на минимизацию рисков здоровью населения и повышение качества жизни.

Ключевые слова: пищевая микробиология, контаминация, микробиологическая безопасность, загрязнение продуктов питания, отравление.

Пищевая микробиология представляет собой важную и многогранную область науки, которая изучает микроорганизмы, влияющие на безопасность и качество продуктов питания. В условиях современного мира, где глобализация и индустриализация производства продуктов питания становятся все более актуальными, вопросы, связанные с микробиологической безопасностью, выходят на первый план. Потребление продуктов, содержащих патогенные микроорганизмы, может привести к серьезным последствиям для здоровья человека, включая пищевые отравления и инфекции. Поэтому исследование пищевой микробиологии и связанных с ней рисков становится не только актуальным, но и необходимым для обеспечения здоровья населения [1-3].

Цель работы заключается в изучении пищевой микробиологии, ее актуальности и значимости для обеспечения безопасности и качества продуктов питания.

Актуальность работы обусловлена растущими угрозами, связанными с микробиологическим загрязнением продуктов питания, особенно сырья и полуфабрикатов животного происхождения. В последние годы наблюдается увеличение случаев заболеваний, вызванных потреблением зараженных продуктов питания (*contaminated food*), что подчеркивает необходимость системного подхода к контролю за безопасностью пищевых продуктов. В работе рассматриваются основные виды микробиологического загрязнения, их источники и механизмы передачи, а также влияние этих факторов на качество продукции и здоровье потребителей.

Проблема микробиологического загрязнения становится особенно актуальной в условиях массового производства, когда существует риск внедрения патогенных микроорганизмов, способных вызвать серьезные заболевания. Инфекции и отравления, связанные с потреблением недостаточно обработанных или загрязненных продуктов, являются серьезной проблемой для общественного здравоохранения. Результаты исследований последних лет показывают, что многие вспышки заболеваний вызваны именно такими продуктами. Поэтому микробиологический контроль на всех этапах – от поля до стола – приобретает критическое значение [4].

Большую роль в пищевой микробиологии играют исследования, связанные с определением и контролем технологических процессов, позволяющих предотвратить рост и размножение патогенов. Технологические процессы, такие как термическая обработка, пастеризация и стерилизация, служат основными методами контроля микробиологического состояния продукции. Их эффективность во многом зависит от понимания биологии микроорганизмов и их реакции на различные условия [5]. Например, использование высокоактивных производственных штаммов может помочь улучшить качество продукции и увеличить её срок хранения.

Риски микробиологической контаминации продуктов питания значительно увеличиваются из-за множества факторов, среди которых выделяются источники бактериального, вирусного и грибкового загрязнений. Секрет успешного предотвращения таких рисков заключается в хорошей осведомленности об условиях хранения и производстве пищевых продуктов. Бактерии, вирусы, грибы и простейшие могут попасть в продукты питания во время обработки, упаковки, хранения и даже на этапе потребления. Примеры

распространенных проблем включают сальмонеллез, вызываемый бактериальной контаминацией, и желудочно-кишечные расстройства, связанные с инфекциями, передающимися через пищу [6].

Контаминация может иметь много источников. Одним из основных является несоблюдение санитарно-гигиенических норм во время процессов обработки и упаковки, что может вызвать распространение патогенных микроорганизмов [7]. Специалисты подчеркивают, что загрязнение часто происходит из-за использования неправильных методов приготовления пищи или недостаточных условий хранения. Например, неправильное соблюдение температурных режимов может привести к размножению опасных микробов в продуктах [8].

Для борьбы с рисками микробиологической контаминации применяются несколько основных мер. Во-первых, необходима строгая система контроля на всех этапах производственного процесса, начиная от выбора сырья и заканчивая подготовкой к продаже. Лабораторные тестирования должны регулярно проводиться для определения возможных патогенов, которые могут быть не видны на первый взгляд. Это включает в себя анализ как готовой продукции, так и сырья. Подготовка персонала также имеет далеко не последнюю роль. Человеческий фактор довольно часто становится причиной контаминации сырья, промежуточных и готовых продуктов, упаковки [9].

Законодательные рамки, регулирующие безопасность продуктов питания, играют возрастающую роль в минимизации рисков. В разных странах существуют свои нормативно-правовые акты, обеспечивающие строгое соблюдение стандартов безопасности. В Российской Федерации разработаны и внедрены специальные методические рекомендации, позволяющие оценивать риск здоровья населения и предпринимать превентивные меры [8].

Следовательно, подход к пищевой безопасности подразумевает детальный анализ опасностей на всех уровнях – от микроорганизмов в производстве до условий хранения и потребления. Образовательные программы для работников пищевой отрасли, регулярные проверки и внедрение современных технологий для мониторинга и контроля микробиологического состояния продуктов помогут значительно снизить риски. Стратегия, основанная на научных исследованиях и практических наблюдениях, сформирует надежный барьер против микробиологической контаминации и обеспечит безопасность пищи для конечного потребителя [10].

Таким образом, пищевая микробиология не только помогает понять риски, связанные с микробиологической контаминацией, но и

предлагает решения для их минимизации. Важно, чтобы все заинтересованные стороны — от ученых до производителей и потребителей — работали совместно для создания безопасной и качественной пищевой среды, что в конечном итоге приведет к улучшению здоровья населения и повышению качества жизни.

Библиографический список

1. Красникова Л.В., Гунькова П.И., Савкина О.А. Общая и пищевая микробиология: учеб. пособие. Часть II. Санкт-Петербург.: Университет ИТМО, 2016. 127 с.
2. Коршева А.С. Перспективы применения вакуум-эжекционного метода для обеззараживания свиноводческих стоков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. №3. С. 124-127.
3. Калитина Е.Г., Елиусизова А.Б. Влияние факторов среды и длительного хранения штаммов на синтез гидролитических ферментов микроорганизмами, изолированными из бухты Золотой Рог г. Владивостока // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №4. С. 163-165.
4. Конспект лекций по предмету «Основы микробиологии санитарии и гигиены в пищевом производстве» [Электронный ресурс] // урок.рф. URL: <https://videouroki.net/razrabotki/kurs-liektssi-po-priedmietu-osnovy-mikrobiologhii-fiziologhii-pitaniiia-sanitarii.html> (дата обращения: 26.10.2024).
5. Социально-гигиенический мониторинг. Контаминация продовольственного сырья и пищевых продуктов химическими веществами. Сбор, обработка и анализ показателей: Методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 12 с.
6. Микробиологическая контаминация продовольственного сырья и готовой пищевой продукции (аналитический обзор) / А.С. Хишов, Т.В. Балагула, О.И. Лаврухина [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. №3. С. 486-503.
7. Полищук А.Е., Доника А.Д. Контаминация пищи как проблема безопасности питания // Успехи современного естествознания. 2014. № 6. С. 93-93. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=33777> (дата обращения: 27.10.2024).
8. МР 2.1.10.0067-12. Оценка риска здоровью населения при воздействии факторов микробной природы, содержащихся в пищевых продуктах. Методические основы, принципы и критерии оценки. Москва, 2012. 53 с.
9. Федоренко Е.В., Коломиец Н.Д., Сычик С.И. Актуальные проблемы микробиологической безопасности пищевой продукции // Гигиена и санитария. 2016. №95 (9). С.873-878.
10. Непоменко, А.В., Василенко М.И. Получение ферментолизата отработанных дрожжей пивоваренного производства // Актуальные аспекты и перспективы развития современной биотехнологии: сборник докладов Международной научной конференции. Белгород: Изд-во БГТУ, 2024. С. 83-86.

^{1,2}Власова Н.С., аспирант,

¹Хагаев А.А., магистрант,

¹Сордонова Е.В., канд. биол. наук, доц.,

¹Ламажапова Г.П., д-р биол. наук, доц.

(1 – Восточно-Сибирский государственный университет

технологий и управления, г. Улан-Удэ, Россия,

2 – Байкальский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»,

г. Улан-Удэ, Россия)

ИЗУЧЕНИЕ ФЕНОЛДЕСТРУКТИВНЫХ СВОЙСТВ МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПОЧВ ШЛАКООТСТОЙНИКА-НАКОПИТЕЛЯ В Г. УЛАН-УДЭ

Аннотация: были выделены аборигенные микроорганизмы, изучена их фенолдеструктивная способность, морфологические признаки и биохимические свойства. Установлено, что две выделенные монокультуры микроорганизмов обладают способностью к окислению до 99% фенола в модельном эксперименте. Установлено отсутствие угнетения роста исследованных микроорганизмов при содержании фенола в водном растворе до 50 г/л. Изучено накопление экзоферментов с фенолоксидазной активностью в культуральной жидкости.

Ключевые слова: шлакоотстойник-накопитель, фенол, бактерии, ферменты, биодеструкция, озеро Байкал.

Республика Бурятия расположена в границах буферной и центральной экологических зон Байкальской природной территории. Буферная зона создана в целях охраны уникальной экосистемы озера Байкал, так как является основным гарантом сохранения его чистоты при недопущении загрязнения водосборной территории.

Озеро Байкал является объектом природного наследия:

- в нем сосредоточено 23 тысячи км³ (22% мировых запасов) чистой пресной воды [1];

- в озере сформировалась уникальная экосистема. Около 60% обитателей озера эндемичны [2];

- озеро и его крупные притоки являются местами обитания особо ценных и ценных видов рыб (байкальский осетр, байкальский омуль) [3] и видов рыб, занесенных в Красные Книги РФ, Иркутской области, Республики Бурятия и Забайкальского края [4-6].

Антропогенная нагрузка на водотоки рассматриваемой территории, протекающие в непосредственной близости от населенных пунктов, увеличивается с каждым годом. Через г. Улан-Удэ протекают реки Селенга и Уда, являющиеся крупными притоками озера Байкал

первого и второго порядка соответственно. Основным источником питания рек рассматриваемого района являются жидкие осадки и талые воды. Устойчивое подземное питание на них достигает 25-35%. Территория города Улан-Удэ относится к району, где подземный сток составляет 30-40% от общего годового [7]. Загрязнение водотоков может происходить как с поверхности, так и через подземные воды.

В микрорайоне Кирзавод в Железнодорожном районе г. Улан-Удэ находится «фенольное озеро», образовавшееся из отходов работавшей с 1937 г. газогенераторной станции ЛВРЗ. Сам отстойник появился только в 1987 г. на территории карьера бывшего золоотвала ТЭЦ-1. Официально сброс отходов в отстойник проводился с 1987 по 2005 гг. Площадь «фенольного озера» на данный момент согласно картографическим данным составляет около 10700 м², расстояние до р. Уда составляет 1,2 км, до р. Селенга – около 4 км. Рядом с фенольным озером находится золошлакоотстойник-накопитель, расстояние которого до р. Уда составляет около 0,87 км, до р. Селенга – 4,3 км. Дно и стенки отстойников не изолированы, вследствие чего происходит постепенная инфильтрация экотоксикантов (фенольные соединения, нафталин, аценафтен, бензол, толуол и т.д.) из отстойников в грунт, что приводит к его загрязнению. Также установлено загрязнение подземных вод в зоне влияния отстойника-накопителя и зафиксировано распространение загрязнения по направлению к реке Уда [8]. Это неизбежно приведет к загрязнению нижележащей речной системы вплоть до оз. Байкал.

Для снижения неблагоприятного воздействия таких промышленных искусственно созданных биогеоценозов на окружающую среду необходимо осуществлять рекультивационные мероприятия. Ликвидация последствий загрязнения может осуществляться различными способами, одним из которых является биоремедиация с использованием микроорганизмов или ферментных препаратов.

Микроорганизмы, выживающие в экстремальных условиях антропогенного загрязнения, должны обладать деструктивными свойствами по отношению к характерным для места их обитания загрязняющим веществам. Данные особенности микроорганизмов-деструкторов можно изучать и использовать для улучшения экологической обстановки на участках промышленных и бытовых загрязнений почв и водных объектов.

Целью работы явилось изучение фенолдеструктивных способностей микроорганизмов, выделенных из загрязненной почвы шлакоотстойника-накопителя.

Объекты и методы

Объектом исследования являются аборигенные микроорганизмы, выделенные из поверхностного слоя почвы шлакоотстойника-накопителя. Предметом исследования являются фенолдеструктивные свойства изучаемых микроорганизмов.

Сбор микробиологического материала проводился в соответствии со стандартными методиками. Отбор проб осуществлялся из поверхностного слоя почвы на территории шлакоотстойника-накопителя. В Железнодорожном районе г. Улан-Удэ (рис. 1).



Рис. 1. Рассматриваемый участок антропогенного воздействия и точка отбора проб на карте Яндекс.

Культивирование полученных культур проводили в качалочных колбах объёмом 500 мл с 100 мл питательной среды на круговой качалке с частотой вращения платформы 180 об/мин. Для выращивания культур использовали мясопептонный бульон с заменой 50 % водным раствором фенола с концентрацией 1000 мг/л.

Хранение штаммов осуществлялось на мясопептонном агаре (далее МПА) при комнатной температуре с пересевом через месяц.

Для определения количества микроорганизмов, их морфологических признаков, биохимических свойств использовались стандартные микробиологические методы исследования.

Результаты и обсуждение

В результате исследования было выделено 12 культур микроорганизмов. Морфологические характеристики полученных колоний микроорганизмов описаны в таблице 1 [9].

Таблица 1. Морфологические характеристики выделенных культур почвенных микроорганизмов, населяющих приводную территорию шлаковых отстойников.

№п/п	Размер колонии, мм	Цвет колонии	Форма колонии	Окраска по Граму
1	2	Белый	Круглая	-
2	2	Белый	Круглая	+
3	3	Кремовые	Круглая	+
4	2-3	Белый	Круглая	-
5	6	Белый	Круглая	-
6	4	Белый с темными краями	Неправильная	-
7	3-5	Оранжевый	Ризоидная	-
8	4-5	Кремовый	Круглая	-
9	1	Светло-бежевый	Круглая	-
10	4	Желтый	Круглая	-
11	2-4	Кремовый	Круглая	+
12	2	Кремовый	Круглая	+

Все выделенные культуры микроорганизмов в различной степени обладали фенолокисляющими свойствами при инкубировании в водном растворе 0,1 % фенола. По окончании инкубирования процент утилизации фенола составил от 10 до 99 % (рис. 2).

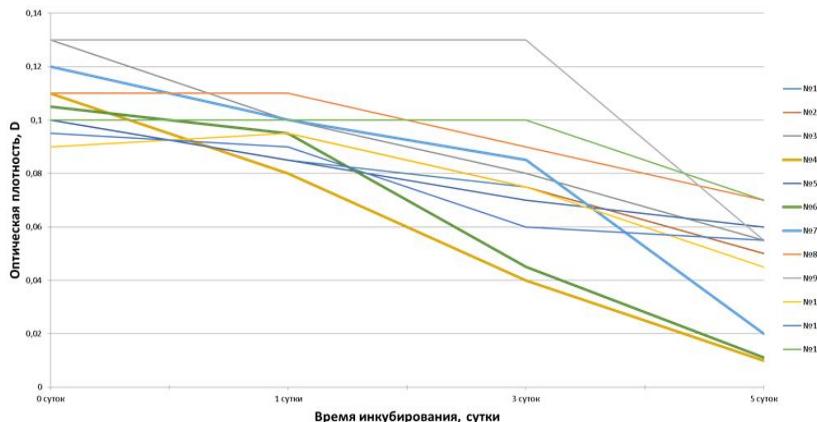


Рис. 2. Фенолокисляющая активность выделенных микроорганизмов.

Наиболее выраженными фенолдеструктивными свойствами обладали культуры микроорганизмов под номерами 4 и 6. Эти монокультуры разрушили до 99% фенола в течение 5 суток, поэтому было принято решение проводить все дальнейшие исследования на данных культурах микроорганизмов.

Для изучения влияния концентрации фенола на жизнедеятельность выбранных микроорганизмов производили их выращивание на селективных средах Егоровой с различным содержанием фенола. Культивирование проводили в качалочных колбах при 100 об/мин, температуре $25\pm2^{\circ}\text{C}$ в течение 5 суток, после чего проводили стерильный отбор для измерения накопления биомассы по изменению оптической плотности и для посева на МПА для прямого подсчета колоний. Исходя из полученных результатов, негативное влияние концентрации фенола от 0,1% до 0,5% в жидкой среде на жизнедеятельность микроорганизмов обоих культур не отмечалось. При выращивании данных монокультур на искусственной среде Егоровой с единственным источником углерода в виде 1%-ного фенола наблюдался рост культуры №4 без видимого угнетения. Максимальная фенолокисляющая активность отмечалась на 3 сутки (до 70 %), спорообразование – на 7 сутки. У культуры №6 в тех же условиях отметили значительное снижение эффективности фенолокисляющих процессов.

Полученные результаты характеризуют высокую фенолокисляющую активность культуры №4. Это грамотрицательная эндоспорообразующая палочка. На МПА на 1 сутки образует мелкие

каплевидные колонии от бежевого до светло-кремового цвета, пигмент не диффундирует в среду. Структура колонии не тягучая, в питательную среду не зарывается [9].

Для установления таксономической принадлежности по определителю Берджи были проведены исследования на определение биохимических свойств исследуемой культуры. Согласно полученным результатам, исследуемая культура микроорганизмов предположительно относится к роду *Proteus*.

Ферментативная активность исследуемых фенолокисляющих бактерий культуры №4 была изучена в модельном эксперименте на 1%-м растворе фенола ферментами из культуральной жидкости и из гомогенизированной микробной массы. Установлено наличие экзоферментов, обладающих фенолокисляющими свойствами в составе белков культуральной жидкости. Изученный фермент способен к деструкции 70% фенола в течение 1 часа.

Выводы

В результате исследования из отобранных проб были выделены культуры аборигенных микроорганизмов, обладающие выраженными способностями к деструкции фенола (утилизировали 70-99% фенола).

Установлено, что при выращивании монокультур на искусственной среде с содержанием фенола 0,1-0,5% угнетения роста микроорганизмов не происходит, наблюдается увеличение микробной массы монокультуры №4 в растворах с содержанием фенола до 1%, что свидетельствует о использовании фенола данной монокультурой в качестве пищевого компонента.

В результате исследования ферментативной активности изучаемой культуры был обнаружен экзофермент, обладающий высокой фенолдеструктивной способностью.

На основании полученных результатов нами предполагается дальнейшее исследование практического применения ферментного препарата на основе изученной культуры с высокой степенью безопасности и эффективности очистки для биоремедиации природных объектов, загрязненных фенольными соединениями.

Библиографический список

1. Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 8 (часть 2) С. 101-103. URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=5907> (дата обращения: 17.03.2025).
2. Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна / ред. О.А. Тимошкин, Т.Я. Ситникова, О.Т. Русинек и др. Новосибирск: Наука, 2001. Т. 1: Озеро Байкал, кн. 1 – 832 с.

3. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 23 октября 2019 года N 596 «Об утверждении Перечня особо ценных и ценных видов водных биологических ресурсов» (с изменениями на 18 февраля 2020 года). URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73123799/> (дата обращения: 17.03.2025).

4. Красная Книга Иркутской области. Редколлегия: С.М. Трофимова. Улан-Удэ: Изд-во ПАО «Республиканская типография», 2020. 552 с.: ил.

5. Красная книга Республики Бурятия. Животные / Ответственный редактор Е. П. Бадмаева. 4-е изд., доп. и перераб. - Белгород: КОНСТАНТА, 2023. 300 с.: ил.

6. Красная книга Забайкальского края. Животные. – Новосибирск: ООО «Новосибирский издательский дом», 2012. 344 с.

7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16. Ангаро-Енисейский район. Вып. 3. Бассейн оз. Байкал. (Забайкалье). Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 400 с.

8. Бакланова А. В. Проблема фенольного озера на территории ЛВРЗ Г. Улан-Удэ Республики Бурятия // Экологические и социальные проблемы Байкальского региона и прилегающих территорий: Материалы VIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Улан-Удэ, 21–22 мая 2022 года / Науч. редакторы Э.Н. Елаев, С. Хадбатаар. Улан-Удэ: Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова, 2022. С. 132-136.

9. Зайцева Р. Р., Сордонова К. Д., Баторова А. Б. Д. Исследование фенолокисляющей активности бактериальных штаммов микробиоты шлакоотстойников // Научное сообщество студентов ХХI столетия. Технические науки: сборник статей по материалам СХХ студенческой международной научно-практической конференции, Новосибирск, 12 декабря 2022 года. Том 12 (118). Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Сибирская академическая книга", 2022. С. 6-15.

УДК 577.151

Горина С.Ю., аспирант, м.и.с,

Черных А.М., н.с.,

Гайдина А.С., м.н.с.,

Ренфельд Ж.В., к.б.н., н. с.,

Коломыцева М.П., к.б.н., в.н.с,

(Институт биохимии и физиологии микроорганизмов
им. Г.К. Скрябина РАН, ФИЦ «Пущинский научный центр биологических
исследований РАН», г. Пущино, Россия)

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЦЕЛЛОБИОЗОДЕГИДРОГЕНАЗ АСКОМИЦЕТОВ

Аннотация: работа посвящена разработке новых подходов к быстрой идентификации целлобиозодегидрогеназ у грибных культур в ходе их твердофазного и погруженного культивирования, поиску новых грибов-

продуцентов целлобиозодегидрогеназ класса III с применением новых методов и исследованию распространения и разнообразия продуцируемых грибами целлобиозодегидрогеназ.

Ключевые слова: целлобиозодегидрогеназа, скрининг, культивирование, субстратная избирательность

Целлобиозодегидрогеназа (CDH, EC1.1.99.18) является внеклеточным флавоцитохромом, продуцируемым фитопатогенными и дереворазрушающими грибами и участвующим в ранних процессах деградации лигноцеллюлозы. CDH окисляет целлобиозу, целлодекстрины и лактозу до соответствующих лактонов. Фермент имеет двухдоменную структуру, состоящую из флаводегидрогеназного домена (DH) и цитохромного домена (CYT), связанных гибким линкерным участком, обуславливающим возможность закрытого и открытого конформационного состояния фермента. Кофактор FAD дегидрогеназного домена участвует в переносе электрона от молекулы сахара к цитохромсвязывающему гемсодержащему домену, который передает электрон внешним акцепторам, таким как литической полисахаридмонооксигеназе (LPMO) [1]. Таким образом, функция CDH заключается в внеклеточном внутри белковом и белок-белковом переносе электронов. Каталитические возможности CDH могут быть использованы в различных областях: для создания биосенсоров и биотопливных ячеек, биодеградации, обработки бумажной массы, биокатализического производства альдоновых кислот, в медицине.

В ходе эволюции произошло разделение CDH на несколько филогенетических ветвей. При этом CDH класса I встречаются исключительно в базидиомицетах, тогда как CDH классов II, III и IV встречаются в аскомицетах [2]. Целлобиозодегидрогеназы классов I и II выделены и охарактеризованы, в то время как CDH классов III и IV еще не исследованы, при этом, предварительный анализ аминокислотных последовательностей CDH класса III предполагает структуру, схожую с CDH классов I и II, но имеющую отличия в области субстрат связывающего активного центра, что может повлиять на изменение функциональной активности ферментов этого класса, способствующее существенному расширению границ их применения.

Целью настоящей работы являлась разработка новых подходов к быстрой идентификации CDH и исследование распространения и разнообразия CDH у аскомицетов при твердофазном и погруженном культивировании грибов с применением новых методов.

В ходе работы был оптимизирован ранее описанный в литературе метод определения CDH-активности грибов на основе образования Берлинской лазури (Prussian Blue, PB-окрашивание) [3]. Замена буфера

на минеральную среду в реакционной агаризованной среде с сохранением рН, а также элиминация стадии преиндукции позволили ускорить и упростить процесс детекции CDH-активности культур (Рис. 1). Также на основе хромогенной реакции, сопровождающейся РВ-окрашиванием, был разработан микрометод для определения CDH-активности культуральной жидкости грибов и субстратной избирательности продуцируемых ферментов.

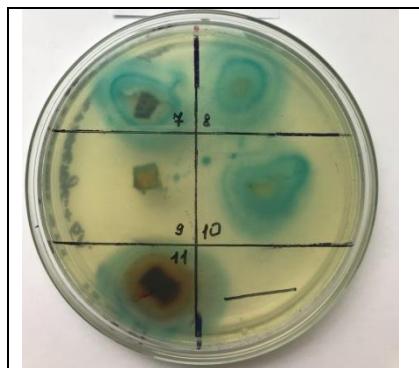


Рис. 1. Типичное РВ-окрашивание агаризованной среды, показывающее CDH-активность грибного мицелия в ходе твердофазного культивирования.

Использование модифицированного метода, включающего агаризованную минеральную среду с реакционными компонентами и сахарами в ходе скрининга позволило детектировать наличие CDH-активности грибов на ранних сроках твердофазного культивирования, по появлению характерного синего окрашивания вокруг мицелия аскомицетов. На основе модифицированного метода был проведен широкомасштабный скрининг аскомицетов из коллекции ВКМ РАН, предположительно содержащих в геноме гены CDH класса III и активно продуцирующих целлобиозодегидрогеназы. В результате скрининга было отобрано 27 активных грибных культур.

Впервые были исследованы условия индукции целлобиозодегидрогеназ отобранными аскомицетами в различных условиях твердофазного и погруженного культивирования. Были протестированы различные концентрации моно-, ди- и олигосахаридов, а также изучена связь физиологического состояния мицелия на продукцию CDH.

Оптимизация условий погруженного культивирования наиболее CDH-активных аскомицетов позволила определить субстратную

избирательность целлобиозодегидрогеназ, продуцируемых отобранными грибами в ходе погруженного культивирования. На основании полученных данных была показана способность аскомицетов продуцировать множество целлобиозодегидрогеназ с различной субстратной избирательностью в зависимости от используемого ростового субстрата, времени культивирования и состава среды.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта РФФИ-АНФа № 21-54-14009 и в рамках НИР Минобрнауки РФ “Молекулярные механизмы биодеградации ксенобиотиков” №122040100068-4.

Библиографический список

1. Ayers A.R., Ayers S.B., Eriksson K.E. Cellobiose oxidase, purification and partial characterization of a hemoprotein from *Sporotrichum pulverulentum* // European Journal of Biochemistry. 1978. №. 90. P. 171-181.
2. Scheiblbrandner S., Ludwig R. Cellobiose dehydrogenase: Bioelectrochemical insights and applications// Bioelectrochemistry. 2020. Т. 131. P. 107345.
3. High-throughput screening for cellobiose dehydrogenases by Prussian Blue in situ formation/ L.G Vasilchenko [et al.] // Biotechnol. J. 2012. Т. 7. P. 919–930.

УДК 67.05

Гладков Д.В., студент

Василенко Т.А., канд. техн. наук, доц.

(Белгородский государственный технический университет им В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОКАТЫВАТЕЛЕЙ

Аннотация: Постоянно растущий спрос на органоминеральные удобрения и вместе с тем растущие требования к качеству и безопасности выпускаемого товара вынуждают производителей искать новые технологии производства и модифицировать имеющееся оборудование для улучшения физико-механических характеристик удобрений и увеличения срока хранения без вмешательства в их исходную формулу. Статья посвящена анализу существующих конструкций различных типов окатывателей и их вариаций и модификаций, предназначенных для получения гранул различной формы, размера и плотности, что влияет на свойства самого продукта и снижает трудозатраты на его производство.

Ключевые слова: окатыватель, гранулы, гранулирование, органоминеральные удобрения

Разработка эффективного органоминерального удобрения пролонгированного действия порождает ряд проблем, связанных с физико-механическими свойствами конечного продукта и его сроками хранения. Решением этих задач является производство удобрений с использованием технологий гранулирования и окатывания, позволяющих получать гранулы определенного размера и формы. Органические компоненты связывают минеральные соли, затрудняя их растворение и приводя к постепенному высвобождению. Чем выше плотность гранул, тем меньше скорость высвобождения питательных веществ, а округлая структура гранул минимизирует поверхность контакта с почвой, что снижает процессы деградации и потери питания в результате химических реакций или микробиологического разложения [1].

Применение технологий гранулирования и окатывания позволяют создавать удобрения с точно заданными физическими свойствами, благодаря чему они равномерно распределяются по почве, обеспечивая растениям сбалансированное питание на протяжении всего вегетационного периода. Хотя и существуют общие принципы, характерные для большинства способов гранулирования, конкретные этапы производства гранул и окатышей могут различаться в зависимости от используемого типа оборудования и технологической схемы [2].

На рис. 1 представлена блок-схема производства гранулированных органоминеральных удобрений.



Рис. 1. Блок-схема производства гранулированных органоминеральных удобрений.

Гранулятор-окатыватель используется для получения сферических гранул из различных сыпучих материалов для промышленных, сельскохозяйственных и иных целей. Предварительно подготовленные первичные гранулы через входное отверстие попадают в зону интенсивного воздействия закрученного потока нагретого газа. Он создает турбулентность, способствующую сферизации гранул, обкатыванию неправильных частиц о корпус и друг об друга, а также сушит материал. С потоком гранулы постепенно перемещаются вдоль корпуса к выходному отверстию. Готовые сферические гранулы могут выводиться через выходное отверстие в разгрузочный бункер, либо же выноситься отработанным газовым потоком через выхлопную трубу.

Недостатком этого типа аппаратов является то, что в ходе сушки гранулы теряют влагу и становятся существенно легче, из-за чего, сильный газовый поток не дает им скатываться в зону разгрузки, препятствуя процессу окатывания. По той же причине наиболее легкие частицы выносятся с отработанным воздушным потоком, что ведет к снижению выхода готовой продукции и загрязнению механических деталей и электроники пылевыми выбросами. Модифицированная версия данного типа окатывателей (рис. 2) лишена подобных проблем. Достигается это введением в состав аппарата центральной выхлопной трубы, отводящей газ из системы, и расположением устройства для закручивания воздуха рядом с отверстием для подачи материала. Такие конструктивные решения препятствуют уносу гранул за счет уменьшения областей со встречными потоками, а изменение места закручивания воздуха повышает эффективность окатывания, поскольку создается одностороннее движение частиц с массами воздуха [3].

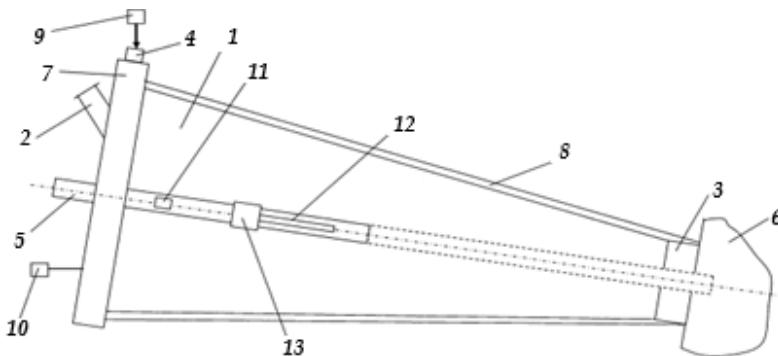


Рис. 2. Схема гранулятора-окатывателя: 1 – корпус; 2 – входное окно; 3 – выходное окно; 4 – патрубок; 5 – центральная выхлопная труба; 6 - разгрузочный бункер; 7 – устройство для закручивания газового потока; 8 – паровая рубашка; 9 – регулятор температуры; 10 – регулятор осевой и тангенциальной скорости потока; 11 – окна с изменяемым проходным сечением; 12 – осевая щель; 13 – манжеты.

Тарельчатый окатыватель (рис. 3) устроен намного проще, исходный материал загружается во вращающуюся наклонную тарель, где, поднимаясь в верхнюю часть, под действием силы тяжести начинает скользить вниз, сталкиваясь друг с другом и с корпусом аппарата. Эти соударения приводят к уплотнению материала и образованию отдельных гранул, форма которых, при правильно подобранных параметрах, приближается к идеальной сфере. Угол наклона тарели определяет качество и размер получаемых гранул. Малый угол наклона приводит к медленному перекатыванию и слабому столкновению, в результате чего образуются рыхлые, непрочные и неравномерные по размеру гранулы. С другой стороны, слишком большой угол наклона приводит к увеличению силы соударений, разрушая только что сформировавшиеся гранулы [4].

Несмотря на простоту исполнения устройство не лишено и минусов. В виде мелкой фракции гранул и пыли из аппарата удаляется большое количество материала, что снижает выход конечного продукта. Помимо этого, окатыватели данного типа не предназначены для работы с материалами повышенной липкости, что вызывает комкование и налипание материала на стенки и дно аппарата. Подобные трудности можно решить путем модификации конструкций перпендикулярно расположенным ко дну активатором с лопастями, который не только разрушает конгломераты слипшегося материала, но и ускоряет начальное формирование гранул [5].

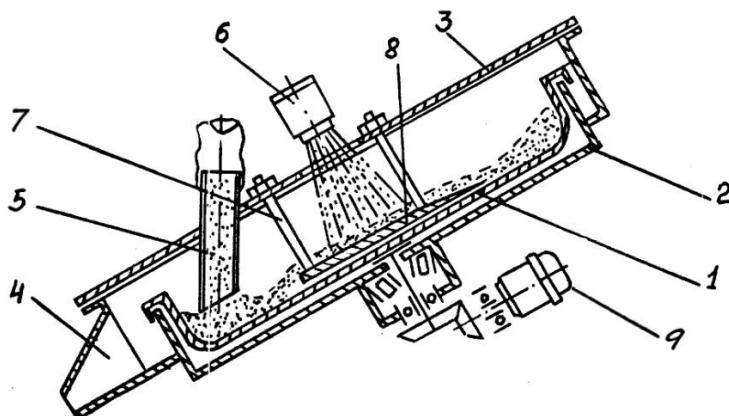


Рис. 3. Схема тарельчатого окатывателя: 1 – вращающаяся тарель; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 – патрубок для разгрузки; 5 – патрубок для загрузки; 6 – форсунки; 7 – стойки; 8 – стол нож.

Существует барабанный гранулятор (рис. 4), совмещающий в своей конструкции как экструдер, так и барабан-окатыватель. Устройство представляет собой два съемных, совместно вращающихся и расположенных один в другом, цилиндрических корпуса, внутренний из которых имеет перфорированную поверхность. Сырье через специальный патрубок загружают во внутреннюю полость экструдера, где под действием собственного веса и центробежной силы оно проходит через отверстия в виде длинных шнурков. Эти образования наматываются на внешнюю поверхность экструдера, постепенно фрагментируясь и падая во внутреннюю часть барабана-окатывателя. Внутри окатывателя, подвергаясь воздействию инерционных сил и соударению, происходит крошение, уплотнение и окатывание материала в сферические формы. В процессе окатывания материал постепенно перемещается вдоль корпуса к окну выгрузки, где из барабана выходят уже готовые гранулы [6].

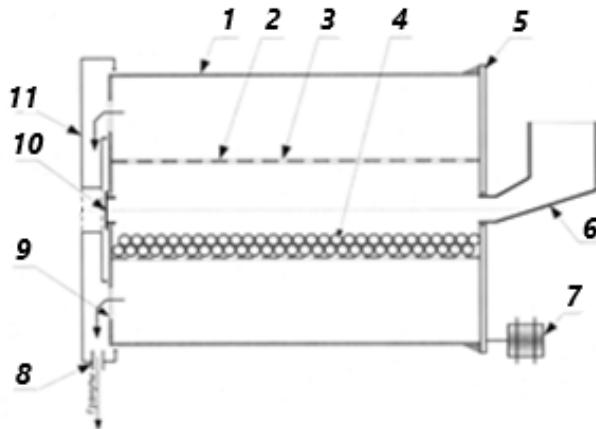


Рис. 4. Схема барабанного экструдера с окатывателем: 1 – барабан-окатыватель гранул; 2 – барабан-экструдер; 3 – проходные отверстия; 4 – движущаяся продавливающая среда; 5 – крышка барабана; 6 – патрубок загрузки; 7 – привод вращения барабана-окатывателя; 8 – патрубок выгрузки; 9 – окно выгрузки; 10 – технологический люк; 11 – короб приема и сбора.

Библиографический список

1. Киселев Н.Г. Технологическая линия производства гранулированных органоминеральных удобрений // АгроЭкоИнженерия. 2006. № 78. С. 179-183.
2. Рагозин Д.А., Василенко Т.А., Кирюшина Н.Ю. Разработка и внедрение технологии повышения эффективности гранулированного органоминерального удобрения в растениеводстве // Актуальные аспекты и перспективы развития современной биотехнологии: сб. докл. Межд. науч. конф., Белгород, 26-28 марта, 2024 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2024. С. 206–210.
3. Гранулятор-окатыватель: пат. 170484 У1 Рос. Федерации. № 2016114464 / Косяков А.В., Кулигин С.В., Благов А.В. [и др.]; заявл. 14.04.2016; опубл. 26.04.2017, Бюл. № 12. 4 с.
4. Тарельчатый гранулятор: пат. 2105601 С1 Рос. Федерации. № 96117899/25 / Мазниченко С.В., Кисилев В.К., Степанов В.А.; заявл. 09.09.1996; опубл. 27.02.1998. 9 с.
5. Тарельчатый гранулятор с активатором: пат. 28809 У1 Рос. Федерации. № 2002133641/20 / Попов А.М., Попов А.А.; заявл. 20.12.2002; опубл. 20.04.2003. 7 с.
6. Устройство для гранулирования: пат. 2643046 С1 Рос. Федерации. № 2017110627 / Рыскин М.Я., Яковлев Б.А.; заявл. 29.03.2017; опубл. 30.01.2018, Бюл. № 4. 9 с.

УДК 579.66

Евсеева М.А., студент,
Кузьмицкая А.А., аспирант,
Калёнов С.В., д-р техн. наук, проф.
(Российский химико-технологический университет
им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВ ПРИМЕНЕНИЯ
БАКТЕРИИ *BREVIBACILLUS FORMOSUS*
В БИОТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ФТАЛАТОВ**

Аннотация: Терефталевая кислота (ТФК) находит широкое применение в производстве насыщенных полизифиров, химических волокон, красителей и пластмасс (например, используется в качестве пластификатора и мономера при производстве ПЭТ-тары). В настоящее время ТФК признана опасным загрязнителем из-за вредного воздействия на человека и окружающую среду. Известно, что терефталевая кислота подавляет рост многих микроорганизмов, ухудшает функции почек, печени и других внутренних органов, тем самым представляя серьёзную угрозу для человека, животных и экосистем в целом. Благодаря своему широкому применению и крупномасштабному производству, ТФК и её производные стали повсеместными загрязнителями окружающей среды, которые обнаружены в почве, в сточных и природных водах, а также внутри различных гидробионтов. Терефталевую кислоту перерабатывают физическими и химическими методами, но технологии на их основе считаются дорогостоящими и ресурсозатратными. Микробиологическая деструкция признана перспективной альтернативой, поскольку она экологически безопасна и эффективна. В данном исследовании проводились эксперименты по культивированию микроорганизма *Brevibacillus formosus* в жидкой питательной среде, содержащей терефталат калия в качестве основного источника углерода.

Ключевые слова: терефталевая кислота, фталаты, бактерии-деструкторы, *Brevibacillus*.

Терефталевая кислота (ТФК, бензол-1,4-дикарбоновая кислота) широко используется в химической промышленности при производстве покрытий, красителей, пластификаторов, синтетических волокон и пластмасс, в частности полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Постепенно терефталевая кислота становится всё более распространённым загрязнителем окружающей среды, который обнаруживают в сточных водах и различных экосистемах. Бактериальная деструкция признана эффективным и экологически безопасным методом утилизации фталатов, в том числе ТФК и её

производных. Известны штаммы бактерий родов *Comamonas*, *Rhodococcus*, *Pseudomonas* и *Arthrobacter*, способные к росту на ТФК в качестве единственного источника углерода и энергии [1, 2].

С помощью метода накопительных культур из образцов почвенных отложений выделена аэробная бактериальная культура (клетки – палочковидные, грамположительные; колонии – бежевые, плоские), которая способна к росту на плотной питательной среде, содержащей терефталат калия в качестве основного источника углерода. По результатам секвенирования фрагментов гена 16S рРНК исследуемый микроорганизм относится к виду *Brevibacillus formosus*.

Терефталат калия (бензодикарбоксилат-1,4 калия) был получен с помощью метода спирто-щелочного гидролиза из одноразовых крышек для пищевых контейнеров, изготовленных из полиэтилентерефталата [3]. Терефталат калия может использоваться в качестве источника углерода в составе различных питательных сред для культивирования микроорганизмов.

Культивирование *Brevibacillus formosus* проводилось на агаризованной и жидкой минеральной среде следующего состава, (г/л): $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ – 1,0; Na_2HPO_4 – 0,92; KH_2PO_4 – 0,7; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,2; CaCl_2 – 0,02, дополненной раствором солей микроэлементов 2 мл/л, а также сухим дрожжевым экстрактом и ПВК по 0,2 г/л для обогащения селективной среды критически важными ростовыми компонентами [4]. В качестве углеродного субстрата в питательную среду вносили терефталат калия в количестве 2 г/л. Значение рН среды 7,1-7,2.

Brevibacillus formosus засевался в 3 колбы объёмом 100 мл с 50 мл жидкой минеральной среды приведённого выше состава с добавлением терефталата калия (среда №1) и в 3 колбы объёмом 100 мл с 50 мл жидкой минеральной среды без добавления терефталата калия и ПВК (среда №2). Культивирование проводилось в течение 7 сут. при 150 об/мин, 30°C. По окончанию процесса культивирования измерялась оптическая плотность культуральной жидкости при длине волны 600 нм (OD_{600}) на спектрофотометре АлтАир КФК-300 в кюветах с длиной оптического пути 1 см.

Средняя оптическая плотность культуральной жидкости при выращивании бактерии на минеральной среде полного состава составила 0,755, а при выращивании бактерии на среде без основного источника углерода в виде терефталата калия и ростового фактора в виде ПВК средняя оптическая плотность культуральной жидкости составила 0,352 (все измерения проводились в трёх повторностях). Обработка полученных данных проводилась в Python 3.9.21 с помощью библиотек Pandas, Matplotlib и Seaborn (Рис. 2).



Рис. 1. *B. formosus* на минеральной среде №1 полного состава (слева) и на минеральной среде №2 без терефталата и ПВК (справа) после 7 суток инкубации при 150 об/мин, 30°C.

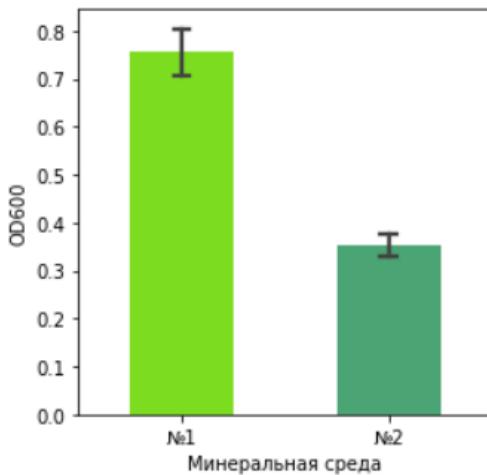


Рис. 2. Сравнение оптической плотности культуральной жидкости после инкубации *B. formosus* в течение 7 сут. при 150 об/мин, 30°C на среде №1 полного состава и на среде №2 без терефталата и ПВК; высота каждого столбца представляет собой среднее значение девяти измерений, проведённых в трёх независимых экспериментах; *error bar* указывает стандартное отклонение.

Бактерии *Brevibacillus formosus* способны к росту на питательных средах, содержащих терефталат в качестве основного источника

углерода. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление корреляции между ростовыми показателями штаммов и снижением количества терефталата в питательной среде в процессе культивирования.

Библиографический список

1. Zhang Y. M. et al. Degradation of terephthalic acid by a newly isolated strain of *Arthrobacter* sp. 0574 // South African Journal of Science. 2013. Vol. 109. № 7. pp. 1-4.
2. Maurya A. C., Bhattacharya A., Khare S. K. Biodegradation of terephthalic acid using *Rhodococcus erythropolis* MTCC 3951: Insights into the degradation process, applications in wastewater treatment and polyhydroxyalkanoate production // Environmental Science and Pollution Research. 2024. Vol. 31. № 46. pp. 57376-57385.
3. Ложкин Е.А., Юрк В.М. Химическая переработка отходов из цветного полиэтилентерефталата методом щелочного гидролиза // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2024. № 1. С. 87- 101.
4. Гальченко В.Ф. Метанотрофные бактерии. М.: ГЕОС, 2001. 500 с.

УДК 504.05

Жиленко В.Ю., канд. биол. наук, доц.,

Бадибанга Янник, магистрант

(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ПОМОЩЬЮ АКТИВНОГО ИЛА

В данной научной статье приводятся современные антропогенные загрязнения поверхностных вод. Представлены последствия в виде деградации водных объектов, предложены методы защиты гидросфера методом биологической очистки сточных вод. Проведен анализ биологического метода очистки сточных вод, показан микробиологический состав активного ила. Исследована перспективность биологического метода очистки сточных вод. Ключевые слова: антропогенные воздействия, очистка сточных вод, загрязнение поверхностных вод, активный ил.

Согласно статье 1 Федерального закона Российской Федерации от 6 марта 2006 г. № 74 «Водный кодекс», под поверхностными водами понимаются воды, постоянно или временно находящиеся в поверхностных водных объектах. Поверхностные водные объекты можно представить в виде: озер, рек, океанов, болот и других вод [1].

Эти поверхностные воды загрязняются отходами практически ежедневно. В последнее время ситуация значительно ухудшилась.

Загрязнение водных ресурсов нашей планеты становится все более актуальной проблемой. Основные причины этого явления связаны с интенсивной эксплуатацией промышленности, включая нефтехимическую промышленность, производство каучука и различных синтетических материалов, ионообменные смолы, машиностроительные комплексы, объединения предприятий пищевой промышленности, а также сельскохозяйственные угодья и т. д. Вместе они создают растущую технологическую нагрузку и постоянный сброс воды в водоемы со стороны государственных промышленных предприятий. Проблема требует незамедлительного решения и глобальных мер по сохранению водных ресурсов для будущих поколений.

Даже при поверхностном анализе можно увидеть некоторые серьезные последствия этой деятельности: нарушение состава и свойств воды; воду становится нельзя использовать для питьевых, бытовых и промышленных целей; гибель рыб и других водных обитателей; необратимые изменения экосистем; загрязнения быстро распространяются из-за потока воды, растворения в воде и химических реакций. Многие водные объекты по качеству воды не соответствуют предъявляемым нормативам. Если проводить мониторинг на данных объектах, то динамика качества поверхностных вод показывает превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) в несколько раз.

Целью данной работы заключалась в изучении основных видов загрязнения вод, их качество и количество; предложению целого комплекса мер, направленных на уменьшение загрязнения поверхностных вод.

Загрязнение воды – это сброс загрязняющих веществ в океаны, озера, реки, водоносные горизонты и грунтовые воды.

Загрязнение вод обусловлено попаданием в водные объекты вредных веществ, что приводит к снижению их биосферных функций. Загрязнение воды имеет как антропогенные, так и естественные источники. Природные источники воды сбалансированы процессами самоочищения, поскольку вода циркулирует в природе.

В зависимости от различных веществ, попадающих в воду, загрязнения делятся на: физические загрязнения; химические загрязнения; биологические загрязнения.

Физическое загрязнение в основном характеризуется отходами и твердыми компонентами. К таким отходам относятся обычные

бытовые отходы, а древесина, потери, ее возникающие при сплаве. Также может быть вызвано добычей полезных ископаемых возле водоемов или вдоль речных бассейнов.

Тепловые загрязнения, катализатором которых является высокотемпературная вода, сбрасываемая в процессе охлаждения реакторов атомных и тепловых электростанций, также относится к физическим загрязнениям.

Химическое загрязнение поверхностных вод возникает в результате попадания в них различных химических соединений и веществ. Кроме кислот, щелочей, солей значительное негативное воздействие оказывают и продукты органической химии: спирты, фенолы, моющие средства и пестициды [2].

Наибольший вред по исследованиям причинили радиоактивные вещества и нефтепродукты (наблюдались массовые вымирания фауны).

Биологическое загрязнение вызывают микроорганизмы, подавляющее большинство из которых являются патогенными. В гидросферу они попадают со сточными водами химической и пищевой промышленности, жилищно-коммунального хозяйства, сельского хозяйства. Эти сточные воды могут вызвать эпидемии [3].

В настоящее время разрабатываются современные технологии очистки сточных вод.

Методы очистки делятся на механические, химические, физико-химические и биологические методы. Механические методы заключаются в удалении механических примесей из сточных вод путем отстаивания и фильтрации. Химические методы добавляют в сточные воды различные химические реагенты, которые вступают в реакцию с загрязняющими веществами и осаждают их в виде нерастворимых осадков. При использовании физико-химических методов из сточных вод можно удалить мелкодисперсные и растворенные неорганические примеси, а органические вещества и трудно окисляющиеся вещества разрушить. Чаще используются метод окисления, метод коагуляции, метод адсорбции, метод экстракции и т. д.

Среди всех существующих методов очистки важную роль играет биологическая очистка, основанная на биохимическом и физиологическом самоочищении рек и других водоемов. Существует несколько типов устройств биологической очистки сточных вод: биологические фильтры, биологические резервуары и аэротенки. [4]. В процессе очистки сточных вод с помощью биофильтров сточные воды направляются через слой грубого материала, покрытого нежной

бактериальной пленкой. Эта пленка играет решающую роль в ускорении процессов биологического окисления. Микроорганизмы, присутствующие в биофильтре, отвечают за очистку сточных вод в биологических прудах. Биосорбент, используемый в аэротенках, представляющих собой прочные бетонные резервуары, состоит из активного ила, содержащего бактерии и простейшие. Эти микроорганизмы быстро размножаются внутри резервуаров благодаря наличию органических веществ в сточных водах и притоку избыточного кислорода через подаваемый воздух. Бактерии объединяются, образуя кластеры, и выделяют ферменты, расщепляющие органические загрязнители. В результате ил, содержащий эти кластеры, быстро оседает, отделяясь от очищенной воды. Кроме того, инфузории, жгутиконосцы, амебы, коловратки и другие организмы поедают бактерии, которые не агрегируют, тем самым пополняя бактериальную популяцию в иле [5]. Для точного определения дозировки и срока действия биопрепараторов, используемых в аэротенке, необходимо проанализировать характеристики потока на входе, включая объем и состав. Однако сами по себе эти параметры могут не дать достаточной информации для комплексного расчета.

Биоценоз на очистных сооружениях функционирует бесперебойно, с точностью. Каждый микроорганизм в сообществе имеет определенные роли и определенную деятельность. Эффективность процесса очистки во многом определяется размером и составом биоценоза, и ответственность заключается в надлежащем сохранении или восстановлении его оптимального состояния.

Внутри аэротенка наряду с бактериями сосуществуют разнообразные организмы. В этой среде можно встретить водоросли, грибы, коловратки и простейшие, представляющие собой одноклеточные микроорганизмы. Эти простейшие, составляющие примерно 0,5-1% взвешенного активного ила, выполняют важную функцию, контролируя популяцию бактерий (рис.1).

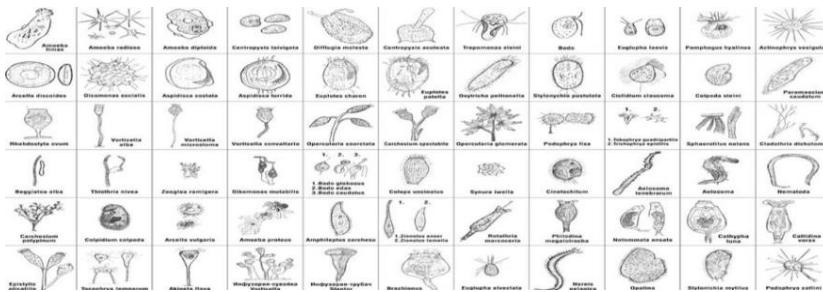


Рис.1. Простейшие активного ила.

Виды микроорганизмов активного ила достаточно разнообразны. Например, бактерия зооглея (*Zoogloea ramigera*). Данные бактерии выделяют в окружающую среду желеобразный гель из полисахаридов, с помощью которого и происходит образование фокул бактерий.

Если численность данных бактерий сильно возрастает, то происходит нарушение седиментационной способности ила (рис.2).

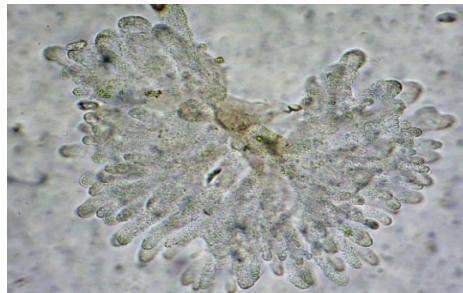
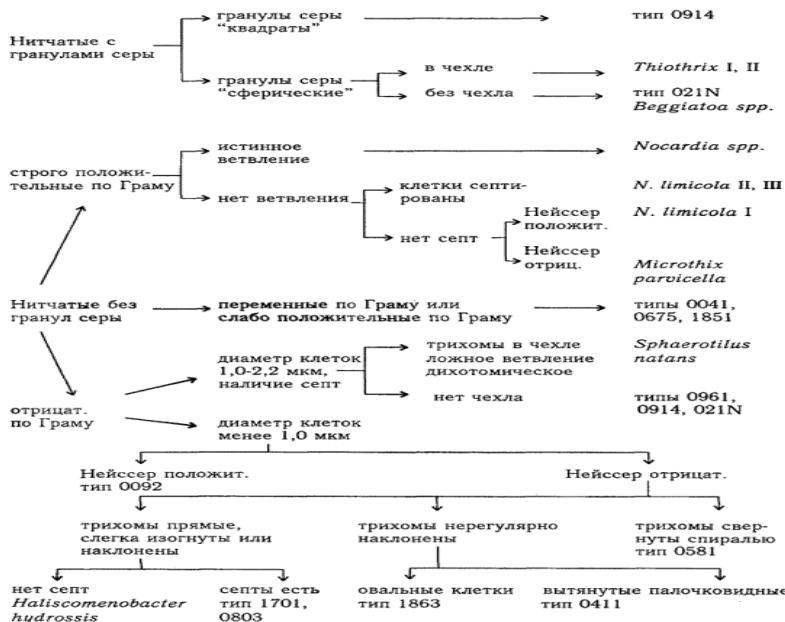


Рис. 2. *Zoogloea ramigera*.

Нитчатая типичная бесцветная серобактерия (*Thiothrix* и *Beggiaoa*). Данные бактерии обитают в стоках, которые содержат серу, окисляя ее. При недостаточной очистке и анаэробных условиях сероводород окисляется до серы, при хорошей очистке сера в клетках окисляется до сульфатов (рис.3). При вспухании ила необходимо определить систематическую принадлежность. Для правильной диагностики причин вспухания ила необходимо определить нитчатых организмов, вызвавших вспухание ила. Определение вида нитчатых бактерий предполагает высеев активного ила на культурные среды и дальнейшее исследование чистой культуры. Но, применение такой сложной

методики, обычно не требуется – достаточно определить родовую принадлежность организмов. При определении нитчатых микроорганизмов до рода следует учитывать следующие основные признаки: форму нитчатых (прямая, изогнутая, закрученная); размер нитей (диаметр 1 - 60 мкм, длина разнообразна: от 30 мкм до нескольких мм).



Форму и размер клеток внутри нитей (квадратные, круглые, разные по длине); ветвление нитей истинное у грибов и актиномицетов (*Nocardia*) и ложное у бактерий (*Sphaerotilus natans*);

подвижность нитей, их скольжение (*Beggiatoa* движется, скользя передним концом или петлеобразно); наличие чехла; наличие клеток гетеротрофной микрофлоры на поверхности нитчатых микроорганизмов (*Sphaerotilus natans*); присутствие гранул серы (*Beggiatoa*, *Thiothrix*, тип 021N); отношение к окрашиванию по Граму, что зависит от химического состава стенок клеток бактерий;

отношение к окрашиванию по Нейссеру, которое позволяет обнаружить гранулы полифосфатов.

Четыре фактора, которые необходимо отслеживать в аэротенках всегда:

1. pH – от 6,5 до 8,0. Среда обитания – важна для жизнедеятельности микроорганизмов. Отклонение на 0,5 ед. снижает активность бактерий, что ведёт к ухудшению очистки.

2. Температура воды в аэротенке – показатель активности бактерий. При температуре ниже 10°C - активность снижается и микроорганизмы готовятся перейти в состояние спор. При температуре выше 40°C наблюдается вынос чёрных хлопьев, прекращение жизнедеятельности.

3. Растворённый O₂. Оптимальный показатель O₂ – 2 мг/л в аэротенке, при нём бактерии в процессе биологического окисления перерабатывают различные молекулы.

4. Тяжёлые металлы. Мало кто учитывает их содержание при работе очистных. Анализ на металлы обычно делается при подборе очистных сооружений и при восстановлении очистки стока. По каким-то причинам (человеческий фактор, повреждённые системы) металлы могут попасть в аэротенк. В основном это железо. Даже незначительное повышение показателя угнетает биоценоз.

Нами были исследованы бактерии *Beggiatoa leptomitiformis*, выделенные из пресноводных вод очистных сооружений. Использовали среду следующего состава (г/л): NaNO₃ – 0,63, NaH₂PO₄ – 0,13, CaCl₂·2H₂O – 0,03, Na₂SO₄ – 0,5, KCL – 0,13, MgCl₂·6H₂O – 0,05; дистиллированная вода; pH среды 7,0. Перед посевом вносили раствор микроэлементов и витаминов. После стерилизации вносили 50% раствор тиосульфата (5 г/л) и NaHCO₃(0,5-1,0 г/л).

Бактерии культивировали в бутылях емкостью 1 л с прокладками из полубутиловой резины и завинчивающимся колпачками в 125 мл жидкой среды. В ходе исследования снижали концентрации кислорода, наблюдали способность исследуемых бактерий к хемолитотрофному росту. Таким образом, было выявлено, что биологическая очистка сточных вод является перспективным направлением в очистке и защите поверхностных вод. Антропогенные загрязнения с каждым годом увеличиваются, возникает необходимость в разработке и исследовании новых методов защиты гидросфера.

Библиографический список

1. Дмитриев В.В. Новый Водный кодекс Российской Федерации и проблемы предоставления земельных участков и лесов в водоохранных зонах // Адвокат. 2007. №5. С. 21.
2. Мирошниченко Н.А., Свергузова С.В., Сапронова Ж.А., Шайхиев И.Г. Адсорбция ионов меди из модельных растворов сорбционным материалом из отхода переработки бахчевых культур // Вестник Технологического университета. 2022. Т. 25. № 11. С. 117-121.
3. Данилова-Данильяна В.И. Диффузное загрязнение водных объектов: проблемы и решения: коллективная монография. М.: РАН, 2020. 512 с.
4. Мушенко Д.А. Научно-практические основы совершенствования процесса очистки сточных вод мясоперерабатывающих предприятий // Образование. Наука. Производство: сборник докладов XV Международного молодежного форума. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. С. 158-162.
5. Жиленко В.Ю. Биологическая очистка высококонцентрированных сточных вод как основа промышленной безопасности // Наукоемкие технологии и инновации (XXV научные чтения) [Электронный ресурс]: сб. докладов междунар. науч.-практ. конф. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. С. 632-635.
6. Jenkins D. et al. Causes and control of activated sludge bulking // Water Pollution Control. 1984. №1. С. Р. 455-472.

УДК 628.357.4

¹Клименко М.А., студент

²Кириюшина Е.С., студент

¹Кириюшина Н.Ю., канд. техн. наук, доцент

Поленяка Ю.Т., аспирант

(1 – Белгородский государственный технологический

университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

2 – Воронежский государственный технический

университет, г. Воронеж, Россия)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОСЛЕЙ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Аннотация: В данной статье рассматривается состав и вред загрязняющей водные объекты нефти и её производных, а также методы борьбы с ними; использование водорослей в сооружениях очистки и их описание. Предложена схема водорослевой плантации.

Ключевые слова: нефтепродукты, углеводороды, водоросли, сорбенты.

Современная деятельность человека предусматривает использование нефти, так как она является значимым энергетическим

и сырьевым ресурсом, лидирующим на мировых рынках. К сожалению, нефть оказывает неблагоприятные воздействия на окружающую среду. В частности, угроза возникает в процессе добычи или транспортировки, а также в случае непредвиденных аварийных ситуаций. При больших концентрациях самоочищение водного объекта не будет эффективно, а загрязнение приводит к тяжёлым последствиям, разрушая водную экосистему. Недавние события, случившиеся в Чёрном море с аварийным разливом нефтепродуктов, вынуждают усовершенствовать методы очистки вод, а также подобрать наиболее эффективный и экономный способ [1].

По составу нефть “богата” углеводородами, которые представляют собой алканы и ароматические соединения. Кроме этого, нефть содержит смолы, металлы и газы. Большая часть компонентов, составляющая нефтепродукты, обладает токсическим и канцерогенным действием. Опасность разлива нефти заключается в образовании пленки на поверхности, препятствующей поступлению кислорода и достаточного солнечного света в толще воды. От химического состава может зависеть дальнейшее воздействие нефтепродуктов на окружающую среду, так как при взаимодействии внешних природных факторов с отдельными веществами образуются новые соединения. Нефтяная пленка, покрывающая воду, после разлива меняет свою структуру, начиная с испарения основной массы. Остальная часть либо сорбируется и оседает на дно, либо растворяется в воде. Последние процессы значительно усложняют очистку, так как большинство методов направлены на использование сорбентов для сбора нерастворимых фракций нефтепродуктов. Однако те нефтепродукты, которые растворились в водной среде, хоть их значительно меньше, обладают большей токсичностью, чем сорбируемые. Пресные водоемы более уязвимы перед растворимыми компонентами углеводородов, чем морские объекты, что свидетельствует о высоком риске их загрязнений [2].

Существует несколько наиболее распространённых способов очистки воды от нефтепродуктов. Широко распространены боновые заграждения как один из способов очистки. Принцип очистки бонами заключается в использовании перекрытий и судов-сборщиков во избежание распространения нефти, однако он не предусмотрен для использования в толще воды, так как отсутствует возможность сбора растворённых форм. Ещё один популярный способ предотвращения распространения нефти – это диспергирование, благодаря которому разрушается нефтяная пленка и ускоряются процессы разложения нефти. Использование диспергентов влечет за собой проблему

негативного воздействия на водную экосистему, что делает данный метод не самым безопасным. При применении сорбентов могут возникнуть сложности с их вводом в море, так как частые штормовые условия будут препятствовать равномерному распределению сорбента. Существует ещё один перспективный метод очистки – это использование водорослей. Значимыми преимуществами перед вышеупомянутыми методами являются экономность и отсутствие негативного воздействия на окружающую среду [3].

Сорбция – распространённый и эффективный способ очистки, суть которого заключается в способности поглощать загрязняющие компоненты. В качестве сорбентов часто используется второсортное сырье: солома, кора, шелуха некоторых растений и свекловичный жом [4].

Водоросли являются природными сорбентами, которые всей своей поверхностью способны поглощать составляющие нефтепродуктов. Специалистами были проведены исследования, доказывающие, что водоросли рода Элодея способны эффективно очищать загрязнённые воды от органических соединений и нефтезагрязнений. Таким образом, водный объект с водорослями в течение длительного времени способен снизить концентрацию загрязнителей до допустимых ПДК, однако для положительного эффекта водорослям требуется температурный режим от 16 до 24 °C [5].

Водоросли в системе очистки могут выполнять функцию биофильтров, они способны расщеплять нефтепродукты до простых веществ. Поэтому перспективным решением в проблеме загрязнения вод является создание водорослевых плантаций, биосорбентов. Примерная схема изображена на рисунке 1.

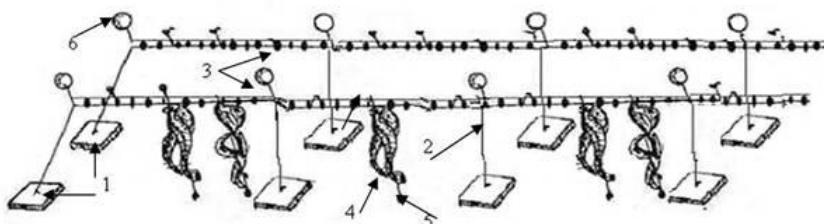


Рис. 1. Схема водорослевой плантации.

В схему обязательно входят бетонные или каменные гравитационные якоря, для погружения и устойчивости в воде, сами канаты, на которых располагаются водоросли и якоря, горизонтальные

канаты с вплетенными водорослями. Как было выяснено ранее, в качестве водорослей-очистителей могут использоваться водоросли рода Элодея, но помимо них существует ещё несколько видов, устойчивых к углеводородам. Растения *Echinochloa crassipes* и *Ruppia stratiotes* не столь эффективны в очистке нефтепродуктов под прямым воздействием, но способны создавать условия для биоразложения углеводородов и развития ризосферных бактерий, которые борются с загрязнителями [6]. *Fucus vesiculosus L.* – фукус пузырчатый – один из эффективных видов, устойчивых к нефтепродуктам. Данные водоросли распространены в морях и океанах, не привередливы к температурному режиму и устойчивы к многим неблагоприятным природным и антропогенным воздействиям, например, осушение или ультрафиолетовое излучение. Из бурых водорослей главным кандидатом на очистку выступает *Laminaria saccharina (L.) Lamour* – ламинария сахаристая. В устойчивости к внешним раздражителям она уступает фукусу, её использование в очистке вод также распространено [7].

Использование водорослей в процессах очистки сточных вод – один из наиболее эффективных и экономически выгодных решений на сегодняшний день. В России требуется увеличить интерес к исследуемому направлению, создать больше сооружений по выращиванию определённых типов водорослей для внедрения системы очистки с их использованием на различные предприятия для улучшения экологической ситуации в близлежащих водных объектах. Именно эта система поможет осуществить прорыв в направлениях очистки вод, эффективно и без вреда сохранить подвергаемую опасности биоту, а также не исчерпать большего количества водного ресурса [8].

Библиографический список

1. Акимова, А.С. Проблема загрязнения поверхностных и сточных вод нефтью и нефтепродуктами и пути её решения / А.С. Акимова, Л.С. Филиппова // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. №3 (129). С. 1-4.
2. Опасность загрязнения водных объектов нефтью с учетом растворения и стратификации её компонентов / Я.И. Лебедь-Шарлевич, З.И. Жолдакова, Р.А. Мамонов, Н.И. Беляева // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 3 (23). С. 46-51.
3. Воскобойников Г.М., Ильинский В.В., Лопушанская Е.М., Макаров М.В., Пуговкин Д.В., Рыжик И.В., Лаймер А., Йенсен Дж.Б. Санитарная водорослевая плантация для очистки прибрежных акваторий от нефтепродуктов: от теории к практике // Вопросы современной альгологии. 2017. № 3 (15). URL: <http://algology.ru/1184>

4. Внукова, А. С. Сорбенты на основе растительного сырья для очистки сточных вод от загрязняющих веществ / А. С. Внукова, Н. Ю. Кирюшина // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: Всероссийская научная конференция, Белгород, 14–18 октября 2019 года. Том Часть 2. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. С. 21-24.
5. Якупова А.И., Князева О.А. Биологические способы очистки сточных вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами // Материалы МСНК "Студенческий научный форум 2025". 2021. № 7. С. 15-17; URL: <https://publish2020.scienceforum.ru/ru/article/view?id=361> (дата обращения: 23.03.2025).
6. Tatiana Zhilkina & Irina Gerasimova & Tamara Babich & Timur Kanapatskiy & Diyana Sokolova & Vitaly Kadnikov & Anastasiya Kamionskaya, 2024. "Evaluation of the Phytoremediation Potential of Aquatic Plants and Associated Microorganisms for the Cleaning of Aquatic Ecosystems from Oil Products." *Sustainability*, MDPI, vol. 16(21), pages 1-20, October.
7. Степаньян, О. В. Влияние нефти и нефтепродуктов на морфофункциональные особенности морских макроводорослей / О. В. Степаньян, Г. М. Воскобойников // *Биология моря*. 2006. Т. 32, № 4. С. 241-248.
8. Денисов, А.А. Очистка сточных вод в открытых водоёмах от органических и минеральных загрязнений с помощью водорослей / А.А. Денисов, В.Ю. Жуйков // *Достижения науки и техники АПК*. 2007. № 12. С. 54-56.

УДК 502.35:57.084.1

Клименко М.А., магистрант
Силкова Е.В., студент
Лупандина Н.С., канд. техн. наук, доцент
(Белгородский государственный технический
университет, г. Белгород, Россия)

КОНТРОЛЬ ЗА СОСТОЯНИЕМ ПОЧВ В РАМКАХ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Аннотация: В последние годы ввиду активной хозяйственной деятельности человека возросло отрицательное влияние на окружающую среду. Для контроля ситуации и минимизации последствий был создан производственный экологический контроль, позволяющий органам государственной власти в сфере экологии контролировать деятельность предприятий. Одним из составляющих экологического мониторинга будет

являться контроль за состоянием почв, в том числе определение их токсичности.

Ключевые слова: производственный экологический контроль, почва, мониторинг, токсичность, биотестирование.

Производственный экологический контроль (ПЭК) является один из важных аспектов в области охраны окружающей среды и элементом природоохранной деятельности любого промышленного предприятия. В данный момент он представляет собой совокупность взаимоотношений между предприятиями, органами государственного управления в сфере экологии на различных уровнях, населением, проживающих вблизи промышленных объектов и аналитических лабораторий, и обеспечивает контроль за мероприятиями по охране окружающей среды, рациональному использованию ресурсов, а также соблюдения требований, установленных законодательно в процессе деятельности человека [1].

В данный момент законодательно РФ предоставляет только частично сформулированные требования для проведения ПЭК, основные из которых включают:

1. создание системы экологического контроля;
2. обеспечение соблюдения норм экологического законодательства;
3. осуществление информирования государственных структур по вопросам организации и проведения экологического контроля.

Рассматривая более детально, к этому будет относится: предоставление сведений о лицах, ответственных за охрану окружающей среды и проведение экологического контроля; список и характеристика объектов, подлежащих контролю; предоставление первичной отчетной документации, плана природоохранных мероприятий и ликвидации чрезвычайных ситуаций и их последствий, а также отчетов за прошлые годы [2].

Полеза от проведения экологического контроля будет сохраняться не только при соблюдении общих требований, установленных законодательством, но и при сохранении плотного взаимодействия хозяйственных субъектов с органами надзора в сфере экологии. В связи с тем, что ПЭК является собой одновременно и разновидность экологического контроля, и деятельность хозяйственных субъектов, осуществляющих его [3].

Согласно ГОСТ Р 56062-2014 структура ПЭК соответствует специфике деятельности организации и оказываемому ей негативному воздействию на окружающую среду и включает в том числе контроль за охраной земель и почв [4].

Почва (педосфера) представляет собой особое природное образование, возникшее при изменении горных пород под комплексным влиянием воздуха, воды, солнечного излучения, а также живых и мертвых организмов. Она также отвечает за выполнение таких функций, как: поддержание существования жизни на Земле; обеспечивает человека ресурсами и сырьем для хозяйственной деятельности; поддерживает взаимодействие круговоротов веществ; обеспечивает защиту от литосферы от внешних факторов, регулирует состав почвенной микробиоты и атмо- и гидросфер, что делает её одной из наиболее важных частей биосферы [5].

Как правило, различают несколько типов загрязнения окружающей среды, к ним относятся:

1. механическое – загрязнение объектами, воздействующими механически;
2. химическое – загрязнение веществами, приводящими к ухудшению свойств объектов окружающей среды;
3. физическое – загрязнение, приводящее к ухудшению физических характеристик среды;
4. радиационное – воздействие излучения радиоактивных веществ, в количествах, превосходящих природный уровень;
5. биологическое – загрязнение живыми организмами, вызывающими нарушения и ухудшение среды.

Наиболее опасным из вышеперечисленных является химическое загрязнение из-за масштаба последствий, связанного с его влиянием на генетическом уровне. Источником такого рода загрязнений зачастую являются отходы хозяйственной деятельности человека, часть из них может встречаться в природе, но быть в количествах, превышающих их фоновые уровни, а часть быть чуждыми ей [6].

Загрязнение почвы оказывает влияние на все составляющие биосфера, а именно на качество воды и воздуха, разнообразие видов, изменение климата и даже оказывать как прямое, так и косвенное влияние на здоровье человека. Антропогенная деятельность может приводить к ситуации, в которой происходит утрата биологических и структурных свойств различных слоев почвы, что приведет к снижению потенциала почвы. Избыток тяжелых металлов в почве может вызывать нарушения в метаболических процессах растений, что отразится на количестве и качестве сельскохозяйственного сектора, а также проникнут в пищевые цепи, с каждым трофическим уровнем накапливаясь все больше в живых организмах. Помимо этого, это отразиться на процессах выделения кислорода, вызовет повреждения хлорофилла и снизит рост органов растений [7].

На сегодняшний день для определения токсичности объекта только лишь химических методов анализа будет недостаточно, так как разнообразие химических соединений крайне велико; поэтому применение биотестов способно быстро и наиболее точно установить степень токсичности. Биоиндикация - это оценка различного рода (антропогенного или природного) воздействия посредством определения жизненных показателей живых организмов. Суть биотестирования заключается в конкретном случае биоиндикации, то есть исследовании изменения поведения организма, вызванного неблагоприятным влиянием потенциальных токсикантов. В качестве тест-организмов могут быть использованы целостные организмы или отдельные органы, ткани и клетки. Наиболее популярны первые. Распространёнными тест-объектами являются следующие группы организмов: высшие растения, микроводоросли, ракообразные, простейшие, рыбы и мелкие млекопитающие, однако использование гидробионтов лидирует среди других биотестеров [8].

Методы биотестирования классифицируют на несколько видов:

1. Биохимический. Определение токсичности может быть оценено реакцией биохимических процессов на негативное воздействие извне. Суть данного метода заключается в анализе ферментативных реакций, изменений метаболических процессов, а также в прослеживаемости содержания специфических молекул (белков, липидов, нуклеиновых кислот). Данный метод применим для определения биодоступности тяжёлых металлов и органических загрязнителей в почве, также для оценки эффективности рекультивации почв.

2. Генетический. Современный метод биотестирования, который использует степень проявления генетических изменений, а также их сохранения в популяциях, отражая способность иммунной системы организма приспособиться к изменениям. Методы секвенирования и ПЦР позволяют определить состав микробных сообществ, обнаружить конкретные микроорганизмы или гены устойчивые к загрязнителям. Особенностью использования данного метода является изучение симбиотических отношений между растениями и микоризными грибами, взаимосвязь которых напрямую отразится на продуктивности почвы.

3. Морфологический. Наиболее чувствительными к изменениям окружающей среды подвержены фазы жизненного цикла эмбрионов и личинок гидробионтов. Принцип метода заключается в визуальном наблюдении за организмами, используя оценку флюктуирующей асимметрии.

4. Физиологический. Отражает энергетику физиологических процессов к стрессовому воздействию. Примером определяемой характеристики является ритм роста и поведенческая активность тест-объектов, в качестве которых используются пресноводные беспозвоночные.

5. Биофизический. Использует люминисцентные и флуориметрические методы для количественного определения биохимических и биофизических нарушений. При помощи этого метода оценивается электропроводность тканей, изменения мембранных структур клеток и т.д.

6. Иммунологический. Суть метода состоит в изучении врожденного и приобретенного иммунитета животных под воздействием токсичных веществ. Может включать в себя исследования состава крови, наличия антител, в целом изучение клеточного состава.

Метод биотестирования выбирается в зависимости от целей и задач исследования, но абсолютно каждый из методов способен установить степень токсичности объекта [9].

В определении токсичности почв чаще всего используется способ определения токсичности по прорастаемости семян кress-салата. Выбор данного растения обусловлен высокой чувствительностью к загрязняющим компонентам, а также быстрой всхожестью. Стоит отметить, что в присутствии токсикантов растение подвержено внешним изменениям, что также будет свидетельствовать о степени загрязнения почвы. Токсичность оценивается при помощи митотического индекса, определяемого развитием корневой системы растения [10].

Следующий метод наиболее востребован, так как методика универсальна и подходит не только для почв, но и для отходов сточных, природных и питьевых вод. Для подготовки анализа из почвы требуется сделать водную вытяжку. Особенность метода заключается в использовании в качестве тест-организмов *Daphnia magna Staus*. Стоит отметить, что острое токсическое действие исследуемой пробы определяется летальностью более 50 % тест-объектов в течение 48 часов. Преимуществами данного способа биотестирования являются высокая чувствительность дафний к различным токсикантам, быстрота определения токсичности относительно вышеупомянутого метода, визуализация результатов и простота выполнения. К недостаткам относят зависимость от условий: постоянное поддержание температуры и уровня кислорода, также влияние посторонних факторов на жизнедеятельность дафний [11].

Мониторинг токсичности почв крайне важный аспект в обеспечении создания безопасной среды для функционирования обитающей в ней флоры и фауны, естественного цикла воды и углерода, выращивания продуктов питания и т.д. Использование методов биотестирования позволяет предотвратить и опознать потенциальные угрозы для окружающей среды, а разнообразие методов даёт возможность выбрать наиболее удобный, доступный или экономически выгодный способ определения токсичности объекта [12].

Библиографический список

1. Скворцов, А. С. Производственный экологический контроль на предприятии / А. С. Скворцов, И. В. Ярыгина // Поколение будущего: взгляд молодых ученых: сборник научных статей 4-й международной молодежной научной конференции: в 3 томах, Курск, 10–11 ноября 2016 года. Том 3. Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2016. С. 152-153.
2. Бринчук М. М. Производственный экологический контроль / М.М. Бринчук, О.И. Саморуков // Экология и промышленность России. 2008. №. 2. С. 50-53.
3. Мужайло Д. В. Производственный экологический контроль / Д.В. Мужайло, Т.А. Потес // Студенческая наука–взгляд в будущее. 2020. С. 56.
4. ГОСТ Р 56062-2014. Производственный экологический контроль. Общие положения: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 июля 2014 г. N 711-ст: дата введения 2015-01-01. Переиздание: сентябрь 2019 г. Москва Стандартинформ, 2019. 8 с.
5. Николаева, А. Д. Экологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / А. Д. Николаева // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики: Материалы XIV Международной научно-практической конференции. В 4-х томах, Тольятти, 20–21 апреля 2017 года. Том 1. Тольятти: Волжский университет имени В.Н. Татищева (институт), 2017. С. 231-235.
6. Середина В. П. и др. Загрязнение почв: учебное пособие: [для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению высшего профессионального образования 021900–" Почловедение"]. 2015.
7. Схаплок, И. А. Современное состояние проблемы загрязнения почв / И. А. Схаплок // Развитие аграрной науки и практики: состояние, проблемы и перспективы: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 115-летию агрономического факультета Донского ГАУ, Персиановский, 26 мая 2022 года. – Персиановский: Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования "Донской государственный аграрный университет", 2022. С. 112-117.

8. Лихачев, С.В. Биотестирование в экологическом мониторинге: учебно-методическое пособие / С.В. Лихачев, Е.В. Пименова, С.Н. Жакова. Пермь ИПЦ «Прокрость», 2020. 89 с.

9. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / О.П. Мелехова, Е.И. Егорова, Т.И. Евсеева и др.; под ред. О.П. Мелеховой и Е.И. Егоровой. М.: Академия, 2007. 288с.

10. Шахов, Р.С. Применение методов биотестирования для оценки качества среды / Р.С. Шахов, Л.А. Герасимова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2020. № 2. С. 557-559.

11. ПНД Ф 14.1:2:4.12-06 Методические указания. Методика определения токсичности водных вытяжек из почв осадков сточных вод и отходов питьевой, сточной и природной воды по смертности тест-объекта *Daphnia magna* Straus.

12. Чеснокова, С.М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: учебное пособие / С.М. Чеснокова, Н.В. Чугай. Владимир: Владимирский государственный университет, 2008. 92 с.

УДК 678.054

Красов М.С., студент
Василенко Т.А., канд. техн. наук, доцент
(Белгородский государственный технический
университет, г. Белгород, Россия)

КОНСТРУКЦИИ ГРАНУЛЯТОРОВ

Аннотация: В статье рассмотрены основные конструкции грануляторов и методы гранулирования, применяемые в различных отраслях промышленности. Описаны процессы сухой и влажной грануляции. Проанализированы преимущества гранулирования для улучшения физико-химических свойств материалов, таких как текучесть, сжимаемость и дозирование. Приведены примеры применения технологии в сельском хозяйстве, фармацевтике, металлургии, пищевой и химической промышленности. Обоснована актуальность разработки эффективных грануляционных процессов для повышения качества продукции и оптимизации производства.

Ключевые слова: грануляция, гранулятор, сухая грануляция, влажная грануляция, физико-химические свойства, прессование, агломерация, производство, промышленные технологии.

В условиях стремительного роста потребностей современного общества в высококачественной продукции, включая

фармацевтические препараты, производство сталкивается с необходимостью разработки эффективных и устойчивых технологических решений. Одной из ключевых задач является обеспечение стабильности, однородности и оптимальных физико-химических свойств конечных продуктов при минимизации затрат ресурсов и времени. В этом контексте грануляция, как процесс увеличения размера частиц путем агломерации, представляет собой перспективный подход, способный преодолеть указанные вызовы. Эта технология позволяет преобразовывать мелкодисперсные порошки в гранулы с улучшенными характеристиками текучести, сжимаемости и дозирования, обеспечивая тем самым повышение качества продукции и эффективности производственных процессов [1].

Сухая грануляция представляет собой технологический процесс изготовления гранул из порошкообразной массы без использования жидкостей, таких как вода или растворители, что отличает её от влажной грануляции. Метод включает этапы прессования порошков в ленты или пластиинки с помощью устройств, таких как валковый уплотнитель, с последующим дроблением в грануляторе и разделением полученных частиц на приемлемые гранулы и мелкие фракции [2].

Влажная грануляция - это метод увеличения размера частиц путем агломерации, широко применяемый в производстве пищевых продуктов и фармацевтических препаратов, который предполагает использование жидкости, чаще всего воды, в качестве грануляционной среды. Данный процесс включает мокрое массирование вспомогательных веществ с грануляционной жидкостью, содержащей связующее вещество или без него, что позволяет формировать гранулы с улучшенными свойствами текучести и сжимаемости [3].

Гранулятор – это устройство, осуществляющее грануляцию, то есть процесс формирования гранул из жидких материалов с твердыми включениями, таких как расплавы минеральных удобрений. Состоит из следующих ключевых компонентов: вращающийся перфорированный полый корпус, который представляет собой оболочку с отверстиями, расположенными поясами; внутренняя стенка оболочки с винтовой нисходящей проточкой, имеющей сечение в виде равностороннего треугольника, основание которого совпадает с внутренней поверхностью корпуса; боковые стенки отверстий в перфорированной оболочке, толщина которых оптимизирована для предотвращения засорения [4].

Общий принцип работы грануляторов заключается в подаче подготовленного сырья (измельченного, увлажненного или

смешанного с добавками) в рабочую зону, где оно подвергается механическому давлению в камере с матрицей – плоской или кольцевой, содержащей отверстия (фильтры). Через эти отверстия сырье продавливается прессующими элементами, такими как вальцы или шнеки, уплотняясь под действием давления и температуры, что может активировать связующие компоненты (например, лигнин в древесине) для формирования прочных гранул. Сформированные гранулы обрезаются, отделяются и выводятся из устройства, часто с дополнительным охлаждением или сушкой для стабилизации структуры. Процесс гранулирования также включает подготовку сырья, формирование гранул, сушку, калибровку для получения однородных гранул по размеру и форме, а также дополнительную обработку (охлаждение, покрытие или упаковку). Каждый этап адаптируется под конкретные задачи, что делает процесс универсальным для различных отраслей, таких как сельское хозяйство, фармацевтика и химическая промышленность, обеспечивая равномерность гранулометрического состава и улучшение эксплуатационных свойств материала. Блок схема процесса гранулирования приведена на рис. 1 [5].

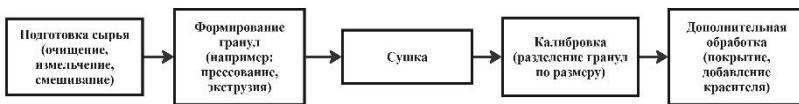


Рис. 1. Блок-схема процесса гранулирования.

Процесс гранулирования находит применение в самых разных отраслях, существенно улучшая свойства материалов и оптимизируя производственные процессы. В сельском хозяйстве оно используется для создания гранулированных удобрений, где компоненты вроде азота, фосфора и калия смешиваются и преобразуются в гранулы, что позволяет фермерам с помощью сеялок точно дозировать питательные вещества, минимизировать их потери и повышать урожайность сельскохозяйственных культур. В фармацевтической промышленности гранулирование играет ключевую роль в производстве твердых лекарственных форм, таких как таблетки и капсулы, где активные фармацевтические ингредиенты смешиваются с вспомогательными веществами и гранулируются для обеспечения однородности массы и улучшения текучести, что особенно важно для низко дозированных препаратов; здесь применяются методы влажной грануляции, например, в кипящем слое, или сухой через роликовое уплотнение [6],

7].

Металлургии гранулирование необходимо для обработки железной руды, превращая мелкодисперсный материал в сферические пеллеты, которые затем спекаются перед загрузкой в доменные печи, что повышает прочность, проницаемость материала, энергоэффективность процесса и снижает экологическую нагрузку при производстве стали. В пищевой промышленности этот процесс используется для изготовления продуктов вроде гранулированного сахара, растворимого кофе, порошкового молока и кормов для животных, улучшая их текучесть, растворимость и удобство использования; например, влажная грануляция помогает создавать стабильные сухие смеси, такие как тесто для блинов. В химической промышленности гранулирование применяется для производства моющих средств, катализаторов, пестицидов и даже взрывчатых веществ, обеспечивая лучшее растворение, высокую удельную поверхность для реакций, а также безопасность и удобство хранения благодаря контролируемому размеру и форме гранул [8–10].

В промышленности широко применяются различные методы гранулирования, каждый из которых адаптирован к конкретным материалам и задачам, что подчеркивает разнообразие подходов и используемого оборудования. Наиболее распространенным является гранулирование методом окатывания на движущейся поверхности, включающее применение барабанных, тарельчатых, ленточных, скоростных (лопастных) и центробежных грануляторов; этот процесс основан на формировании агломератов из увлажненных частиц или насыпывании сухого материала на смоченные ядра под действием капиллярно-молекулярных сил сцепления с последующим уплотнением за счет гравитационно-центробежных сил. Другой метод - гранулирование прессованием - предполагает уплотнение сыпучих материалов под высоким давлением, иногда сопровождаемое спеканием или химическим взаимодействием частиц, с использованием экструдеров и пресс-вальцов, после чего полученные брикеты дробятся и сортируются (рис. 2) [11–13].



Рис. 2. Распространенные методы гранулирования: а – гранулирование методом окатывания; б – гранулирование прессованием.

Гранулирование агломерацией в аппаратах с псевдоожиженным слоем отличается высокой интенсивностью процессов, часто совмещенных с сушкой, охлаждением или классификацией, и зависит от способа подачи материала, например, пульпы или растворов, и типа теплоносителя. Метод разбрзгивания жидкости заключается в нанесении тонких пленок растворов, суспензий или расплавов на частицы-центры в псевдоожиженнном или взвешенном слое с последующей кристаллизацией за счет подводимого тепла. Наконец, гранулирование кристаллизацией капель расплава использует диспергаторы для распыления расплавов, где гранулы формируются при охлаждении капель в противотоке хладагента, что особенно подходит для специфических задач, таких как производство удобрений или химических продуктов [11].

Современные технологии гранулирования предлагают разнообразные методы для создания гранул с заданными свойствами. Пневматическое сухое гранулирование подходит для получения пористых и легко сжимаемых гранул, но имеет ограничения по качеству переработанного материала. Обратное мокрое гранулирование обеспечивает равномерное увлажнение и сферическую форму гранул, что особенно полезно для термочувствительных препаратов. Паровое гранулирование экологично и не требует растворителей, но ограничено для некоторых связующих. Гранулирование с активацией влагой снижает энергозатраты и исключает процесс сушки, а термическое адгезионное гранулирование позволяет проводить непрерывную обработку. Гранулирование расплавом подходит для модифицированного

высвобождения, а гранулирование рамораживанием идеально для термочувствительных материалов. Пенное гранулирование минимизирует использование воды и подходит для влагочувствительных препаратов. Каждая технология имеет свои преимущества и ограничения, что позволяет выбирать оптимальный метод в зависимости от задач производства [14].

Гранулятор может являться важным элементом комплексной экологической системы для восстановления резиновых отходов. Он преобразует регенерированную резину в гранулы, удобные для дальнейшего использования в производстве. Работая в автоматическом режиме, гранулятор обеспечивает непрерывный процесс переработки без добавления химических веществ, что делает его экологически безопасным. Система, включая гранулятор, отличается компактностью, простотой конструкции и энергоэффективностью, что снижает затраты на электроэнергию и минимизирует воздействие на окружающую среду. Это делает гранулятор ключевым компонентом для устойчивого и экологичного производства [15, 16].

Библиографический список

1. Сафаров Ж.Э., Султанова Ш.А., Холикулов О.О. Исследование процесса грануляции // Universum: технические науки. 2023. № 12. С. 24–27.
2. Сухая грануляция в потоке газа: пат. 2514761 С2 Рос. Федерация № 2011122423/05 / ПОЛИТИ Джованни; заявл. 04.11.2009; опубл. 10.05.2014, Бюл. № 13. 26 с.
3. Обзор методов грануляции / Ю. В. Устинова, А. М. Чистяков, Т. В. Ефремова, Е. В. Дымов // Пищевые инновации и биотехнологии: Сборник тезисов X Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 17 мая 2022 г. / Под общей редакцией А.Ю. Просекова. Том 2. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2022. С. 248–249.
4. Гранулятор: пат. 2591962 С1 Рос. Федерация № 2014152534/05 / Таран Ю.А., Беспалова В.О., Таран А.В., Таран А.Л.; заявл. 25.12.2014; опубл. 20.07.2016, Бюл. № 20. 14 с.
5. Parikh, D.M. (Ed.). (2010). Handbook of Pharmaceutical Granulation Technology (3rd ed.). 678 pp.
6. Вотолин К.С., Жеребцов С.И., Исмагилов З.Р. Технологии получения комплексных гранулированных гуматных удобрений и эффективность их применения // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 6. С. 169–177.
7. Бркич Г.Э. Технология влажного гранулирования в промышленной фармации // Медико-фармацевтический журнал «Пульс». 2022. № 5. С. 24–28.
8. Nyembwe, A. M., Cromarty, R. D., & Garbers-Craig, A. M. (2017). Relationship Between Iron Ore Granulation Mechanisms, Granule Shapes, and

Sinter Bed Permeability. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 38(6), 388–402. <https://doi.org/10.1080/08827508.2017.1323750>

9. Blagov, D. A., Gizarov, A. Y., Smakuyev, D. R., Kosilov, V. I., Pogodaev, V. A., & Tamaev, S. A. (2020). Overview of feed granulation technology and technical means for its implementation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 613, 012018. doi:10.1088/1755-1315/613/1/012018

10. Flore, Karin & Schoenherr, Michael & Feise, Herrmann. (2009). Aspects of granulation in the chemical industry. Powder Technology – POWDER TECHNOL. 189. 327–331. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2008.04.010>

11. Шкарпеткин Е.А. Анализ методов получения гранул и средств для их реализации // Наука и современность. 2010. № 2. С. 378–383.

12. ZKMAШИНА:[офиц.сайт].2020–2025.URL:

13. WHAT WOOD: [офиц. сайт]. 2012–2025. URL: <https://whatwood.ru/category/биотопливо/page/63/> (дата обращения: 05.03.2025).

14. Shanmugam S. Granulation techniques and technologies: recent progresses. Bioimpacts. 2015;5(1):55-63. doi: 10.15171/bi.2015.04. Epub 2015 Feb 18. PMID: 25901297; PMCID: PMC4401168.

15. Комплексная производственная система и способ экологичного восстановления и регенерации резиновых отходов: пат. 2730327 С1 Рос. Федерация № 2019116796 / Ге Джиуган, Ли Гуант, Танг Фан, Руи Гуишенг, Ванг Пинг, Джиянг Шуиджин, Фей Дажуанг; заявл. 10.08.2017; опубл.: 21.08.2020, Бюл. № 24. 18 с.

16. Севостьянов В. С., Ильина Т. Н., Севостьянов М. В., Шкарпеткин Е. А. Исследования условий процесса микротрансформации в дисперсных системах // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. № 1. С. 81-86.

УДК 613.415.1

Курзенёв И.Р., аспирант
Василенко Т.А., канд. техн. наук, доцент
(Белгородский государственный технический
университет, г. Белгород, Россия)

РАСЧЕТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ОТБОРА НА ПРИМЕРЕ ИЗМЕРЕНИЯ рН СОЛЕВОЙ ВЫТЯЖКИ

Аннотация: В статье рассмотрены основные виды кислотности почв, а также их значения для агрохимии и производственного экологического контроля. Был рассчитан вклад неопределенности, связанный с отбором образцов (проб) почв городских территорий по методу ANOVA и измерения рН солевой вытяжки. Неопределенность, связанная с отбором проб образцов, должна учитываться при принятии решений о соответствии установленным требованиям.

Ключевые слова: рН солевой вытяжки, отбор проб, неопределенность, почва

городских территорий.

Кислотность – одно из важных свойств почвы, не только для принятия решений о внесение каких-либо удобрений в зависимости от выращиваемых культур, но и для оценки негативного воздействия на нее. Измерение pH солевой вытяжки почв имеет две основные цели: агрохимия и производственный экологический контроль.

Определение pH солевой вытяжки в агрохимических целях необходимо для понимания о том, какие формы и дозы удобрений необходимо вносить в почву, так, например, для выращивания картофеля подойдут кислые земли (4,5 pH), для смородины более высокое значение pH (8,0 pH). Для растений влияние pH среды оказывает косвенное и прямое влияние, повышение водородных ионов ухудшает катионный и анионный обмен (Ca, K, P). Для внесения минеральных добавок в почву необходимо учитывать значение pH водной вытяжки, которое не должно превышать значение 8,0 е.и. pH [1].

Для расчета коэффициента плодородия используют значение pH водной вытяжки для щелочных почв или значение pH солевой вытяжки для кислых земель. pH водной вытяжки весьма нестабильный показатель, он максимально неустойчив под воздействием других различных факторов даже в один и тот же вегетационный период. Оценивания подвижных форм химических элементов происходит по способу их извлечения из почвы с помощью ацетат-аммонийным буферным раствором (pH = 4,8), такие элементы быстрей и легче усваиваются растениями. В зависимости от содержания органического вещества проводят экстракцию в разных пропорциях «анализируемый объект и экстракт». Для определения pH солевой вытяжки в почвах используют соотношение пробы и KCl 1:2,5, а для определения в органических горизонтах используют соотношения 1:25 [2].

В рамках экологического контроля измеряют pH солевой вытяжки для оценивания полученных значений тяжёлых металлов валовых форм в зависимости от pH солевой вытяжки [3]. Кислотность почвы от части выражает ее буферное свойства, а также тот факт, насколько сильно почвы способна сохранять в себе химические элементы. Различают следующие формы почвенной кислотности: актуальную и потенциальную, которая в свою очередь подразделяется на обменную и гидролитическую. Под актуальной кислотностью понимают активную концентрацию ионов водорода в почвенном растворе или в водной вытяжке из почвы (pH), определяется потенциометрически. Потенциальная кислотность определяется количеством ионов

водорода, находящихся в почвенном поглощающем комплексе. При определённых условиях эти ионы могут быть переведены в раствор: более подвижная часть ионов водорода (и Al) почвы может быть переведена в раствор при обработке почвы избытком нейтральных солей (KCl). Основной вклад кислотности обеспечивает присутствие не только ионов водорода, но и алюминия [4].

Сведения по распределению тяжелых металлов по определённым органам растений весьма противоречивы [5]. Одни авторы указывают на большую аккумуляцию их в надземных органах. Часто отмечаются различия концентраций ТМ в разных надземных органах (листьях, стеблях, плодах), что может быть связано с видоспецифичностью метаболизма растений и со свойствами самих элементов. Но зависимость распределения ТМ в зависимости от pH среды почвы хорошо изучена. В кислых почвах тяжелые металлы наиболее подвижны, в отличии от щелочных почв [6].

Современные методы количественного химического анализа переходят от термина «погрешность» к термину «неопределенность». Абсолютно точных измерений не существует, поэтому можно измерить какую-либо характеристику с определённым диапазоном. Неопределенность - неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, которые приписываются измеряемой величине [7]. Неопределенность отражает неполноту знания об измеряемой величине. Базовое положение концепции неопределенности состоит в утверждении, что нельзя установить, насколько хорошо известно единственное истинное значение величины, а можно только сформулировать степень нашей уверенности в том, что оно известно. Существует два вида оценивания определённости эмпирический (тип А) и теоретический (тип В). В некоторых случаях хорошо спланированный эксперимент позволяет получить статистическую оценку неопределенности, обусловленную отбором образца.

Алгоритм расчета для расчета неопределенности отбора представлен в «Руководство Eurachem/CITAC «Неопределенность измерений, связанная с отбором проб. Руководство по методам и подходам» дает ссылку на Программу расчетов ANOVA Королевского химического общества Великобритании». Для оценивания неопределенности связанную с отбором были отобраны объединенные пробы почвы городских земель, составленные из пяти точечных проб, отобранных методом конверта с глубин 0-20 см. Отбирались пробы с 8 пробных площадок площадью 25 м². Для отбора «дубликата» отбирались еще 8 объединенных проб с тех же пробных площадок.

Далее пробы анализировались в соответствии с ГОСТ 26483-85 «Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО». Анализ проводился в двух повторностях. Результаты анализа представлены на рис. 1.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
							$w_{ij(1)}$	$w_{i(2)}$
				y_{ij1}	y_{ij2}			
1	Номер пробной площадки (i)	Номер пробы (j)	Результат измерений (pH)	\bar{y}_{ij}	\bar{y}_i	\bar{y}		
2								
3	1	1	8,16	8,16	8,16	8,15	0,00	0,015
4		2	8,14	8,15	8,15			
5	2	1	8,16	8,14	8,15	8,15	0,02	0
6		2	8,14	8,16	8,15			
7	3	1	8,12	8,14	8,13	8,13	0,02	0,005
8		2	8,11	8,16	8,14			
9	4	1	8,11	8,14	8,13	8,13	0,03	0
10		2	8,14	8,11	8,13			
11	5	1	8,11	8,14	8,13	8,14	0,03	0,025
12		2	8,14	8,16	8,15			
13	6	1	8,13	8,17	8,15	8,15	0,04	0
14		2	8,16	8,14	8,15			
15	7	1	8,16	8,16	8,16	8,16	0,00	0,005
16		2	8,16	8,15	8,16			
17	8	1	8,18	8,16	8,17	8,15	0,02	0,045
18		2	8,11	8,14	8,13			

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Номер пробной площадки (i)	Номер пробы (j)	Результат измерений (pH)	\bar{y}_{ij}	\bar{y}_i	\bar{y}		$w_{ij(1)}$	$w_{i(2)}$
			y_{ij1}	y_{ij2}				
1	1	8,16	8,16	=CP3HA4(C3:D3)			=ABS(C3:D3)	
2		8,14	8,15	=CP3HA4(C4:D4)	=CP3HA4(C3:D4)		=ABS(C4:D4)	=ABS(E3:E4)
3	1	8,16	8,14	=CP3HA4(C5:D5)			=ABS(C5:D5)	
4	2	8,14	8,16	=CP3HA4(C6:D6)	=CP3HA4(C5:D6)		=ABS(C6:D6)	=ABS(E5:E6)
5	1	8,12	8,14	=CP3HA4(C7:D7)			=ABS(C7:D7)	
6	2	8,11	8,16	=CP3HA4(C8:D8)	=CP3HA4(C7:D8)		=ABS(C8:D8)	=ABS(E7:E8)
7	1	8,11	8,14	=CP3HA4(C9:D9)			=ABS(C9:D9)	
8	2	8,14	8,11	=CP3HA4(C10:D10)	=CP3HA4(C9:D10)		=ABS(C10:D10)	=ABS(E9:E10)
9	1	8,11	8,14	=CP3HA4(C11:D11)			=ABS(C11:D11)	
10	2	8,14	8,16	=CP3HA4(C12:D12)	=CP3HA4(C11:D12)		=ABS(C12:D12)	=ABS(E11:E12)
11	1	8,13	8,17	=CP3HA4(C13:D13)			=ABS(C13:D13)	
12	2	8,16	8,14	=CP3HA4(C14:D14)	=CP3HA4(C13:D14)		=ABS(C14:D14)	=ABS(E13:E14)
13	1	8,16	8,16	=CP3HA4(C15:D15)			=ABS(C15:D15)	
14	2	8,16	8,15	=CP3HA4(C16:D16)	=CP3HA4(C15:D16)		=ABS(C16:D16)	=ABS(E15:E16)
15	1	8,18	8,16	=CP3HA4(C17:D17)			=ABS(C17:D17)	
16	2	8,11	8,14	=CP3HA4(C18:D18)	=CP3HA4(C17:D18)	=CP3HA4(C3:D18)	=ABS(C18:D18)	=ABS(E17:E18)

Рис. 1. Результаты анализа измерения pH солевой вытяжки, с расчётными формулами.

Далее находим сумму квадратов – $SS1$ (сумма значений $W_{i(2)}$) и Sse (сумма значений $W_{ij(1)}$ умноженная на 0,5). Получаем $SS1=0,0029$ и $Sse=0,0052$. Далее находим средний квадрат –

$$MS1 = SS1/8 = 0,000366 \text{ и } MSe = Sse/16 = 0,000322.$$

Получаем дисперсию отбора $S^2 = 0,5 \cdot (MS1 - MSe)$,

что после вычисления равна 0,00002. Находим стандартную неопределенность по формуле (1):

$$U = \sqrt{S^2} \quad (1)$$

где U – стандартную неопределенность отбора, е. и. рН; S – дисперсия отбора е. и. рН.

После стандартную неопределенность отбора переводим в относительную стандартную неопределенность отбора и получаем 0,01 %.

Таким образом, получается объектом анализа является однородный участок с щелочной почвой для которого был оценен вклад неопределенности, связанный с отбором образцов (проб), который должен учитываться при принятии решений о соответствии установленному требованию. Расчет неопределенности помогает оценить риск о принятии решений (на сколько вероятность превышения измеряемого вещества с учетом неопределенности превышает установленное значение ПДК).

Библиографический список

1. Василенко Т.А., Мохаммед Абдифатах Харед. Применение осадка механической и биологической очистки бытовых и производственных сточных вод в качестве удобрения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. № 6.С. 211-219.
2. ГОСТ 26483-85. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. Сб. ГОСТов. М.: Издательство стандартов, 1985. 3 с.
3. Постановление Главного государственного врача РФ от 28.01.2021 г. № 3 «Об утверждении санитарных правил и правил 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, организаций и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» / Официальный интернет-портал правовой информации: Электрон. дан. М.: Электр. период. издание, 2005-2025. Режим доступа: https://www.rosпотребнадзор.ru/files/news/SP2.1.3684-21_territori.pdf.
4. Минеев В.Г. и др. Практикум по агрохимии, М., Изд-во МГУ, 2001. С. 66–67.
5. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние / В.В. Добровольский. М.: Мысль, 1983. 272 с.
6. Павлов Б.К. Оценка уровней техногенного накопления тяжелых металлов компонентами растительности лесных экосистем, существенно различающихся геохимическим фоном. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем / Б.К. Павлов, Е.И. Грошева, А.М. Бейм. 1989. Т.12 С. 204–210.
7. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: пер. с англ. и фр. СПб: НПО «Профессионал», 2010 С. 80.

Лунёва А.А., студент
Василенко М. И., канд. биол. наук, доц.,
(Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

МИКОЦЕНОЗ ПОВЕРХНОСТИ НЕКОТОРЫХ КОНТАМИНИРОВАННЫХ БЫТОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Аннотация: В статье приводится алгоритм проведения микологического анализа полимерных материалов, включающий фотофиксацию внешнего вида объекта; выявление очагов поражения объектов по высокой степени обсемененности микромицетами и наличия явного видового доминирования; выделение и идентификацию представителей микоценоэзов; изучение штаммовых особенностей агентов биоповреждения. Полученные данные позволяют оценить степень биоповреждения и потенциальные риски, связанные с использованием этих материалов в быту.

Ключевые слова: полимерные материалы, биоповреждение, микроорганизмы, микоценоэзы, полизтилен, поливинилхлорид, экологические риски.

Большинство промышленных материалов, включая композиционные материалы на полимерных связующих, могут подвергаться процессам биоповреждения. Известно, что синтетические полимеры, а также материалы и изделия на их основе существенно превосходят по биостойкости природные полимеры и такие материалы как древесина и т. д. Однако полимерные материалы в определенных условиях эксплуатации повреждаются биологическими агентами, основными среди которых являются микроскопические грибы.

Механизм биоповреждений полимерных материалов сложен и многогранен. Он протекает в несколько этапов: заселение и адсорбция микроорганизмов на поверхности изделий; образование колоний микроорганизмов и накопление продуктов метаболизма. Биоповреждение происходит одновременно с их старением под действием внешних физических и химических факторов. Оба процесса усугубляют друг друга [1].

Характер биоповреждений определяется не только видом, концентрацией, температурой и длительностью воздействия агрессивной среды, но зависит еще и от фитохимического воздействия, аэробных или анаэробных условий, от всех факторов, влияющих на массу, род, вид и интенсивность жизнедеятельности микроорганизмов. Кроме того, повышение влажности, температуры и загрязнение

поверхности способствуют росту и развитию микроорганизмов на материалах, вызывая их частичное или полное разрушение.

Полимерные материалы и пластиковые изделия, окружающие нас в быту, представлены широким спектром видов. Среди них наиболее распространены полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид (ПВХ), полистирол и полиэтилентерефталат (ПЭТ). Эти материалы используются в производстве пластиковых пакетов, контейнеров для пищевых продуктов, бытовой техники, оконных профилей, труб и напольных покрытий. Несмотря на то, что они обладают различными свойствами и устойчивостью к химическим веществам и влаге, все они могут быть подвержены биоповреждению микроорганизмами, особенно во влажной среде или при определенных условиях [2].

Такое повреждение полимерных материалов не только влияет на их срок службы и внешний вид, но также может представлять опасность для здоровья человека и животных. Микроорганизмы, способные разрушать полимеры, выделяют токсичные метаболиты, которые попадают в окружающую среду, в том числе и на пищевые продукты. Кроме того, рост микроорганизмов на поверхностях бытовых изделий может способствовать распространению инфекций и аллергических реакций.

Очаги поражения грибком обычно замечают на поздних стадиях, когда появляются четкие грибные колонии, скопления гиф, пигментные пятна или окрашенный споровый налёт. Однако на ранних стадиях грибные гифы почти не видны, а споровый налёт можно принять за пылевые частицы и наоборот. Поэтому большое значение имеет детальный осмотр пораженного объекта с фотофиксацией общего вида и участков взятия проб для исследования [3].

На рис. 1 представлены исследуемые нами полимерные изделия с предполагаемыми «следами» биологического загрязнения: штора и участок потолочного плинтуса из ванной комнаты и кусочек полиэтиленового пакета.

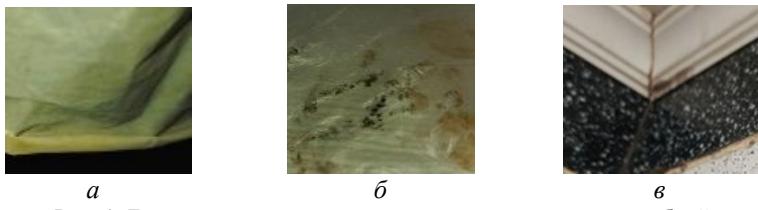


Рис. 1. Бытовые материалы с внешними признаками микробной контаминации:

а – шторка из ПВХ-материала; б – полиэтиленовый пакет; в – ПВХ-плинтус.

В начале проведения микологического анализа необходимо установить наличие микромицетов на поврежденных поверхностях, т. е. колонизацию материалов одним или несколькими видами грибов. С этой целью проводят смыв с поверхности измененного участка, высев отобранный суспензии на питательные среды [4].

Для выделения и исследования грибов из очагов биозагрязнения полимерных материалов использовали агаризованную среду Чапека. В ходе проведения эксперимента были взяты смывы с контаминированных полиэтиленового пакета, плинтуса из жесткого ПВХ и шторы из мягкого ПВХ (площадь смыва 25 см²), которые высевали на питательные среды Чапека без разведений и с разведениями 10⁻⁴ и 10⁻⁶. Эксперимент проводился в трехкратной повторности для обеспечения достоверности результатов. Высеванные образцы инкубировали в термостате при 33°C в течение 4–7 дней; после инкубации проводилась качественная и количественная оценка колоний выросших грибов и их идентификация.

Результаты количественной оценки выросших микроскопических грибов, проведенной с помощью счетчика колоний, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Количественная оценка выросших на твердой среде микроскопических грибов.

Вид полимера	Общий вид выросших колоний	Общее количество выросших колоний на поверхности среды и отдельных видов, шт	КОЕ/дм ²
ПЭТ		35	70 000
ПВХ мягкий		16	32 000
ПВХ жесткий		278	556 000

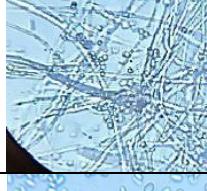
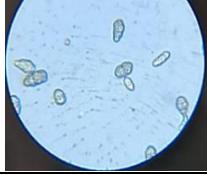
Результаты показали, что на поверхности полиэтилена было обнаружено 70 000 колониеобразующих единиц на квадратный дециметр (КОЕ/дм²), что превышает пороговый уровень заражения, считающийся крайне высоким при более 10 000 КОЕ/дм². Здесь выросли два вида грибов рода *Aspergillus* — *Aspergillus ustus* и *Aspergillus flavus*, с общим количеством колоний 35. Это указывает на то, что полиэтиленовые пакеты демонстрируют относительно высокую уязвимость к биозагрязнению большим видовым разнообразием грибов по сравнению с другими материалами. На мягком ПВХ было обнаружено 32 000 КОЕ/дм², что также сильно превышает пороговый уровень заражения; здесь выросли колонии гриба *Alternaria alternata* в количестве 16 колоний: этот материал оказался наименее подверженным загрязнению среди всех исследованных пластиков. Жёсткий ПВХ, с количеством 556 000 КОЕ/дм², также демонстрирует

повышенный уровень заражения, однако, в отличие от полиэтиленовых пакетов, здесь доминировал один вид гриба — *Cladosporium sp.*, который вырос в количестве 278 колоний. Это говорит о том, что жёсткий ПВХ более подвержен загрязнению одним доминирующим видом грибов.

Род и вид выросших колоний микромицетов определяли, сравнивая полученные фотоматериалы, в том числе и микроскопические, с информативными источниками интернета [5].

Результаты анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2. Микроскопические грибы, выделенные с поврежденных поверхностей полимерных образцов (увеличение 15x40).

Род, вид	Колонии	Мицелий, споры	Характеристика
<i>Aspergillus ustus</i>			Тёмные в центре колонии среднего размера со светлым мицелием на периферии; конидиеносцы шаровидные, споры округлые.
<i>Aspergillus flavus</i>			Колонии светло-зеленого цвета с разветвленным мицелием; конидии-пучки с круглыми спорами.
<i>Aureobasidium</i>			Колонии ярко-желтого цвета с более тёмным кольцом на периферии; споры вытянутой формы (зерно риса).
<i>Ulocladium</i>			Колонии тёмно-коричневого цвета; конидиеносные головки редуцированы, споры одиночные с поперечными и продольными перегородками.

<i>Alternaria alternata</i>			<p>Крупные колонии тёмного цвета. Споры различной формы: от округлой до грушевидной; с коротким коническим клювом на конце или без клюва.</p>
-----------------------------	---	---	---

В ходе исследования микоценозов поверхностей контаминированных бытовых полимерных изделий было выявлено, что большинство из них подвержено биологическому загрязнению грибами и являются источниками питания для последних. Наиболее активные грибы-контаминанты полимерных материалов: *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Ulocladium* в отношении полиэтилена, *Alternaria* и *Cladosporium* в отношении поливинилхлорида. Согласно данным, полученным в ходе этих исследований, бытовые изделия из различных пластиков нуждаются в дополнительной защите от микробиологических повреждений, что можно осуществить введением дополнительных биоцидных добавок, либо изменением качественных и количественных соотношений исходных ингредиентов [6].

Различия в микробиологическом загрязнении бытовых полимерных материалов обусловлены комплексным воздействием их физико-химических свойств и специфических условий эксплуатации, включая уровень влажности и вентиляции. Полиэтилен, благодаря своей структуре и гигроскопичности, способствует развитию грибов рода *Aspergillus*, которые известны способностью продуцировать микотоксины и обладают выраженным аллергенным потенциалом, что представляет значительную угрозу для здоровья человека. Мягкий поливинилхлорид характеризуется относительно низким уровнем контаминации, что связано с его более плотной структурой и химическим составом, ограничивающим рост микрофлоры. В то же время жёсткий ПВХ демонстрирует доминирование колоний *Cladosporium* sp., широко распространённого аллергена, способного вызывать респираторные заболевания при длительном воздействии [7].

Повышенная влажность и недостаточная вентиляция, характерные для помещений, таких как ванные комнаты, создают благоприятные условия для интенсивного роста грибковых сообществ, что объясняет наблюдаемые различия в микоценозах. Выявленные микромицеты представляют потенциальный риск для здоровья, особенно для уязвимых групп населения, включая детей, пожилых людей и лиц с хроническими заболеваниями дыхательной системы. Полученные данные подчёркивают необходимость разработки и внедрения

эффективных биоцидных добавок, а также оптимизации условий эксплуатации полимерных изделий с целью снижения биозагрязнения и минимизации связанных с этим рисков для здоровья человека [8].

Библиографический список

1. Гончарова, И. А. Микологический анализ промышленных материалов, контаминированных микроскопическими грибами / И. А. Гончарова, Е. Н. Сабадаха, А. М. Тригубович, Н. В. Чёрная // Труды БГТУ. 2020. Серия 2, № 2. С. 163–168.
2. Усачева М. Н., Хрульков А.В. Биодеградация армированных полимерных композиционных материалов (обзор) // Труды ВИАМ. 2022. № 6 (112). Ст. 07.
3. Сакаева, Э. Х. Исследование биодеструкции отходов полимерных материалов / Э. Х. Сакаева, А. В. Мехонюшина // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология.2017. № 1. С. 97–105.
4. Сахно, О. Н. Биостойкость полимерных материалов и методы ее оценки: учеб. пособие / О. Н. Сахно, О. Г. Селиванов, В. Ю. Чухланов; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2018. – 84 с.
5. Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К., Василенко М. И., Гончарова Е. Н. К решению вопроса о создании строительных композиционных материалов с высокой активной защитой от микробиологического воздействия. // SWorld: науч. междунар. период. журн. Симпозиум 115/18. Фундаментальные и прикладные аспекты современности. 58 с.
6. Аникина, Н. А. Исследование устойчивости полимерных материалов на основе акрилатов к действию микроскопических грибов / Н. А. Аникина, В. Ф. Смирнов // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2013. № 6 (1). С. 142–145.
7. Семёнов, С. А. Биоразрушения материалов и изделий техники / С. А. Семёнов, К. З. Гумаргалиева, И. Г. Калинина, Г. Е. Заиков // Вестник МИТХТ. 2007. Т. 2, № 6.С. 3–26.
8. Лаптев, А. Б. К вопросу биодеструкции полимерных материалов в природных средах (обзор) / А. Б. Лаптев, А. В. Голубев, Д. М. Киреев, Е. В. Николаев // Труды ВИАМ. 2019. № 9 (81). С. 100–107.

ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ ПРИОБСКОГО БОРА СЕЛА БЕЛОЯРКИ МОШКОВСКОГО РАЙОНА

Аннотация: В данной работе представлено исследование почвенных образцов приобского бора вблизи Белоярки Мошковского района Новосибирской области с целью получения объективных сведений взаимодействия почвы, биоты, климата и ландшафта, что, в свою очередь, является первым шагом для дальнейшего изучения компонентов данной экосистемы и продвижения вопроса защиты и охраны этого леса.

Ключевые слова: Приобский бор, почва, климат, защита, взаимодействие, микрорельеф.

Приобские боры играют очень важную роль в формировании экосистемы Западной Сибири и даже её климата. Они создают условия для жизни сотен видов животных и растений. В настоящее время отсутствуют научные исследования в области изучения экологии почв приобских боров Мошковского района. Данная работа позволила получить объективные сведения о взаимодействии почвы, биоты, климата и ландшафта. В свою очередь, эта информация - шаг на пути к мероприятиям по защите данной территории. В предлагаемой работе рассматривается вопрос уникальности экосистемы приобского бора села Белоярки Мошковского района. *Научная новизна* работы заключается в том, что в данной работе локально исследуется экология почвы экосистемы приобского бора села Белоярки Мошковского района Новосибирской области.

Гипотеза работы: Почва приобского бора села Белоярки обладает уникальными свойствами, влияющими на взаимосвязи в экосистеме данного бора. *Цель работы:* Провести почвенно-экологическое обследование почв территории приобского бора вблизи села Белоярки Мошковского района. *Задачи работы:* 1.Определение географических особенностей села Белоярки Мошковского района. 2. Консультации с краеведами, географами и геоботаниками Новосибирской области для получения информации по изучению данной территории. 3.Провести

почвенное исследование физико-химических и биологических свойств на территории приобского бора вблизи Белоярки.

Объект исследования – приобский бор села Белоярки. Предмет исследования – почва данной территории.

Боры Мошковского района находится на территории природного комплекса - Приобье. Есть особенность присущая только Приобью - обширная долина Оби, а также характерные приобские боры. Общее представление о происхождении приобских боров связывает их с песчаными почвами древних террас реки Оби. Пески были отложены рекой, перевезены ветром и на этом субстрате развились сосновые боры. Как известно, сосна действительно хорошо растет на песках, то есть ничего необычного, казалось бы, в этом нет. Но само отложение этих песков, связано с очень сложным геологическим строением этой территории. Эта территория не зональная, связанная с деятельностью большой реки. Около села Белоярки очень хорошо выражен древний дюнный рельеф, с выраженными катенами. Катена — последовательность различных почв на склоне, закономерно сменяющих друг друга. Бор вблизи Белоярки находится находится на яру, самую высокую часть яра называют горой Песошкой. Материалами исследования служат образцы почв вблизи села Белоярки, взятые по катене на Песошке. Верхняя точка - 126 метров (над уровнем моря); нижняя точка - 106 м.

Во время исследования почвы определялись физико-химические и биологические свойства почв:

1. Исследование механического состава почвы.
2. Определение проницаемости почвы.
3. Определение пористости почвы.
4. Определение pH.
5. Определение электропроводности (ЕС).
6. Определение количества органических веществ.
7. Определение наличия карбонатов в почве.
8. Определение обменных оснований в водной и солевой вытяжке.
9. Посев и наблюдение за ростом свободноживущих азотфикссирующих бактерий.

В результате было определено:

1. Почвы по механическому составу: верхняя точка - легкие песчаные, нижняя точка - супесчаные. По органическому составу - дерново-слабоподзолистые - боровые пески на обеих точках.
2. На верхней точке проницаемость меньше, чем на нижней точке это обусловлено бесструктурностью этой почвы.

3. Пористость выше на нижней точке в связи с разностью в гранулометрическом составе: на нижней точке песок более рыхлый, на верхней более плотный.
4. Реакция среды слабокислая по всему профилю с наименьшим значением в верхней точке и максимальной в нижней точке, что является оптимальным значением для роста сосны и поддержания экологического состава почвы.
5. Низкая электропроводность (0,02 мСМ/см на обеих точках) может указывать на низкое содержание солей, что характерно для песчаных или торфяных почв.
6. Определение органических веществ в почве показало более высокое количество в нижней точке, что объясняется большим количеством органических остатков в понижениях рельефа, где более влажно и растительность более разнообразна.
7. Карбонаты в профиле обеих точек не обнаружены.
8. Определение обменных оснований показало, что в нижней точке содержание солей больше. Это объясняется тем, что в низинах рельефа, таких как долины рек или заболоченные участки, почва часто содержит больше солей по нескольким причинам:
 - 1) Сбор влаги: Низины имеют тенденцию к накоплению воды, что может приводить к образованию стоячих водоемов или заболоченных участков. Вода, испаряясь, оставляет растворенные соли в почве.
 - 2) Грунтовые воды: В низинах уровень грунтовых вод может быть выше, чем в других местах. Это может приводить к тому, что соли, находящиеся в подземных водах, поднимаются к поверхности, особенно в условиях испарения.
 - 3) Почвенная эрозия: В результате эрозии и вымывания почвы с более высоких участков, соли могут перемещаться и накапливаться в низинах. Таким образом, комбинация этих факторов приводит к тому, что в низинах рельефа часто наблюдается более высокая концентрация солей в почве.
9. Микробиологическое исследование показало наличие свободноживущих азотфиксующих микроорганизмов в обоих образцах. Процент обрастаания на верхней точке ниже, чем на нижней точке. Это объясняется повышенной влажностью и большим количеством органических веществ на нижней точке.

В результате работы был решён ряд задач:

Были определены геоморфологические особенности села Белоярки и получено представление о приобских борах, получена информация от экспертов о том, что в настоящее время эта территория Приобья слабо изучена; в результате почвенно-химического и биологического

обследования почв было определено, что рельеф влияет на свойства почвы, то есть взаимодействие почвенного покрова и микрорельефа отражается в функционировании всей экосистемы бора. Почва - связующее звено биологического и геологического круговоротов, в данном случае в экосистеме приобского бора Мошковского района. Гипотеза нашла своё подтверждение. Почва бора обладает уникальными, азональными свойствами. В свою очередь приобский бор Мошковского района действительно следует считать уникальной экосистемой. Для сохранения биоразнообразия эту территорию следует продолжить изучать, охранять и защищать. На территории бора вблизи Белоярки заметны негативные факторы антропогенного влияния: мусор, интенсивная хозяйственная деятельность. В связи с этим в перспективе и в планах - дальнейшее изучение компонентов экосистемы данного приобского бора, а также продвижение вопроса защиты, работа с населением села, заинтересованными лицами, учениками школы с целью создания экотропы: И, возможно, создание здесь особо охраняемой природной территории (ООПТ).

Библиографический список

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Издво МГУ, 1970. 487 с.
2. Артамонова, В. С. О состоянии почвенных азотфиксирующих бактерий на территории городского леса / В. С. Артамонова, С. Б. Бортникова // Вестник Пермского университета. Серия: Биология. 2016. № 2. С. 150-159.
3. Благодатнова, А. Г. К вопросу экологической оценки почвенного покрова рекреационных объектов города Новосибирска (парк культуры и отдыха "Заельцовский") / А. Г. Благодатнова // Современная экология: образование, наука, практика: материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 04–06 октября 2017 года. Том 2. Воронеж: Издательство "Научная книга", 2017. С. 20-26.
4. Букин А.В. Экология почв. Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья, 2022.
5. Высоцкий Г.Н. О глубокопочвенном (полнопочвенном) почвоведении // Почвоведение, 1934. N 6. С. 834—842.
6. Емельянова, Е. К. Приобский бор Новосибирска: прошлое, настоящее, проблемы / Е. К. Емельянова, Н. В. Горошко // Вестник Кемеровского государственного университета. 2020. Т. 22, № 3(83). С. 595-606.
7. Горчаковский П. Л. Сосновые леса Приобья как зональное ботанико-географическое явление // Бот. журн. Т. 34. 1949 № 5. С. 525–538.
8. Джеррард А.Дж. Почвы и формы рельефа. Комплексное геоморфологическое исследование. Л.: Недра. Ленингр. отд-ние, 1984.

УДК 614.76

Мусихина Т.А., канд. геогр. наук, доц,

(Вятский государственный университет

г. Киров, Россия)

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕСТ-ОБЪЕКТЫ

Аннотация: исследование воздействия крупнотоннажных отходов на биологические объекты является актуальным, поскольку приоритетные направления их утилизации направлены, в том числе, на применение в строительстве. В работе изучались крупнотоннажные отходы Кировской области. В качестве биологических тест-объектов выступают семена горчицы белой.

Ключевые слова: промышленные отходы, тест-объекты, негативное воздействие.

Вторичная переработка отходов стремительно развивается как во всем мире, так и в Российской Федерации. При этом, в некоторых случаях, крупнотоннажные производственные отходы рекомендуется использовать в качестве строительных материалов в автодорожном строительстве без предварительной переработки.

В Кировской области большие площади заняты под складирование промышленных отходов. В таблице 1 представлены данные по размещению промотходов за 3 года, анализируя которые можно говорить об актуальности исследований по возможности полезного использования размещенных в окружающей среде на значительных площадях промышленных отходов.

Перечень основных крупнотоннажных промышленных отходов Кировской области представлен в таблице 2. Основную массу таких отходов представляют золошлаковые отходы объектов по производству тепла и энергии (ТЭЦ). При этом золу шламохранилищ ТЭЦ можно рассматривать как самостоятельное комплексное месторождение нерудных и рудных металлов. Оно выгодно отличается от обычных месторождений тем, что находится на поверхности и не требует расходов на добычу из недр. Кроме того, золы и шлаки загрязняют окружающую среду пылевидными частицами, радиоактивностью и тяжелыми металлами, фильтрующимися в грунтовые воды. Нередки пожары, возникающие за счет имеющегося в золе недожога угольной пыли. Иногда дамбы золоотвалов относятся к опасным гидротехническим сооружениям. Исходя из этого,

актуальной задачей для нашей страны является ликвидация переполненных золоотвалов путем переработки накопленных отходов в полезные материалы, пригодные для применения в различных отраслях производства.

Таблица 1. Сведения об объектах размещения промышленных отходов Кировской области.

Объект размещения отходов	2021 год		2022 год		2023 год	
	кол-во шт.	площадь (га)	кол-во шт.	площадь (га)	кол-во шт.	площадь, га
Всего	33	460	30	469	28	444,5
Полигоны	2	25	2	25	1	9,5

Предварительное исследование негативного воздействия материалов на базе производственных отходов на биологические тест-объекты также весьма актуально, поскольку нормативные требования [1] предписывают провести исследования качества различных сред. С учетом повышенных современных требований Градостроительного кодекса Российской Федерации было проведено исследование отходов с использованием метода биотестирования, в основе которого лежит определение реакции тест-объектов на уровень техногенного воздействия от применения отходов в строительстве. Полученные результаты могут быть использованы для принятия решений по минимизации вредных воздействий в сфере утилизации крупнотоннажных отходов в строительстве.

Цель работы – провести оценку токсичности образованных в регионе крупнотоннажных отходов с использованием метода биотестирования.

Оценка токсичности выполнялась в соответствии с научным разработками и нормативами в сфере фитотестирования [2] с использованием тест-объектов для биотестирования – семена горчицы белой (*Sinapis alba L.*). Норма всхожести ее репродукционных семян товарного назначения составляет 85%.

Выполнялась вытяжка из отходов в соотношениях – 100 г/л, 10 г/л и 1 г/л. В качестве контроля применялись дистиллированная и водопроводная вода. Продолжительность испытания – 72 часа.

Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты испытаний по всхожести семян горчицы белой.

Вид отхода	Всхожесть при обработке водной вытяжкой, %			Контрольные тесты, %	
	100 г/л	10 г/л	1 г/л	Водопроводная вода	Дистиллированная вода
Зола ТЭЦ-4 (золоотвал)	96,4	100	100	100	100
Зола ТЭЦ-3 (золоотвал)	100	100	97	100	100
Фторгипс	94	97	98	100	100
Зола БХЗ	97	98	98	100	100
Лигнин 2019	96	97	99	100	100
Лигнин 2018	94	97	98	100	100

Результаты показали, что всхожесть семян горчицы белой (*Sinapis alba* L.) для всех исследуемых отходов составила не менее 94% при норме всхожести - 85%. Это говорит о том, что использование исследуемых производственных отходов в строительстве является приемлемым с точки зрения негативного воздействия на окружающую среду.

Библиографический список

1. СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства. URL: <https://docs.cntd.ru/document/871001220> (дата обращения: 01.03.2025).
2. Лисовицкая, О. В., Терехова, В. А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения. Доклады по экологическому почвоведению, 2010. №1, Вып. 1. С. 1-18.

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Аннотация: В статье рассмотрено функционирование почв под влиянием различных биологических факторов. Описаны факторы, влияющие на плодородие почвы и функции гумуса, в т.ч. ферментативной активности, почвенного дыхания и деятельности микроорганизмов. Представлена принципиальная схема влияния гумусового вещества на физико-химические свойства почвы.

Ключевые слова: трансформация, гумус, ферментативная активность, дыхание, микроорганизмы, удобрения.

Почва, являясь частью землепользования крайне важна, поскольку в проведении различных операций агропромышленного комплекса и сельского хозяйства она играет роль основного объекта. Для того, чтобы любой вид почв стал плодородным, необходимо обеспечить поступление важных элементов для питания [1].

Главными функциями почв с экологической точки зрения являются глобальные, подразумевающие литосферные, атмосферные, гидросферные, общебиосферные, и биогеоценотические, такие как: среда обитания, жизненное пространство, обусловленные физическими свойствами почв; источник элементов питания и энергии – химическими; сорбция органических и минеральных веществ – физико-химическими. Также, значимыми функциями являются: информационные, обеспечивающие сезонные и другие биологические процессы; функции сохранения и поддержания биоразнообразия; санитарные, осуществляемые микроорганизмами посредством переработки и обезвреживания многих загрязняющих веществ; азотно-белковая проявляется обеспечением биологической фиксации молекулярного атмосферного азота, который превращается в органическую форму. Данные функции могут осуществлять в полной мере только здоровые почвы с устойчивым плодородием, не подверженные деградации [2].

На плодородие влияют многие биологические факторы: аккумуляция и трансформация веществ; микроорганизмы,

преобразующие органические вещества; ферментативная активность; дыхание почвы. В современных условиях роль данных факторов постепенно возрастает, поскольку значительно сокращаются запасы гумуса, а также накапливаются в почвах активные вещества, которые негативно влияют на физиологию вследствие своих токсических свойств, нарушая интенсивность обмена веществ между почвой и растениями. Поэтому биологическая активность является очень чувствительным экологическим индикатором на антропогенные воздействия [3].

Ферментативная активность олицетворяет действие ферментного пула почвы, состоящего из индуцированных ферментов микроорганизмов и растительных корней. Ферментный пул регулирует биохимический гомеостаз почвы, способствуя непрерывности метаболических процессов даже при неблагоприятных условиях для жизнедеятельности микроорганизмов, поскольку ферменты в отличие от микроорганизмов более устойчивы к недостатку влаги, температурным колебаниям, асептическим веществам и различным физическим воздействиям. Благодаря действию значительного количества (более 100) различных классов ферментов осуществляется переход питательных элементов, связанных в органических остатках, в доступное состояние для микроорганизмов и растений, а также образование низкомолекулярных органических соединений, которые в последующих процессах полимеризации и конденсации образуют основные компоненты почвы – гумусовые вещества [4].

Гумусовое вещество, которое также называют гумусом, представляет собой тугоплавкое гетерогенное высокомолекулярное органическое соединение с конденсированной углеродной структурой и богатыми кислородсодержащими функциональными группами и составляет 60-80% от органического вещества почвы, играя важную роль в поддержании ее экосистемы. Функции гумуса заключаются в следующем [5]:

а) улучшает структуру почвы, посредством коллоидного взаимодействия мягкого и твердого вещества, связывающее зерна минералов с открытыми и рыхлыми агрегатами, таким образом устранив цементацию и способствуя образованию водостойких и пористых стабилизированных гетероагрегатов;

б) повышает водоудерживающую способность за счет гидрофильных (гидроксильных, карбоксильных) групп и пористой структуры;

в) повышает емкость катионного обмена посредством: сохранения открытой поверхности неорганических коллоидов для адсорбции

обменных катионов; предоставления анионов и протонов в ходе диссоциации карбоксильных, гидроксильных и фенольных групп гуминовых веществ; увеличения удельной площади поверхности вследствие ускорения гумусовыми веществами распада минералов почвы (рис. 1).

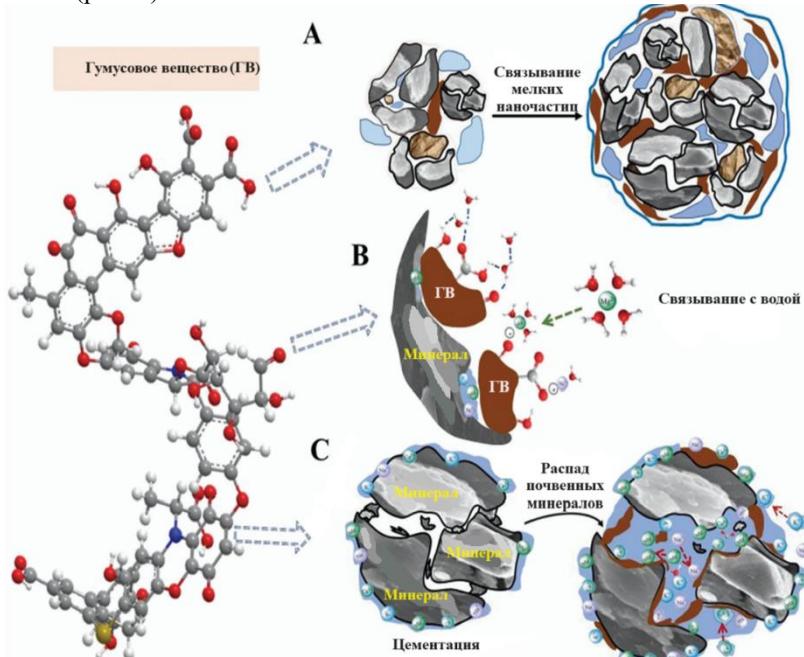


Рис. 1. Принципиальная схема влияния гумусового вещества на физико-химические свойства почвы (А – структура почвы; В – водоудерживающая способность; С – емкость катионного обмена).

Почвенное дыхание является процессом выделения диоксида углерода из почвы в приземный слой атмосферы. На его интенсивность влияют свойства почвы, виды растений, температурно-влажностный режим, мероприятия, направленные на создание благоприятных условий для жизнедеятельности растительности. Так, почвенное дыхание увеличивается в более окультуренной почве вследствие того, что происходит усиление биологических процессов в процессе улучшения аэрации. При снижении поступления в почву кислорода выделение диоксида углерода падает, что обосновывается образованием токсичных очагов, провоцируемых промежуточными продуктами минерализации гумуса и корневых выделений, что в

конечном итоге негативно сказывается на жизнедеятельность организмов, ухудшая биологические процессы, приводя к истощению почвы. Выделение диоксида углерода отображает жизнедеятельность почвенных организмов [6].

Активность почвенных микроорганизмов определяет генезис и плодородие почв, проведение различных процессов и структурирование режимов почвы. Под ее воздействием осуществляется синтез и разложение органических соединений, минералов, изменение окислительно-восстановительного потенциала, гидрофобности и гидрофильности многих веществ. Взаимоотношения микроорганизмов друг с другом характеризуются конкурентным типом отношений и симбиотической связью. Так, на первой стадии процесса разложения органического вещества в процессе переработки опада первоначально выступают на первое место дрожжи и неспороносные бактерии, пользующиеся простыми водорастворимыми веществами, после чего первоочередную роль играют бактерии, несущие споры, и микробы, которые разрушают клетчатку, а завершается разложение в почве деструкцией лignina и гумуса [7].

Для успешного протекания функционирования почвенных структур необходимо поддерживать состояние биологических факторов в норме, не допуская их снижения. Так, с целью осуществления поддержания стабильной жизнедеятельности почвы применяют дополнительные источники для питания – удобрения. Органические удобрения повышают пул микроорганизмов, тем самым способствуют протеканию микробиологических процессов почвы, а также, перерабатывая внесенный субстрат, обеспечивают медленному использованию органической части почвы, что способствует сохранению плодородия и снижению отрицательных антропогенных влияний [8]. Минеральные удобрения повышают протекание процесса деструкции целлюлозы, но при их внесении может возникнуть негативное влияние на микробиоту, поэтому целесообразно применять также биопрепараторы на основе штаммов, что позволит обеспечить рост корневой системы растений и, соответственно, увеличит площадь питания, что повысит использование удобрений неорганической природы [9]. Эффективными являются органоминеральные удобрения, которые имеют как органическую, так и минеральную составляющие. Их преимуществом является то, что они способны полностью заменить минеральные удобрения и, при этом, не проявлять негативного влияния на почвенные и водные структуры [10].

Таким образом, крайне важно поддерживать функционирование почв посредством применения различных мер для сохранения и

повышения плодородия, а также устранения антропогенных воздействий.

Библиографический список

1. Нехорошева, А.Н. Почва и способы её улучшения / А.Н. Нехорошева // Наука, образование и культура. 2020. № 6 (50). С. 15-16.
2. Хазиев, Ф.Х. Почва и экология / Ф.Х. Хазиев // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2017. № 3 (87). Т.24. С. 29-38.
3. Рамазанова, Ф.М. Воспроизведение плодородия орошаемых серокоричневых (каштановых) почв Азербайджана посевами промежуточных культур / Ф.М. Рамазанова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 1 (29). С. 86-104.
4. Хазиев, Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах / Ф.Х. Хазиев // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2015. № 2 (78). Т.20. С. 14-24.
5. Yang F., Tang C., Antonietti M. Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms // The Royal Society of Chemistry. 2021. Vol. 50. №10. pp. 6221-6239.
6. Слюсарев, В.Н. Агрономическое почвоведение: учебник / В.Н. Слюсарев, С.А. Тешева, А.В. Осипов. Краснодар: КубГАУ, 2023. 316 с. ISBN 978-5-907816-03-9.
7. Микробиологическая активность почв как фактор почвообразования / В.И. Савич, Л.В. Мосина, Ж. Норовсурэн [и др.] // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 1. С. 38-42.
8. Влияние различных доз органического удобрения из птичьего помета на численность почвенных микроорганизмов в ризосфере льна масличного / М.М. Макенова [и др.] // Вестник науки Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина. 2022. №2 (113). С. 14-21.
9. Влияние сочетания микробиологических и минеральных удобрений на биологические показатели чернозема обыкновенного / А.Х. Занилов [и др.] // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. №4 (72). С. 176-186.
10. Разработка и внедрение технологии повышения эффективности гранулированного органоминерального удобрения в растениеводстве / Д.А. Рагозин, Т.А. Василенко, Н.Ю. Кирюшина // Актуальные аспекты и перспективы развития современной биотехнологии: сб. докл. Межд. науч. конф. (Белгород, 26-28 марта 2024 г.). Белгород: Изд-во БГТУ, 2024. С. 206-210.

¹Силкова Е.В., студент

²Кирюшина Е.С., студент

¹Кирюшина Н.Ю., канд. техн. наук, доцент

(1 – Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

2 – Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия)

ОРГАНИЗАЦИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ВИВАРИЕВ

Статья посвящена организации и функционированию вивариев – специализированных помещений для содержания лабораторных животных. Описаны основные принципы работы вивариев, рассмотрены современные стандарты содержания животных в барьерных вивариях. Статья также затрагивает вопросы биобезопасности, включая управление рисками, использование первичных и вторичных барьеров защиты, методы дезинфекции.

Ключевые слова: виварий, лабораторные животные, отходы, утилизация, дезинфекция.

Виварий может быть представлен одним или совокупностью нескольких помещений, служащих для содержания лабораторных животных, и зачастую является частью испытательного центра или исследовательского института. Он состоит из основных помещений, в которых содержат животных, и из вспомогательных, в которых проводят манипуляции с животными или хранят необходимый инвентарь. Также, при содержании в виварии нескольких видов лабораторных животных, каждый из них должен содержаться раздельно.

Деятельность вивария или питомника лабораторных животных включает в себя сложный комплекс работ, в который входит:

- защита персонала и охрана труда, связанные с накоплением в воздухе рабочей зоны опасных веществ, опасностью возникновения и распространения эпизоотических заболеваний;

- обеспечение благополучия и здоровья лабораторных животных в целях соблюдения не только чистоты эксперимента, но и этических принципов;

- неизбежность образования опасных отходов (медицинские отходы и биологические отходы, сливы химических веществ от

исследовательских лабораторий, отходы лекарственных средств и т.д.);

- надлежащее обращение с лекарственными средствами [1].

Невзирая на то, что использовать в научных исследованиях лабораторных животных начали еще в конце XIX века, регламент их гуманного содержания и обращения с ними начал появляться лишь спустя полвека с формулирования концепции 3R: замещение (replacement), сокращение (réduction), усовершенствование (refinement).

Эталоном содержания животных в настоящее время считаются барьерные виварии, в которых содержатся SPF (свободные от патогенов) животные в условиях, соответствующих рекомендациям ECVAM, FELASA, OECD, FDA, EPA и др. С этой целью виварии поделены на «чистые» и «грязные» зоны, а вместе с тем определены потоки движения персонала и оборудования (рис.1). Для содержания животных и снижения риска контаминации используют системы с индивидуальной вентиляцией клеток, а также стерильный подстил, корм, воду и клетки. Стерилизацию осуществляют, используя автоклавирование, облучение гамма-лучами, обработку парами перекиси водорода или газом [2].



Рис.1 План типового вивария

В составе «чистых» помещений предусматривают:

- помещения приема, карантина и адаптации вновь поступающих животных;
- помещения экспериментальных животных;
- операционную с предоперационной для экспериментальных работ, требующих особых условий;

- помещения хранения чистого инвентаря для ухода за животными (клетки, поилки, посуда для кормов, оборудование);
- помещение манипуляционной для изучения обменных процессов, взятия проб для анализа;
- помещения для приготовления кормов для животных;
- диагностический кабинет;
- помещение или оборудованная выделенная зона для испытуемых образцов (биологические материалы) и образцов сравнения.

В составе «грязных» помещений предусматривают:

- помещения изоляторов, необходимые для содержания подозрительных по инфекционным заболеваниям или больных животных;
- помещение для мытья и дезинфекции оборудования и инвентаря;
- помещение с холодильной камерой для сбора и хранения отходов;
- помещения для нужд персонала вивария (душевая, туалет и гардеробная) [3].

Важным аспектом в работе вивариев является дезинфекция в присутствии животных. Одним из таких эффективных методов обеззараживания воздуха является применение ультрафиолетовых бактерицидных установок, использующих излучение с длиной волны 205-315 нм. Этот метод по сравнению с химическими методами обладает рядом преимуществ, таких как безвредность для людей и животных, долгий срок службы ламп, простота процесса и большая производительность при меньших экономических затратах [4].

Помимо этого, во многих странах мира применяются принципы надлежащей лабораторной практики (Good Laboratory Practice, GLP), что позволяет обеспечить стандартизацию исследований и взаимное признание полученных результатов. Главной целью этой практики, является получение надёжных результатов путем реализации системы качества организационного процесса и условий проведения неклинических исследований и ведения соответствующей документации. В России нет обязательного требования проводить исследования только в лабораториях, соответствующих стандартам GLP, но в данный момент создаются условия, чтобы как можно больше лабораторий могли им соответствовать [5].

В помещениях, в которых содержатся животные, должны быть соблюдены необходимые параметры микроклимата, среди которых температура, воздухообмен, влажность и освещенность. Это связано с

существенным влиянием параметров окружающей среды на самочувствие и жизненные циклы животных. Что также отразится и на проводимых с ними исследованиях, получении достоверных данных, на психологическом состоянии самых особей.

Лабораторные животные в зависимости от целей и задач эксперимента, а также своего микробиологического статуса, должны содержаться в разных условиях. Общие правила для контроля микроклимата изложены в СП 2.2.1.3218-14 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник» и составляют: 20-26 °C - для мышей, крыс, песчанок, морских свинок; 16-22 °C - для кроликов; 18-29 °C - для кошек, собак и приматов и 16-27 °C - для сельскохозяйственных животных, домашней птицы; относительная влажность - в пределах 30-70 % [6].

В настоящее время вопросы биобезопасности, касающиеся последних достижений в эпидемиологии, микробиологии, иммунологии и биотехнологии, становятся все более важными. Как наука, биологическая безопасность является комбинацией теории и практики защиты людей от опасных биологических факторов.

Для каждого действия, связанного с патогенными биологическими агентами, оборудованием, аппаратами, работающими в лабораторных помещениях, вивариях и т. д., существуют стандартные операционные процедуры (СОП), которые были разработаны в соответствии с практическим руководством по биологической безопасности в лабораториях и требованиями санитарных норм и законодательства в области ветеринарной медицины [7].

Лаборатории работают по определённым правилам биобезопасности, основная задача которых — защита персонала. Прежде всего, необходимо поддерживать порядок на своём рабочем месте — его нужно убирать и дезинфицировать в течение рабочего дня и по его окончании. К работе с химическими реактивами и микроорганизмами могут допускаться только сотрудники в защитной одежде соответствующего внешнего вида. Во время работы в лаборатории дверь должна быть закрыта, на ней с внешней стороны должны быть нанесены предупреждающие знаки.

Внутри лаборатории запрещается: хранить и употреблять пищу и напитки, курить, использовать косметику и пипетировать ртом. На рабочем месте необходимо обеспечить надлежащий уровень вентиляции для защиты здоровья сотрудников и снижения образования аэрозолей. Перед удалением отходы должны быть иниактивированы, в сточные системы лаборатории не должны попадать

инфекционные материалы. К работе должны быть допущены лица, прошедшие соответствующий инструктаж и обучение [8].

В соответствии с принципами биологической безопасности, в лаборатории необходимо разработать меры, обеспечивающие защиту при работе с живыми существами, инфицированными болезнестворными микробами. Для этого используются первичные и вторичные барьеры защиты персонала. К первичным барьерам относятся средства индивидуальной защиты и специальное оборудование. Они являются первой линией защиты для работников и окружающей среды.

Вторичные барьеры включают в себя планировку помещений и ограждающие строительные конструкции. Они обеспечивают движение внутри здания, минимизируют риск перекрёстного загрязнения и полностью исключают доступ посторонних лиц, проникновение животных извне и побег содержащихся в лаборатории животных. Также к вторичным барьерам относятся проходные барьерные устройства для термической обработки и обеззараживания твёрдых отходов [9].

Обращение с отходами также регулируется согласно СП 2.2.1.3218-14 «Санитарно-эпидемиологические требования к устройству, оборудованию и содержанию экспериментально - биологических клиник (вивариев)» и СанПиН 2.1.7.2790-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к обращению с медицинскими отходами», а именно создание в «грязных» зонах специальных мест для сбора и хранения отходов до их утилизации и классификация различных видов отходов по классам опасности. Например, медицинские и биологические отходы не будут подлежать паспортизации. А самыми опасными будут считаться отходы I класса, а именно люминесцентные лампы, приборы с ртутью и химические неликивиды [10].

К основным биологическим отходам, как правило, относят трупы животных и подстил. После хранения удобнее всего их утилизировать, привлекая для этого специальные организации, занимающиеся утилизацией отходов с заключением договора. В основном для этого применяется метод сжигания.

Обязательным фактором на каждом из этапов является ведение соответствующей документации: технологический журнал учета биологических отходов организации, содержащий количество, вес и сведения о вывозе отходов; документы, подтверждающие вывоз и обезвреживание отходов, выданные специализированными организациями, осуществляющими транспортирование и

обезвреживание отходов [11].

Библиографический список

1. Нормативно-правовое регулирование деятельности питомников и экспериментально-биологических клиник (виварииев) / Бондарева Е. Д. [и др.] // Лабораторные животные для научных исследований. 2018. №4. С.100-115.
2. Определение содержания бактерий рода *bacillus* в корме и фекалиях лабораторных мышей при содержании в стерильных и нестерильных условиях / Морозова М.В. [и др.] // Лабораторные животные для научных исследований. 2021. №3. С.11-16.
3. СанПиН 3.3686-21. Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 17 декабря 2021 г. № 89. М., 2021. 28 с.
4. Эффективность дезинфекции воздушной среды уф-облучением в экспериментальных вивариях / Бондарева Е.Д. [и др.] // Лабораторные животные для научных исследований. 2019. №3. 8 с.
5. Раскоша О.В., Кичигин А.И. Основные принципы надлежащей лабораторной практики (НЛП, GLP) при обустройстве вивария и организации научных исследований // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2016. № 3(197). С. 19-25.
6. Аналитический обзор нормативной базы для обеспечения надлежащего качества доклинических исследований в России. / Селезнева А. И. [и др.] // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. 2 (19): 252-9.
7. Система биологической безопасности и биозащиты в НИИ проблем биологической безопасности. / Килибаев С.С. [и др.] // Биобезопасность и Биотехнология. 2023;(13):67-76.
8. Руководства по диагностическим тестам и вакцинам для наземных животных: пр. Всемирной Ассамблеей делегатов МЭБ. 2016.
9. Актуальные вопросы обеспечения биологической безопасности в лаборатории для содержания инфицированных животных / Семакова А.П. [и др.] // Лабораторные животные для научных исследований. 2021. №1. С.48-55.
10. Ковалева М.А., Макарова М.Н., Логинова М.В. Надлежащие обращение с отходами в медико-биологических клиниках (вивариях) как залог здоровья персонала // Современная медицина: актуальные вопросы. 2016. №2-3 (46). С. 155-161.
11. Бондарева Е.Д. Надлежащее обращение с биологическими и медицинскими отходами виварииев // Лабораторные животные для научных исследований. 2020. №1. С. 3-8.

Исхакова Р.Я., канд. техн. наук, доц.

Черникова Д.И., аспирант

(Казанский государственный энергетический
университет, г. Казань, Россия)

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ АКТИВНОГО ИЛА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОТХОДОМ ЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация: в статье исследован вопрос, связанный с обезвреживанием активного ила, образующегося в процессе биологической очистки сточных вод от тяжелых металлов с помощью кальцийсодержащих добавок. Установлено, что применение отхода энергетики является одним из возможных способов детоксикации активного ила.

Ключевые слова: детоксикация, извлечение тяжелых металлов, активный ил, отход энергетики.

Процесс биологической очистки основан на применении активного ила как основного биологического агента. Активный ил — это биологическая масса микроорганизмов, используемая в процессе очистки сточных вод для удаления органических веществ. В процесс биологической очистки сточных вод активный ил накапливает различные загрязняющие вещества, присутствующие в сточных водах, включая тяжелые металлы. Тяжелые металлы являются одними из наиболее токсичных загрязняющих веществ, при этом имеющих широкое распространение [1].

Основная опасность при этом состоит в аккумулировании тяжелых металлов на клеточной стенке микроорганизмов, негативном воздействии тяжелых металлов на биоценоз водных объектов и жизнедеятельность ихтиофауны [2]. При длительных воздействиях тяжелых металлов на микроорганизмы активного ила, происходит перегрузка активного ила по компонентам очистки, инерционная способность экосистемы исчерпывается, что проявляется в нарушении окислительной способности активного ила, изменении его физических и морфологических свойств, разрушении зооглайных структур. В результате санитарно-химические показатели очищенных сточных вод существенно ухудшаются, и в поверхностные водоемы поступают сточные воды, в которых в несколько раз превышенные значения ПДК для загрязняющих веществ для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Существуют различные методы извлечения тяжелых металлов из активного ила: химическая обработка, биологическое обезвреживание, электрохимический метод, флотация и прочие.

Использование материалов, содержащих кальций, является перспективным решением для детоксикации активного ила [3]. Так, для обезвреживания и извлечения активного ила, который может рассматриваться как ценный ресурс, например для рекультивант, предлагается использовать кальцийсодержащий отход энергетики – шлам водоподготовки тепловых электрических станций (ТЭС).

Шлам водоподготовки образуется в процессе химической очистки добавочной воды на ТЭС и направляется в состоянии пульпы на шламонакопители, где происходит его складирование и хранение в течении длительного времени.

Рентгенографический качественный фазовый анализ на дифрактометре D 8 ADVANCE фирмы Bruker показал следующий химический состав шлама водоподготовки Набережночелнинской ТЭЦ: CaCO_3 – 71,0%, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – 8,5%; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ < 1,0%; SiO_2 – 0,6%, прочие вещества – 19,0% [4]. Шлам содержит гуминовые вещества – до 15,0 % от общей массы образца, что обнаружено методом газовой хроматомассспектрометрии. С использованием хромато-масс-спектрометра «ThermoFisherSci. Co.» установлено, что на его поверхности содержится типовой набор функциональных групп гуминовых веществ –OH, =NH, –CH₃, =CH₂, ароматических –HC=CH– – связей, –COOH – карбоксильных групп и –OH – спиртовых групп. Определены основные физико-технические характеристики шлама: насыпная плотность – 540,0 кг/м³, зольность – 88% (масс.), влажность шлама – 2,5% (масс.), pH – 8,83, гранулометрический состав представлен фракциями 0,05–1,40 мм.

Экспериментальные исследования проводили с применением возвратного ила биологических очистных сооружений при постоянном перемешивании с использованием магнитной мешалки при 800 оборотах в минуту. Пробы водно-иловой суспензии возвратного ила аэрировались воздухом при постоянном механическом перемешивании. В экспериментальном исследовании вводили 0,5 г шлама на 1 г возвратного ила (при пересчете на сухое вещество). Эксперимент проводили в течении двух часов. Далее осадок отфильтровывали и определяли концентрацию тяжелых металлов в фильтрате.

При детоксикации ила шламом водоподготовки концентрации тяжелых металлов в водной фазе, отводимой после обработки, возрастили на: Zn^{2+} – 66 %, Cu^{2+} – 18 %, Mn^{2+} – 34 %.

Таким образом, предлагаемый процесс основан на способности кальция связывать и нейтрализовать многие металлы, превращая их в менее опасные формы. Под воздействием кальция тяжёлые металлы переходят в малорастворимую форму. Тяжёлые металлы, присутствующие в активной среде, реагируют с добавленным реагентом. Результатом протекания реакции являются малорастворимые соли тяжелых металлов, выпадающие в осадок. После завершения химической реакции суспензия подается в отстойники или фильтры, где твердые частицы, содержащие связанные тяжелые металлы, отделяются от жидкости за счет силы тяжести. Осадок оседает на дне, а жидкость отводится на следующий этап очистки.

Извлечение тяжелых металлов из активного ила является важным аспектом для возможного использования активного ила в качестве вторичного материального ресурса - рекультиванта почв, а также для возврата обезвреженного осадка в систему биологической очистки сточных вод. Использование кальцийсодержащих реагентов, особенно отходов производства, позволяет значительно снизить содержание тяжелых металлов в активном иле и сделать его безопасным для окружающей природной среды.

Работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».

Библиографический список

1. Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И. Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования: монография. Нижний Новгород. 2005. 165 с.
2. Соколов Э.М. Антропогенное загрязнение окружающей среды тяжёлыми металлами // Экология и промышленность России. 2008. № 1. С. 5-6.
3. Валеев В.Х., Сомова Ю.В., Сомов В.А. Исследование возможности использования осадков сточных вод очистных сооружений в качестве удобрения// Известия вузов. прикладная химия и биотехнология. 2015. №3(14). С. 69-73.
4. Научные подходы в технологии очистки газовых выбросов от оксида серы на промышленных предприятиях. Николаева Л.А., Хуснутдинова Э.М. Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 4. С. 4-9

УДК 628.336.6

Панарина О.А., студент,
Томаровщенко А.А., студент,
Кириюшина Е.С., студент
Половнева Д.О., ассистент

(Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

К ВОПРОСУ О БИОГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Аннотация: в статье приведен обзор по биогазовой смеси. Предоставлен процесс производства биогаза, работа биогазовых установок, а также рассказано к чему приводит свободное распространение биогаза в атмосфере.

Ключевые слова: биогаз, метан, бактерии, углекислый газ, биометан, промышленные установки, атмосфера, озоновый слой, органические отходы, биологическое разложение.

Биогаз представляет собой смесь, состоящую в основном из метана и углекислого газа, и образуется в результате биологического разложения органических отходов. Этот газ получается путем водородного или метанового брожения биомассы. Метановое разложение биомассы происходит под воздействием трёх видов бактерий. Первый вид - бактерии гидролизные, второй - кислотообразующие, третий - метанообразующие. В производстве биогаза участвуют не только бактерии класса метаногенов, а все три вида[1].

Процесс производства биогаза основан на разложении органических субстратов. На первом этапе происходит гидролиз, когда углеводы, белки, жиры расщепляются на аминокислоты, сахара и жирные кислоты. В процессе подкисления - образования уксусной кислоты, низшие жирные кислоты и другие продукты под действием ацетогенных бактерий преобразуются в субстанции, из которых позднее образуется биогаз. Важнейшим этапом является метаногенез - это процесс образования метана в сочетании с сохранением энергии микробами, известными как метаногены. Здесь анаэробные микроорганизмы, не имеющие ядра, перерабатывают прежде всего уксусную кислоту, а также водород и углекислый раз в метан [2].

Метаногенные микроорганизмы вследствие малой скорости роста являются далеко не сильным звеном биоценоза и чувствительнее всего реагируют на изменения, поэтому необходимо, чтобы условия среды были адаптированы прежде всего к требованиям метанобразующих

бактерий. В связи с этим фактом усилия, направленные на совершенствование конструкции биореакторов, должны быть направлены на создание отдельной зоны для осуществления процесса получения метана и возможности введения в нее биокатализаторов. Биогаз состоит преимущественно из метана, двуокиси углерода и незначительного количества примесей аммиака, сероводорода, оксидов азота и других веществ (Табл. 1).

Таблица 1. Состав биогаза

Газ	Химическая формула	Объем
Метан	CH ₄	50-80 %
Углекислый газ	CO ₂	15-50 %
Водород	H ₂	1-2 %
Сероводород	H ₂ S	0-1 %
Аммиак	NH ₃	0-1 %

Используемый в производстве биометан получается в результате очистки от примесей. Негативное влияние на качество продукта может оказаться повышенная влажность и высокая температура. Качество биогаза определяется в первую очередь содержанием метана. Поскольку двуокись углерода разбавляет биогаз и вызывает потери при его хранении, важно стремиться к высокому содержанию CH₄ и низкому содержанию CO₂. Содержание метана в биогазе в первую очередь определяется следующими критериями: осуществление процесса; состав питательных веществ субстрата; температура субстрата: при высокой температуре ферментатора выход метана более плохой, чем при низких температурах. Сероводород (H₂S) также является важнейшей составляющей газа. Сероводород может вызывать коррозию, что в первую очередь ведет к проблемам с арматурой, газовыми счетчиками, горелками и двигателями. Поэтому необходимо очищать биогаз от серы. Кроме того, в биогазе содержатся следы аммиака, элементарного азота, водорода и кислорода общим содержанием от 6 до 8 % [3].

Для производства биогаза используются промышленные установки. Такое оборудование характеризуется наличием механизации и автоматики, систем гомогенизации и подогрева. Биогазовые установки основаны на процессе брожения и разложения органических отходов под воздействием температуры и специальных бактерий (гидролизующих, метаногенных и кислотообразующих). Биоэнергетические станции используют навоз, силос и бытовые отходы в качестве альтернативных источников энергии и превращают

этую биомассу в газ путем сбраживания. Простейшая биогазовая установка состоит из реактора, в который отходы подаются с помощью насосов и питателей. Промышленные биореакторы дополняются смесительными установками, нагревательными приборами, газовыми контейнерами для сбора биометана, нефтеперерабатывающими заводами, станциями сжижения газа и когенерационными установками. Реакторы биогазовых установок для производства биогаза содержат бактерии, которые перерабатывают органические отходы в биогаз (Рис.1) [4].



Рис.1. Схема простой биогазовой установки.

Биогазовые установки не наносят вреда окружающей среде. Реактор брожения полностью закрыт, и его работа безопасна для людей и окружающей среды. Биогаз производится в несколько этапов. В настоящее время в России действуют несколько организаций, которые занимаются разработкой и созданием биогазовых установок. Первая биогазовая установка была открыта в Калужской области компанией «МосМедыньАгропром». Станция производит 350 кВт·ч, обеспечивая энергией животноводческие помещения. К похожим организациям можно отнести следующие: ОАО «Региональный Центр Биотехнологий»; ЗАО «Центр «ЭкоРос» (г.Москва); АО «Стройтехника» - Тульский завод; станция «Байцуры» недалеко от свинокомплекса «Стригуновский» и станция «Лучки», запущенная компанией «АльтЭнерго» - Белгородская область и другие [5].

Свалочные отложения представляют собой газогенерирующие объекты, загрязняющие атмосферный и подпочвенный воздух биогазом, состоящим из метана и углекислоты. Поскольку биогаз содержит в своем составе ряд опасных компонентов, то его свободное распространение в окружающей среде может вызвать негативные эффекты локального и глобального масштаба [6].

Биогаз имеет характерный сладковатый и гнилостный запах, который образуется благодаря наличию сероводорода, органических сернистых соединений (меркаптаны и сульфиды), а также сложных эфиров жирных кислот и спиртов. Сероводород и другие сернистые соединения имеют очень низкие пороговые значения запаха. Выделяют четыре основные зоны проявления запаха: вокруг строений, на поверхности свалки, в контролируемых и неконтролируемых точках выброса газа (включая системы сжигания и утилизации), а также в системах отбора и наблюдения за фильтратом. В зонах интенсивной эмиссии биогаза рост растений практически невозможен. Высокое содержание метана в биогазе способствует вытеснению кислорода из грунта. Вследствие дефицита кислорода и недостатка влаги, и растения отмирают. Угнетение растительности может наблюдаться и за пределами рекультивированной зоны вследствие миграции и накопления биогаза [7].

Свободное распространение биогаза приводит к загрязнению атмосферы прилежащих территорий токсичными и дурно пахнущими соединениями. Кроме того, неконтролируемые эмиссии биогаза могут вызывать последствия глобального масштаба. Полигоны ТБО являются значительными источниками эмиссии биогаза в атмосферу. Типичные городские свалки и полигоны по количеству выделяемого метана практически не уступают таким источникам метана, как разработка каменного угля и жизнедеятельности жвачных сельскохозяйственных животных [8].

Выяснилось, что метан, накапливающийся на определенных высотах в атмосфере Земли, приводит к выраженному парниковому эффекту и, как следствие, к постепенному потеплению климата планеты. До последнего времени парниковый эффект связывался либо с запылением атмосферы, либо с повышением концентрации углекислого газа в ней. На сегодняшний день установлено, что молекулы метана обладают в 21 раз более сильным поглощающим эффектом для инфракрасного излучения, чем молекулы углекислого газа [9].

Кроме неблагоприятного воздействия на озоновый слой, хлорфторзамещенные углеводороды поглощают инфракрасное излучение, что может усугублять парниковый эффект. Это определяет необходимость безотлагательного решения проблемы биогаза, которая на сегодняшний день является одной из самых важных проблем охраны окружающей среды. В большинстве развитых стран в настоящее время известны следующие способы утилизации биогаза:

- факельное сжигание;
- использование биогаза для производства тепловой энергии;
- использование биогаза с целью получения электроэнергии;
- использование биогаза в качестве топлива для транспорта;
- доведение содержания метана в биогазе до 94–95 % с последующим его использованием в газовых сетях общего назначения [10].

Библиографический список

1. Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М. Биогаз. Теория и практика. // М.: Колос, 1982. 148 с.
2. Аналитическая химия и физико-химические методы анализа: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по химико-технологическим направлениям и специальностям: в 2 т. / Ю. М. Глубоков [и др.] // Москва: Академия, 2010. (Высшее профессиональное образование. Химические технологии). Т. 1. 2010. 351 с.
3. Современные научные, технологические и социально-этические проблемы в биотехнологии: учебное пособие / Ж. А. Сапронова, С. В. Свергузова, Н. С. Лупандина, А. В. Святченко. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2020. 78 с.
4. Эдер, Б., Шульц, Х. Биогазовые установки: практическое пособие. Пер. с нем. Цюрих: Зорг Биогаз, 2008. 168 с.
5. Гюнтер Л.Л., Гольдфарб Л.Л. Метантенки. // М.: Стройиздат, 1991. 128 с.
6. Максимова, С. В. Экологические основы освоения территорий закрытых свалок и полигонов захоронения твердых бытовых отходов: специальность 03.00.16 «Экология»: Автorefерат на соискание доктора технических наук / Максимова, С. В. ; Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. г. Москва, 2004. 32 с.
7. Вайсман, Я.И. Управление метаногенезом на полигонах твёрдых бытовых отходов: монография / Я. И. Вайсман, О. Я. Вайсман, С. В. Максимова. Пермь: ПНИПУ, 2003. 232с.
8. Сметанин В.И. Защита окружающей среды от отходов производства и потребления. М: Колос, 2000. 229с.
9. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов: монография / Я. И. Вайсман, В. Н. Коротаев, И. С. Глушанкова [и др.] ; под редакцией Я. И. Вайсмана. Пермь: ПНИПУ, 2012. 259 с.
10. Кононович, В.М. Анализ методов утилизации биогаза с полигонов ТКО / В. М. Кононович, Н. А. Лысухо // Сахаровские чтения 2019 года: экологические проблемы XXI века: Материалы 19-й международной научной конференции, Минск, 23–24 мая 2019 года. Том 3. Минск: Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь, 2019. С. 47-50.

11. Тлеуов, А.Х. Основы использования возобновляемых источников энергии: учебное пособие / А. Х. Тлеуов, А. А. Тлеуова, И. А. Пястолова. Астана: КазАТУ, 2018. Книга 2 : Гелио- и ветроэнергетика. 2018. 271с.

УДК 614.77

Постникова С. М., студент
Федорова М. А., студент
Порожнюк Л. А., канд. техн. наук, доцент
(Белгородский государственный технический
университет, г. Белгород, Россия)

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕРБИЦИДА «RUBIT» НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВ

Аннотация: В работе исследовано влияние гербицида на основе глифосата на ключевые агрохимические и физико-химические свойства почвы: pH, содержание подвижного алюминия, гранулометрический и фракционный состав, гумус и влажность в образцах почв различного типа. Установлено, что обработка гербицидом в концентрации, вдвое превышающей рекомендованную, приводит к повышению кислотности (pH) при одновременном снижении содержания подвижного алюминия за счет его перехода в комплексные соединения. Выявлено незначительное уменьшение содержания гумуса, связанное с подавлением микробиологической активности и процессов гумификации. Показано снижение водоудерживающей способности обработанных образцов вследствие изменения агрегатного состава почвы. Полученные данные имеют практическое значение для разработки рекомендаций по применению глифосатсодержащих препаратов с учетом их влияния на почвенное плодородие.

Ключевые слова: глифосат, почва, подвижный алюминий, гумус, кислотность почвы, гербицидное воздействие.

Современное сельское хозяйство сталкивается с необходимостью повышения урожайности культурных растений в условиях роста населения и ограниченности земельных ресурсов. [1] Одним из ключевых инструментов в борьбе за сохранение продуктивности агроценозов является применение гербицидов – химических средств, подавляющих рост сорных растений. Однако наряду с бесспорной агрономической эффективностью гербициды могут оказывать негативное влияние на почвенную экосистему, изменяя её физико-химические и биологические свойства. [2]

Сорняки – это дикорастущие растения, которые появляются на сельскохозяйственных угодьях и конкурируют с культурными посевами. В мире насчитывается около 2000 видов сорных растений.

Они наносят значительный вред агроценозам: угнетают рост культур, поглощают влагу и питательные вещества, выделяют токсичные соединения, затеняют посевы, а также служат рассадником болезней и вредителей.

Однако влияние сорняков не всегда однозначно отрицательное. По мнению агрономов, некоторые из них могут оказывать и положительное воздействие. Например, такие растения извлекают питательные элементы из глубоких горизонтов, недоступных для многих культур, а после их разложения эти вещества возвращаются в верхние слои почвы, обогащая её. Зелёная масса сорняков может использоваться в качестве органического удобрения.

Несмотря на это, для получения высоких урожаев необходимо контролировать численность сорной растительности, не допуская её чрезмерного распространения. [3]

Гербицид «*Rubit*» (действующее вещество - глифосат (изопропиламинная соль) 360 г/л, 3 класса опасности) широко применяется для контроля двудольных сорняков в посевах зерновых, технических и других культур. Вопреки его популярности, вопрос о долгосрочном воздействии данного препарата на почву остаётся недостаточно изученным.

Целью данной работы является изучение влияния гербицида «*Rubit*» на физические и химические характеристики почв.

Почва обладает комплексом физических и химических характеристик, определяющих её плодородие и пригодность для сельского хозяйства. Физические свойства включают гранулометрический состав, который показывает соотношение частиц разного размера. Влагоёмкость показывает максимальное количество воды, которое может удержать почва. Химические характеристики отражают состав и свойства почвы. Кислотность (рН) крайне важна для доступности питательных веществ – большинство культур предпочитают нейтральные или слабокислые почвы. Органическое вещество, особенно гумус, определяет плодородие, влияя на структуру и питательный режим. Все эти характеристики взаимосвязаны и определяют агрономическую ценность почвы. [4]

Для исследования были отобраны почвенные образцы методом «конверта» – стандартизированной методики отбора смешанных проб. На пробной площадке размером 5×5 метров осуществляли отбор точечных проб в вершинах квадрата и его геометрическом центре. Полученные 5 точечных проб объединили в одну пробу массой 2 кг.

В эксперименте использовали 4 типа почвенных субстратов: почва хвойной лесополосы, лиственной лесополосы и огородная почва двух

видов – с ранее внесенным гербицидом и незагрязненная почва.

В качестве тестируемого агента применяли гербицид «*Rubit*» (действующее вещество – глифосат). Экспериментальную концентрацию рабочего раствора устанавливали 1:50 (20 мл препарата на 1 л дистиллированной воды), при норме разведения, указанной в инструкции – 1:100 (100 мл препарата на 10 л воды).

Подготовленные почвенные образцы размещали в стандартные пластиковые контейнеры. Навески почвы массой 400 г подвергали дифференцированной обработке: контрольную серию увлажняли 100 мл дистиллированной воды, тогда как опытные образцы получали аналогичный объем рабочего раствора гербицида.

Все варианты опыта выполняли в двух повторностях для обеспечения статистической достоверности результатов. Образцы выдерживали в условиях темноты в течение 20 дней при неизменной температуре и влажности. Периодически образцы подвергались проветриванию.

По истечении 20 суток эксперимента установлено, что влажность контрольных образцов выше влажности опытных. Можно предположить, что внесение гербицида оказало влияние на влагоудерживающую способность почв.

Повышенная влажность в контрольных образцах почвы по сравнению с обработанными глифосатом объясняется комплексом взаимосвязанных факторов. Прежде всего, молекулы глифосата, обладая поверхностно-активными свойствами, модифицируют гидрофильно-гидрофобный баланс почвенных коллоидов, что приводит к снижению водоудерживающей способности.

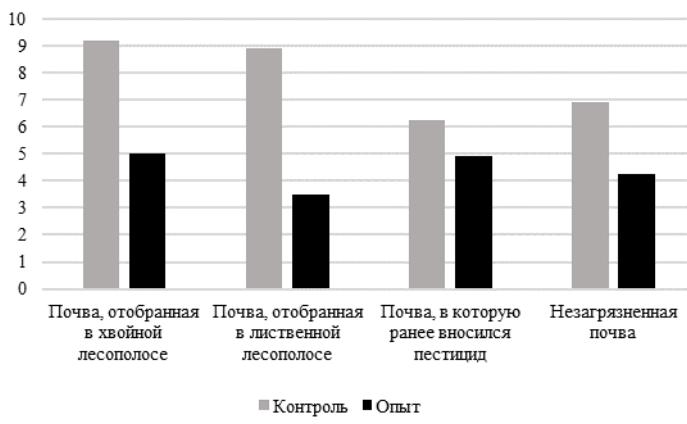


Рис. 1. Результаты определения влажности образцов почв.

Кроме того, раствор гербицида создает повышенное осмотическое давление в почвенном растворе, что дополнительно затрудняет поглощение воды почвенными частицами. (рис. 1).

Определен фракционный состав почв и выявлена корреляция между влажностью и фракционным составом: в образцах с большим количеством крупных агрегатов влажность ниже.

Это обуславливается тем, что при обработке глифосатом происходит разрушение почвенных агрегатов, что приводит к увеличению доли более крупных частиц в почвенной массе. Это изменение фракционного состава напрямую влияет на водный режим: крупные агрегаты обладают меньшей удельной поверхностью и, соответственно, сниженной водоудерживающей способностью по сравнению с мелкими частицами. [5]

Важное значение для процессов трансформации ксенобиотиков, к которым относятся изучаемые гербициды, является pH почв. Гербицид «*Rubit*» имеет щелочную среду, т.к. основной компонент препарата – изопропиламинная соль. Поэтому в опытных пробах, в сравнении с контрольными pH выше, а показатель подвижного алюминия снижается за счет перехода алюминия в нерастворимые формы в щелочной среде. (таблица 2)

Таблица 2. Результаты определения уровня pH и подвижного алюминия в образцах почв.

Образец почвы	Уровень pH		Подвижный алюминий	
	контроль	опыт	контроль	опыт
Почва, отобранная в хвойной лесополосе	7,2	7,4	0,167	0,135
Почва, отобранная в лиственной лесополосе	6,4	6,9	0,18	0,135
Почва, в которую ранее вносился пестицид	7,4	7,8	0,045	0,023
Незагрязненная почва	7,3	7,6	0,018	0,014

В проведённом эксперименте наблюдаемое повышение pH при одновременном снижении содержания подвижного алюминия в образцах с гербицидом объясняется комплексом взаимосвязанных химических и физико-химических процессов. Глифосат, являясь фосфорорганическим соединением, при внесении в почву подвергается постепенному разложению с высвобождением фосфат-ионов (PO_4^{3-}), которые проявляют выраженные буферные свойства и способствуют

нейтрализации кислотности почвенного раствора. Одновременно молекулы гербицида и продукты его распада образуют устойчивые хелатные комплексы с ионами алюминия, переводя их в менее токсичные и более стабильные формы. Дополнительным фактором, способствующим повышению рН, является подавление гербицидом почвенной микрофлоры, что приводит к уменьшению выделения микроорганизмами органических кислот и снижению интенсивности процессов естественного подкисления почвы. [6]

Важной характеристикой почв является содержание в ней гумусовых веществ. В ходе эксперимента было выявлено незначительное снижение содержания гумуса в образцах почвы, обработанных гербицидом, что объясняется комплексным воздействием препарата на почвенные процессы. (рис. 3)

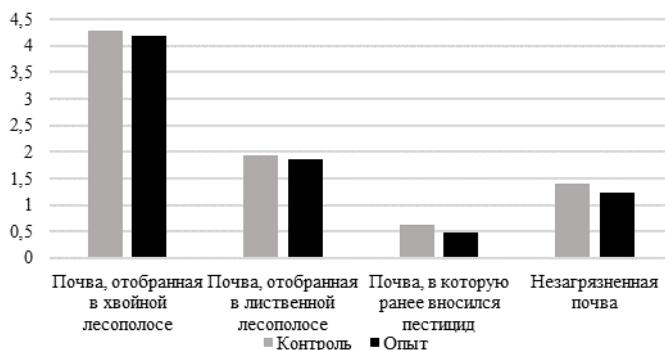


Рис. 3. Результаты определения содержания гумуса.

Основной причиной этого явления стало подавление гербицидом активности почвенной микрофлоры, особенно бактерий-деструкторов и грибов, ответственных за процессы гумификации органического вещества. Гербицид нарушает нормальный ход биохимических превращений в почве, смещающая баланс между процессами минерализации и гумификации в сторону усиленного разложения органического вещества. Одновременно происходит сокращение поступления свежих растительных остатков и корневых экссудатов из-за гибели сорной растительности под действием гербицида, что лишает почву основного субстрата для образования новых гумусовых соединений. Дополнительным фактором стало изменение физико-химических условий в почве - нарушение агрегатной структуры приводит к усилению аэрации и активизации окислительных процессов, способствующих минерализации органического вещества.

Однако за относительно короткий срок эксперимента (20 суток) эти процессы не успели проявиться в полной мере, поэтому снижение содержания гумуса оказалось незначительным. Важно отметить, что наблюдаемый эффект носит кумулятивный характер – при длительном и регулярном применении гербицидов уменьшение содержания гумуса может становиться более выраженным.

По результатам исследования можно утверждать, что гербицидное воздействие вызывает изменения водного режима почвы, проявляющиеся в снижении влажности обработанных образцов, что обусловлено модификацией агрегатного состава и ухудшением влагоудерживающей способности.

Полученные данные демонстрируют сложный характер взаимодействия гербицида с почвенными компонентами, где химические процессы трансформации действующего вещества сочетаются с биологическими эффектами подавления микробной активности.

Это подчеркивает необходимость тщательного контроля за применением гербицидов в сельскохозяйственной практике, особенно на почвах с исходно низким содержанием органического вещества. Полученные данные могут служить основой для разработки рекомендаций по минимизации негативного воздействия пестицидов на почвенное плодородие, включая оптимизацию доз внесения и использование почвенных мелиорантов.

Данная работа выполнена в рамках программы «Приоритет-2030» на базе Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова. Работа выполнена с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Библиографический список

1. Пендюрин Е. А., Святченко А. В., Кирюшина Н. Ю. Способ восстановления нарушенных территорий // Вектор ГеоНаук. 2022. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-vosstanovleniya-narushennyh-territoriy> (дата обращения: 29.03.2025).
2. Демиденко Г. А., Фомина Н. В. Оценка влияния гербицидов на почвенную микрофлору // Вестник КрасГАУ. 2013. №8.
3. А.И. Громовик Современные инструментальные методы в почвоведении. Теория и практика: учебно-метод. пособие / А.И. Громовик, О.А. Йонко. Воронеж, 2010. 60 с.
4. Лысов А. К. Проблемы применения средств защиты растений и пути снижения их техногенного воздействия на окружающую среду / А. К. Лысов // Агрозоинженерия. 2023. №3(116). С. 34-51.
5. Биотехнология: теория и практика / Н.В. Загоскина [и др]. М.: Оникс,

2009. 496 с.

6. Соложенникова Е.В. Влияние антропогенной нагрузки на биологические свойства почв Красноярской лесостепи [Электронный ресурс]: выпускная квалификационная работа бакалавра / Е.В. Соложенникова; науч. рук. Л.В. Карпова; Сибирский федеральный университет. Красноярск, 2017.

УДК 614.77

Федорова М. А., студент,

Постникова С. М., студент,

Порожнюк Л. А., канд. техн. наук, доц.

*(Белгородский государственный технологический
университет им. В. Г. Шухова)*

**ОЦЕНКА ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ГЕРБИЦИДОМ,
МЕТОДОМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ТЕСТ КУЛЬТУРЫ *MOINA MACROSCOPA***

*Аннотация: Биотестирование представляет собой метод оценки качества объектов окружающей среды, осуществляемый в лабораторных условиях. В отличие от других способов анализа состояния окружающей среды, биотестирование позволяет быстро получить результаты и наглядно их представить. Кроме того, этот метод не требует использования дорогостоящих реактивов и оборудования. Для биотестирования применяются организмы, которые называют биотестами или биоиндикаторами. В данной работе исследована возможность использования *Moina macroscopa* в качестве тест-объекта при проведении биотестирования загрязненных гербицидами почв. На основании изучения литературных источников выявлены различия между *Moina macroscopa* и *Daphnia magna*. Ключевые слова: биотестирование, *Moina macroscopa*, гербициды, почвы, загрязнение.*

Сельское хозяйство представляет собой область деятельности, которая требует постоянного обновления и внедрения передовых технологий. Для обеспечения стабильного урожая зачастую применяются методы, оказывающие негативное воздействие на здоровье человека и состояние окружающей среды. К таким методам относятся пестициды, которые обладают высокой устойчивостью к внешним факторам и способны длительное время сохраняться в воздухе, воде, почве и растениях.

Анализ мирового опыта использования пестицидов позволяет сделать вывод о том, что эти вещества представляют потенциальную угрозу

для окружающей среды и человека. Не существует абсолютно безопасных для человека пестицидов. В определённых условиях, связанных с нарушением правил хранения, применения и дозирования препаратов, существует риск возникновения аллергических реакций, развития онкологических заболеваний, генетических мутаций и других негативных последствий для живых организмов, а также отравления сильнодействующими компонентами пестицидов [1].

В 2024 г. в России обработки средствами защиты растений были проведены на площади 76,18 млн. га. Фитосанитарный мониторинг вредных объектов на сельскохозяйственных угодьях в Российской Федерации в 2024 г. был проведен на площади 183,93 млн. га [2].

Широкое применение химических средств защиты растений с целью сохранения урожая и обеспечения его качества неизбежно сопряжено с негативным воздействием на окружающую среду, обусловленным рядом факторов:

- пестициды вызывают дисфункцию естественных механизмов регуляции в аграрных экосистемах и смежных с ними биоценозах;
- загрязнение почвы, грунтовых и поверхностных вод пестицидами и продуктами их разложения;
- аккумуляция остаточных количеств пестицидов в продуктах переработки сельскохозяйственной продукции, кормах для животных, питьевой воде, а также циркуляция пестицидов в пищевых цепях питания;
- процесс выработки устойчивости вредных организмов к воздействию пестицидов [3].

Цель данной работы заключается в оценке состояния почв, загрязненных гербицидами, методом биотестирования.

Биотестирование, представляющее собой неотъемлемый элемент биоиндикации, базируется на использовании живых организмов в лабораторных условиях. В процессе биотестирования анализируется реакция организмов на различные компоненты окружающей среды, включая токсичные вещества. Этот метод позволяет оценить синергетический и антагонистический эффекты воздействия различных компонентов препаратов [4].

В качестве тест-объекта взят вид *Moina macrocopa*. Мойна макрокопа (*Moina macrocopa*) относится к семейству дафниевых (*Daphnidae*) из рода мойн (*Moina*). В этой связи многие биологические характеристики мойн имеют сходство с таковыми у дафний, однако существуют и различия. В отличие от дафний, тело мойн на спинной стороне снабжено подвижными антеннулами. Самки имеют почти

сферическую форму, особенно в период наивысшей плодовитости. *Moina macrocara* имеет округлое тело, хвостовые иглы отсутствуют. *Moina macrocara* более теплолюбивы, чем *Daphnia magna*.

Оптимальный температурный режим в пределах 24 – 26°C, но могут жить при температурах близких к 0°C и до 41°C. Однако процесс взросления самок во многом определяется температурным режимом воды. Например, при температуре около 30°C самки созревают через сутки послерождения, а потомство дают через 2 суток.

Они успешно размножаются в диапазоне рН от 5,2 до 9,2. За пределами этого диапазона они могут погибнуть. Мойны более устойчивы к изменениям условий среды, чем дафнии. Они нормально размножаются при окисляемости воды выше 80 мг/л. Оптимальное содержание растворенного в воде кислорода для них более 4 мг/л, но они могут жить и при 0,3 - 0,6 мг/л. Мойны, как и дафнии, употребляют в пищу микроскопические водоросли и бактерии. Причём на бактериях они растут активнее. Раковина у мойн более хрупкая, чем у дафний [5].

Для проведения эксперимента был осуществлён отбор образцов почвы методом «конверта». На размеченном квадрате со стороной 5 метров были взяты пробы по углам квадрата, а также в его центре. Всего было отобрано 5 точечных проб. После их объединения была получена объединённая пробы массой 2 килограмма.

Исследуемые образцы почв: почва хвойной лесополосы, лиственной лесополосы, а также огородная почва, в которую ранее уже вносились пестициды.

Исследуемый гербицид «Мохофф» вносили в концентрации 1:10 (100 мл препарата на 1 л воды). Норма разведения, указанная в инструкции – 1:30 (100 мл препарата на 3 л воды). «Мохофф» – пестицид контактного действия, предназначенный для искоренения мхов, лишайников и прочих нежелательных растительных организмов на газонах, садовых тропинках, в непосредственной близости от зданий и в других локациях. Действующее вещество препарата – пеларгоновая (нонановая) кислота (525 г/л).

Все образцы почв были классифицированы на две категории: контрольные и опытные. Опытные образцы подверглись обработке гербицидами путём распыления в концентрациях, превышающих рекомендованные нормы разведения.

Для проведения исследования были подготовлены образцы почв, которые были помещены в пластиковые контейнеры. Масса каждого образца составляла 400 граммов. В контрольные образцы была добавлена дистиллированная вода в объёме 100 миллилитров до

достижения состояния увлажнения. В опытные образцы были добавлены разведённые гербициды в том же объёме – 100 миллилитров.

Контрольные и опытные образцы были представлены в двукратных повторностях. Образцы выдерживали в условиях темноты в течение 20 дней при неизменной температуре и влажности. Периодически образцы подвергались проветриванию.

В качестве общего контроля использовалась отстоянная водопроводная вода.

Экспериментально проводилось кратковременное биотестирование (в течение 96 часов), которое позволяет оценить острое токсическое воздействие воды на дафний по их выживаемости. В качестве критерия выживаемости используется среднее количество тест-объектов, которые выжили в тестируемой воде или в контрольной группе за определённый период времени. Критерием токсичности считается гибель 50% и более дафний за период до 96 часов в тестируемой воде по сравнению с контрольной группой [6].

Данные кратковременного биотестирования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Выживаемость *Moina macrocopa* в водных вытяжках почв.

Образец почвы, взятый для водной вытяжки	Количество живых особей				
	Время биотестирования, час				
	0,5	24	48	72	96
Почва, отобранная в хвойной лесополосе (контрольный образец)	5	5	5	6	9
Почва, отобранная в хвойной лесополосе (опытный образец)	5	5	5	3	5
Почва, отобранная в лиственной лесополосе (контрольный образец)	5	4	6	11	11
Почва, отобранная в лиственной лесополосе (опытный образец)	5	5	8	11	14
Огородная почва (контрольный образец)	5	5	7	15	16
Огородная почва (опытный образец)	5	5	5	7	2
Отстоянная водопроводная вода	5	5	5	7	7

По итогам кратковременного биотестирования водной вытяжки образцов было зафиксировано существенное увеличение численности особей, при этом смертность наблюдалась лишь в единичных пробах. Эти данные указывают на то, что майны обладают значительной устойчивостью к загрязнению окружающей среды и способны к выживанию и размножению в неблагоприятных условиях.

Немногочисленные исследования по использованию майн в биотестировании подтверждают то, что данный вид более толерантен к воздействию негативных факторов, нежели дафния. Результаты экспериментов показывают, что майны незначительно выходят за диапазон чувствительности по отношению к модельному токсиканту (дихромату калия) [7].

Таким образом, необходимы дополнительные исследования, направленные на изучение особенностей тест-реакций вида *Moina macrocopa* из семейства дафниевых (*Daphnidae*).

Данная работа выполнена в рамках программы «Приоритет-2030» на базе Белгородского государственного технологического университета имени В. Г. Шухова. Работа выполнена с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В. Г. Шухова.

Библиографический список

1. Попеляева, Н. Н., Штабель Ю. П. Сельскохозяйственная экология: учебное пособие. Горно-Алтайск: ГАГУ, 2023. 118 с.
2. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2024 году и прогноз развития вредных объектов в 2025 году. М.: Россельхозцентр, 2025. С. 4-5.
URL:<https://rosselhoscenter.ru/upload/iblock/b09/1wq6un5wwxblbqurgeidj203rg5ekduc/2024-2025.pdf> (Дата обращения: 23.03.2025).
3. Лысов А. К. Проблемы применения средств защиты растений и пути снижения их техногенного воздействия на окружающую среду // АгроЭкоИнженерия, 2023. №3 (116). С. 34-50.
4. Порожнюк Л. А., Лупандина Н. С., Непоменко А. В. Интегральная оценка водных сред, обработанных зоокомпостом с использованием Allium сера // Chemical Bulletin, 2020. №3 (3). С. 5-14.
5. Поляков А. Д., Беспоместных К. В. Зоология: учебное пособие. Кемерово: Кузбасский ГАУ, 2022. 205 с.

Филиппова Е.С., м.н.с. лаб. ЭиМБ, магистрант

(НИЦ «БиоХимТех», ФГБОУ, ВО

Тульский государственный университет

г. Тула, Россия)

**БИОКАЗАЛИЗАТОР НА ОСНОВЕ ИНКАПСУЛИРОВАННЫХ
В ГИДРОГЕЛЬ ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЯТА ТИТАНА
ДРОЖЖЕЙ *OGATAEA POLYMORPHA* ВКМ У-2559 ДЛЯ
УТИЛИЗАЦИИ МЕТАНОЛА**

Аннотация: В работе в условиях золь-гель синтеза получены биокатализаторы на основе инкапсулированных метилотрофных дрожжей *Ogataea polymorpha* ВКМ У-2559 в гидрогель полиэтиленгликолята титана. С применением биосенсорных технологий и статистических методов произведена оценка аналитических и метрологических параметров сенсора на основе разработанного биокатализатора и исследовано влияние индукции дрожжей в ходе культивирования на характеристики биосенсора. Для индуцированной биомассы наблюдается увеличение величины ответа сенсора в 3 раза, а коэффициент чувствительности составляет $0,44 \pm 0,02 \text{ мг O}_2 \times \text{ммоль}^{-1} \times \text{мин}^{-1}$. Биосенсор не уступает по характеристикам аналогам и может быть применен в системах мониторинга и очистки сточных вод от метанолсодержащих стоков.

Ключевые слова: инкапсуляция целых клеток, метилотрофные дрожжи, пероксисомы, полиэтиленгликолят титана, золь-гель технологии

Создание функциональных материалов с использованием инкапсулированных целых клеток и ферментов — одна из ключевых задач в биотехнологии. В настоящее время технологии на основе инкапсулированных клеток широко применяются при очистке сточных вод и вредных выбросов [1], для ферментации пива и игристых вин [2], для получения различных аминокислот и органических кислот [3]. Однако успех инкапсуляции во многом зависит от матрицы, в которую инкапсулируют клетки. Перспективными матрицами для инкапсуляции живых клеток являются органо-неорганические гидрогели на основе кремнезема, которые формируются в мягких условиях золь-гель синтеза, захватывая при этом клетки в сетевую трехмерную структуру. Использование диоксида титана повышает термостойкость и прочность материала, а также благодаря избирательной адсорбции фосфорорганических соединений позволяет инкапсулировать нуклеотиды или фосфолипиды [4]. Однако классический золь-гель

процесс с использованием алкоксидов металлов может негативно влиять на клетки из-за присутствия спиртовых растворителей и побочных продуктов реакций. Альтернативой в золь-гель синтезе служат полиолатные производные, гидролиз и поликонденсация которых исключают образование токсичных спиртов, при этом приводит к образованию полимера в системе, что сохраняет активность биомолекул и клеток.

Метилотрофные дрожжи эффективно окисляют разнообразные С1-источники углерода, включая сахара и метанол. Например, при росте *O. polymorpha* на глюкозе активируется одна пероксисома, способствующая делению клеток после перехода на метанол [5]. Показано [6], что активность фермента алкогольоксидазы после роста на метаноле значительно выше (в 500 раз) по сравнению ферментом, выделенным из клеток, выросших на глюкозе. Поэтому индукция пероксисом может существенно влиять на характеристики биосенсоров.

В работе в условиях золь-гель синтеза получены биокатализаторы на основе инкапсулированных метилотрофных дрожжей *Ogataea polymorpha* ВКМ У-2559 в гидрогель полиэтиленгликолята титана [8]. Для оценки дыхательной активности и эффективности биосенсора для утилизации метанола разработанный биокатализатор наносили на поверхность кислородного электрода типа Кларка и регистрировали изменения содержания кислорода в кювете при внесении различных концентраций метанола. Дрожжи *O. polymorpha* ВКМ У-2559 культивировали по методике, описанной ранее [7]. Для оценки влияния индукции культивирование проводили без и с индукцией метанолом.

Для определения чувствительности биосенсора на основе биокатализатора Ti-ПЭГ/*O. polymorpha* (индуцир.) использовали калибровочную зависимость ответов сенсора от содержания метанола в кювете (рис. 1-а). Для снижения ошибок эксперимента использовали линейный участок градуировочной кривой (рис.1-б). Нижнюю границу и придел обнаружения рассчитывали по графику относительных стандартных отклонений от концентрации субстрата, принимая, что $Sr(C) \leq 0,33$ (рис. 1-в).

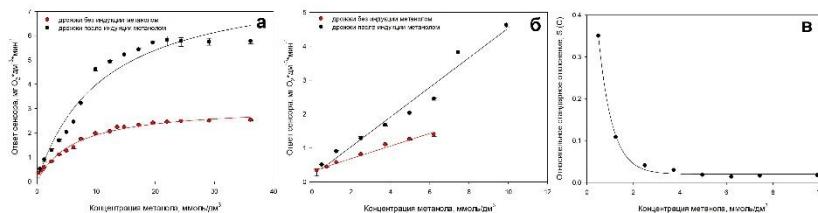


Рис. 1. Градуировочная зависимость (а), линейная область зависимости (б) ответов сенсора от концентрации метанола, графическое определение нижней границы (в) для индуцированных дрожжей.

Основные характеристики биосенсора на основе биокатализатора – инкапсулированных метилотрофных дрожжей и сравнение с аналогами приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение аналитических и метрологических характеристик сенсора с аналогами.

Характеристика	Ti-ПЭГ/O. <i>polymorpha</i> (индукр.)	Ti-ПЭГ/O. <i>polymorpha</i> [8]
Диапазон определяемых содержаний, ммоль/дм ³	0,5-11	0,5-6,3
Коэффициент чувствительности, $S \times 10^3$, мг $O_2 \times \text{ммоль}^{-1} \times \text{мин}^{-1}$	440 ± 20	180 ± 10
Предел обнаружения, ммоль/дм ³	0,2	0,2
Операционная стабильность, %	7	10
Долговременная стабильность, сутки	7	9

Показано, что индукция метанолом приводит к увеличению величины ответа сенсора в 3 раза, увеличение коэффициента чувствительности в 2 раза. Индукция пероксисом происходит следующим образом: сначала активируются транскрипционные факторы *Mxr1p*, которые контролируют гены, отвечающие за синтез белков пероксисом. Это ведет к увеличению числа и размера пероксисом через деление уже имеющихся или образование новых из эндоплазматического ретикулума. Далее накапливаются ферменты

алкогольоксидаза и каталаза, необходимые для переработки метанола. Все это позволяет использовать метанол в качестве источника энергии более эффективно. По показателям нижней границы определяемых содержаний и предела обнаружения сенсоры показывают одинаковые значения, однако для Ti-ПЭГ/*O. polymorpha* (индуцир.) более широкий линейный диапазон. Такое поведение связано с большим числом пероксидом у индуцированной биомассы, за счет чего окисление субстрата происходит более эффективно. Подобные системы перспективно использовать в биофильтрах для очистки сточных вод от металлоильных стоков и для быстрого мониторинга метанола в воде, так как такой подход не требует длительной и сложной пробоподготовки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания № FEWG-2024-0003 «Биокаталитические системы на основе клеток микроорганизмов, субклеточных структур и ферментов в сочетании с наноматериалами».

Библиографический список

1. Co-immobilization of AOA strains with anammox bacteria in three different synthetic bio-granules maintained under two substrate-level conditions / B. Godfrey, B. Li, E. Gottshall [et al.] // Chemosphere. 2023. Vol. 342 Art. № 140192.
2. Yeast cell vacuum infusion into fungal pellets as a novel cell encapsulation methodology / L. Lúquez-Caravaca, M. Ogawa, R. Rai [et al.] // Appl Microbiol Biotechnol. 2023. Vol. 107, № 18. P. 5715–5726.
3. Organic acids production from lactic acid bacteria: A preservation approach / S. Punia Bangar, S. Suri, M. Trif, F. Ozogul // Food Bioscience. 2022. Vol. 46 Art. № 101615.
4. Ikeguchi, Y. Selective Enrichment of Phospholipids by Titania / Y. Ikeguchi, H. Nakamura // ANAL. SCI. 2000. Vol. 16, № 5. P. 541–543.
5. Vonck, J. Structure of Alcohol Oxidase from *Pichia pastoris* by Cryo-Electron Microscopy / J. Vonck, D. N. Parcej, D. J. Mills // PLoS ONE. 2016. Vol. 11, № 7. Art. № e0159476.
6. Regulation of alcohol oxidase 1 (AOX1) promoter and peroxisome biogenesis in different fermentation processes in *Pichia pastoris* / S. Kim, S. Warburton, I. Boldogh [et al.] // Journal of Biotechnology. 2013. Vol. 166, № 4. P. 174–181.
7. Silica sol-gel encapsulated methylotrophic yeast as filling of biofilters for the removal of methanol from industrial wastewater / O. A. Kamanina, D. G. Lavrova, V. A. Arlyapov [et al.] // Enzyme and Microbial Technology. 2016. Vol. 92 P. 94–98.

8. Филиппова Е.С. Новый подход к инкапсуляции дрожжей: Биогибридные материалы на основе полиэтиленгликолового гидрогеля и метилотрофных дрожжей // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки 2024. № 3. С. 64-78.

УДК 504.4.054

Черныш И.В., аспирант

Василенко Т.А., канд. техн. наук, доцент

(Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

ТЕНДЕНЦИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ НЕКОТОРЫХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РЕКЕ СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. Ухудшение экологическое состояния природных вод долгое время не вызывало тревоги, т.к. принималось в расчет свойственная водным объектам способность к «самоочищению». В настоящее время антропогенное воздействие приобрело внушительный масштаб и интенсивность, следовательно, возникает качественное и количественное изменение водных объектов, приводящие к их ухудшению. В статье представлены данные двухлетнего ежеквартального мониторинга массовых концентраций тяжелых металлов: марганца, цинка, железа общего в исследуемых пробах сточных и природных водах из реки Северский Донец.

Ключевые слова: река Северский Донец, тяжелые металлы, природные водные объекты, экологические проблемы, мониторинг, предельно-допустимые концентрации.

Высокие темпы развития аграрно-экономической деятельности, а также техногенные и антропогенные факторы оказывают негативное влияние на естественную природную среду Белгородской области. В настоящее время в Белгородской области наблюдается деградация рек, прудов и водохранилищ – обмеление, накопление ила и органического веществ, из-за чего происходит «цветение» воды [1, 2]. В последние годы качество природных вод в целом ухудшается. Данные изменения окружающей среды требуют комплексной системы наблюдений, оценки и прогноза, т.е. экологического мониторинга. Под экологическим мониторингом водных объектов понимают:

- наблюдение, сбор, хранение, пополнение и обработку наблюдений за количественными и качественными показателями;
- создание и ведение единых реестров;

– анализ и выводы о водных объектах и передачу полученной информации правительственный органам и ее субъектов [3].

В Белгородской области зафиксировано более 500 речных объектов, общей протяженностью около пяти тысяч километров и свыше 1000 прудов и водохранилищ. Подземные воды являются главным источником водоснабжения области. Бассейн реки Северский Донец занимает около 56% территории Белгородской области. Водный режим Северского Донца определяется климатическими, гидрогеологическими, орографическими, гидрографическими особенностями региона. Источники питания реки – снеговое, дождевое и подземное воды [1].

Исток реки Северский Донец расположен около с. Подольхи в Прохоровском районе Белгородской области, впадает река в р. Дон на территории Ростовской области на 218 км. Длина реки составляет 1053 км, площадь бассейна 98 900 км². В бассейне Северского Донца более 3000 рек, свыше тысячи из них непосредственно впадают в Северский Донец (характеристика приведена в табл. 1). [4].

Таблица 1. Гидрологическая характеристика р. Северский Донец

№	Гидрологические характеристики	Показатель
1	Расход воды (в водотоке)	159 м ³ /с
2	Водность (% от средней многолетней) 2021,2022,2023г	56,0; 92,0; 127
3	Средняя скорость течения	0,78 м/с
4	Средний уклон	0,18 м/км
5	Амплитуда колебания уровня воды за период летне-осенней межени	3-8 м
6	Ширина русла	30-200 м
7	Мутность воды	около 250 г/м ³
8	Среднегодовая температура воды	11,8°C
9	Средняя температура воды в холодный период	2,8°C
10	Средняя температура воды в теплый период	22,3°C

Река Северский Донец является рекой федерального значения [5]. На территории РФ утверждены нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения (табл. 2) [6].

Таблица 2. Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество	ПДК, мг/дм ³	Класс опасности
Железо Fe (общ)	0,1	4
Марганец двухвалентный Mn ²⁺	0,01	4

Для мониторинга загрязнения реки Северский Донец были выбраны два участка – 1000 м выше и ниже сброса сточных вод тепличного хозяйства, показанные на рис. 1.

Далее приведены результаты исследований по содержанию массовых концентраций в реке Северский Донец следующих тяжелых металлов: железа общего (рис. 2); цинка (рис. 3); марганца (рис. 4). Результаты исследований показывают, что значение концентрации исследуемых металлов не превышают, или не значительно превышает нормы ПДК в сбросе за весь исследуемый период. Однако значения концентраций этих же металлов в точках отбора вод выше и ниже сброса превышает предельно-допустимые концентрации, в некоторых случаях более чем в 2 раза.

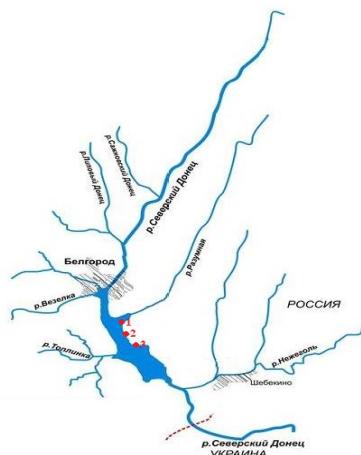


Рис. 1. Расположение точек отбора проб воды на территории Белгородской области: 1 – река выше сброса сточных вод; 2 – место сброса сточных вод сточных вод; 3 – река ниже сброса сточных вод.

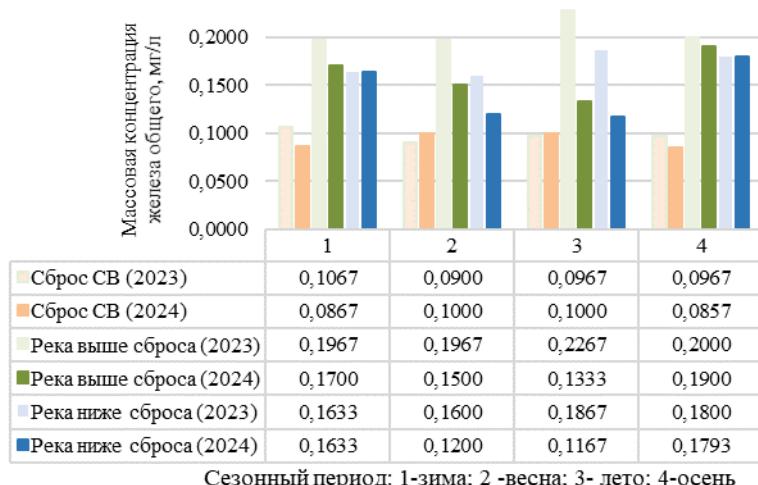


Рис. 2. Результаты мониторинга реки за 2023–2024 гг. по показателю массовая концентрация железа общего в точках отбора проб: река в точке сброса СВ, река выше сброса СВ и река ниже сброса СВ.

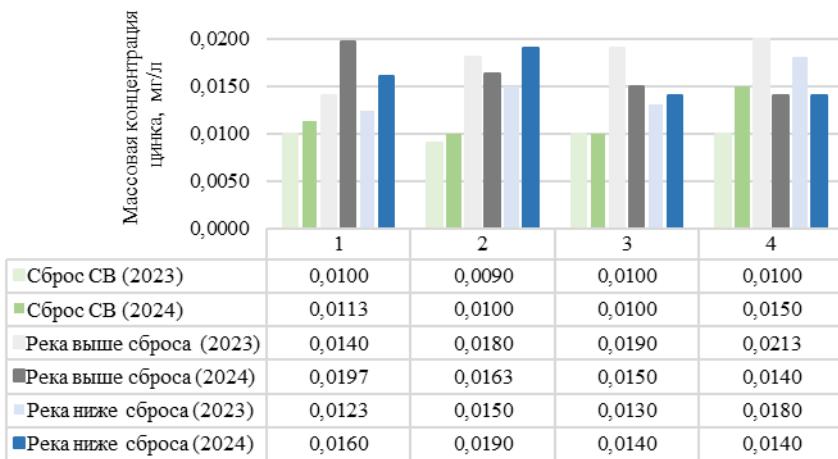
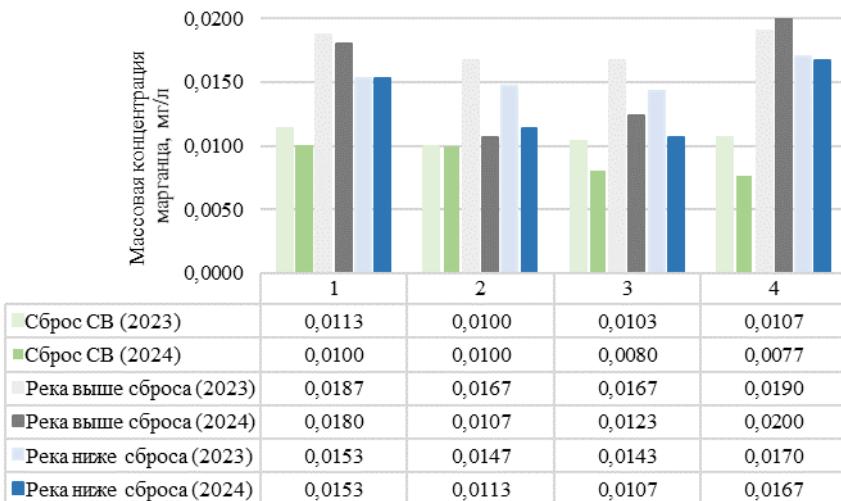


Рис. 3. Результаты мониторинга реки за 2023–2024 гг. по показателю массовая концентрация цинка в точках отбора проб: река в точке сброса СВ, река выше сброса СВ и река ниже сброса СВ.



Сезонный период: 1-зима; 2 -весна; 3- лето; 4-осень

Рис. 4. Результаты мониторинга реки за 2023–2024 гг. по показателю массовая концентрация марганца в точках отбора проб: река в точке сброса СВ, река выше сброса СВ и река ниже сброса СВ.

Увеличение концентрация металлов связана с увеличением сброса неочищенных сточных вод, а также низкой концентрацией растворенного кислорода, при которой металлы поступают из донных отложений в воду.

Повышенное содержание соединений железа (гидроксиды, сульфаты, хлориды) влияют на флору и фауну реки – вызывая отравление и гибель рыб и других гидробионтов. Содержание железа в виде грубодисперсных частиц (более 100нм) придает воде желтовато-бурую окраску, ухудшает её вкусовые свойства [7]. Мелкие раки погибают при увеличении концентрация цинка более 0,4 мг/л, смертность некоторых видов рыб увеличивается при концентрации равной 0,05 мг/л [8]. При допустимых концентрациях марганец увеличивает интенсивность фотосинтеза, благоприятно влияет на рост водорослей. Для обитателей рек марганец относительно мало токсичен, однако в избытке марганца вызывает нарушение органов дыхания и ЦНС. Увеличение концентрации марганца в реках более 0,1 мг/л замедляет темп «самоочищения» водных объектов [9].

Результаты исследований содержания тяжелых металлов доказывают негативное влияние антропогенного воздействия на воды

в реке Северский Донец в Белгородской области и в дальнейшем может к существенному экологическому ущербу. Для уменьшения концентраций загрязняющих веществ необходима разработка экологических мер по улучшению качества воды: увеличивать пропускную способность водных объектов, организовывать водоохранные зоны, снижать объемы загрязняющих стоков – строить локальные очистные сооружения, исключать деятельность загрязняющих предприятий в водоохраняемых зонах [10], совершенствовать традиционные методы и создавать новые технические решения глубокой очистки воды [11].

Библиографический список

1. Петина М.А., Клубкова Г.В., Новикова Ю.И. Изменение водности и гидрохимических показателей основного трансграничного водотока Белгородской области Р. Северский Донец // Региональные геосистемы. 2011. № 21 (116). С. 132-136.
2. Ферару Г. С., Растворцев А. Ф. Экологические проблемы и пути их решения на региональном уровне (на примере Белгородской области) // Региональная экономика: теория и практика. 2010. № 41. С. 2-8.
3. Никитина, Т.А. Мониторинг водных объектов Северного Кавказа (бассейн реки Кубань) / Т.А. Никитина, Е.В. Белан // Успехи современного естествознания. 2010. № 6. С. 90-91.
4. Ежегодник качества поверхностных вод и эффективности проведенных водоохранных мероприятий по Белгородской области за 2022; 2023гг.
5. Приказ Минсельхоза России от 09.01.2020 № 1 (ред. от 19.01.2024) Об утверждении правил рыболовства для Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна (Зарегистрировано в Минюсте России 12.03.2020 № 57719) // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: consultant.ru (дата обращения: 09.01.2025).
6. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (с изменениями на 13 июня 2024 года) // Справочно-правовая система «КонсультантПлюс». URL: consultant.ru (дата обращения: 09.01.2025).
7. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосфера при химическом загрязнении: учеб. пособие для вузов. М.: Выш. шк., 2002, 334 с.
8. Ложкина Р. А., Томилина И. И., Гапеева М. В. Долговременные изменения качества воды рыбинского водохранилища по данным биотестирования // Трансформация экосистем. 2020. № 3. С. 125-138.
9. Каменец А. Ф. Изучение влияния ионов марганца (II) на уровень флуоресценции хлорофилла *Scenedesmus Quadricauda* // Современная наука:

актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2016. № 11. С. 3-5.

10. Шевченко В.Н. Трансформация гидрографической сети урбанизированных территорий Белгородской области // Вектор ГеоНаук. 2019. Т.2. № 4. С.22–25.

11. Свергузова С. В. Анализ загрязнения воды реки Северский Донец / С. В. Свергузова, О.В. Дороганова, Н.А. Мирошниченко // Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Алушта, 4–8 июня, 2018 г. Белгор. гос. технол. ун-т. Белгород, 2018. С. 114-118.

УДК 60.606.1

Яремчак В.В., студент,
Лупандина Н.С., канд. техн. наук, доц.,
Старостина И.В., канд. техн. наук, доц.
Поленяка Ю.Т., аспирант
(БГТУ им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия)

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ОСАДКОВ ИЛОВЫХ ПЛОЩАДОК ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДА БЕЛГОРОДА

Проблема утилизации осадков сточных вод, включая избыточный активный ил, является актуальной задачей. Результаты исследований характеристик осадков иловых площадок городских очистных сооружений показали в сравнении с почвенными образцами превышения содержания ряда тяжелых металлов, в том числе максимальные – по ионам меди и цинка.

Ключевые слова: осадки сточных вод, городские очистные сооружения, иловые карты, утилизация

Осадки, образующиеся в результате очистки сточных вод на городских очистных сооружениях, являются отдельным типом отходов. Вопросы их переработки и утилизации относятся к наиболее важным и проблемным как в Российской Федерации, так и в странах зарубежья. Это обусловлено увеличивающимися объемами их образования и накопления, что составляет около 750 м³ осадка на 100 тыс. м³ сточной жидкости [1]. Ежегодно на городских очистных сооружениях Российской Федерации образуется 70–80 млн м³ осадков при влажности 96–97 % или 2,5–3 млн т сухого вещества [2]. В условиях крупных городов осадки сточных вод составляют около трети от общего объема производственных и потребительских отходов.

Образующиеся осадки представляют собой суспензию с содержанием сухих веществ около 1%, представляющую смесь твердой фракции сточных вод, выделенной в процессе отстаивания

(сырой осадок), и комплекса микроорганизмов, участвовавших в процессе биологической очистки и выведенных из технологического процесса (избыточный активный ил) [2].

Органической составляющей ОСВ является избыточный активный. По внешнему виду это темно-коричневая или бурая жидкая масса, суспензия с землянистым запахом, включающая хлопья размером 1 – 4 мм. С биологической точки зрения представляет собой сложное сообщество микроорганизмов различных систематических групп и некоторых многоклеточных животных. Химический состав активного ила определяется составом клеточного вещества микроорганизмов. В среднем на долю углерода приходится 50 – 52%, кислорода 29 – 33%, водорода 6 – 8%, азота 8 – 12% беззольного (органического) вещества активного ила. Соотношение элементов в активном иле было определено в 1952 г. и представлено в виде «формулы» клеточного вещества - $C_5P_7NO_2$. По данным [3] химический состав активных илов, использующихся для очистки сточных вод с различным составом, достаточно сходен между собой. Так, у очистных сооружений завода по производству азотных удобрений ил соответствует формуле $C_{90}H_{167}O_{52}N_{24}S_8$, у очистных сооружений коксохимического завода - $C_{97}H_{199}O_{53}N_{28}S_2$, а в отстойниках муниципальных очистных сооружений – $C_{54}H_{212}O_{82}N_8S_7$. Согласно [4] для описания элементного состава биомассы всех микроорганизмов активного ила предлагается другая формула – $C_{1}H_{1,619}O_{0,379}N_{0,246}P_{0,022}S_{0,004}$, что несколько отличается от общепризнанных значений.

Около 75 – 80 % беззольного вещества ила приходится на долю белков, жиров и углеводов, 20 – 25% составляет негидролизуемый остаток. Более всего в активном иле белков, содержание которых находится в пределах от 40 до 60%, углеводов насчитывается 3 – 20%, жиров – 10 – 30%.

К основным свойствам ОСВ можно отнести:

- высокую влажность (до 99,5%), обусловленную значительной водоудерживающей способностью;
- высокое содержание органических примесей (до 80%), что является причиной быстрого загнивания с образованием дурно пахнущих продуктов;
- наличие непереработанного (нерасщепленного) органического вещества, которое практически не усваивается корневой системой растений при внесении осадков в почву;
- высокую концентрацию ионов тяжелых металлов (ТМ) - в основном цинка, меди, марганца и никеля;

- наличие патогенной микрофлоры и яиц гельминтов, что создает опасность распространения инфекций.

Указанные характеристики являются причинами низкого уровня переработки ОСВ и определения их к группе неутилизируемых материалов.

Основные направления переработки ОСВ можно условно разделить на несколько групп:

- обработка с целью снижения влажности материала и количества образующего осадка;

- технологии с разложением органических веществ, включающие главным образом термические методы – сжигание прямое или совместно с твердыми бытовыми отходами, пиролиз, жидкотвердое окисление, воздействие СВЧ-поля и др. [5];

- технологии с сохранением органических веществ, включая компостирование, известкование и др.;

- обработка осадков реагентами - композитными материалами, которые связывают подвижные формы тяжелых металлов в аминокислотные комплексы, устойчивые в почвах и растворах, что делает их в сотни раз менее токсичными по сравнению с исходными формами. Это является перспективой последующей безопасной утилизации обработанных ОСВ.

Однако в настоящее время в большей степени распространены методы обезвоживания осадков, главным образом, депонирование на иловых картах с последующим захоронением, что влечет за собой выделение значительных территорий, площадь которых определяется необходимостью размещения от 20 до 25% годового объема образования осадков. Возможности этих сооружений почти исчерпаны, что требует строительства новых либо разработки эффективных технологий утилизации осадков. Особенно актуальным это становится для интенсивно развивающихся промышленных зон и городских агломераций, где территории размещения и длительного хранения ОСВ со временем оказываются вблизи жилых зон. Таким образом, захоронение осадков не исключает экологической проблемы, а только откладывает ее решение на лучшие времена.

Учитывая высокое содержание в ОСВ органической составляющей наиболее разумным и перспективным было бы использование их в качестве органического удобрения с предварительным обезвреживанием и обеззараживанием. Это, во-первых, способствовало бы восстановлению баланса органического вещества в распахиваемых почвах и улучшению их водно-физических свойств, во-вторых, осадки представляют собой ценное

комплексное удобрение с высоким содержанием азота, фосфора и калия [6]. По содержанию основных питательных веществ осадки сточных вод можно рассматривать как самостоятельные органоминеральные удобрения, аналогичные органоминеральным компостам, подстиlocному или бесподстиlocному навозу (табл. 1 [7, 8]). Так, оптимальное внесение осадков в пределах 30–60 тонн на гектар способствует увеличению урожайности [9].

Таблица 1. Содержание основных питательных веществ в органических удобрениях и ОСВ.

Удобрение	Содержание, % на сухое вещество			
	органическое вещество	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Навоз крупного рогатого скота	70 - 85	1,9 - 4,3	0,6 - 2,8	1,3 - 5,2
Свиной навоз	75 - 85	2,6 - 6,5	1,4 - 3,7	1,4 - 5,4
Помет	50 - 75	3,6 - 8,0	3,0 - 6,7	1,3 - 4,0
ОСВ	48 - 75	5,6	4,3	1,0 - 5,5

В составе ОСВ содержатся ионы тяжелых металлов, такие как медь, цинк, марганец, фтор, ванадий, бор, никель и другие, которые в качестве микроэлементов необходимы для здорового роста растений поскольку участвуют в синтезе хлорофилла, улучшают фотосинтез и увеличивают качество сельскохозяйственной продукции. Однако стоит учитывать потенциальную токсичность тяжелых металлов, которая зависит от их формы и количества в почве. Превышение допустимых концентраций тяжелых металлов может привести к уменьшению урожайности.

Целью данной работе являлось определение основных свойств иловых осадков станции биологической очистки сточных вод г. Белгорода и определение перспектив их использования.

В качестве объекта исследования использовали иловые осадки станции канализации ГУП «Белводоканал», г. Белгород, отобранные с двух разных карт, характеристики которых представлены в табл. 2 - 4.

Таблица 2. Физико-химические свойства.

Показатели	Пробы	
	№1	№2
Влажность, %	74,4	82,7
Потери при прокаливании, %	69,3	66,9
pH водной вытяжки	6,93	7,95
Плотность, г/см ³	1,27	1,29
Насыпная плотность при влажности 20%	0,95	0,98

Согласно результатам, представленным в табл. 3, следует, что дисперсный состав обеих проб достаточно однороден.

Таблица 3. Результаты ситового анализа.

Размер ячейки, мм	Остаток на сите, %	
	проба № 1	проба № 2
≥ 2,0	42,5	52,9
2,0-1,4	15,8	14,9
1,4-1,0	16,1	12,5
1,0-0,63	12,4	8,2
0,63-0,315	7,1	6,1
0,315-0,25	0,9	0,8
0,25-0,2	1,3	1,2
< 0,2	3,9	3,4

Таблица 4. Содержание металлов.

Компонент	Ед. изм.	Фактическое значение		
		осадки иловых карт		почва сравнения
		№ 1	№ 2	
Кадмий	мг/кг	0,24	0,36	0,27
Кобальт	мг/кг	4,48	4,82	5,74
Хром	мг/кг	23,13	24,4	12,23
Медь	мг/кг	266	224	11,7
Железо	мг/кг	1240	1117	1568
Марганец	мг/кг	283	260	288
Молибден	мг/кг	2,59	3,55	3,58
Никель	мг/кг	29,2	28,8	15,6
Свинец	мг/кг	28,6	24,6	17,72
Цинк	мг/кг	608	559	54,96
Мышьяк	мг/кг	3,12	3,43	2,45

Полученные результаты показали, что в исследуемых пробах осадков иловых площадок не выявлено превышение содержания по сравнению с почвенными образцами для таких компонентов, как кобальт, марганец, молибден, железо. Содержание таких ингредиентов, как кадмий, мышьяк превышает фоновые значения не более, чем в 1,5 раза. Максимальные превышения отмечены для меди – более чем в 20 раз и цинка – в 11 раз. Следовательно, использование осадков иловых площадок в качестве органоминеральных удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур нежелательно. Но в качестве органической составляющей возможно применение осадков в составе почвенных субстратов для реализации биологического этапа рекультивации техногенно нарушенных территорий или при выращивании декоративных культур.

Библиографический список

1. Лукашевич О.Д., Барская И.В. Экологические проблемы обработки и утилизации осадков сточных вод // Экология промышленного производства, 2007. № 3. С. 68-75.
2. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. М.: Стройиздат, 1988. 256 с.
3. Ладыгин К.В., Стомпель С.И. Проблема очистных сооружений – избыточные иловые осадки // ЭКОИНЖ. 2019. Вып.19.
4. Щетинин А.И. Элементный состав активного ила // Водоснабжение и санитарная техника. 2010. № 11. С. 49 – 54.
5. Старостина И.В., Дауд Р., Антипова А.Н., Старостина Ю.Л. Оценка свойств активного ила, обработанного в СВЧ-поле // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. II Междунар. научно-техн. конф., Белгород, 8 декаб. 2016 г. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. С. 197-205.
6. Решетов Н.Г., Олейник А.С. Проблемы очистки и утилизации осадков сточных вод // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2001. №1. С. 126-129.
7. Бугакова А.А., Харьковская Э.В. Оценка последействия осадка сточных вод на агроценозы подсолнечника // Молодежный вектор развития аграрной науки: мат-лы. 2015. С.109-112.
8. Зинченко М.Г., Шапорев В.П. Технология переработки твердых бытовых отходов и осадков сточных вод в органоминеральные удобрения// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2014. № 3. С. 149-152.
9. Зотов Н.И., Суслов С.Р. К вопросу об использовании осадков бытовых сточных вод в сельском хозяйстве // Вестник Донбасской

национальной академии строительства и архитектуры. 2010. Вып. 3(83). С. 214–221.

**Секция 4.
НОРМИРОВАНИЕ, КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ
БИОХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ**

УДК 543.422.3-74:631.871

Бездетко Е.О., магистрант
Клименко М.А., магистрант
Василенко Т.А., канд. техн. наук, доцент
(Белгородский государственный технический
университет, г. Белгород, Россия)

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИК-СПЕКТРОВ ГУМАТОВ
КАЛИЯ В ТВЕРДОМ АГРЕГАТНОМ СОСТОЯНИИ**

Аннотация: Результатом данной работы является анализ ИК-спектров гумата калия, выпускаемого производителями в Иркутской и Белгородской областях. Исходным материалом являлся леонардит, добывший в Иркутской области и Красноярском крае. Проведена работа по идентификации пиков по полосам поглощения и сопоставление интенсивности колебаний. Методом электронной спектроскопии показано наличие в изученных гуматах калия амидных связей, галогеналканов, алканов, метильных и метиловых групп.

Ключевые слова: спектрометрия, ИК-спектры, гуминовые вещества, гумат калия.

Сравнительный анализ ИК-спектров (инфракрасной спектроскопии) представляет собой метод, идентифицирующий химический состав вещества на основе поглощения этого излучения. Это объясняется особенностью «спектрального отпечатка», благодаря которому определяется принадлежность к функциональной группе. Спектрометрия – это, прежде всего, наука, изучающая связь электромагнитного излучения с веществом, характеризующее его структуру и свойства. В спектрометрии задействованы все диапазоны электромагнитного излучения: от радиочастот до рентгеновских лучей. Инфракрасное излучение реализуется посредством колебаний атомов в молекулах, которые делят на валентные и колебательные. В первом случае изменяются расстояния между атомами, а во втором – углы между связями. Идентификация колебательных пиков зависит от участвующих атомов, что свидетельствует о наличии определенной длины волны для соответствующих функциональных групп [1].

Использование данного метода повсеместно может применяться в следующих областях: контроль качества – анализ поступающего сырья или готовой продукции на фармацевтических, химических и пищевых предприятиях, исследование материалов – детальное изучение составов полимеров, биомолекул, гуминовых веществ и других материалов, экологическое использование – характеристика органических веществ почв и водных объектов. Алгоритм действий определения анализа ИК-спектров состоит из изучения определенных групп в исследуемых пробах, оценка интенсивности полос, идентификации и пояснения оцениваемых пиков.

Гумат калия представляет собой сложный природный полимер, относящийся к гуминовым веществам. Его можно получить из разлагаемых растительных и животных остатков. Данные процессы наблюдаются в почве, природных водах, углях и торфах, а также в донных отложениях морей и океанов. На сегодняшний день разрабатывается ряд мероприятий по использованию гуминовых веществ для стимуляции роста урожая, улучшения его качества, устойчивости к вредителям и патогенным микроорганизмам. Гуминовые вещества обладают следующими функциями: накопительная – сохранение плодородия почв и урожайности посредством перехода питательных элементов в растения, транспортная, регуляторная – участие в процессах обмена между твердыми и жидкими фазами, например, катионный обмен, отвечающий за улучшенное усвоение питательных веществ, протекторная функция – изъятие из процессов геохимической миграции высокотоксичных и радиоактивных элементов и в дальнейшем их объединение, эта функция позволяет образовывать комплексы с углеводородами, предотвращая их попадания в окружающую среду, физиологическая функция – способность роста и развития растений, а также устойчивость к стрессовым ситуациям [2]. Строение гуминового вещества отображено на рис. 1 [3].

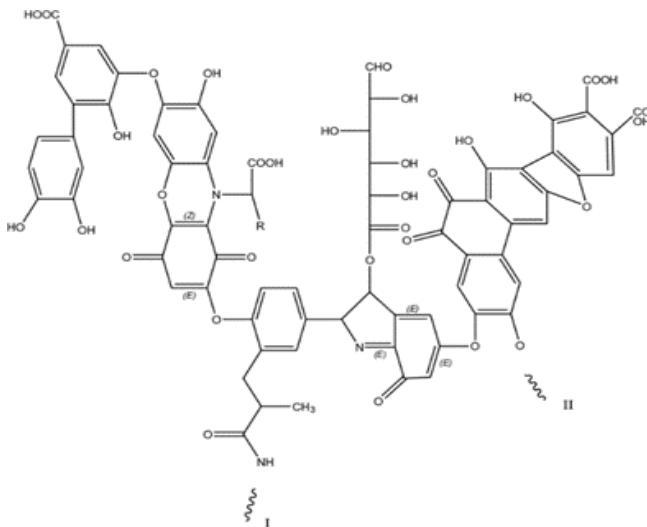


Рис. 1. Строение гуминового вещества.

В сравнительном анализе представлены два вида гумата калия, выпускаемых производителями в Иркутской и Белгородской областях. Исходным материалом являлся леонардит, добытый в Иркутской области и Красноярском крае. Результаты получены с использованием ИК-Фурье спектрометра ФСМ-2201 (рис. 2 и 3).

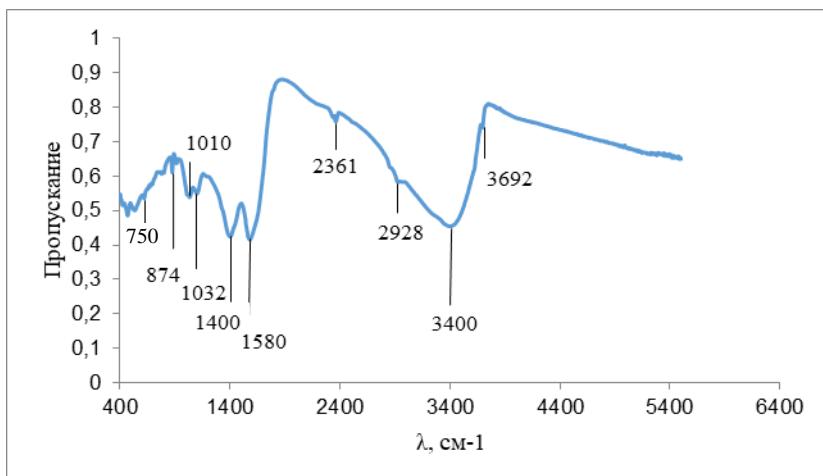


Рис. 2. ИК-спектр гумата калия иркутского производителя.

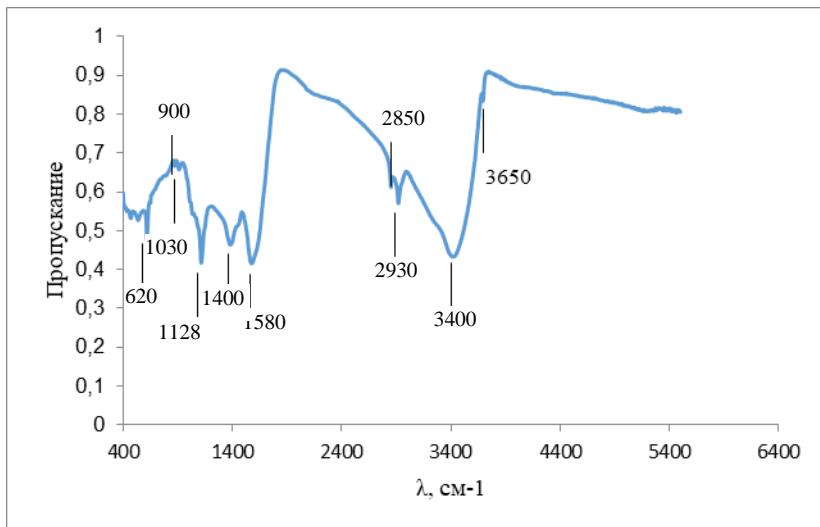


Рис. 3. ИК-спектр гумата калия белгородского производителя.

ИК-спектры на рис. 2 и 3 имеют схожие участки практически во всех областях частот колебаний, что свидетельствует об одинаковой форме строения двух гуматов калия в твердом состоянии, однако имеются и незначительные отличия.

Полосы на ИК-спектрах со значениями 750 см⁻¹ и 620 см⁻¹ соответственно, обозначающие валентные колебания C=O связей (амиды V и IV). Сигнал не столь велик, поэтому чаще всего принято считать данные пики малоинформативными. Полосы со значениями имеют обозначения 874 см⁻¹ и 900 см⁻¹ соответственно. Они находятся в одном диапазоне и их относят к внеплоскостным деформационным колебаниям C-H в области 900-675 см⁻¹ - 1,3,5-монозамещенные [4].

Полоса на ИК-спектре гумата калия (рис. 2) со значением 1010 см⁻¹ соответствует простым ковалентным связям C-H, который находится в диапазоне 1020-1000 см⁻¹, что обозначает циклопропаны, деформационные CH₂ [5].

Полосы на спектрограммах гумата калия со значениями 1030 см⁻¹ (рис. 3) и 1032 см⁻¹ (рис. 2) находятся в одном диапазоне. Данные значения соответствуют связям C-O циклических и алифатических спиртов и эфиров [6]. Также возможно это соответствует другим колебаниям, связанные с группой C-O-H – а именно диапазону 1125-1030 см⁻¹, отвечающему за вторичные спирты [4]. Полоса на рис. 3 со значением 1128 см⁻¹ характеризует данное колебание как связи P=O

[7].

Значения полос на двух спектрограммах гуматов калия находятся в диапазоне 1450-1250 см^{-1} (именно 1400 см^{-1}) характеризуют колебания связанный ОН группы (R-O-H) [4, 8].

В области колебаний связи C=C, сопряженной с C=O проявляются полосы повышенной интенсивности в диапазоне частот 1600-1580 см^{-1} , а именно – 1580 см^{-1} (рис. 2 и 3) [4, 9].

Для гумата калия иркутского производителя полоса со значением 2361 см^{-1} , находящегося в диапазоне частот 2500-1500 см^{-1} , интерпретация ИК-спектра соотносится с непредельными фрагментами, ароматическими и гетероароматическими ядрами [5]. Для гумата белгородского производителя полоса значения 2850 см^{-1} характеризуются наличием алифатических фрагментов (метильные и метиленовые связи), проявляющиеся в области частот 2850-2950 см^{-1} [10].

Полосы на спектрограммах гумата калия со значениями 2928 см^{-1} (рис. 2) и 2930 см^{-1} (рис. 3) находятся в одном диапазоне. Колебания в этих областях являются валентными характеризующими группы CH, CH_2 , CH_3 [6]. Следует отметить наличие валентных колебаний гидроксильных групп (фенольных и спиртовых) со сходным значением 3400 см^{-1} , простых ковалентных связей (имины: =NH-) в диапазоне частот 3400-3300 см^{-1} . Полоса гумата белгородского производителя со значением 3650 см^{-1} интерпретируется как простая ковалентная связь O-H свободной валентной группы, что соответствует кислородсодержащим соединениям – спиртам и фенолам (диапазон частот 3650-3580 см^{-1}) [8, 11].

Следует отметить, что кроме применения гуматов как удобрений (непосредственное положительное воздействие на растения), установлена их способность к удалению тяжелых металлов из растворов, что также является их особенностью [12, 13]. Метод ИК-спектрометрия является важным инструментом для изучения гумата калия, который предоставляет ценные знания о его свойствах и возможностях применения в различных сферах. Эти исследования имеют весомое значение для устойчивого развития сельского хозяйства и охраны окружающей среды.

Библиографический список

1. Карнаухова А.В. Изучение возможности определения гумусовых веществ в почвах с использованием ИК-Фурье спектроскопии / Материалы XIII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» Электронный ресурс: URL:

<https://scienceforum.ru/2021/article/2018023925?ysclid=m7vk707t5323530860>
(дата обращения: 05.03.2025).

2. Изосимов, А.А. / Физико-химические свойства, биологическая активность и детоксицирующая способность гуминовых препаратов, отличающихся генезисом органического сырья: специальность 03.02.08 – Экология: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Изосимов Алексей Анатольевич. Москва, 2016. – 148 с.

3. Petrescu AM, Putz MV, Ifrim FC, Ilia G, Paunescu V. Ld/Mm+ Simulation of Some Aristolochic and Humic Acids Species Coupled in Periodic Box with Water. *Curr Comput Aided Drug Des.* 2021; 17(6): 708-724. doi: 10.2174/1573409916666200625141309. PMID: 32586258.

4. Тарасевич Б.Н. / ИК спектры основных классов органических соединений. / Справочные материалы пособие / Б.Н. Тарасевич. – Москва: МГУ имени М.В. Ломоносова, химический факультет, 2012. – 55 с.

5. Васильев А.В., Гриненко Е.В., Щукин А.О., Федулина Т.Г. / Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений: Учебное пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2007. – С. 54.

6. Дэулетбай А., Камысбаев Д.Х., Серикбаев Д.А., Амренова Е. / Свойства гуминовых кислот, выделенных из бурого угля Экибастузского угольного бассейна / Вестник казахстанско-британского технического университета, 2020. № 53. Т. 2. С. 68-72.

7. Ненахов Д.В., Котов В.В., Стекольков К.Е. / Определение состава препаратов гуминовых кислот различной чистоты методами спектроскопии / Д.В. Ненахов, В.В. Котов, К.Е. Стекольков [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. 2009. Т.9. Вып. 5. С. 665-670.

8. Инструментальные методы анализа органических соединений. Инфракрасная спектроскопия: методические указания, контрольные вопросы и задачи для бакалавров направлений 18.03.01 «Химическая технология» и 18.03.02 «Энерго-ресурсосберегающие процессы в химической технологии и биотехнологии» / сост.: Е.В. Гриненко, Д.С. Рябухин, А.В. Васильев. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 60 с.

9. Турахужаев С.А. Максумова О.С. / Получение стимуляторов роста растений на основе бурого угля: специальность 5А320402 – Химическая технология органических веществ (химическая технология продуктов основного органического синтеза): диссертация на соискание академической степени магистра / Министерство высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан Ташкенский химико-технологический институт/ Турахужаев Сайдакбар Анвар угли, Ташкент, 2012. – 71 с.

10. Кривопалова М.А., Аввакумова Н.П., Жернов Ю.В., Воробьев Ю.В., Шарипова С.Х., Фомин И.В. / О природе полос в ИК-спектре гуматов пелоидов / М.А. Кривопалова, Н.П. Аввакумова, Ю.В. Жернов [и др.] // Ульяновский медико-биологический журнал. 2016. № 3. С. 152-159.

11. Васильев А. В., Гриненко Е.В., Щукин А.О., Федулина Т.Г. / Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений: Учебное пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2007 г. – 54 с.

12. Василенко Т.А., Евстафиева Д.А., Мишина А.Д. Очистка сточных вод от тяжелых металлов с использованием гуматов // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования: сб. докл. Всероссийск. науч.-техн. конф., Белгород, 17–19 октября, 2019 г. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. Ч.1. С. 135–138.

13. Антонинова Н.Ю., Собенин А.В., Усманов А.И., Горбунов А.А. Обоснование возможности применения отходов производства гуминовых препаратов для очистки сточных вод от металлов (Cd^{2+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , Cu^{2+}) с целью разработки эффективных мероприятий по экологической реабилитации // Записки Горного института. 2024. Т. 267. С. 421-432. EDN NYTBJN.

УДК 577.151

Епринцев А.Т., д-р биол. наук, проф.,
Дедов Я.И., аспирант,
Самойлова Д.В., студент,
Селиванова Н.В., канд. биол. наук, доц.
(Воронежский государственный
университет, г. Воронеж, Россия)

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПИРУВАТКАРБОКСИЛАЗЫ ИЗ ПЕЧЕНИ КРЫС С АЛЛОКСАНОВЫМ ДИАБЕТОМ

Аннотация: Фермент пируваткарбоксилаза (ПК) участвует в энергетическом метаболизме клеток путем преобразования пирувата в оксалоацетат (ОА). Помимо своей важности в пополнении цикла трикарбоновых кислот (ЦТК) для поддержания выработки энергии, активность ПК также важна в синтезе жирных кислот и генерации восстановительных эквивалентов для улучшения защиты от окислительного стресса. В ходе работы была исследована динамика активности данного фермента в гепатоцитах крыс при аллоксановом диабете, а также у животных с патологией на фоне приема сульфата цинка. Выявлено, что во время диабета активность пируваткарбоксилазы усиливается в обеих опытных группах крыс.

Ключевые слова: пируваткарбоксилаза, малатдегидрогеназа, сахарный диабет, аллоксановый диабет, активность, глюконеогенез.

Пируваткарбоксилаза (ПК; КФ 6.4.1.1) — это митохондриальный биотин-содержащий фермент, который катализирует АТФ-зависимое карбоксилирование пирувата в оксалоацетат (ОА), служащий для пополнения цикла трикарбоновых кислот (ЦТК). В незлокачественных тканях ПК играет важную роль в контроле энергетики всего организма посредством регуляции глюконеогенеза в печени, синтеза жирных

кислот в адипоцитах и секреции инсулина в β -клетках поджелудочной железы.

Пируваткарбоксилаза большинства организмов – это тетramerный белок, который аллостерически регулируется такими интермедиатами, как ацетил-КоА и аспартат. Ацетил-КоА является положительным регулятором ПК у многих, но не у всех видов, и степень зависимости активности фермента от него также варьируется [15]. Стимулирование активности ПК ацетил-КоА приводит к увеличению синтеза ОА. Таким образом, в присутствии ацетил-КоА поддерживается адекватный поток ОА в ЦТК.

Сахарный диабет (СД) — это общий термин, используемый для обозначения нарушений обмена веществ, которые характеризуются повышением в крови уровня глюкозы (гипергликемией) и липидов и глюкозурией [3]. В 2000 году уровень распространенности СД составлял приблизительно 177 миллионов человек во всем мире; кроме того, по оценкам, к 2025 году СД будет болеть 300 миллионов человек [14].

Как сообщается в различных научных исследованиях, существуют совершенно разные методы изучения СД и понимания патогенеза, осложнений, генетических и экологических влияний [2]. Крысы вполне подходят для научных исследований СД, поэтому они широко используются для создания экспериментальной модели для исследований диабета [7]. Существует много способов постановки СД, включая: химическую индукцию СД [8], пероральную нагрузку глюкозой [4], введение нитрилотриацетата железа, хирургическая модель СД и генетические мутации [6]. Среди них наиболее простой в постановке эксперимента является модель СД, вызванная химическим агентом, аллоксаном, у лабораторных животных. Более того, ценность данной модели в выяснении причинно-следственной связи, в том, что она схожа с человеческим СД [12].

Аллоксан-гидрофильное нестабильное соединение с глюкозоподобной структурой. Данные свойства необходимы для развития диабета. Именно гидрофильность препарата предотвращает его проникновение через билипидный слой плазматической мембраны, тогда как глюкозоподобная структура позволяет взаимодействовать с транспортером глюкозы 2-го типа (ГЛЮТ-2) в плазматической мембране β -клеток. В водном растворе аллоксан в течение нескольких минут спонтанно разлагается на недиабетогенную аллоксановую кислоту [1].

В ответ на введение препарата в организме животного запускается процесс, который проходит несколько последовательных фаз.

Максимальная продолжительность первой фазы составляет 30 минут, которая наступает сразу после инъекции аллоксана и является переходной гипогликемической фазой. Этот кратковременный гипогликемический ответ представляет собой результат временной стимуляции секреции инсулина в ответ на блокирование фосфорилирования глюкозы, о котором упоминалось выше. На данном этапе морфологические изменения в клетках поджелудочной железы минимальны.

Во второй фазе, наступающей через час после применения аллоксана, повышается концентрация глюкозы в крови. Более того, одновременно с этим снижается концентрация плазменного инсулина. Эта первая гипергликемическая фаза, которая длится обычно 2–4 часа, вызвана ингибированием секреции инсулина и приводит к гипоинсулинемии. В этой фазе β -клетки проявляют следующие морфологические особенности: внутриклеточная вакуолизация, дилатация эндоплазматического сетя, уменьшение площади аппарата Гольджи, уменьшение секреторных гранул, в частности содержащих инсулин, набухание митохондрий.

Третья, транзиторная гипогликемическая фаза обычно развивается через 4–8 часов после инъекции и длится несколько часов, максимум сутки. На этом этапе животному стоит уделить особое внимание, так как вероятность смерти крайне высока. В результате падения уровня глюкозы крови может развиться судорожный синдром и стремительно истощаются запасы гликогена в печени, что без терапии глюкозой обычно заканчивается фатально. Резкий скачок уровня инсулина в крови выступает следствием индуцированного аллоксаном разрушения плазматической мембранны β -клеток поджелудочной железы. Кроме того, наблюдаются повреждения других субклеточных органелл. В дополнение к данным морфологическим изменениям некоторые ядра β -клеток становятся пикнотическими, что свидетельствует о некрозе клеток.

Четвертый этап — это конечная постоянная диабетическая гипергликемическая фаза, которая длится 12–48 часов и морфологически характеризуется полной дегрануляцией и потерей целостности β -клеток. Не- β -клетки (α -, δ -, рр-клетки) поджелудочной железы остаются интактными и демонстрируют селективный характер токсического действия на β -клетки. Дебрис β -клеток поглощается макрофагами. Многие животные проявляют чувствительность к диабетогенным свойствам аллоксана.

Гипергликемия, возникающая после разрушения аллоксаном β -клеток, нестабильна и может оказаться обратимым процессом,

который по истечении определенного времени приведет к нормализации уровня глюкозы крови. Поскольку аллоксан и глюкоза конкуренты как для ГЛЮТ-2, так и для глюкокиназы, более низкая концентрация глюкозы в плазме улучшает взаимодействие аллоксана с β -клетками, поэтому перед инъекцией аллоксана необходим период голодания в среднем от 12 до 24 часов [1].

Индукция СД аллоксаном вызывает такие же изменения в организме, как и СД. Именно для долгосрочных исследований патологических изменений, связанных с СД, исследователям требуется стабильная модель экспериментально индуцированного СД I типа [11].

Модель аллоксанового сахарного диабета характеризуется абсолютным дефицитом инсулина, что приводит к нарушению обмена глюкозы. Мозг и эритроциты полностью полагаются на источник энергии от глюкозы, синтезируемой из неуглеводных предшественников лактата, аланина, глицерина и глутамина печенью и в меньшей степени корковым веществом почек, и тонким кишечником.

В гепатоцитах печени ПК катализирует первый обязательный шаг глюконеогенеза, предоставляя оксалоацетат для последующего преобразования в фосфоенолпирват фосфоенолпирваткарбоксикиназой (ФЕПК). Этот последний фермент существует в виде двух различных изоформ, одна в митохондриях, другая в цитоплазме, с относительными пропорциями, различающимися между видами. Оксалоацетат затем может быть преобразован в ФЕП митохондриальной ФЕПК [10] и транспортирован через митохондриальные мембранные системы переноса анионов трикарбоновых кислот в цитоплазму [13], где он преобразуется в глюкозу через комбинацию обратного пути гликолиза и двух других глюконеогенных ферментов, а именно фруктозо-1,6-бисфосфатазы и глюкозо-6-фосфатазы. Однако, если уровень цитозольного НАДН низкий, а митохондриальный НАДН высокий, когда аланин является основным источником пищевата в печени, оксалоацетат, образованный ПК, также может служить переносчиком восстановительных эквивалентов в цитоплазму. В этом процессе оксалоацетат сначала преобразуется в малат митохондриальной малатдегидрогеназой (МДГ), прежде чем покинуть митохондрии через переносчик малата. Затем цитозольная МДГ преобразует малат обратно в оксалоацетат с восстановлением НАД⁺ до НАДН. Затем оксалоацетат преобразуется в ФЕП цитозольной ФЕПК, а НАДН используется для восстановления 1,3-бисфосфоглицерата до глицеральдегид-3-фосфата [5].

Измерение активности пируваткарбоксилазы из печени крыс осуществлялось с использованием очищенного фермента малатдегидрогеназы из листьев кукурузы.

Очистку МДГ осуществляли в несколько этапов. Гомогенизация материала проводилась с изотоническим раствором Tris-HCl буфера, pH 7,8, содержащим стабилизирующие вещества. Для фракционирования белков использовали высадивание сульфатом аммония. Фракция, содержащая МДГ находилась в пределах от 35% до 80% насыщения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. На третьем этапе применяли гель-фильтрацию через G-25, которая позволила избавить исследуемый экстракт от низкомолекулярных компонентов. Решающее значение для получения высокоочищенных препаратов МДГ имела ионообменная хроматография на колонке с ДЭАЭ-Sephacel.

Перед исследованием все крысы были произвольно разделены на 4 группы по 6 животных в каждой: «Контроль» - крысы, которым внутрибрюшинно вводили 0,9% NaCl, «Контроль+Цинк» - крысы, которым внутрибрюшинно вводили 0,9% NaCl, а также ежедневно давали сульфат цинка в течение всего эксперимента; «Диабет» - животные с экспериментальным диабетом, «Диабет+Цинк» - животные, которые на фоне развития патологии получали ежедневно сульфат цинка, в течение всего эксперимента. Шипучие таблетки «Цинкит» («Woerwag Pharma Gmb H&Co. KG», Германия), содержащие сульфат цинка, лабораторные животные из групп: «Контроль+Цинк» и «Диабет+Цинк» получали ежедневно в течение 20 дней, групповым способом через автоматические ниппельные поилки, в дозе 36 мг/кг один раз в день. В связи с тем, что все полученные данные по группам «Контроль» и «Контроль+Цинк» были сходными, результаты группы «Контроль+Цинк» в статье не приводятся.

Индукцию диабета осуществляли однократным введением 5% раствора аллоксана (масса/объем) внутрибрюшинно в дозе 150 мг/кг массы тела животного. Контрольным крысам вместо раствора аллоксана был введен 0,9% (масса/объем) раствор NaCl. Развитие заболевания наблюдали контролем гликемии натощак, забор крови осуществлялся ежедневно в течение 20 дней утром из хвостовой вены.

Для выделения фермента ткань печени экспериментальной крысы гомогенизировали при температуре 4°C в соотношении 1:5 со средой выделения следующего состава: 0,1 M Tris-HCl буфер, pH 7,4; 1 mM ЭДТА; 1 mM ДТТ. Затем, центрифугировали 3000 об/мин 5 мин.

Среда спектрофотометрирования состояла из 0,1 M Tris-HC буфера, pH 7,8; 0,1 M KCl; 7 mM MgCl₂; 25 mM NaHCO₃; 2,5 mM ATP; 4 mM ацетил-КоА; 12 mM пируват Na; 0,12 Мм NADH; 10 Е/мл МДГ.

Активность фермента определяли по уменьшению оптической плотности при 340 нм за 1 мин с помощью спектрофотометрического метода на СФ-2000. Затем, расчеты производили по следующей формуле 1:

$$E = \frac{\Delta D \cdot V_p \cdot V_o \cdot 10^6}{V_B \cdot t \cdot \varepsilon}, \quad (1)$$

где ΔD -изменение оптической плотности раствора при $\lambda=340$ нм, единиц оптической плотности;

V_p - объем среды спектрофотометрирования, мл;

V_o - общий объем ферментного препарата, мл;

V_B - объем внесения ферментного препарата, мл;

ε - молярный коэффициент экстинкции НАДН, $6,22 \cdot 10^3$, л/см⁻¹ моль⁻¹;

10^6 - пересчетный коэффициент, мкмоль;

t -время, мин.

В ходе эксперимента были получены следующие данные.

Перед постановкой эксперимента гликемия у всех крыс находилась в пределах нормы и составляла $5,2 \pm 0,23$ ммоль/л. На 2 день после инъекции аллоксана у крыс группы «Диабет», «Диабет+Цинк» уровень глюкозы резко повысился до $10,4 \pm 0,15$ ммоль/л и на протяжении всего эксперимента находился более чем в 4 раза выше нормы. На третий день эксперимента группе «Диабет+Цинк» начали добавлять в поилки сульфат цинка в дозе 36 мг/кг массы тела. В результате гликемия снизилась примерно в 1,5 раза относительно группы «Диабет» (20-30 ммоль/л) и колебалась в диапазоне $17,0 - 25,0 \pm 0,13$ ммоль/л. У контрольной группы животных на протяжении всего времени эксперимента данный показатель находился в пределах 4,8-6,0 ммоль/л (рис. 1).

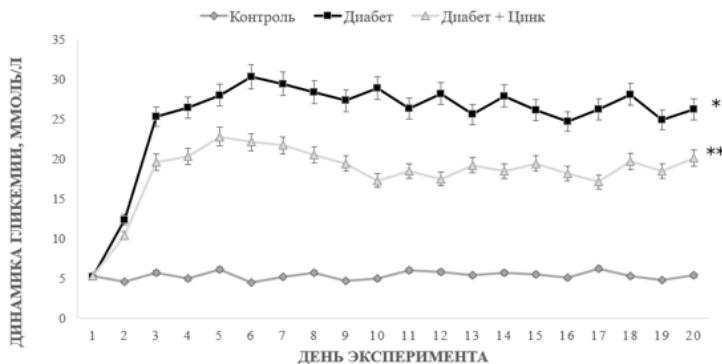


Рис. 1. Динамика уровня гликемии в плазме крови у крыс, не подвергавшихся воздействию аллоксана («Контроль»), животных с аллоксановой интоксикацией («Диабет») и крыс, которым на фоне развития патологии давали сульфат цинка («Диабет+Цинк»).

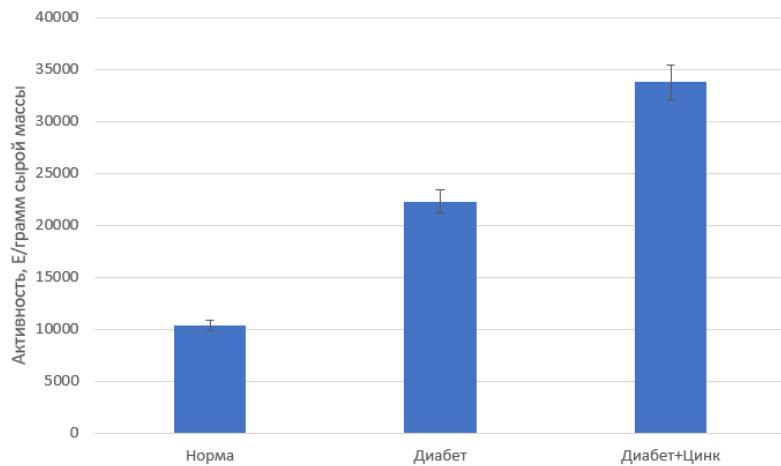


Рис. 2. Активность пируваткарбоксилазы в печени у контрольной группы крыс (Норма), у животных с аллоксановым диабетом (Диабет), а также при приеме крысами сульфата цинка на фоне патологии (Диабет+Цинк).

Установлено возрастание активности пируваткарбоксилазы в гепатоцитах крыс с аллоксановым диабетом в два раза по сравнению с нормой. Активность пируваткарбоксилазы у крыс, принимавших на фоне диабета сульфат цинка увеличилась втрое по сравнению с

нормой (рис. 2). Предположительно, при аллоксановом диабете, активируются процессы глюконеогенеза, первым ферментом которого является пируваткарбоксилаза, в связи с чем ее активность возрастает. При употреблении крысами сульфата цинка, предположительно, активность пируваткарбоксилазы возрастает еще сильнее, так как она является магний-цинковым металлоферментом [16]. Также стоит заметить, что поставщиком HCO_3 для пируваткарбоксилазы является карбоангидраза, которая также является цинковым металлоферментом, и является основным катализатором печеночного глюконеогенеза [17].

Таким образом, в ходе работы выяснено, что в клетках печени крыс на фоне хронической гипергликемии, вызванной аллоксановой интоксикацией, наблюдается значительное повышение активности пируваткарбоксилазы. Интересным фактом является то, что, несмотря на снижение концентрации глюкозы в крови, вызванное пероральным употреблением сульфата цинка, скорость функционирования ПК выросла в 2 раза относительно контроля и в 1,5 раза по сравнению с группой «Диабет». Вероятно, что это может быть связано с активирующим влиянием самих ионов цинка либо на исследуемый фермент, либо на карбоангидразу, регулирующую темп протекания глюконеогенеза в печени.

Библиографический список

1. Экспериментальные модели сахарного диабета 1-го типа / М.И. Ярмолинская [и др.] // Журнал акушерства и женских болезней. 2019. Т. 68. №2. С. 109–118.
2. Insulin dependant diabetes mellitus: implications for male reproductive function / I.M. Agbaje [et al.] // Hum Reprod. 2007. V. 22. № 7. P. 1871–1877.
3. American Diabetes Association. Diagnosis and classification of diabetes mellitus. Diabetes care. 2014. № 37. P. 81.
4. Induction of diabetes in animals by parenteral administration of ferric nitrilotriacetate. A model of experimental hemochromatosis. / M. Awai [et al.] // Am J Pathol. 1979. V. 95. № 3. P. 663–673.
5. Increased pyruvate flux capacities account for diet-induced increases in gluconeogenesis in vitro. / M.E. Bizeau [et al.] // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2001. № 281. P. 427–433.
6. The use of animal models in the study of diabetes mellitus. / A. Chatzigeorgiou [et al.] // In Vivo. 2009. V. 23. № 2. P. 245–258.
7. Etuk E.U. Animal models for studying diabetes mellitus. // Agric Biol JN Am. 2010. V. 1. № 2. P. 130–134.
8. Induction of type-1 diabetes mellitus in laboratory rats by use of alloxan: route of administration, pitfalls, and insulin treatment. / I.F. Federiuk [et al.] // Comp Med. 2004. V. 54. № 3. P. 252–257.

9. Hagopian K., Ramsey J.J., Weindruch R. Krebs cycle enzymes from livers of old mice are differentially regulated by caloric restriction. // *Exp Gerontol.* 2004. № 39. P. 1145–1154.
10. Hanson R.W., Patel Y.M. Phosphoenolpyruvate carboxykinase (GTP): The gene and the enzyme. // *Adv. Enzymol.* 1994. № 69. P. 203–281.
11. King A.J. The use of animal models in diabetes research. // *Br J Pharmacol.* 2012. V. 166. № 3. P. 877–894.
12. Rees D.A., Alcolado J.C. Animal models of diabetes mellitus. // *Diabet Med.* 2005. V. 22. № 4. P. 359–370.
13. Robinson B.H. Transport of phosphoenolpyruvate by the tricarboxylate transporting system in mammalian mitochondria. // *FEBS Lett.* 1971. № 14. P. 309–312.
14. Shaw J.E., Sicree R.A., Zimmet P.Z. Global estimates of the prevalence of diabetes for 2010 and 2030. // *Diabetes Res Clin Pract.* 2010. V. 87. № 1. P. 4–14.
15. Wallace J. Distribution and biological functions of pyruvate carboxylase in nature. In: Keech D, Wallace J, editors. *Pyruvate Carboxylase*. // Boca Raton: CRC Press. 1985. P. 5–64.
16. Warren G., Keith F. Tipon. Pig liver pyruvate carboxylase. Purification, properties and cation specificity. // *Biochemical Journal.* 1984. V. 139. № 2. P. 297–310.
17. Salihu I. The Role of Carbonic Anhydrase in Hepatic Glucose Production. // *Current Diabetes Reviews.* 2016. V. 14. № 2.

УДК 579.2

¹Фролова Н.А., д-р техн. наук, доц.,

¹Верхотуров В.В., д-р биол. наук, доц.,

¹Веремей Е.Е., ст. преподаватель,

¹Гринчук М.А., соискатель

(-Калининградский государственный
технический университет, г. Калининград, Россия)

ИДЕНТИФИКАЦИЯ *ASPERGILLUS* В ПШЕНИЧНОЙ МУКЕ МЕТОДОМ ПОЛИМЕРАЗНОЙ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ

Аннотация: Идентификация патогенных видов грибов методом ПЦР является актуальным направлением с точки зрения обеспечения безопасности пищевых систем. В статье представлены результаты экспериментальных исследований по подбору последовательностей праймеров, обеспечивающие точную идентификацию *A. flavus* и *A. Parasiticus*

Ключевые слова: *Aspergillus*, идентификация, ПЦР, праймеры.

Aspergillus – патогенный вид гриба, часто встречаемый в пищевых системах и характеризующийся выработкой широкого спектра токсинов, среди которых наиболее значимыми являются афлатоксины

[1]. Афлатоксиногенные грибы могут загрязнять некоторые пищевые продукты, включая зерновые. Разнообразие *Aspergillus* насчитывает около 200 видов. Плесневые грибы встречаются в сухих продуктах питания и зерне в основном в виде спор.

Существуют различные методы идентификации *Aspergillus*: культуральное исследование, серологические реакции и др [2]. Однако ни один из этих методов пока не смог надежно дифференцировать *A. flavus* от других видов патогенных грибков *Aspergillus*, в частности, *Aspergillus flavus* (*A. flavus*) и *Aspergillus parasiticus* (*A. parasiticus*). Это вероятно связано со сходством генов биосинтеза афлатоксина, используемых в качестве мишней для специфических праймеров у этих двух видов.

Хотя геном ДНК пшеницы и загрязняющих веществ патогенных видов гриба могут быть серьезно повреждены в процессе производства, ПЦР-анализы являются чувствительными инструментами для обнаружения грибкового заражения муки из-за малого размера целевой геномной ДНК.

«Правильная» идентификация *A. flavus* и *A. parasiticus* имеет важное значение, в связи с различиями их вторичных профилей. Афлатоксины, циклопиазоновая кислота, версиколорин и стеригматоцистин может продуцироваться *A. flavus*, в то время как *A. parasiticus*, как известно, не вырабатывает циклопиазоновую кислоту и стеригматоцистин [3]. Плесневые грибы обнаруживаются в основном в виде бесполых спор или высушенных мицелиев на зерновых культурах, содержащих небольшие количества ДНК, устойчивых к разрушению клеток при ее извлечении.

A. flavus и *A. parasiticus* имеют два различных токсикогенных профиля. *A. flavus* производит афлатоксин B_1 (M_1), B_2 , циклопиазоновую кислоту, афлатрем, 3-нитропропионовую кислоту, стеригматоцистин, версиколорин А и асперотоксин, тогда как *A. parasiticus* продуцирует афлатоксин B_1 (M_1), B_2 , G_1 , G_2 и версиколорин А.

Афлатоксины являются мощными канцерогенными, мутагенными и тератогенными вторичными метаболитами. Пищевые продукты и корма особенно восприимчивы к колонизации афлатоксигенными видами *Aspergillus*, особенно в теплом климате. Обсеменение такими видами грибка происходит на нескольких этапах получения и переработки пищевых объектов: во время сбора урожая, переработки, транспортировки или хранения.

В современном мире ПЦР-диагностика является наиболее эффективным инструментом обнаружения патогенной микрофлоры в

объектах пищевой индустрии. Она наиболее эффективна с позиции чувствительности и экономии временных ресурсов.

В ходе выполнения исследований мы разработали протокол ПЦР на основе многокопийных последовательностей специфичных для *Aspergillus*, который позволяет более точно детализировать видовое разнообразие патогенного гриба и отличить его от других афлатоксиногенных плесеней.

Межгенный спейсер (IGS) и внутренняя транскрибуируемая область (ITS) из единицы рДНК является многокопийными (до 100 или 300 копий на гаплоидный геном гриба) высоковариабельными последовательностями, которые широко используются для филогенетических исследований и диагностики близкородственных видов грибов.

Для идентификации патогенных видов гриба *Aspergillus* использовалась питательная среда - картофельный агар с дектrozой.

Изоляты *Aspergillus* культивировались в колбах Эрленмейера объемом 100 мл, содержащих 20 мл жидкой среды. Геномную ДНК *Aspergillus* штаммов получали с помощью метода экстракции. Для проверки способности ПЦР обнаруживать *A. flavus* в пищевых продуктах, были использованы различные партии пшеничной муки, смешанной с инкапсулированными 50-ти видами спор в течение 16, 24 и 48 ч. инкубации. Контрольными образцами служили не обсеменённые образцы муки.

В ходе проведения экспериментальных исследований нами подобраны последовательности праймеров, обеспечивающие точную идентификацию *A. flavus* и *A. Parasiticus*: FLA₁ (GTAGGGTTCCTAGCGAGCC 3') и FLA₂ (5' GGAAAAAGATTGATTGCG TTC 3') после 16 часов инкубации.

Специфическая диагностика в чистых культурах, как правило, проще, чем прямая диагностика на продуктах где присутствует сложная микробиота, часто содержащая близкородственные виды и несколько соединений, влияющих на эффективность и чувствительность обнаружения.

В заключение следует отметить, что разработанный нами ПЦР протокол, является быстрым и мощным инструментом для обнаружения *A. flavus* и *A. Parasiticus* в том числе в пищевых системах.

Таким образом, анализ ПЦР и подготовка протокол образца были оптимизированы для предотвращения возникновения ложноотрицательных реакций. Исследования гибридизации, а также секвенирования ДНК и сравнения всего генома подтвердили, что оба вида *A. flavus* и *A. Parasiticus* генетически схожи, за исключением

нескольких различий в генах, участвующих в пути биосинтеза афлатоксина. С другой стороны, в то время как *A. flavus* является обычным экологическим организмом, *A. oguzae* — «одомашненным» грибом

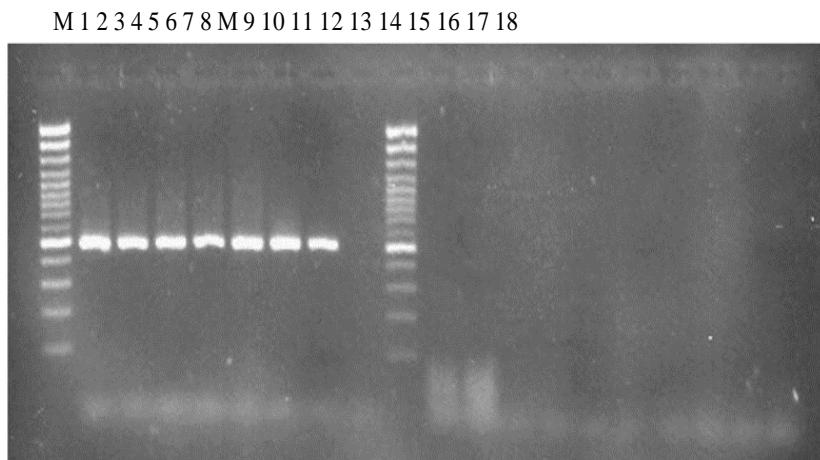


Рис. 1. ПЦР протокол обнаружения *A. flavus* и *A. parasiticus*.

Библиографический список

1. Ульрих Е.В., Верхотуров В. В., Дышлюк Л. С., Фролова Н. А. Развитие биотехнологии в России // Актуальные проблемы прикладной биотехнологии и инженерии. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. Оренбург. 21 июня 2023 года. Оренбург: Оренбургский государственный университет. 2023. С. 92-96.
2. Фролова Н. А. Использование вторичных продуктов переработки льняного семени для микрокапсулирования пробиотических бактерий / Н. А. Фролова // Пищевая промышленность. 2023. № 2. С. 83-85.
3. Научно-практические основы биотехнологической переработки сырьевых ресурсов Амурской области для разработки технологий продуктов специализированного назначения / Н. А. Фролова и [др.] Благовещенск: Амурский государственный университет, 2022. 140 с.

**Секция 5.
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БИОИНФОРМАТИКА**

УДК 630.004.5

Асташевский М.С., аспирант, ассистент
(*МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Миушиинский филиал,
г. Миушицы, Россия*)

**ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЛЕСА В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ И
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ**

Аннотация: Данная статья посвящена обзору цифровизации лесной отрасли, применимости технологии цифрового зрения в лесу. Рассмотрены плюсы и минусы технологии цифрового зрения на основании работ других авторов. Технология машинного зрения применяется в технологических процессах связанных с определением дефектов, обнаружением пороков древесины в пиломатериалах и в лесной таксации. Был сделан следующий вывод о том, что технология машинного зрения является перспективной и пригодной для проведения лесной таксации, дефектоскопии древесины оптимизации выбора схемы раскрытия древесины.

Ключевые слова: цифровое зрение, машинное зрение, машинное обучение, лес, оптимизация.

Цифровизация лесной отрасли не стоит на месте, так как ведение эффективного лесного хозяйства невозможно без качественной, доступной и полной информации о лесных ресурсах [1].

Вот некоторые примеры развития цифровизации в этой сфере:

Внедрение Единой государственной автоматизированной информационной системы учёта древесины и сделок с ней (ЛесЕГАИС). Основная задача системы — контроль за движением древесины в России [2].

Формирование Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК). Её полномасштабный запуск перенесли на 2025 год. Система объединит все отдельные информационные системы и станет основой для предоставления государственных услуг в лесной отрасли [3, 2].

Развитие цифровых технологий в лесоустройстве. Это позволит повысить точность и полноту информации о лесах, а также сделать её более доступной. Внедрение цифровизации в лесном хозяйстве позволит сократить количество ошибок, приводящих к неэффективности использования лесных ресурсов [1].

Мониторинг процессов, связанных с использованием леса. Цифровизация позволяет в электронном формате фиксировать всю информацию, касающуюся обработки древесины. Это помогает бороться с незаконной рубкой леса, которая причиняет ущерб лесному фонду на миллионы рублей [4].

Удобство лесопользователей. Электронный формат открывает возможности согласовывать границы будущей лесосеки с минлесхозом в цифровом формате через портал госуслуг [5].

Снижение теневого оборота древесины. Внедрение технологии QR-кодов, которые содержат информацию о количестве и составе древесины, месте рубки, маршруте доставки и о машине, помогает контролировать путь древесины от её заготовки до переработки и вывоза из страны.

Эффективность цифровизации лесной промышленности может выражаться в следующих аспектах:

Для государства: улучшение контроля над лесным фондом. Представление о реальном состоянии лесов, о том, как на них влияет деятельность предприятий.

Для бизнеса: сокращение издержек и снижение рисков. Построение более точных планов и наращивание эффективности бизнес-процессов. Снижение потерь из-за простоеов оборудования. Увеличение объёмов выпускаемой продукции и расширение продуктового портфеля [6].

Цифровизация также помогает выбрать верные способы восстановления леса с учётом региональных особенностей. В целом, цифровые технологии становятся драйвером перехода к интенсивному устойчивому лесному хозяйству в стране в целом.

Но есть проблемы, которые могут снижать эффективность цифровизации лесной промышленности. Такими являются:

Сбои в системе. Они могут парализовать работу отрасли, привести к задержке реализации сделок и росту убытков.

Человеческий фактор. Многие водители лесосовозов преклонного возраста увольняются, так как не могут освоить новые технологии.

Отсутствие спутниковой связи. Во многих районах страны затруднено указание точных координат загрузки лесовоза.

Сложности с оформлением документов. Например, при транспортировке древесины морскими судами или по железной дороге нужно формировать документ на каждый вагон, что усложняет процесс перевозки [2].

Качество собираемой информации. Данные на всей цепочке производства генерирует человек, поэтому существует высокая вероятность ошибок и неточностей.

Дело в том, что данные на всей цепочке производства генерирует человек, а следовательно, существует высокая вероятность ошибок и неточностей. К тому же при работе в лесу возникают трудности с освещением и связью.

Сергей Меркулов, директор по цифровой трансформации ПАО «Сегежа групп», полагает, что в целях повышения качества поступающих данных компаниям нужно автоматизировать источники их получения, а именно — задействовать дроны и средства компьютерного зрения. Но для этого требуются значительные инвестиции.

Участники российского ЛПК также с осторожностью относятся к внедрению беспилотной лесозаготовительной техники. Операторы таких машин работают в трудных условиях, и крупные компании ищут способы заменить людей на автоматизированные системы. Однако Андрей Дмитриев, управляющий директор — руководитель дирекции трансформации клиентов СИВ в ПАО «Сбербанк», считает вложения в подобные проекты высокорискованными из-за сложностей разработки и ее большой стоимости [8].

Так же по данным статьи [7] состояния цифровизации в лесном комплексе России находится на начальном этапе, несмотря на стратегические документы и программы. Уровень использования информационных технологий в лесном хозяйстве ниже, чем в целлюлозно-бумажной промышленности. Эксперты лесного комплекса оценивают текущее состояние цифровизации как ниже среднего и не ожидают значительных изменений в будущем.

Примеры применения машинного зрения в лесной отрасли: Пилотный проект Segezha Group. Компания тестировала программные средства для контроля лесосырьевых потоков, в том числе определения плотного объёма леса, прибывающего в лесовозах на деревоперерабатывающие заводы [9].

Принцип работы: гружёный лесовоз проходит сканирование на фоторамке контрольно-пропускного пункта, где камеры делают множество снимков. Модели машинного обучения анализируют груз, определяют породу и другие характеристики дерева, и считают объём леса перед его транспортировкой. Результаты проекта: обработка данных с каждого лесовоза занимает несколько секунд. Система сокращает временные и логистические издержки. Точность сопоставления фотографий составила более 99%. Качество расчёта коэффициента полнодревесности и объёма древесины — более 98% [10].

Применение на комбинате ГК «Свеза». Система машинного зрения на основании видео отсортирует листы, не допуская в дальнейшем производство изделия с отклонениями от нормы [11].

Применение машинного зрения в лесной отрасли позволяет: Повысить эффективность предприятия. Все этапы производства становятся максимально прозрачными, что способствует повышению качества выпускаемой продукции, улучшению сервиса и увеличению прибыли. Сократить погрешность измерений. Документально подтверждённые расчёты показали, что система машинного зрения позволяет сократить погрешность приёмки леса до 1,5–2% (допустимая погрешность по ГОСТу — 3%). Снизить влияние человеческого фактора. Система автоматически распознаёт отклонение от ГОСТа при укладке пачек, автоматически отсортирует некачественные фотографии. Аккумулировать большой датасет. Его можно использовать для дальнейшей аналитики, выработки единого стандарта по применению машинного обучения при контроле сырьевых потоков [11, 6, 10].

Применение беспилотных технологий в лесной отрасли позволяет: Экономить деньги, время и силы сотрудников. Беспилотники предоставляют актуальную информацию быстро и регулярно. Принимать более взвешенные решения в сфере ухода за лесами и повышения их продуктивности. Улучшать планирование лесозаготовительных работ. Разработать новые инструментальные методы таксации лесных насаждений, осуществления контрольно-надзорных функций за использованием и воспроизводством лесов. В перспективе стать драйвером роста эффективности лесного комплекса и других отраслей экономики. Для максимально эффективного использования беспилотников оператор должен пройти специальное обучение по управлению коптерами. Также необходимо регулярно осуществлять техническое обслуживание беспилотников.

Библиографический список

1. Барейко С. Н., Кравченко С. К. Роль информатизации и цифровизации лесного комплекса в обеспечении экономической безопасности россии // НК. 2021. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-informatizatsii-i-tsifrovizatsii-lesnogo-kompleksa-v-obespechenii-ekonomicheskoy-bezopasnosti-rossii> (дата обращения: 15.09.2024).
2. Валиева А. Р., Мингазова З. Р. Актуальные проблемы государственного управления в области цифровизации лесного комплекса URL: <https://ekam-journal.com/images/2023/2-2023/Valieva-Mingazova.pdf> (дата обращения: 15.09.2024).

3. Сайт аргументы и факты Олег Сивцов, Алексей Дуэль Зачем лесам цифровизация? Директор Рослесинфорга — о легких планеты URL: https://aif.ru/money/vef-22/zachem_lesam_cifrovizaciya_direktor_roslesinforga_o_lyogkih_planety (дата обращения: 15.09.2024).

4. ИА "1-LINE" - новости города Красноярска, Красноярского края, Сибири URL: <https://1line.info/news/crash/kriminal/v-krasnoyarskom-kraetsifrovizatsiya-pomozhet-borotsya-s-chyernymi-lesorubami.html> (дата обращения: 15.09.2024).

5. Минлесхоз хочет «оцифровать» леса Красноярского края в 2023 году URL: <https://kras.mk.ru/economics/2023/01/11/minleskhoz-khochet-ocifrovat-lesa-krasnoyarskogo-kraya-v-2023-godu.html> (дата обращения: 15.09.2024).

6. Сайт Сбер про URL: <https://sber.pro> (дата обращения: 15.09.2024).

7. Сушко, О. П. Направления и перспективы цифровизации лесного комплекса / О. П. Сушко // Экономика, предпринимательство и право. 2023. Т. 13, № 11. С. 5127-5142. DOI 10.18334/epp.13.11.118935. EDN FLPZZR. (дата обращения: 15.09.2024).

8. Журнал «ЛПК Сибири» Что тормозит цифровизацию российской лесной промышленности URL: <https://lpk-sibiri.ru/forest-industry/chto-tormozitsifrovizatsiyu-rossiyskoy-lesnoy-promyshlennosti/> (дата обращения: 15.09.2024).

9. Сайте Лес Онлайн «Segezha Group завершила пилотный проект машинного зрения для контроля лесосырьевых потоков» URL: <https://www.lesonline.ru/news/id/541903-segezha-group-zavershila-pilotnyj-proekt-mashinnogo-zreniya-dlya-kontrolja-lesosyrevykh-potokov> (дата обращения: 15.09.2024).

10. Машинное зрение для измерения плотного объема круглого леса и коэффициента полнодревесности (КПД) URL: <https://globalcio.ru/projects/10801/> (дата обращения: 15.09.2024).

11. Сайт forestcomplex URL: <https://forestcomplex.ru> (дата обращения: 15.09.2024).

^{1, 2} Марченкова Е.Н., студент,

² Жидков М.В., канд. техн. наук,

² Тригуб М. М., канд. мед. наук,

³ Хаширова С.Ю., д-р. хим. наук,

³ Курданова Ж. И., канд. хим. наук,

³ Хаширов А.А., канд. техн. наук,

² Терентьев А. А., канд. биол. наук,

² Голосов Е. В., канд. физ.-мат. наук,

¹ Лупандина Н.С., канд. техн. наук

(1 - Белгородский государственный технологический

университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия,

2 - ФИЦ проблем химической физики и медицинской

химии РАН, г. Черноголовка, Россия,

3 - Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х. М. Бербекова, г. Нальчик, Россия)

ПОВЕРХНОСТНАЯ МОДИФИКАЦИЯ БИОМЕДИЦИНСКИХ ПОЛИЭФИРОВ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Аннотация: была проведена поверхностная обработка полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и полифениленсульфона (ПФСн), используемых в качестве материала для изготовления медицинских изделий и имплантов, лазерными импульсами фемтосекундной длительности и оценены изменения рельефа, свойств смачиваемости и биосовместимости модифицированных поверхностей.

Ключевые слова: полиэфирэфиркетон, полифениленсульфон, лазерная обработка.

Суперконструкционные полимеры благодаря хорошему сочетанию механических свойств, биосовместимости и биостабильности в последние годы широко используются в медицине в качестве материала для изготовления медицинских изделий и имплантов [1]. В тоже время бионертность этих полимеров может существенно ограничивать их естественную способность к остеointеграции. Модификация поверхности биомедицинских полиэфиров за счет создания требуемой шероховатости или изменения состава (добавление биоактивных покрытий) является одним из потенциальных решений для улучшения остеогенной активности этих материалов [2]. В настоящей работе мы проводили поверхностную обработку полиэфирэфиркетона (ПЭЭК) и полифениленсульфона (ПФСн), синтезированного в КБГУ [3,4] лазерными импульсами фемтосекундной длительности и оценивали изменения рельефа,

свойства смачиваемости и биосовместимость модифицированных поверхностей.

Полиэфирэфиркетон, термопластичный субстрат с частичной кристалличностью, демонстрирует превосходную биосовместимость, сопротивление усталости и модуль упругости, сравнимый с натуральной костью. Модуль упругости ПЭЭК, равный 3–4 ГПа, близок к модулю упругости кортикальной кости (18 ГПа), что делает его более предпочтительным по сравнению с гораздо более высокими модулями упругости титанового сплава (110 ГПа) и кобальт-хромового сплава (200 ГПа). Это свойство облегчает предотвращение эффектов защиты от стресса при ортопедических применениях. Тем не менее, необработанная поверхность ПЭЭК обладает высоким уровнем гидрофобности, что приводит к выраженной биоинертности и неадекватной костной проводимости, тем самым ограничивая его клиническое применение. Чтобы повысить за активность, модификации поверхности и сложной подготовки служат в качестве первичной стратегии. При модификации поверхности обеспечение стабильности изменённой поверхности является критически важным аспектом, требующим дальнейшего изучения [5].

Полифениленсульфон обладает потенциалом для использования в качестве материала для имплантов благодаря своим механическим свойствам, биосовместимости и химической стойкости. Исследования *in vitro* и *in vivo* демонстрируют хорошую биосовместимость ПФСн. Материал не вызывает значительной воспалительной реакции или токсических эффектов.

В стоматологии ПЭЭК в настоящее время используется для изготовления фиксаторов и съёмных зубных протезов, а также в качестве материала для временных абатментов имплантатов [6].

Существует много методов модификации поверхности потенциальных имплантов. Лазерная обработка позволяет создавать микро- и наноструктуры на поверхности, увеличивая площадь поверхности и улучшая адгезию клеток. При помощи плазменной обработки не только изменяется шероховатость поверхности, но и химический состав. Смачиваемость поверхности улучшается, как и адгезия клеток.

УФ-излучение может создавать свободные радикалы на поверхности полимера, что позволяет проводить дальнейшую химическую модификацию. Бомбардировка поверхности ионами различных элементов (например, кальций, фосфор) изменяет

химический состав и структуру поверхности, улучшая остеоинтеграцию.

Методы оценки биосовместимости имплантатов подразделяются на *in vitro* (вне организма) и *in vivo* (внутри организма). Зачастую оценка биосовместимости включает в себя оба метода в последовательном выполнении.

Метод *in vitro* (вне организма) позволяет оценить свойства материала, потенциально влияющие на биосовместимость, без использования живых организмов. Одним из важнейших тестов для оценки биосовместимости медицинских материалов является тест на цитотоксичность, впервые использованный Моссманном. С помощью этого метода можно оценить влияние материала на жизнеспособность клеток путем культивирования клеток (например, фибробластов, остеобластов) в присутствии экстракта образца или в прямом контакте с оцениваемым образцом. Он позволяет оценить жизнеспособность клеток путём восстановления 3-(4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5-дифенилтетразолия бромида (МТТ) до нерастворимого фиолетового формазана[7].

Для проведения исследования в КБГУ были изготовлены образцы ПЭЭК и ПФСн в форме дисков диаметром 15 мм и толщиной 1 мм. Поверхность образцов предварительно шлифовалась и полировалась на шлифовальной машине Trojan Alpha-100g.



Рис. 1. Шлифовальная машина Trojan Alpha-100g.

Многоимпульсная лазерная обработка образцов проводилась на воздухе на иттербииевом лазере Antaus с длиной волны ~ 1030 нм и

длительностью импульса ~ 320 фс. Для различных режимов варьировалась плотность энергии одиночного импульса и число импульсов.

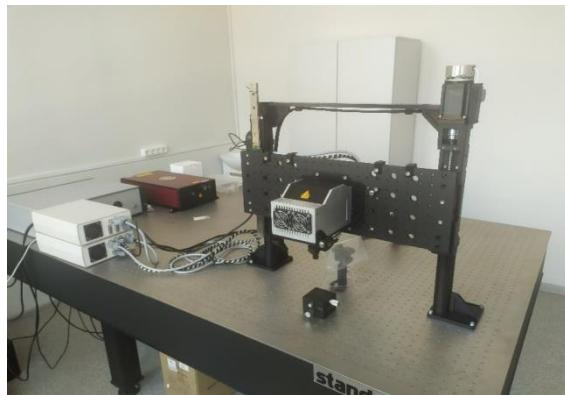


Рис. 2. Система лазерной абляции на базе фемтосекундного лазера Antaus.

Рельеф поверхности исследовался с помощью конфокального сканирующего лазерного микроскопа Optelics Hybrid (Lasertec).



Рис. 3. Конфокальный сканирующий лазерный микроскоп Optelics Hybrid Lasertec (Япония, 2021).

Принцип работы конфокального микроскопа основан на поточечном облучении лазерным излучением объекта и таким же

измерении результата взаимодействия лазерного излучения с облучаемой областью образца. Для получения информации обо всем образце лазерный луч перемещается по всему образцу. Сканирование может происходить путем перемещения образца относительно неподвижного лазерного луча либо перемещением лазерного луча по поверхности неподвижного образца. Перемещая образец относительно сфокусированного лазерного луча, получают изображение тонкого оптического слоя, расположенного в фокальной плоскости (XY-сканирование). Меняя положение фокальной плоскости относительно поверхности образца (Z-сканирование) и проводя XY-сканирование, получают изображение нескольких слоев (3D-изображение).

Контактный угол смачивания измерялся по методу сидячей капли на установке ОСА 20 (Dataphysics).



Рис. 4. Прибора ОСА 20 для измерения краевого угла смачивания.

Исследование биосовместимости клеток на тестовых образцах с различным рельефом проводилось на клетках MG63 (остеосаркомы человека) в среде DMEM (ПанЭко, Россия), содержащей 10% эмбриональную телячью сыворотку (BioWest, Франция), пенициллин (50 ед/мл) и стрептомицин (50 мг/мл), по общепринятой методике в атмосфере 5% CO₂ и температуре 37 °C.

Среда представляет собой растворённую в очищенной воде смесь неорганических солей, аминокислот, витаминов, глюкозы и

фенолового красного, простерилизованную методом мембранный фильтрации. В среду добавлен НЕРС в количестве 25 мМоль. Среда при этом имеет более высокую буферную ёмкость и должна поддерживать необходимый для культивирования клеток pH. Среда содержит бикарбонат натрия.

Оценка жизнеспособности клеток на изучаемых образцах исследовалась через 72 часа инкубации при помощи МТТ-теста. Сравнение проводилось с клетками, выращенными в стандартном планшете, используемом для культивирования адгезивных клеточных культур.

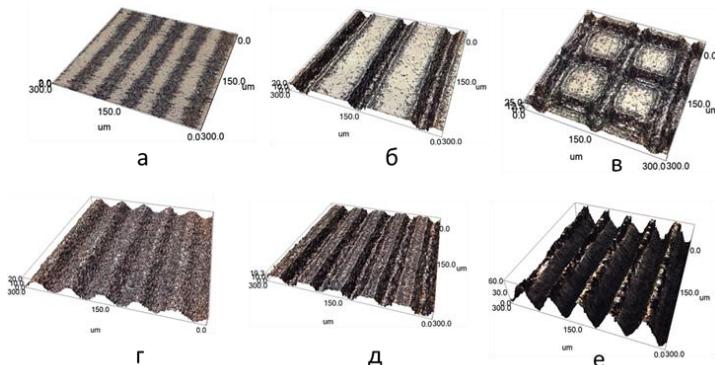


Рис.5. 3-Д визуализация различных типов рельефа на образцах ПФСн (а-г) и ПЭЭК (д, е) после фемтосекундной лазерной обработки

Исследования показали, что фемтосекундный лазер путем варьирования параметров позволяет контролируемым образом изменять шероховатость образцов биомедицинских полимеров, создавая различные типы поверхностного рельефа (рис. 5). Средняя шероховатость R_a модифицированных лазером поверхностей возрастает с увеличением флюенса лазерного излучения, и для режима с наибольшим энерговложением (рис. 5 е) R_a увеличивается более чем в 30 раз (15.6 мкм). Изменение шероховатости поверхности приводит к увеличению контактного угла смачивания поверхности водой. Так, для исходной поверхности контактный угол смачивания составлял $\sim 70^\circ$, а после поверхностной обработки в зависимости от используемого режима угол смачивания варьировался в диапазоне от 70 до 115° . Полученные данные свидетельствуют о том, что образцы из ПЭЭК и ПФСн не оказывают токсического влияния на клетки, являются

биосовместимыми, а показатели жизнеспособности клеток на образах с рельефом с $Ra \sim 5.5$ мкм наиболее близки к показателям, полученным при выращивании клеток в стандартных условиях. Ожидается, что биосовместимость модифицированных поверхностей может быть существенно улучшена за счет дополнительной гидрофилизации поверхности. Исследования в этом направлении будут продолжены.

Библиографический список

1. Porous polyether ether ketone: A candidate for hard tissue implant materials / Q.Y. Li, Y.X. Zhang, D. Wang [et al.]. DOI 10.1016/j.matdes.2016.12.012 // Mater. Des.2017. V.116. P. 171-175.
2. Influence of sulfur content on bone formation and antibacterial ability of sulfonated PEEK / L.P. Ouyang, Y.C. Zhao, G.D. Jin [et al.]. DOI 10.1016/j.biomaterials.2016.01.017// Biomaterials.2016. V. 83. P.115-126.
3. Хаширова, С. Ю. Синтез и свойства полиэфирэфиркетона для применения в аддитивных технологиях / С. Ю. Хаширова, А. А. Жанситов [и др.] // Известия Академии наук. Серия химическая. 2023. Т. 72. №2. С. 546-552.
4. Effect of Solvent and Monomer Ratio on the Properties of Polyphenylene Sulphone / Zhansitov A, Kurdanova Z, Shakhmurzova K, Slonov A, Borisov I, Khashirova S. // Polymers.2023. 15(10):2279.
5. Enhancing bioactivity and biocompatibility of polyetheretherketone (PEEK) for dental and maxillofacial implants: A novel sequential soaking process / Wenqing Meng, Yifei Nie, Jiajia Zhang, Ludan Qin, Xueye Liu, Tongtong Ma, Junling Wu. DOI 10.1016/j.heliyon.2024. e33381// Heliyon.2024. Vol. 10, № 13.
- 6 Influence of surface conditioning on bonding to polyetheretherketone (PEEK) / Matthias Kern, Frank Lehmann. DOI 10.1016/j.dental.2012.09.010// Dental Materials. 2012. Vol. 28, № 12. P. 1280-1283.
- 7 Influence of the Surface Roughness of PEEK GRF30 and Ti6Al4V SLM on the Viability of Primary Human Osteoblasts Determined by the MTT Test / Prochor P, Mierzejewska ŽA. DOI 10.3390/ma12244189 // Materials. 2019. №12, P. 4189.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. БИОТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ, ДОБАВОК, БЕЛКОВЫХ ПРЕПАРАТОВ И БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ.....	3
Анисимова А.П., Ренфельд Ж.В., Черных А.М., Коломыцева М.П.	
Влияние аминокислотного окружения координационной сферы железа на свойства катехол 1,2-диоксигеназы	3
Болхонов Б. А., Жамсаранова С. Д., Баженова Б.А., Лебедева С.Н.	
Сравнительный анализ физико-химических характеристик гидролизатов соевого и яичного белков	6
Быкова А.А., Ванюшенкова А.А., Кушнерев К.С., Решетова О.В., Белов А.А.	
Лиофилизаты хитозана и бромелайна.....	11
Ванюшенкова А.А., Белов А.А.	
Влияние степени окисления звеньев диальдегидпроизводных целлюлозных носителей на биологическую активность композиций....	19
Ванюшкина А.А., Землякова Е.С.	
Биологически активный комплекс из сине-зеленых водорослей <i>arthrospira platensis</i> и потенциал его использования в пищевой промышленности (обзор).....	26
Гарманова Е.С., Ерохин Л.М., Красноштанова А.А.	
Использование носителей на основе хитозана и каррагинана для улучшения операционных характеристик α -амилазы.....	31
Гузов М.Ю., Салманова Д.А.	
Обзор возможных функциональных добавок, используемых биотехнологий производства пива.....	37
Королева Е.Д., Кокоришили Р.А., Калёнов С.В.	
Использование гидролизатов злаков в глубинном культивировании базидиомицетов.....	43
Малыхина А. И., Клименко М. А., Василенко М. И.	
Использование ретиноидов и микробных лизатов для лечения проблемной кожи.....	49
Малыхина А. И., Василенко М. И.	
«Зелёные» консерванты в парфюмерно косметической промышленности.....	55
Наумкина К.К., Агафонова С.В.,	
Влияние фукоидана на сквашивание смеси для кисломолочного мороженого.....	60
Нежданова А.И., Василенко Т.А.,	
Биотехнологические методы синтеза 1-лизина (обзор).....	65

Некрасова Ю.О., Мезенова О.Я.	
Исследование витаминного состава сырья для производства протеинового продукта, предназначенного для спортивного питания....	69
Омельченко А.Е., Агафонова С.В.	
Перспективы использования муки из жмыха семян конопли посевной (<i>cannabis sativa</i>) в продуктах спортивного питания.....	74
Половнича Д.О., Часовских Б.А., Полухина В.А.	
Альтернативная биохимия на соседних элементах (обзор).....	80
Русанова Е. И.,	
Микопротеин: источники, влияние на организм и возможности применения в производстве пищевых продуктов.....	84
Ренфельд Ж.В., Черных А.М., Баскунов Б.П., Горина С.Ю., Коломыцева М.П.	
Новая перспективная рекомбинантная лакказа аскомицета, наиболее активная в нейтрально-щелочной среде.....	90
Сачавский А.А., Иванов А.С., Мельник М.Д., Калёнов С.В.	
Влияние неметанотрофных бактерий <i>cupriavidus necator</i> на накопление в биомассе полигидроксибутиратов в ходе культивирования метанотрофов ii-типа.....	93
Текучева Д.Н., Свило Д.А., Карпов М.В., Бяков А.А., Донова М.В.	
Применение модифицированных стеринов для получения прегненолона путем их биотрансформации.....	102
Фатеева Е.А., Лупандина Н.С.	
Экологический аудит в биотехнологии.....	108
Фомина Л. В., Золотарева А.М.	
Разработка технологии функциональной добавки на основе обленихового жома.....	115
Чернобровина А.Г., Куликова Н.Е., Роева Н.Н.	
Получение экстракта-полуфабриката из ягод клюквы и перспективы его применения в пищевых технологиях.....	119
Шалота Н.В.	
Актуальность производства ксантановой камеди для использования в составе пищевых продуктов.....	125
Юнович Д.Д., Василенко М.И.	
Оценка возможности использования бактерий <i>lactobacillus bulgaricus</i> в составе сырных заквасок.....	128
	134

Секция 2. БИОКОНВЕРСИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИИ.....	
Куликова Н.Е., Чернобровина А. Г., Максимова В.В., Волчецкая М.А. Влияние состава биосмеси на обменные процессы дрожжевых клеток при активации.....	134
Мезенова О.Я., Агафонова С.В., Романенко Н.Ю., Калинина Н.С., Волков В.В., Жила Н.О., Киселев Е.Г. Ферментативный способ извлечения жира из жироодержащих отходов шпротных производств для целей биотехнологии.....	144
Силкова Е.В., Василенко Т.А. Оценка эффективности очистки модельных эмульсий от нефтепродуктов каолином.....	150
Сухорукова М.В., Василенко Т.А. Оценка биоцидных свойств лаурилсульфата натрия.....	155
Таскин А.В., Волкова В.Н., Федотов Д.Р., Шелковников К. К. Биоконверсия сточных вод и осадков очистных сооружений.....	160
Секция 3. БИОТЕХНОЛОГИИ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	167
Базаева Д.С., Василенко М.И. Микробиологический контроль воздуха на предприятии ООО «титановые инвестиции».....	167
Богданов В.Н., Старостина И.В. Антибактериальное силикатное покрытие для металлических изделий	174
Вишневская И.С., Сакаян Д.И., Хохлачев Н.С. Селекция сообщества гранулированного аэробного ила с помощью воздействия контролируемого оксидативного стресса.....	181
Воробьева Ю.Р., Половнева Д.О., Бездетко Е.О., Клименко М.А. Пищевая микробиология: безопасность продуктов питания и риски контаминации (обзор)	186
Власова Н.С., Хагаев А.А., Сордонова Е.В., Ламажапова Г.П. Изучение фенолдеструктивных свойств микроорганизмов, выделенных из почв шлакоотстойника-накопителя в г. Улан-Удэ.....	190
Горина С.Ю., Черных А.М., Гайдина А.С., Ренфельд Ж.В., Коломыцева М.П. Новые подходы к исследованию перспективных целлобиозодегидрогеназ аскомицетов.....	196
Гладков Д.В., Василенко Т.А.	199

Особенности конструкции промышленных окатывателей.....	200
Евсеева М.А., Кузьмицкая А.А., Калёнов С.В.	
Исследование перспектив применения бактерии <i>brevibacillus formosus</i> в биотехнологии переработки фталатов.....	205
Жиленко В.Ю., Бадибанга Янник.	
Биологические аспекты очистки сточных вод с помощью активного ила	208
Клименко М.А., Кирюшина Е.С., Кирюшина Н.Ю.	
Использование водорослей в очистке сточных вод от нефтепродуктов	215
Клименко М.А., Силкова Е.В., Лупандина Н.С.	
Контроль за состоянием почв в рамках производственного	
экологического мониторинга.....	219
Красов М.С., Василенко Т.А.	
Конструкции грануляторов.....	225
Курзенёв И.Р., Василенко Т.А.	
Расчет неопределенности отбора на примере измерения pH солевой	
вытяжки.....	231
Лунёва А.А., Василенко М. И.	
Микоценоз поверхности некоторых контаминированных бытовых	
полимерных изделий.....	236
Мандрагеля Е.Д.	
Экология почв приобского бора села белоярки мошковского района	243
Мусихина Т.А.	
Воздействие промышленных отходов на биологические тест-	
объекты.....	247
Никипелая В.В., Василенко Т.А.	
Функционирование почв под влиянием различных биологических	
факторов.....	250
Силкова Е.В., Кирюшина Е.С., Кирюшина Н.Ю.	
Организация и функционирование	
виварис.....	255
Исхакова Р.Я., Черникова Д.И.	
Обезвреживание активного ила биологических очистных сооружений	
отходом энергетики.....	261
Панарина О.А., Томаровщенко А.А., Кирюшина Е.С., Половнева Д.О.	
К вопросу о биогазовых технологиях.....	264
Постникова С. М., Федорова М. А., Порожнюк Л. А.	
Изучение влияния гербицида «губит» на физико-химические	
характеристики почв.....	269
Федорова М. А., Постникова С. М., Порожнюк Л. А.	
	275

Оценка почв, загрязненных гербицидом, методом биотестирования с использованием тест культуры <i>moina macrocera</i>	280
Филиппова Е.С.	
Биоказализатор на основе инкапсулированных в гидрогель полиэтиленгликоля титана дрожжей <i>ogataea polymorpha</i> вкм у-2559 для утилизации метанола.....	280
Черныш И.В., Василенко Т.А.	
Тенденция увеличения содержания некоторых тяжелых металлов в реке северский донец белгородской области.....	284
Яремчак В.В., Лупандина Н.С., Старостина И.В.	
Изучение свойств осадков иловых площадок очистных сооружений города белгорода.....	290
Секция 4. НОРМИРОВАНИЕ, КОНТРОЛЬ И УПРАВЛЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ.....	
Бездетко Е.О., Клименко М.А., Василенко Т.А.	296
Сравнительный анализ ик-спектров гуматов калия в твердом агрегатном состоянии.....	296
Епринцев А.Т., Дедов Я.И., Самойлова Д.В., Селиванова Н.В.	
Изменение активности пируваткарбоксилазы из печени крыс с аллоксановым диабетом.....	302
Фролова Н.А., Верхотуров В.В., Веремей Е.Е., Гринчук М.А.	
Идентификация <i>aspergillus</i> в пшеничной муке методом полимеразной цепной реакции.....	310
Секция 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И БИОИНФОРМАТИКА.....	
Асташевский М.С.	314
Цифровизация леса в красноярском крае и применение технологии машинного зрения.....	314
Марченкова Е.Н., Жидков М.В., Тригуб М. М., Хаширова С.Ю., Курданова Ж. И., Хаширов А.А., Терентьев А. А., Голосов Е. В., Лупандина Н.С.	
Поверхностная модификация биомедицинских полиэфиров лазерными импульсами фемтосекундной длительности.....	319