

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет»

# **ХИМИЯ. ЭКОЛОГИЯ. УРБАНИСТИКА**

*Материалы  
международной научно-практической конференции*

г. Пермь, 26–28 марта 2025 г.

В четырех томах

Том 1

Пермь  
2025

УДК 504.06+711+54.057+504.054+504.064.2:54  
Х46

**Х46     Химия.** Экология. Урбанистика : матер. междунар. науч.-  
практ. конф., г. Пермь, 26–28 марта 2025 г. : в 4 т. / ФГАОУ  
ВО «Пермский национальный исследовательский политехни-  
ческий университет». – Пермь, 2025.

ISBN 978-5-398-03299-4

Т. 1. – 248 с. – 978-5-398-03304-5

Приведены результаты исследований в области экологии, химиче-  
ской технологии и биотехнологии, строительства дорог и транспортных со-  
оружений, машиностроения и материаловедения, направленных на разра-  
ботку энерго- и ресурсосберегающих технологий.

**Главный редактор**

*В.Н. Коротаев*, д-р техн. наук, профессор

**Ответственные редакторы**

*А.Е. Жуланова*, канд. техн. наук, доцент

*А.В. Портнова*, канд. хим. наук, доцент

*Д.В. Першин*, старший преподаватель

*Е.В. Баньковская*, канд. фарм. наук, доцент

*Н.И. Кузнецов*, канд. техн. наук, доцент

*С.И. Сташков*, канд. техн. наук, доцент

*Е.М. Федосеева*, канд. техн. наук, доцент

*Е.О. Гладких*, ассистент

**Редакционная коллегия**

*А.О. Добрынин*, канд. техн. наук, доцент

*Н.В. Лобов*, д-р техн. наук, профессор

*Е.Р. Мошев*, д-р техн. наук, доцент

*М.В. Песин*, д-р техн. наук, профессор

*В.З. Пойлов*, д-р техн. наук, профессор

*Л.В. Рудакова*, д-р техн. наук, профессор

*Н.Б. Ходяшев*, д-р техн. наук, профессор

*Ю.Д. Щицын*, д-р техн. наук, профессор

УДК 504.06+711+54.057+504.054+504.064.2:54

ISBN 978-5-398-03304-5 (Т. 1)

ISBN 978-5-398-03299-4 (общ.)

© ПНИПУ, 2025

## СОДЕРЖАНИЕ

### Секция 1. Энерго- и ресурсосбережение, природосберегающие и климатически нейтральные технологии

*В.А. Швалева, А.М. Ардуанова, И.С. Глушанкова*

Получение углеродных сорбентов из отходов кофейной гущи .....9

*А.Ю. Якунина*

Развитие экологического волонтерства в России.....14

*Ф.Х. Хакимова, А.Г. Прохоров, А.В. Липунцов*

Переработка композиционного целлюлозосодержащего  
материала – кашированной фольги .....19

*О.О. Ширяева, Е.С. Белик, Д.С. Фомин*

Получение биоугля из древесных остатков, поврежденных  
карантинным объектом – уссурийским полиграфом .....24

*П.А. Мугатарова, Е.С. Белик*

Проблемы очистки воды на биофильтрах.....29

*А.В. Ушакова, И.Н. Ташикина*

Значимость материального баланса при оценке углеродного  
следа при производстве стали мартеновским способом.....34

*А.А. Юсупов*

Современные подходы к очистке сточных вод  
в малых населенных пунктах .....39

*Д.Д. Мерзлякова*

Выбросы парниковых газов  
от городских очистных сооружений.....44

*Б.И. Вейбер*

Осадки сточных вод.  
Состав и воздействие на окружающую среду .....49

|                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Я.И. Вебер, Ю.С. Лазуткина</i><br>Современные методы переработки твердых коммунальных<br>отходов, образующихся на территории Алтайского края .....               | 54 |
| <i>П.С. Бажина, А.М. Ардуанова, И.С. Глушанкова</i><br>Использование углеродных сорбентов<br>из растительного сырья для очистки воды в полевых<br>условиях .....    | 58 |
| <i>А.А. Талейко, С.В. Леонтьев</i><br>Применение терриконигов Кизеловского угольного бассейна<br>в качестве сырья для производства строительных материалов ...      | 62 |
| <i>Д.Р. Юдина, Н.А. Сыпачева, М.П. Шабалина, Э.Х. Сакаева</i><br>Влияние нефтяных углеводородов<br>на ферментативную активность почв .....                          | 67 |
| <i>М.А. Ведерникова</i><br>Особенности при разработке проекта нормативов<br>допустимых выбросов.....                                                                | 72 |
| <i>А.Д. Плохая, Е.В. Калинина</i><br>Оценка эффективности применения тканых материалов<br>для изоляции источника запаха на сооружениях<br>очистки сточных вод ..... | 75 |
| <i>К.А. Аристов, Н.Н. Слюсарь</i><br>Применение нейросетей для идентификации полимерных<br>бутылок при сортировке утильных фракций ТКО .....                        | 80 |
| <i>М.П. Красновских, И.Г. Мокрушин, А.А. Кетов</i><br>Медленный пиролиз отходов полиолефинов:<br>пути применения продуктов.....                                     | 85 |
| <i>Ю.А. Федосеева, И.Н. Ташинова</i><br>Проявление климаточувствительных заболеваний<br>на территории Пермского края .....                                          | 90 |
| <i>А.С. Перевощикова, К.П. Роголёва, Э.Х. Сакаева</i><br>Изменение микробиологической активности<br>в нефтезагрязненных почвах .....                                | 95 |

|                                                                                                                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Д.П. Скорикова, О.М. Горелова</i>                                                                                                                                                             |     |
| Исследования по использованию флокулянтов природного происхождения для восстановления пресноводного озера .....                                                                                  | 99  |
| <i>Е.А. Кокшарова, С.В. Новиков</i>                                                                                                                                                              |     |
| Анализ использования дождевых стоков с кровель высотных домов на технологические нужды в городе Перми.....                                                                                       | 104 |
| <i>А.А. Перевоицкова, Л.В. Рудакова</i>                                                                                                                                                          |     |
| Экологическая оценка бурового шлама как минеральной почвообразующей породы.....                                                                                                                  | 108 |
| <i>И.О. Красильников, В.А. Сомин</i>                                                                                                                                                             |     |
| Модификация мембран для удаления фенола из воды .....                                                                                                                                            | 113 |
| <i>Д.С. Бизяева, А.А. Сурков</i>                                                                                                                                                                 |     |
| Обезвреживание буровых шламов методом фиторемедиации ..                                                                                                                                          | 118 |
| <i>Н.А. Воронин, В.А. Сомин</i>                                                                                                                                                                  |     |
| Изучение сорбционных свойств панциря моллюска <i>Lissachatina Fulica</i> по отношению к ионам кобальта.....                                                                                      | 123 |
| <i>Д.А. Воронин, В.А. Сомин</i>                                                                                                                                                                  |     |
| Изучение кинетики сорбции ионов никеля скорлупой маньчжурского ореха .....                                                                                                                       | 127 |
| <i>А.М. Козлова, В.А. Сомин</i>                                                                                                                                                                  |     |
| Изучение возможности восстановления нефтезагрязненных почв с помощью вермитехнологии.....                                                                                                        | 131 |
| <i>А.О. Сергеева, Н.Н. Слюсарь</i>                                                                                                                                                               |     |
| Микропластик: влияние текстильной промышленности на водные объекты .....                                                                                                                         | 135 |
| <i>О.О. Марченко, Б.Д. Белан</i>                                                                                                                                                                 |     |
| Оценка пространственно-временной изменчивости концентраций SO <sub>2</sub> в приземном слое атмосферы на основе многолетних наблюдений на постах мониторинга города Томска (2013–2017 гг.) ..... | 139 |

|                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>С.Ф. Валеев, А.Ф. Ахметов, Ю.Е. Носова</i><br>Процессы термической деструкции<br>для переработки полимерных отходов..... | 144 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>М.А. Ширяева, М.В. Пушкарева</i><br>Оценка защищенности подземных вод проектируемого карьера<br>Липецкого района с применением ГИС-технологий ..... | 148 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

## **Секция 2. Биотехнология: достижения и перспективы**

|                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>С.С. Альхаджи, А. Ю. Максимов</i><br>Адсорбционная способность оксида графена по отношению<br>к белкам и оценка биотехнологического<br>потенциала полученных комплексов..... | 151 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>М.Н. Балахнина, Ю.Н. Дмитриева, Я.А. Климова, Л.Д. Аснин</i><br>Применение метода хиральной хроматографии для аналитического<br>контроля аминокислот в биотехнологическом производстве .... | 156 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>С.А. Балтаева</i><br>Значение растения Эйхорния<br>в очистке сточных вод Туркменистана ..... | 160 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>В.А. Болотова, Ю.Г. Максимова</i><br>Трансформация органического вещества побочного продукта<br>животноводства смешанными культурами<br>гидролитических бактерий ..... | 163 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Д.К. Варданян, А.А. Ботева</i><br>Оценка противомикробных свойств производных<br>ацилпировиноградных кислот и 2,3-диацил-4-хинолонов<br>на микроорганизмах различных таксономических групп ..... | 168 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>А.А. Гребенщикова, Т.С. Соколова</i><br>Ингибирование коррозии стали<br>под воздействием железобактерий ..... | 172 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>М.В. Грязнова, Я.А. Климова, Л.Д. Аснин</i><br>Устойчивость дабсилерованных аминокислот и влияние условий<br>дериватизации на форму хроматографического пика..... | 177 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>А.И. Гуляев, Е.А. Фарберова, Е.А. Тиньгаева</i><br>Исследование по разработке бактерицидного композитного<br>материала для применения в воздушных фильтрах .....                                               | 182 |
| <i>Ю.Н. Дмитриева, М.Н. Балахнина, Я.А. Климова,<br/>А.В. Кудинов, В.В. Литвинов</i><br>Определение аминокислот в биологических образцах методом<br>дериватизационной хроматографии .....                         | 187 |
| <i>А.В. Кулаков, П.А. Мокин, М.Д. Хохрякова, Н.А. Зыков</i><br>Биотехнологические аспекты разработки<br>препаратов-синбиотиков.....                                                                               | 191 |
| <i>А.А. Каменских, О.И. Бахирева</i><br>Изучение возможности применения культуры микроорганизмов<br>для очистки воды от ионов железа .....                                                                        | 194 |
| <i>А.С. Кожеевникова, А.С. Зорина</i><br>Оптимизация углеродного субстрата с целью получения<br>микробного белка из дрожжей штаммов<br><i>Schizosaccharomyces Pombe</i> Y-3303 и <i>Candida Maltosa</i> Y-194 ... | 198 |
| <i>И.С. Конин, Н.В. Галайко, В.В. Гришко</i><br>Способ повышения растворимости тритерпенового<br>производного олеананового типа.....                                                                              | 203 |
| <i>О.А. Кривощёкова, А.В. Портнова</i><br>Получение биоорганического кобальтсодержащего удобрения<br>на основе гуминовых кислот и <i>Bacillus Subtilis</i> .....                                                  | 208 |
| <i>В.Ю. Ладейщиков, Л.С. Пан</i><br>Применение биомассы морских водорослей<br>для получения сорбентов на цезий .....                                                                                              | 212 |
| <i>А. Мохаммад, Н.Б. Ходяшев, Е.Н. Анашкина</i><br>Получение бактериальной целлюлозы и композита на ее основе,<br>обладающего антибактериальными свойствами.....                                                  | 216 |
| <i>М.В. Першина, Ю.П. Снигирева</i><br>Использование бензола и гексанола в качестве модельных<br>поллютантов при адсорбции на грунте .....                                                                        | 220 |

|                                                                                                                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>В.И. Сагидуллина, В.А. Абрамова, А.В. Ахова, А.Г. Ткаченко</i><br>Применение планктонных и иммобилизованных бактерий<br>в качестве биокатализаторов конверсии лизина в кадаверин .... | 224 |
| <i>А.С. Симонова, А.В. Портнова</i><br>Получение пробиотического продукта на основе растительного<br>сырья.....                                                                          | 228 |
| <i>А.А. Соснина, Е.А. Слюсарева, О.И. Ручкина</i><br>Компостирование осадков городских сточных вод .....                                                                                 | 232 |
| <i>Э.Р. Фахрутдинова, О.И. Бахирева</i><br>Изучение методов очистки сточных вод от ионов тяжелых<br>металлов – никеля и кобальта .....                                                   | 236 |
| <i>О.В. Шергина</i><br>Изучение частиц аэротехногенного аэрозоля с помощью<br>древесных растений .....                                                                                   | 240 |
| <i>Е.Г. Шилова, П.А. Мокин, В.А. Несчислаев</i><br>Разработка биотехнологического препарата с антибактериальной<br>активностью .....                                                     | 245 |

# Секция 1. ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ. ПРИРОДОСБЕГАЮЩИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИ НЕЙТРАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

---

УДК 544.723

**В.А. Швалева, А.М. Ардуанова, И.С. Глушанкова**

## **ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ИЗ ОТХОДОВ КОФЕЙНОЙ ГУЩИ**

Представлен способ получения углеродных сорбентов из отходов кофейной гущи термохимическим пиролизом. Доказано, что при массовом отношении отход : активатор = 1:10 получен углеродный сорбент по свойствам, сравнимым с известными марками АУ.

**Ключевые слова:** углеродные сорбенты, органические отходы, кофейная гуща.

**V.A. Shvaleva, A.M. Arduanova, I.S. Glushankova**

## **PRODUCTION OF CARBON SORBENTS FROM THE WASTE OF COFFEEGROUNDS**

A method for obtaining carbon sorbents from coffee grounds waste by thermochemical pyrolysis is presented. It is proved that with a mass ratio of waste : activator = 1:10, a carbon sorbent was obtained with properties comparable to well-known brands of AU.

**Keywords:** carbonsorbents, organic waste, coffeegrounds.

В настоящее время в России и в мире идет процесс трансформации системы управления отходами, целью которого является внедрение современных методов их утилизации, предполагающих максимальное использование материального и энергетического потенциала отходов, минимизацию объема отходов, подвергаемых захоронению, повышению углеродной эффективности технологий,

что требует принятия научно обоснованных решений по выбору способов и технологий их переработки.

Ежегодно в мире образуется приблизительно 20 млн т неиспользованной кофейной гущи, согласно данным, полученным в результате оценки экологического ущерба, наносимого кофейной индустрией в Германии. Учитывая большее население России и растущую популярность кофе в крупных городах страны, можно ожидать, что объемы образования такого пищевого отхода будут сопоставимы, что подчеркивает доступность сырья и важность работы над инновационными решениями в сфере переработки кофейной гущи.

Отходы кофейной гущи обладают рядом положительных свойств. В табл. 1 представлен химический состав сухой кофейной гущи. Химический состав кофейной гущи сходен с минеральными азотными удобрениями, что способствует формированию корней, стебля, листы и ускоряет рост растений [1].

Таблица 1

Химический состав

| Наименование компонента | Масса, г/кг |
|-------------------------|-------------|
| Лигнин                  | 200–210     |
| Белки                   | 190–200     |
| Углеводороды            | 50–60       |
| Калий                   | 11–12       |
| Азот                    | 27–29       |
| Магний                  | 2–3         |
| Фосфор                  | 1–2         |

Несмотря на возможность использования кофейной гущи в качестве органоминерального удобрения и в других областях, в целом вторичное использование отхода составляет не более 10–15 %, что объясняет необходимость решения проблемы его утилизации с получением дополнительной коммерческой выгоды посредством привлечения тех или иных инновационных подходов. Одним из направ-

лений утилизации углеродсодержащих растительных отходов является получение на их основе сорбентов, предназначенных для решения экологических проблем [2, 3].

Анализ научно-технической информации показал, что в промышленном масштабе углеродные высокопористые сорбенты получают из растительного сырья по двухстадийной технологии. Первая стадия включает в себя карбонизацию сырья и проводится при температуре 500–600 °С, вторая стадия – активация карбонизатов водяным паром или химическими реагентами при температуре 800–900 °С [3].

Доказано, что отходы кофейной гущи обладают высокой сорбционной способностью и обеспечивают высокую эффективность очистки от железа, меди и нефтепродуктов [4]. Однако в данном исследовании использовали отходы кофейной гущи, которые не подвергались предварительной обработке. Ними проведены исследования по получению углеродных сорбентов термохимическим пиролизом в присутствии реагента-активатора в различных соотношениях.

Получение углеродных сорбентов из растительных отходов является актуальной задачей, так как комплексно решаются проблемы снижения антропогенной нагрузки на природные экосистемы.

Проведенные исследования показали возможность переработки кофейной гущи с получением сорбционных материалов методами пиролиза и термохимического пиролиза сырья. Термохимический пиролиз проводили в присутствии реагента-активатора КОН. Для этого отходы предварительно смешивали с реагентом и подвергали пиролизу при температуре 800 °С. Исследовалось влияние дозы реагента на формирование пористой структуры и адсорбционных свойств полученных образцов.

Сравнивали физико-химические свойства полученных сорбентов со свойствами промышленных АУ марок БАУ и КАУ, полученных методом карбонизации и парогазовой активации растительного сырья, по показателям сорбционной емкости по йоду и красителю метиленовому голубому.

В табл. 2 представлены результаты эксперимента и анализ сорбционной емкости по метиленовому голубому и йоду.

Таблица 2

## Сорбционная емкость образцов

| Образец | Массовое соотношение отход : КОН | Сорбционная емкость по йоду (мг/г) | Сорбционная емкость по мет. голубому (мг/г) |
|---------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|
| УСк-1   | 0                                | 445,5                              | 70                                          |
| УСк-2   | 10:1                             | 1143                               | 127,48                                      |
| УСк-3   | 20:1                             | 889                                | 78,5                                        |
| УСк-4   | 5:1                              | 762                                | 74                                          |
| БАУ     | 0                                | 800                                | 80–100                                      |
| КАУ     | 0                                | 1100                               | 100–120                                     |

Анализ полученных результатов показал, что на формирование пористой структуры и, соответственно, сорбционных свойств оказывает влияние доза активатора. При массовом отношении отход : активатор = 10:1 получен углеродный сорбент по свойствам, сравнимым с известными марками АУ, широко применяемыми в водоподготовке и очистке воды.

## Список литературы

1. Кутузов А.А., Ткаченко Е.С. Использование кофейной гущи пищевых сортов как источник инновационных продуктов в сфере утилизации органических отходов // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15, № 3.

2. Ардуанова А.М., Глушанкова И.С. Разработка способа получения углеродных сорбентов термохимическим пиролизом жидких отходов производства целлюлозы // Водоснабжение и санитарная техника. – 2024. – № 8. – С. 13–20.

3. Получение углеродных сорбентов химической модификацией ископаемых углей и растительной биомассы / Н.В. Чесноков, Н.М. Миков, И.П. Иванов, Б.Н. Кузнецов // Journal of Siberian Federal University. Chemistry. – 2014. – № 7. – С. 42–53.

4. Клемешов Д.В., Новиков М.С. Использование отработанных кофейных отходов в качестве сорбционного материала для очистки промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов и нефтепродуктов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. – 2017. – Т. 1. – С. 395–401.

### **Об авторах**

**Швалева Валерия Андреевна** – магистрант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: valeria20012009@gmail.com

**Ардуанова Анна Михайловна** – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: anna95mix@yandex.ru

**Глушанкова Ирина Самуиловна** – д-р техн. наук, профессор кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: irina\_chem@mail.ru

А.Ю. Якунина

## РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЛОНТЕРСТВА В РОССИИ

Статья посвящена исследованию экологического волонтерства в России, его значимости и влиянию на охрану окружающей среды. Рассматриваются основные направления волонтерских инициатив и примеры успешных проектов.

**Ключевые слова:** волонтер, виды экологического волонтерства, экологические организации.

A.Yu. Yakunina

## DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTAL VOLUNTEERING IN RUSSIA

The article is devoted to the study of environmental volunteering in Russia, its significance and impact on environmental protection. The main directions of volunteer initiatives and examples of successful projects are considered.

**Keywords:** volunteer, types of environmental volunteering, environmental organizations.

Волонтерская деятельность (волонтерство) объединяет людей вокруг идей взаимопомощи, социальной ответственности и гражданского участия, играя важную роль в общественной жизни страны. Волонтеры участвуют в широком спектре направлений деятельности – от помощи социально уязвимым группам населения до охраны окружающей среды и культурного наследия.

В нашей стране 2024 г. был объявлен годом волонтерства, целью которого являлось стимулирование добровольчества, укрепление социальной ответственности среди молодежи, а также расширение возможностей для участия в волонтерских программах. По итогам года в РФ зарегистрировалось 11,5 млн добровольцев, согласно данным платформы «Добро.рф». Данные платформы «Добро.рф» свидетельствуют о высоком интересе граждан к добровольческой деятельности, особенно среди детей и молодежи, которые составляют значительную часть волонтеров (рисунок). Кроме того, направ-

ление «экология» занимает шестое место по популярности среди волонтерских инициатив. Вопрос о развитии волонтерства в молодежной политике высших учебных заведений является важным аспектом социального воспитания студентов и формирования активной гражданской позиции. В стратегии развития воспитания в РФ до 2030 г. особое внимание уделяется развитию молодежного движения, включая волонтерство, как важный элемент воспитания социально-активных граждан<sup>1</sup>.



■ Количество волонтеров, тыс. чел.

Рис. Численность волонтеров по направлениям на платформе «Добро.рф»<sup>2</sup>

Одним из видов эковолонтерства является просвещение по вопросам защиты природы через экскурсии. Волонтеры выступают экскурсоводами в природоохранных зонах, проводя экскурсии по паркам, тропам, музеям после специальной подготовки. По данным, на начало летнего туристического сезона 2024 г. число бронирований путевок в природные и заповедные зоны внутри России выросло примерно на 20 % в сравнении с прошлым летом [1]. Экологический

<sup>1</sup> Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 августа 2024 г. № 2233-р Об утверждении Стратегии реализации молодежной политики в Российской Федерации на период до 2030 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/409496275/>

<sup>2</sup> Платформа «Добро.рф» [Электронный ресурс]. – URL: <https://dobro.ru/?code>

туризм приобретает все большую популярность среди людей, особенно среди тех, кто интересуется устойчивым развитием и заботится о природе. Другим популярным видом эковолонтерства является участие добровольцев в городских мероприятиях (масштабными проектами и мероприятиями, которые объединили миллионы добровольцев по всей стране, являются «Собиратор», «Делай!», «Раздельный сбор», «Добрые крышечки», «Зеленая Россия», занимающиеся экопросвещением, раздельным сбором отходов и др.). Еще одним видом эковолонтерства является зооволонтерство, где волонтеры помогают диким и домашним животным в приютах и реабилитационных центрах (выгул, кормление, уход, SMM, подготовка к выпуску). Например, при катастрофе в г. Анапе усилиями волонтеров были найдены и очищены от мазута 5965 птиц. Важным видом эковолонтерства является реализация проектов по лесовосстановлению, где волонтеры принимают участие в посадке деревьев в весенний и осенний периоды. Так, например, при подведении итогов акций «Сад памяти» и «Сохраним лес» в 2022 г. Федеральное агентство лесного хозяйства отметили, что волонтерами было высажено более 33 млн и 70 млн деревьев соответственно.

Эковолонтерство в России имеет ряд положительных эффектов и результатов, которые способствуют улучшению состояния окружающей среды и повышению экологической осознанности среди населения. Помимо непосредственного воздействия, волонтерство способствует осознанному просвещению и информированию, повышая гражданскую активность, доверие к людям, укрепляя социальные связи и формируя позитивное отношение к обществу, что, в свою очередь, способствует развитию социальной ответственности [2]. Совместные усилия волонтеров и администраций городов приводят к созданию новых зон отдыха и прогулочных маршрутов, что делает города более зелеными и комфортными для жителей. Эковолонтерство, несмотря на свою значимость и позитивное влияние на окружающую среду, сталкивается с рядом сложностей и проблем, такими как отсутствие достаточного финансирования и ресурсов, отсутствие правовой базы или недостаточное регулирование в сфере эковолонтерства, многие проекты носят разовый характер и

не предусматривают постоянного мониторинга и поддержания достигнутых результатов. Например, после посадки деревьев важно следить за их состоянием и обеспечивать уход, что требует постоянных усилий. Непрозрачность законодательства иногда создает неопределенность относительно прав и обязанностей волонтеров [3].

Для успешного преодоления трудностей, связанных с экологическим волонтерством, необходимы комплексные меры, направленные на устранение препятствий и создание благоприятных условий для развития этого важного вида деятельности. Недостаточная поддержка со стороны государства и бизнеса может решиться благодаря предоставлению финансовой поддержки экологическим инициативам через государственные программы и конкурсы либо сотрудничеству с крупными компаниями, заинтересованными в корпоративной социальной ответственности (КСО). Например, предприятие ПАО «Газпром» поддерживали экологические инициативы населения и в рамках программы по восстановлению лесов высадило в сибирских регионах свыше двух миллионов саженцев сосны и ели<sup>3</sup>. В настоящее время в Российской Федерации происходит формирование нормативно-правовой базы, регулирующей деятельность волонтерских организаций. Это поможет решить проблему с отсутствием правовой базы или недостаточное регулирование в сфере экологического волонтерства. Отсутствие долгосрочной перспективы можно решить благодаря следующим действиям: создание долгосрочных планов и программ, направленных на поддержание достигнутых результатов, организация регулярной проверки и ухода за уже реализованными проектами, такими как лесопосадки, вовлечение местных жителей в дальнейшую работу над проектом, что обеспечит его продолжение и развитие. Примером является создание лесных питомников для выращивания саженцев и дальнейшего ухода за ними.

Экологическое волонтерство в России сегодня является не только необходимостью, но и возможностью для каждого гражданина внести свой вклад в сохранение природы и улучшение качества

---

<sup>3</sup> Отчет об устойчивом развитии ПАО «Газпром». – 2023.

жизни будущих поколений. Оно объединяет людей вокруг, способствует развитию гражданских инициатив и формирует ответственное отношение к планете.

### **Список литературы**

1. Интерес россиян к экотурам вырос на 20 % [Электронный ресурс]. – URL: <https://iz.ru/1710833/2024-06-11/interes-rossiiian-k-ekoturam-vyros-na-20> (дата обращения: 07.06.2024).
2. Певная М.В. Управление волонтерством: международный опыт и локальные практики. – Екатеринбург: Урал, 2016. – С. 434.
3. Проблемы развития современного экологического молодежного волонтерского движения [Электронный ресурс]. – URL: <https://tass.ru/obschestvo/20633565> (дата обращения: 01.06.2024).

### **Об авторе**

**Якунина Анастасия Юрьевна** – магистрант кафедры охраны окружающей среды, администратор центра реализации молодежной политики управления молодежной политики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [yakunina.anastasia2016@yandex.ru](mailto:yakunina.anastasia2016@yandex.ru)

**Ф.Х. Хакимова, А.Г. Прохоров, А.В. Липунцов**

**ПЕРЕРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО  
ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО  
МАТЕРИАЛА – КАШИРОВАННОЙ ФОЛЬГИ**

Показана возможность и целесообразность переработки отходов производства кашированной фольги с разделением на волокнистую и алюминиевую фракции с использованием для роспуска и сортирования аэродинамического диспергатора – нового multifunctional аппарата. Такая технология сокращает количество оборудования, расход воды и электроэнергии, упрощает технологическую схему. Из волокнистой фракции получена бумага, по показателям качества соответствующая требованиям к офисной бумаге.

**Ключевые слова:** кашированная фольга, переработка, роспуск, сортирование, волокнистая и алюминиевая фракции, аэродинамический диспергатор, бумага.

**F.H. Khakimova, A.G. Prokhorov, A.V. Lipuntsov**

**PROCESSING OF COMPOSITE CELLULOSE-CONTAINING  
MATERIAL – LAMINATED FOIL**

The possibility and expediency of processing waste from the production of laminated foil with separation into fibrous and aluminum fractions using an aerodynamic dispersant, a new multifunctional device, for dissolution and sorting is shown. This technology reduces the number of equipment, water and electricity consumption, and simplifies the flow chart. Paper was obtained from the fibrous fraction, which meets the requirements for office paper in terms of quality.

**Keywords:** laminated foil, recycling, dissolution, sorting, fibrous and aluminum fractions, aerodynamic dispersant, paper.

В последние годы появились различные комбинированные упаковочные материалы, превосходящие своих предшественников (бумагу и пергамент) по прочностным и другим характеристикам. Особого внимания из них заслуживает кашированная фольга (КФ) – многослой-

ный упаковочный материал, состоящий из алюминиевой фольги, специальной бумаги и полиэтиленовой пленки. Это уникальный материал, сочетающий в себе свойства металла и бумаги [1].

Основные свойства КФ: прочность и жесткость, гибкость, пластичность, теплоотражающая способность, барьерные свойства. Благодаря этому в последние годы КФ стала одним из самых популярных материалов для упаковки товаров. Основных компонентов КФ два – волокнистая фракция и алюминиевая фольга. Поэтому целесообразно разделить КФ на эти фракции и использовать их соответственно в целлюлозно-бумажной и алюминиевой отраслях промышленности.

Способы переработки КФ – мокрый и сухой. Более распространен мокрый способ несмотря на то, что он многоступенчатый, экономически и экологически нецелесообразный. В литературе есть статьи по переработке КФ. Все они направлены на извлечение алюминиевой фольги, а волокнистая часть сжигается или уничтожается другим способом [2].

Для решения проблемы перехода на сухой способ переработки КФ предлагается использование нового уникального многофункционального аппарата – аэродинамического диспергатора Хакимова [3]. Начало реализации предлагаемого способа в промышленных условиях положено на предприятии ООО «ПроГРУПП». Аппарат выполняет одновременно две функции – роспуск и сортирование с разделением на фракции – волокнистую и алюминиевую. Функция разделения КФ на фракции осуществляется настолько эффективно, что один из продуктов – алюминиевая фракция (крупка) уже используется в порошковой металлургии. Такая технология сокращает количество оборудования, расход воды и электроэнергии, упрощает технологическую схему.

Ранее авторы использовали этот аппарат в переработке сухим способом различных видов макулатуры из бумаги и картона с возвратом получаемой макулатурной массы на повторное использование. Получены положительные и весьма эффективные результаты [3]. В переработке КФ пока не решена проблема повторного исполь-

зования волокнистой части с получением полуфабриката для производства бумаги и картона. Исследования по решению этого вопроса проведены нами с использованием в качестве исходного материала отходов производства упаковки из КФ, которая с помощью аэродинамического диспергатора разделена в сухом состоянии на два компонента – волокнистый (потенциальное вторичное целлюлозное волокно) с содержанием фольги  $7 \div 8$  % и алюминиевый (алюминиевая крупка) с 8 % волокнистой части. Результаты определения доли бумаги и фольги в исходном образце КФ: соотношение количеств волокнистой фракции к алюминиевой фольге по данным предприятия-пользователя 60:40 % и полученные в лабораторных условиях  $58 \div 63$  к  $36 \div 38$ .

Задачи исследований – возможно более полное освобождение волокнистой фракции КФ от примесей алюминиевой фракции и попытка получения из этой фракции образца бумаги.

Характеристика волокнистой фракции КФ после роспуска в диспергаторе: сопротивление разрыву при растяжении 3995 Н/м, разрывная длина 5430 м, длина волокна (средневзвешенная) 0,851 мм, толщина волокна (средняя) 23,8 мкм, массовая доля золы 6,54 %. Для сравнения, средняя длина волокон: березовой нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы – 0,8 мм; сульфатной лиственной целлюлозы Братского ЛПК – 0,9 мм.

Из приведенных данных следует, что длина волокон в процессе размола, вероятно, не подверглась существенному укорочению. По важному для волокнистых полуфабрикатов показателю – длине волокон – полученный из волокнистой фракции КФ образец близок к березовой нейтрально-сульфитной полуцеллюлозе и сульфатной лиственной целлюлозе.

С целью выяснения возможности и целесообразности удаления из волокнистой фракции примесей алюминиевой фольги использовали различные методы обработки – в водной, кислотной и щелочной средах. Задача различных обработок состояла в удалении из волокнистой части алюминиевой фракции с целью снижения зольности. Полученные положительные результаты приведены в таблице.

Характеристика образцов бумаги,  
полученных из кашированной фольги

| Показатели                               | Кашированная фольга (обр. 1) | Бумага-основа в составе КФ (обр. 2) | Волокнистая фракция после диспергатора |                           |
|------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
|                                          |                              |                                     | промывная водой (обр. 3)               | обработанная HCl (обр. 4) |
| Массовая доля золы, %                    | –                            | 1,52÷2,15                           | 3,12÷3,71                              | 0,93÷1,15                 |
| Степень помола, °ШР                      | –                            | 28                                  | 27                                     | 30                        |
| Механические показатели:                 |                              |                                     |                                        |                           |
| – разрывная длина, км                    | 5,36÷5,47                    | 5,10                                | 5,43                                   | 5,07                      |
| – удлинение при разрыве, мм              | 1,76÷2,04                    | 1,51                                | 1,54                                   | 1,88                      |
| – модуль эластичности, Н/мм <sup>2</sup> | 14 008                       | 13 899                              | 9802                                   | 5171                      |
| – сопротивление излому, ч.д.п.           | 39                           | 58                                  | 61                                     | 30                        |

Образец «бумаги» (КФ) имеет довольно высокие показатели разрывной длины и модуля эластичности, что важно для сохранения формы упаковки.

В процессе роспуска в диспергаторе и обработки соляной кислотой показатели механической прочности изменились незначительно. Зольность бумаги из массы после диспергатора повышенная (6–7 %), что связано с высокой долей фольги. Исследования по удалению фольги позволили снизить зольность бумаги из КФ до ~1,0 % (образец 4). Получение бумаги с такой зольностью из волокнистой фракции исходного образца КФ трудностей не вызывало.

Таким образом, из волокнистой фракции КФ получена бумага, по показателям качества близкая к бумаге для офисной техники. Впервые исследована возможность и целесообразность переработки сухим способом отходов производства кашированной фольги. Предлагаемая технология существенно упрощает технологическую схему процесса и сокращает количество используемого оборудования.

## Список литературы

1. Чистова Н.Г., Матыгулина В.Н. Теоретические аспекты процесса роспуска древесноволокнистых отходов в аэродинамических средах // Химия растительного сырья. – 2020. – № 4. – С. 475–484.

2. Зиновьев Л.В. Вполне перерабатываемый TetraPak // Твердые бытовые отходы. – 2019. – № 5. – С. 42–47.

3. Хакимова Ф.Х., Прохоров А.Г., Хакимов Р.Р. Совершенствование технологии рекуперации газетной макулатуры с использованием современного оборудования // Актуальные проблемы науки и техники: сб. науч. ст. по материалам XII Междунар. науч.-практ. конф. (6 июня 2023 г., г. Уфа): В 3 ч. – Уфа: Изд-во НИЦ «Вестник науки», 2023. – Ч. 2. – С. 55–64.

## Об авторах

**Хакимова Фирдавес Харисовна** – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии полимерных материалов и порохов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: tcbp@pstu.ru

**Прохоров Андрюс Гедрюсович** – аспирант кафедры технологии полимерных материалов и порохов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: andrus89@mail.ru

**Липунцов Андрей Владимирович** – магистрант кафедры технологии полимерных материалов и порохов, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: tcbp@pstu.ru

**О.О. Ширяева, Е.С. Белик, Д.С. Фомин**

**ПОЛУЧЕНИЕ БИОУГЛЯ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОСТАТКОВ,  
ПОВРЕЖДЕННЫХ КАРАНТИННЫМ  
ОБЪЕКТОМ – УССУРИЙСКИМ ПОЛИГРАФОМ**

В Пермском крае зафиксирован стремительный рост карантинно-фитосанитарных зон, пораженных уссурийским полиграфом, что приводит к значительным потерям лесов. В 2022 г. было уничтожено 14 гектаров леса, что составляет около 8 % от всех погибших деревьев. Для борьбы с полиграфом применяется вырубка поврежденного леса, а древесина должна подвергаться термической, химической или механической обработке. Пиролиз как метод термической обработки позволяет сохранить углерод в виде биоугля, который можно использовать как удобрение, сорбент или источник энергии. Оптимальные условия для пиролиза коры – температура 400 °С, скорость нагрева 10 °С/мин и время выдержки 60 мин. Исследование имеет важное значение для устойчивого управления лесами и достижения целей устойчивого развития.

**Ключевые слова:** пиролиз, карантин, уссурийский полиграф, биоуголь, удобрение.

**O.O. Shiryayeva, E.S. Belik, D.S. Fomin**

**OBTAINING BIOCHAR FROM THE BARK  
DAMAGED BY THE USSURIYSK POLYGRAPH**

In the Perm region, a rapid growth of quarantine phytosanitary zones affected by the Ussuri polygraph has been recorded, which leads to significant forest losses. In 2022, 14 hectares of forest were destroyed, which is about 8 % of all dead trees. To combat the polygraph, damaged forests are cut down, and wood must be subjected to thermal, chemical or mechanical treatment. Pyrolysis, as a method of thermal treatment, allows you to save carbon in the form of biochar, which can be used as a fertilizer, sorbent or energy source. Optimal conditions for bark pyrolysis are a temperature of 400 °C, a heating rate of 10 °C/min and a holding time of 60 min. The study is important for sustainable forest management and achieving sustainable development goals.

**Keywords:** pyrolysis, quarantine, ussuri polygraph, biochar, fertilizer.

Уссурийский полиграф – жук из подсемейства короедов (*Scolytinae*) семейства долгоносиков (*Curculionidae*). Распространен в пихтовых лесах Приморского и Хабаровского краев, на Сахалине, а также в Японии, Корее и на северо-востоке Китая. Согласно данным, полученным от Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства, в Пермском крае наблюдается интенсивный рост популяции уссурийского полиграфа. По данным Росстата, в 2022 г. от различных насекомых погибло 14 га леса, что составляет примерно 8 % от всех погибших деревьев в этот год на данной территории [1]. Общая площадь карантинных фитосанитарных зон по уссурийскому полиграфу в Пермском крае на 2023 г. составляет 94 тыс. га, что составляет 0,76 % от всей площади, покрытой лесами [2]. Однако уже в 2024 г., по данным Россельхознадзора, карантинный режим введен на участках общей площадью 190 тыс. га; только за октябрь 2024 г. было сделано три расширения карантинной зоны из-за массового распространения вредителя [3].

Поражение уссурийским полиграфом, проявляется у деревьев, характерными негативными признаками, а именно наличием некроза тканей луба пихты, вызванного фитопатогенными грибами, в местах попыток поселения полиграфа, гибелью хвойного дерева, выраженной в изменении цвета листвы с темно-зеленого на рыжий или ее отсутствии. Согласно ФЗ № 206 «О карантине растений», данный лес не допускается для выпуска в товарооборот во избежание дальнейшего распространения уссурийского полиграфа из-за его морозоустойчивости и возможности быстрого размножения не только в ослабленных и здоровых деревьях, но и в свежезаготовленной пихтовой древесине и на буреломных деревьях [4]. Кора и древесина, содержащие в себе уссурийского полиграфа и его личинок, должны быть подвержены обработке: термически, химически или механически. Химический способ уничтожения этих инвазивных видов в больших масштабах невозможен, поскольку они живут под корой, и обработка реагентами ствола дерева результата если и приносит, то себестоимость такой защиты одного дерева обходится в

25–30 тыс. руб. Единственный метод борьбы здесь – ликвидация пораженных деревьев с последующей утилизацией в пределах установленных карантинных зон. В настоящее время одним из способов борьбы с инвазивным видом является вырубка поврежденного леса и сжигание ее на месте, что не очень оправдано при стратегии ESG лесопользователей, поэтому наиболее высоко универсальным, надежным и экономически выгодным может явиться термический способ обработки – пиролиз.

Пиролиз – один из методов термической обработки поврежденной насекомым вредителем древесины, значительная часть углерода, содержащегося в древесине, остается в виде биоугля или биочара (biochar), в то время как при сжигании эта часть углерода выбрасывается в атмосферу в виде углекислого газа. Биоуголь представляет собой углеродный продукт, получаемый при пиролизе органических материалов (в данном случае коры хвойной древесины и древесины) без доступа к кислороду. В настоящее время отсутствуют данные о пиролизе послеуборочных остатков, коры деревьев и древесины, пораженных указанным инвазивным видом. Полученные продукты в дальнейшем могут быть использованы как компоненты для производства удобрений, улучшителя качества почвы, в виде сорбента; представляют собой энергетическую ценность и благоприятствуют трем целям устойчивого развития.

Объектом исследования является кора, поврежденная короедом, размер фракции 5–20 см. На основании литературных данных были подобраны условия получения биоугля в результате пиролиза, а именно температура пиролиза 400 °С, скорость нагрева 10 град/мин, время выдержки 60 мин [5]. При температуре пиролиза 400 °С происходит распад органических соединений, таких как лигнин, целлюлоза, летучие вещества, с большим выходом угля по сравнению с иными температурами. Потеря массы образца после пиролиза составила 67 %. Образцы материала представлены на рисунке.



Рис. Образцы коры, поврежденной уссурийским полиграфом до и после пиролиза

Был проведен пиролиз коры, поврежденной уссурийским полиграфом. Получившийся пиролизат можно использовать в качестве удобрения для повышения всхожести растений, очистки и улучшения качеств почвы, как биотопливо. Биоуголь также может быть использован в производстве строительных материалов, таких как композиты и панели, благодаря своей прочности и легкости. Выбор и обоснование направления использования биоугля из коры деревьев – следующие задачи данного исследования.

### Список литературы

1. Защита лесов на территории Пермского края в 2022 году [Электронный ресурс]. – URL: <https://59.rosstat.gov.ru/news/document/201739> (дата обращения: 15.11.2024).
2. Управлением Россельхознадзора в Пермском крае увеличена карантинная фитосанитарная зона по уссурийскому полиграфу на площади 6106 га [Электронный ресурс]. – URL: <https://43.fsvps.gov.ru/news/upravleniem-rosselkhoznadzora-v-permskom-krae-uvelichena-karantinnaja-fitosanitarnaja-zona-po-ussurijskomu-poligrafu-na-ploshhadi-6106-ga/> (дата обращения: 15.11.2024).
3. Цифровые технологии в идентификации мест распространения уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandford) / Д.С. Фомин, В.В. Смирнова, К.Н. Графеева, С.Е. Клевцова // Фитосанитария. Карантин растений. – 2024. – № S4–2 (20). – С. 89–90.

4. ФЗ О карантине растений от 21.07.2014 № 206-ФЗ [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/420208822#7D20K3> (дата обращения: 15.11.2024).

5. Угольные материалы из низкокачественного древесного сырья / Н.С. Епифанцева, Т.Н. Поборончук, Е.В. Мазурова, В.С. Петров // Известия высших учебных заведений. Серия химия и химическая технология. – Красноярск: Изд-во Сибир. федер. ун-та, 2006 – 2 с.

### **Об авторах**

**Ширяева Ольга Олеговна** – студентка кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: look.good0000@mail.ru

**Белик Екатерина Сергеевна** – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: zhdanova-08@mail.ru

**Фомин Денис Станиславович** – канд. с.-х. наук, зав. лабораторией прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский НИИСХ филиала ПФИЦ УрО РАН, научный сотрудник, Пермский филиал ФГБУ «ВНИИКР», e-mail: akvilonag@mail.com

**П.А. Мугатарова, Е.С. Белик**

## **ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ НА БИОФИЛЬТРАХ**

Представлена краткая характеристика биофильтров, описаны сложности, которые возникают при их работе, и возможные решения для устранения проблем. Представлены результаты анализа очистных сооружений поселка городского типа Пермского края и установлено, что очищенная вода не соответствует нормативным требованиям.

**Ключевые слова:** биофильтр, биопленка, очистка сточных вод, очистные сооружения.

**P.A. Mugatarova, E.S. Belik**

## **PROBLEMS OF WATER PURIFICATION IN BIOFILTERS**

The article presents a brief description of biofilters, describes the difficulties that arise during their operation, and possible solutions to eliminate problems. The results of the analysis of the treatment facilities of the urban-type settlement of the Perm Territory are presented and it is established that the purified water does not meet regulatory requirements.

**Keywords:** biofilter, biofilm, wastewater treatment, sewage treatment plants.

Загрязненные воды являются одной из самых актуальных проблем в настоящее время. Они вызывают гибель животных, растений и негативно влияют на здоровье человека. В Пермском крае сброс загрязненных сточных вод за 2022 г. составил 136,4 млн м<sup>3</sup> [1].

Для уменьшения воздействия на окружающую среду необходимо осуществлять качественную очистку сточной воды. Одна из основных стадий очистки сточных вод является биологическая очистка, которая основана на разложении органических веществ микроорганизмами. Одним из типов биологических сооружений является биофильтр. Биологический фильтр представляет из себя резервуар, где сточная вода фильтруется через загрузочный материал, который покрыт биопленкой.

Классификация биофильтра:

- по особенности конструкции фильтрующего материала – объемная, плоскостная;
- по степени очистки – полная, неполная;
- по способу подачи воздуха – естественная, искусственная;
- по режиму работы – с рециркуляцией и без нее;
- по технологической схеме – одно-, двухступенчатые;
- по пропускной способности – малая, большая [2].

По конструкции загрузочного материала биофильтры делятся на два типа: объемные и плоскостные. Объемные загрузки, в свою очередь, подразделяются на капельные, башенные и высоконагружаемые. Капельные биофильтры состоят из загрузки размером 20–30 мм, ее высота составляет 1–2 м. Загрузка у высоконагружаемых биофильтров составляет 40–60 мм, а ее высота 2–4 м. Размер и высота загрузочного материала башенных биофильтров в два раза больше, чем у высоконагружаемых [3].

В качестве объемной биозагрузки используют гравий, шлак, керамзит, щебень, гальку и др. Биофильтры с плоскостной загрузкой в зависимости от загрузки подразделяются на жесткие блочные и мягкие. Также к этому биологическому сооружению относятся вращающиеся диски.

Биопленка состоит из множества микроорганизмов, которые питаются и поддерживают свою жизнедеятельность за счет загрязняющих веществ. Биоценоз биопленки более вариативный, чем у активного ила. Присутствуют такие виды, например, как водоросли, грибы, черви, бактерии. Для их функционирования необходима определенная температура, pH, наличие питательных элементов, отсутствие токсичных соединений и т.д.

В процессе очистки сточных вод на биологических очистных сооружениях возникают определенные трудности, связанные с функционированием работы биофильтра, которые могут повлиять на качество очистки воды. В таблице представлены сложности работы биофильтра, влияющие на эффективность очистки сточных вод. Для ликвидации сложностей, возникающих при работе очистных сооружений, необходимо провести анализ их работы, анализ эффективности оперативного контроля технологических процессов очистки сточных вод, предложить рекомендации по разработке мероприятий и технических решений повышения эффективности

очистки, в том числе на биологических очистных сооружениях, рекомендации по ведению оперативного и постоянного технологического контроля процессов очистки.

Объектом данного исследования являются очистные сооружения небольшого населенного пункта Пермского края. На очистку поступают хозяйственно-бытовые от населения и промышленные сточные воды от предприятия, где основная нагрузка ложится на биофильтр. По результатам отбора проб было выявлено, что очистные сооружения не справляются и в водный объект поступают недостаточно очищенные сточные воды с высокой концентрацией загрязняющих веществ, превышающие НДС, в водохранилища, которые используются для водоснабжения населенных пунктов, рыбного хозяйства, рекреации и т.д. Определено, что превышение по ХПК составляет 5,8 раз от нормы, а по взвешенным веществам в 5,5 раз.

#### Сложности работы биофильтра, влияющие на эффективность очистки сточных вод

| Сложности                                         | Последствия                                                                                     | Решения                                                                                                             |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Неравномерная подача воды на поверхности загрузки | Вымывание биопленки, заиливание                                                                 | Регулировать поток воды, настройка системы орошения, промывание водой верхний слой биоагрузки под высоким давлением |
| Низкая окислительная способность биопленки        | Прекращение работы биопленки                                                                    | Равномерная подача загрязненных стоков, без пиковых нагрузок                                                        |
| Неприятный запах в процессе гниения               | Гибель микроорганизмов                                                                          | Удаление застойных зон в биофильтре, настройка системы орошения                                                     |
| Поддержание оптимальной температуры для биоценоза | При высоких температурах появляются термофильные микроорганизмы не способные разлагать органику | Установить теплообменник для регулирования температуры подаваемой на очистку воды                                   |

При исследовании биопленки (рис. 1, 2) было выявлено, что численность популяций микроорганизмов крайне мала. Это говорит о том, что необходимые условия для жизнедеятельности микроорганизмов нарушились из-за неудовлетворительных условий при работе биологических фильтров.

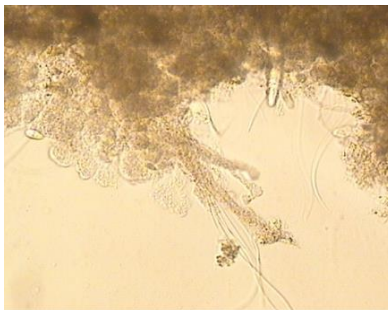


Рис. 1. *Zoogloearamigera*



Рис. 2. *Vorticella misrostoma*

На основании обследования очистных сооружений населенного пункта, а также физико-химического анализа очищенной воды и микробиологического анализа биопленки были выявлены проблемы, которые влияют на эффективность очистки сточных вод. Необходимо сосредоточиться на устранении этих проблем, которые могут повысить эффективность процесса очистки сточной воды, экономически приемлемыми способами и без существенной модернизации сооружения.

### Список литературы

1. Федеральная служба государственной статистики территориальный орган федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю [Электронный ресурс]. – URL: <https://59.rosstat.gov.ru/storage/mediabank//> (дата обращения: 17.02.2025).

2. Луканин А.В. Процессы и аппараты биотехнологической очистки сточных вод: учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2020. – 242 с.

3.Рекомендации по проведению технологического и гидро-биологического контроля на биологических фильтрах [Электронный ресурс] // Министерство мелиорации и водного хозяйства РСФСР. – 1985. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084447> (дата обращения: 17.02.2025).

### **Об авторах**

**Мугатарова Полина Артуровна** – студентка кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [pmugatarova@gmail.com](mailto:pmugatarova@gmail.com)

**Белик Екатерина Сергеевна** – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [zhdanova-08@mail.ru](mailto:zhdanova-08@mail.ru)

**А.В. Ушакова, И.Н. Ташкинова**

## **ЗНАЧИМОСТЬ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПРИ ОЦЕНКЕ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛИ МАРТЕНОВСКИМ СПОСОБОМ**

Рассмотрен метод материального баланса как подход анализа данных для оценки углеродного следа стали, полученной мартеновским методом. Приведено описание процесса получения стали мартеновским методом, представлен перечень основных входящих и выходящих потоков материального баланса процесса плавления стали мартеновским способом. Выявлены основные эффекты от применения метода материального баланса при анализе данных по процессу производства стали.

**Ключевые слова:** материальный баланс, углеродный след, плавление стали, мартеновский способ плавления.

**A.V. Ushakova, I.N. Tashkinova**

## **IMPORTANCE OF MATERIAL BALANCE IN ASSESSING CARBON FOOTPRINT IN OPEN-HEARTH STEEL PRODUCTION**

The material balance method is considered as a data analysis approach for estimating the carbon footprint of steel produced by the open-hearth method. A description of the process of producing steel by the open-hearth method is given, a list of the main incoming and outgoing streams of the material balance of the process of melting steel by the open-hearth method is presented. The main effects of using the material balance method in analyzing data on the steel production process are identified.

**Keywords:** material balance, carbon footprint, steel melting, open-hearth melting method.

Оценка углеродного следа продукции в металлургической отрасли становится все более важной в условиях глобальных изменений климата и стремления к устойчивому развитию. Углеродный след включает в себя все выбросы парниковых газов, связанные с производственным процессом, от добычи сырья до отгрузки готовой продукции. Так, оценка углеродного следа помогает снижать нега-

тивное воздействие на окружающую среду, оптимизировать технологии производства, что приводит к снижению потребления природных ресурсов, а также к снижению экономических затрат.

Углеродный след является важным элементом международных соглашений и стандартов, например, Парижское соглашение по климату. Страны и компании, которые стремятся соответствовать стандартам, обязаны учитывать и управлять их углеродным следом. Опасность парниковых газов в том, что их значительное количество в атмосфере вызывает увеличение средней температуры воздуха на планете. Это приводит к глобальному изменению климата и сопутствующим негативным последствиям не только для окружающей среды, но и для человека [1].

На мировом уровне выбросы парниковых газов от металлургических предприятий составляют 9 %. В черной металлургии основными парниковыми газами являются диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ) и оксид азота ( $\text{I}(\text{N}_2\text{O})$ ). Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) образуется во всех технологических процессах металлургии при сжигании топлива, выгорании углерода из полуфабриката, разложении составляющих флюсов. Метан является частью вторичных энергетических ресурсов и сгорает при их использовании до  $\text{CO}_2$  [1, 2].

Для точного определения углеродного следа тонны стали необходимо подробно изучить технологический процесс ее производства и составить материальный баланс процесса. Материальный баланс представляет собой соотношение между сырьем, которое используется в производстве, готовой продукцией, отходами и потерями сырья [3].

С помощью расчета материального баланса можно определить количество выбросов парниковых газов, которые образуются на различных этапах производства стали. Также расчет материального баланса помогает предвидеть течение процесса и рационально использовать энергетические и материальные ресурсы [3].

Процесс получения стали можно разделить на несколько этапов. В первую очередь, происходит загрузка и плавление сырья. Плавление проходит с помощью окислительных реакций, где окис-

ляются железо, фосфор, кремний и марганец под воздействием за-  
киси железа. Следующий этап характеризуется окислением угле-  
рода благодаря закиси железа. Газы, образовавшиеся в процессе,  
приходят в состояние кипения, и происходит выгорание углерода.  
Заключительный этап плавления стали – раскисление. Раскисли-  
тели, такие как алюминий, ферромарганец и др., загружаются в ковш  
или саму печь. Сталь, полученная мартеновским способом, имеет  
высокую прочность и долговечность. Также мартеновский способ  
позволяет получать стали различного химического состава и разного  
свойства. Поэтому такие стали используются в различных отраслях,  
например, в производстве конструкций [4].

Типовой перечень входящих и выходящих материальных по-  
токов процесса плавления стали мартеновским способом представ-  
лен в таблице [5].

Типовые потоки материального баланса процесса  
плавления стали мартеновским способом [5]

| Входящие потоки                                                                                                                                 | Выходящие потоки                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Чугун (содержит углерод, марганец, кремний, фосфор и другие элементы); лом стали; флюс (например, известь); окислители; топливо; электроэнергия | Сталь (содержит углерод, марганец, кремний и другие элементы); шлак; парниковые газы: диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ) и оксид азота (I) ( $\text{N}_2\text{O}$ ) |

Материальный баланс должен соблюдаться при реализации технологического процесса: сумма входящих материальных потоков (приход) должна быть равна сумме выходящих из процесса материальных потоков (расход).

Из-за простоты оборудования и простоты технологических процессов мартеновский метод является доступным и надежным для малых и средних предприятий. Недостатком мартеновского производства является большая продолжительность плавки от 7 до 15 ч и

большой расход топлива. Однако можно добиться достаточно высокой температуры факела без предварительного подогрева газа и воздуха, обогащая воздух кислородом (вплоть до полной замены воздуха кислородом). Это приводит к уменьшению количества продуктов сгорания и уноса ими тепла, и соответственно, к повышению температуры. В этом случае и расход топлива снижается [5].

Метод материального баланса позволяет [5]:

- определить, сколько стали можно получить из определенного количества исходных материалов, это помогает определить возможные потери сырья на различных стадиях процесса;
- является основой для расчета расходных норм сырья для производства стальных изделий;
- провести оценку этапов процесса и определить, где возможно более эффективно использовать сырье и топливо;
- определить выбросы парниковых газов, оценить углеродный след продукции;
- эффективно управлять отходами, что может значительно снизить выбросы парниковых газов, сократить финансовые затраты, связанные с утилизацией и переработкой отходов.

### **Список литературы**

1. Овчинников К.Н. Карбоновый след металлургической промышленности и обзор перспективных решений по ее декарбонизации в Китае, США и Германии [Электронный ресурс] // Экология недропользования – 2022. – URL: [https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1737389382&tld=ru&lang=ru&name=97\\_107\\_K.N.-OVCHINNIKOV.pdf&text](https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1737389382&tld=ru&lang=ru&name=97_107_K.N.-OVCHINNIKOV.pdf&text) (дата обращения: 18.02.2025)

2. Лисиенко В.Г., Лаптева А.В. Эмиссия парниковых газов при различных процессах черной металлургии // Культура и экология – основы устойчивого развития России. От «зеленого» университета к зеленой экономике. Ч 1: сб. материалов Междунар. форума (г. Екатеринбург, 13–15 апреля 2016 г.). – Екатеринбург, 2016. – С. 76–79.

3. Ляпков А.А. Материальные и тепловые расчеты в

химической технологии: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 105 с.

4. Производство стали в мартеновских печах [Электронный ресурс]. – URL: <https://metallsk.ru/articles/proizvodstvo-stali-v-martenovskikh-pechakh/> (дата обращения: 18.02.2025).

5. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия: учебник для вузов. – 6-изд., перераб и доп. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.

### **Об авторах**

**Ушакова Анна Вячеславовна** – магистрант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ushkanura@mail.ru

**Ташкинова Ирина Николаевна** – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: i.tashkinova@pstu.ru

**А.А. Юсупов**

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД В МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ**

Проводится детальный анализ особенностей проектирования и эксплуатации очистных сооружений для сточных вод в малых населенных пунктах. В работе дается четкое определение понятия «малый населенный пункт», проводится сравнительное исследование зарубежных практик в области водочистки. Особое внимание уделяется ключевым аспектам технологий очистки сточных вод, применяемых в очистных сооружениях с ограниченной производительностью. В заключительной части исследования предлагаются рекомендации по улучшению проектирования и эксплуатации биологической ступени очистки сточных вод, а также эффективные методы очистки, учитывающие специфику малых населенных пунктов.

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, малые населенные пункты, сточные воды.

**A.A. Yusupov**

## **MODERN APPROACHES TO WASTEWATER TREATMENT IN SMALL SETTLEMENTS**

This study provides a detailed analysis of the design and operation of wastewater treatment plants in small settlements. The paper provides a clear definition of the concept of "small settlement" and a comparative study of foreign practices in the field of wastewater treatment. Special attention is paid to the key aspects of wastewater treatment technologies used in treatment plants with limited capacity. The final part of the study offers recommendations for improving the design and operation of the biological stage of wastewater treatment, as well as effective treatment methods that take into account the specifics of small settlements.

**Keywords:** wastewater treatment, small communities, wastewater.

К малым канализационным сооружениям, или «малым очистным сооружениям», относятся небольшие населенные пункты с численностью населения до 5000 человек и отдельно стоящие здания

(школы, пансионаты, дома отдыха, небольшие промышленные предприятия) [1]. В последние два десятилетия в России также стало активно развиваться строительство поселков коттеджного типа в пригородах. Отсутствие очистных сооружений, недостаточная эффективность очистки сточных вод, связанная со спецификой эксплуатации этих объектов, приводят к росту числа аварий и поломок на объекте и, как следствие, к загрязнению поверхностных водоемов. В таких условиях крайне важно внедрять современные, эффективные и экономичные методы очистки сточных вод.

Современные подходы к очистке сточных вод в малых населенных пунктах включают использование инновационных технологий, которые обеспечивают высокую степень очистки при минимальных затратах энергии и ресурсов. В частности, современные разработки направлены на внедрение таких технологий, как мембранная фильтрация, биофильтры и установки на основе активного ила. Эти технологии особенно актуальны для малых населенных пунктов, где ограничены возможности для подключения к централизованным очистным сооружениям. При очистке сточных вод малых населенных пунктов необходимо учитывать их особенности [2, 3], которые представлены ниже.

1. Сточные воды поступают на очистные сооружения крайне неравномерно в течение суток. Ночью их количество может быть практически равно нулю. Возможны залповые сбросы сточных вод, предотвратить которые практически невозможно, поэтому при проектировании малых очистных сооружений следует уделять особое внимание залповым сбросам сточных вод. Это требует создания систем, которые могут эффективно реагировать на такие сбросы, например, с помощью накопительных резервуаров или установок для замедленного сброса, чтобы предотвратить переполнение и засорение системы.

2. Вследствие неравномерности поступления сточных вод происходит изменение их состава, что существенно затрудняет и снижает эффективность их очистки. Возникает необходимость в дополнительной очистке, которая, как правило, является

энергоемкой и сложной в эксплуатации. В связи с этим активно разрабатываются гибкие системы очистки, способные адаптироваться к изменениям состава сточных вод и обеспечивать более высокую степень очистки. Среди таких технологий можно выделить мембранные фильтрации и ультрафильтрацию, которые позволяют удалять даже самые мелкие загрязнители.

В большинстве случаев малые очистные сооружения удалены от централизованных систем водоотведения. Поэтому следует разрабатывать компактные, высокоэффективные системы очистки, которые бы не только обеспечивали бы необходимую степень очистки, но и имели бы низкие эксплуатационные расходы. В настоящее время для небольших населенных пунктов предусмотрены как централизованные, так и децентрализованные схемы отведения сточных вод и их очистки. На основе проведенного анализа зарубежного опыта можно определить следующие направления решения вопросов водоотведения и очистки сточных вод для малых населенных пунктов Российской Федерации.

1. Подключение к близлежащим очистным сооружениям, чаще всего городов или поселков городского типа. Данный вариант подходит при небольших расстояниях между населенными пунктами, например, в южных регионах России, особенно в прибрежных участках Азовского и Черного морей. С точки зрения инвестиций, такое решение требует строительства соответствующей инфраструктуры. Важно отметить, что это решение может быть экономически оправдано, если учесть долгосрочную экономию на эксплуатации и обслуживании.

2. Подключение отдельных населенных пунктов к общему коллектору канализации с подводом стоков к очистным сооружениям. Такой вариант часто используется в пригородных и сельских районах, где небольшие населенные пункты могут быть объединены в единую сеть, что снижает капитальные затраты и позволяет централизованно решать проблему очистки сточных вод.

3. Строительство индивидуальных очистных сооружений для каждого малого населенного пункта. Это более дорогой, но эффективный вариант для удаленных поселков или тех населенных

пунктов, где нет возможности для подключения к централизованной системе.

4. Строительство автономных очистных сооружений. Такой вариант подходит при отсутствии централизованной системы канализации и невозможности ее строительства в ближайшей перспективе, например, на большей части Восточной Сибири, крайнего Севера. При выборе одного из трех или четырех вариантов проекта малых очистных сооружений необходимо заложить в него технологию, которая обеспечит достаточное снижение концентрации загрязняющих веществ на выпуске и минимизирует их воздействие на окружающую среду.

В настоящее время технология очистки сточных вод в малых очистных сооружениях развивается в двух направлениях, а именно совершенствовании биологической очистки и доочистке биологически очищенных сточных вод.

Анализ работы очистных сооружений показывает, что на выходе из вторичных отстойников не всегда достигается требуемый эффект осветления воды. В большинстве случаев концентрация взвешенных веществ и БПК<sub>5</sub> составляет до 25 до 30 мг/л, а эффект очистки колеблется от 40 до 56 %. Это обуславливает необходимость установки дополнительных сооружений доочистки, таких как фильтры с мембранными материалами или ультрафильтрация.

При дополнительной очистке достигается высокий эффект осветления воды: концентрация взвешенных веществ снижается до 5–8 мг/л, а БПК<sub>5</sub> до 8–10 мг/л. К недостаткам этих сооружений можно отнести сложность в эксплуатации и энергоемкость из-за промывки загрузки обратным током воды, что в конечном счете приводит к увеличению стоимости очистки воды.

Для достижения требуемых концентраций БПК<sub>5</sub> и взвешенных веществ после биологической очистки ряд авторов предлагает использовать технологию очистки с использованием взвешенного слоя, образуемого из хлопьев активного ила. Эта технология значительно улучшает эффективность процесса очистки и снижает эксплуатационные затраты, что делает ее привлекательной для применения в малых населенных пунктах.

Таким образом, современное развитие очистных сооружений для малых населенных пунктов основывается на внедрении передовых технологий, позволяющих эффективно очищать сточные воды при минимальных затратах. Важно учитывать все особенности и локальные условия при проектировании таких сооружений для обеспечения их эффективности и экономичности.

### **Список литературы**

1. Юсупов А.А. Особенности очистки сточных вод малых населенных пунктов // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Нац. с междунар. участием науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, ученых и специалистов; Тюмень, 18–20 декабря 2024 г. – Тюмень, 2024. – С. 110–113.

2. Шох А.Ю., Глушанкова И.С. Использование отходов содового производства для глубокой очистки хозяйственно-бытовых сточных вод малых населенных пунктов от фосфат-ионов // Химия. Экология. Урбанистика. – 2018. – С. 174–179.

3. Технологии очистки сточных вод малых населенных пунктов: модели и методики расчета / А.М. Непогодин, М.Ю. Дягелев, А.А. Абрамова, А.М. Пантюхина. – Ижевск, 2021. – 75 с.

### **Об авторе**

**Юсупов Александр Александрович** – магистр кафедры водоснабжения и водоподготовки, Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, e-mail: usalale1@mail.ru

**Д.Д. Мерзлякова**

## **ВЫБРОСЫ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Рассматривается влияние очистных сооружений на эмиссию парниковых газов, а также методы их снижения. Очистные сооружения играют ключевую роль в экологическом управлении и обеспечении качественного водоснабжения, однако процесс очистки сточных вод может стать значительным источником парниковых газов, таких как метан и диоксид углерода. Статья анализирует современные технологии, применяемые для минимизации выбросов, включая биологические и физико-химические методы, а также внедрение энергоэффективных решений и систем утилизации энергии.

**Ключевые слова:** очистка сточных вод, парниковые газы, диоксид углерода, метан.

**D.D. Merzlyakova**

## **GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS**

This article discusses the impact of wastewater treatment plants on greenhouse gas emissions, as well as methods to reduce them. Wastewater treatment plants play a key role in environmental management and quality water supply, but the wastewater treatment process can be a significant source of greenhouse gases such as methane and carbon dioxide. The article analyzes current technologies used to minimize emissions, including biological and physicochemical methods, as well as the implementation of energy efficient solutions and energy recovery systems.

**Keywords:** wastewater treatment, greenhouse gases, carbon dioxide, methane.

По мере ускорения урбанизации и индустриализации процесс очистки сточных вод претерпевает значительные преобразования. С точки зрения энергетического баланса и углеродного следа традиционные методы очистки сточных вод не считаются «зелеными» в контексте устойчивого развития. Процесс очистки сточных вод приводит к значительным объемам выбросов парниковых газов (ПГ).

Традиционные методы очистки требуют дополнительной энергии, в том числе и химических реактивов для поддержания высокой эффективности удаления загрязняющих веществ в аэротенках. Согласно последним статистическим данным, выбросы парниковых газов в секторе очистки сточных вод составляют 1–2 % от общего выброса углерода, что ставит его в десятку ведущих отраслей по объему выбросов парниковых газов [1].

Однако стоит отметить, что очистные сооружения, в первую очередь, предназначены для обработки сточных вод, чтобы уменьшить их негативное воздействие на окружающую среду. В процессе очистки происходят различные биохимические реакции, которые могут сопровождаться выделением ПГ [2], которые выбрасываются либо напрямую в виде метана ( $\text{CH}_4$ ), либо косвенно в виде диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ). Метан образуется в ходе анаэробных процессов, когда бактерии разлагают органические вещества без наличия кислорода. Это происходит на этапах, когда сточные воды проходят через отстойники и биореакторы. Примеры путей выбросов при очистке сточных вод приведены в таблице [3, 4].

Прямые и косвенные выбросы ПГ при водоотведении,  
очистке и сбросе сточных вод

| Прямые выбросы ПГ                      | Косвенные выбросы ПГ                                                                      |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Система водоотведения<br>(канализация) | Электроснабжение                                                                          |
| Очистка сточных вод                    | Транспортировка<br>(например, реагентов,<br>осадков сточных вод)                          |
| Сброс сточных вод в водоемы            | Использование химических<br>реагентов (в том числе ПГ на<br>этапе производства реагентов) |

Метан является гораздо более мощным парниковым газом, чем углекислый газ, с потенциалом воздействия на климат, превышающим углекислый газ в 25 раз за 100-летний период. Это означает, что даже небольшие объемы метана, выделяемые очистными

сооружениями, могут значительно повысить общий углеродный след данного процесса. Вторым важным компонентом ПГ, выделяемым на очистных сооружениях, является углекислый газ. Хотя он менее критичен, чем метан, его также стоит учитывать, особенно в контексте глобальных усилий по снижению выбросов  $\text{CO}_2$ , который активно выделяется в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, задействованных в очистке сточных вод [5].

Одним из основных путей снижения выбросов парниковых газов на очистных сооружениях является внедрение современных технологий и методов управления процессами очистки. Например, использование анаэробных реакторов может значительно сократить количество выделяемого метана. Такие системы позволяют лучше контролировать процесс разложения органических веществ, сведя к минимуму выбросы ПГ [6].

Есть и другие подходы, которые могут помочь уменьшить эмиссию ПГ. Применение технологий «сдерживания», например, системы улавливания метана, может предотвращать его выброс в атмосферу. Некоторые очистные сооружения также начинают использовать биогаз, получаемый в результате анаэробного сбраживания, в качестве источника энергии для собственных нужд или для продажи. Это не только уменьшает выбросы, но и превращает отходы в ресурс.

Активным направлением снижения выбросов ПГ является применение методов, приближенных к естественным процессам очистки сточных вод, например, биопруды или фитотехнологии. Использование природоподобных методов не уступает по эффективности очистки сточных вод, не смотря на более низкую интенсивность процессов очистки и больших объемов самих сооружений [6].

Биопруды – это системы, основанные на использовании микроорганизмов для разложения органических веществ в сточных водах. Они представляют собой искусственные водоемы, где сточные воды проходят через несколько этапов очистки. В биопрудах происходят естественное окисление и минерализация органических загрязнителей с помощью бактерий и других микроорганизмов. Также они помогают снизить уровень парниковых газов, так как процесс

биопроессинга может приводить к уменьшению выбросов метана, если правильно управлять условиями.

Фитотехнологии – это метод очистки сточных вод с использованием растительности. Растения поглощают питательные вещества и загрязняющие вещества из сточных вод, а также способствуют аэробным процессам в почве и корневой зоне. Это снижает содержание органических веществ и нитратов, что также помогает минимизировать выбросы парниковых газов. Фитотехнологии могут включать такие методы, как использование влагоустойчивых растений в болотистых фильтрах и системах мульчирования.

Подводя итоги, можно сказать, что ПГ, выделяемые на очистных сооружениях, представляют собой значительную проблему, однако для качественного и количественного анализа необходимо развитие подходов к количественному определению в масштабах всего процесса очистки сточных вод, охватывая весь спектр выбросов, как от очистных сооружений, так и от источников, которые обычно не учитываются. Кроме того, переход от отбора проб к онлайн-мониторингу с использованием технологических установок будет способствовать лучшему пониманию механизмов, определяющих источники эмиссии ПГ в процессе транспортировки и очистки сточных вод. Количественная оценка выбросов ПГ в канализационных и водоочистных сооружениях по-прежнему остается сложной задачей. Существующие методы количественной оценки могут лишь частично отразить колебания интенсивности выбросов ПГ, на которые сильно влияют условия среды и технологические условия. Для того чтобы учесть всю сложность целевых систем, необходимо провести обширный отбор проб на очистных сооружениях и долгосрочный мониторинг, что требует значительных затрат ресурсов на месте. Кроме того, применение полномасштабного количественного измерения выбросов ПГ имеет важное значение для определения источников выбросов и проверки эффективности процессов по снижению воздействия на окружающую среду. Аналитические и методологические разработки в этой области должны обеспечить более точные и ресурсосберегающие подходы к количественному определению выбросов ПГ.

## Список литературы

1. Белозуб А.В., Азаренко Е.И. Особенности мониторинга выбросов парниковых газов, обусловленных деятельностью ГУПС «Водоканал» // Современные технологии: проблемы и перспективы: сб. ст. всерос. науч.-практ. конф. для аспирантов, студентов и молодых ученых, Севастополь, 20–23 мая 2019 г. – Севастополь, 2019. – С. 168–172.
2. Татаркина Ю.А., Загорская Ю.М. Перспектива использования осадков сточных вод в качестве метанооксиляющего субстрата на старых свалках твердых коммунальных отходов // Химия. Экология. Урбанистика. – 2017. – Т. 2017. – С. 122–125.
3. Килина А.П., Цыбина А.В., Глушанкова И.С. Определение эмиссионного потенциала осадков сточных вод разного срока хранения при анаэробном разложении // Химия. Экология. Урбанистика. – 2020. – Т. 1. – С. 114–119.
4. Харисов К.Р. Выбросов парниковых газов от городских очистных сооружений // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Нац. с междунар. участием науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, ученых и специалистов, Тюмень, 18–20 декабря 2024 г. – Тюмень, 2024. – С. 98–100.
5. Дягелев М.Ю. Повышение эффективности биологической очистки промышленных стоков в составе городских сточных вод // Теоретическая и прикладная экология. – 2023. – № 2. – С. 96–103.
6. Ксенофонов, Б.С. Парниковые газы: утилизация с использованием биотехнологических установок. – М.: Изд. Дом «Инфра-М», 2023. – 225 с.

## Об авторе

**Мерзлякова Дарья Денисовна** – бакалавр кафедры водоснабжения и водоподготовки, Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова, e-mail: dasha.merzlyakova.02@mail.ru

**Б.И. Вейбер**

## **ОСАДКИ СТОЧНЫХ ВОД. СОСТАВ И ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Осадки сточных вод представляют собой биологические опасные отходы, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду вследствие содержания в них патогенной микрофлоры, остатков фармацевтических препаратов, личинок гельминтов и ионов тяжелых металлов. Распространенный в России метод складирования осадков сточных вод изжил себя, поэтому поиск эффективных методов обработки и утилизации осадков сточных вод становится актуальной проблемой.

**Ключевые слова:** осадки сточных вод, утилизация, состав, воздействие на окружающую среду.

**B.I. Weyber**

## **SEWAGE SLUDGE. COMPOSITION AND ENVIRONMENTAL IMPACT**

Sewage sludge is a biohazardous waste that has a negative impact on the environment due to its content of pathogenic microflora, pharmaceutical residues, helminth larvae and heavy metal ions. The common method of sewage sludge storage in Russia has outlived its usefulness, so the search for effective methods of sewage sludge treatment and utilization becomes an urgent problem.

**Keywords:** sewage sludge, utilization, composition, environmental impact.

Очистка сточных вод имеет важное значение для предотвращения попадания загрязняющих веществ в окружающую среду и управления побочными продуктами, образующимися в ходе процесса очистки стоков. Сточные воды содержат органические компоненты – бытовые отходы, растительные масла, нефтепродукты, волокна растений, минеральные компоненты: песок, глинистые частицы, кислоты, щелочи, соли и микроорганизмы, в том числе патогенные – вирусы, яйца гельминтов, дрожжевые и плесневые грибы, водоросли [1, 2]. После механической и биологической очистки сточных вод образуется осадок сточных вод (ОСВ).

Хотя состав ОСВ варьируется в зависимости от происхождения, сезона года, региона и конкретных сооружений, где производится очистка сточных вод, ОСВ обычно содержит смесь органических веществ, которая состоит из 50–55 % углерода, 25–30 % кислорода, 10–15 % азота и 6–10 % водорода, со следовыми количествами фосфора и серы, неорганических веществ и микроорганизмов в растворенном или взвешенном состоянии. Кроме того, ОСВ часто содержит загрязняющие вещества и потенциальные канцерогены, такие как тяжелые металлы, диоксины, фураны и патогенные микробы [3].

Сброс неочищенных ОСВ непосредственно в окружающую среду представляет значительные риски для окружающей среды и здоровья человека. Эти риски включают загрязнение водоемов и почвы, а также распространение опасных патогенов и токсичных веществ, таких как тяжелые металлы, что может иметь серьезные последствия для экосистем и здоровья населения. Поэтому обработка ОСВ имеет решающее значение для обеспечения сокращения объема и стабильности. Современные методы обработки ила включают сгущение, кондиционирование, обезвоживание, стабилизацию и сушку с использованием различных химических и биологических процессов.

В России сложилась общая тенденция обработки образующегося ОСВ в виде обезвоживания ОСВ с последующим складированием на иловых площадках. Данный метод хоть и является дешевым с экономической точки зрения, но является наименее предпочтительным с учетом развитых технологий утилизации осадка сточных вод [3]. Основной проблемой является выделение большого спектра загрязняющих веществ, таких как предельные углеводороды, аммиак, соединения азота, фенол, формальдегид, сероводород, а также возможно присутствие ионов тяжелых металлов.

Накопление тяжелых металлов в почве негативно влияет не только на почвенный слой, но и ведет к загрязнению грунтовых вод, что может негативно сказаться на биосфере и жизни человека. При складировании, из-за наличия большого количества органики в ОСВ, выделяются такие газы, как метан, сероводород, аммиак, диоксид углерода, имеющие неприятный запах. В связи с большим ко-

личеством загрязнителей, ОСВ вызывают токсикологический эффект как на объекты окружающей среды, так и на человека, в частности, влияя на органы дыхания, почки и вызывая возможные патологии. Исходя из негативного влияния на окружающую среду, возникает необходимость утилизации ОСВ, в первую очередь для решения экологического вопроса.

Среди существующих методов обработки ОСВ (рисунок) можно выделить наиболее предпочтительные и менее предпочтительные. При выборе метода утилизации необходимо учитывать ряд факторов, таких как состав сточных вод и образующегося осадка, объем отходов, возможность повторного использования, экономическая эффективность метода и другие. Для реализации любого из существующих методов переработки ОСВ необходимо провести предварительное обезвоживание, поскольку эти отходы характеризуются высокой влажностью.

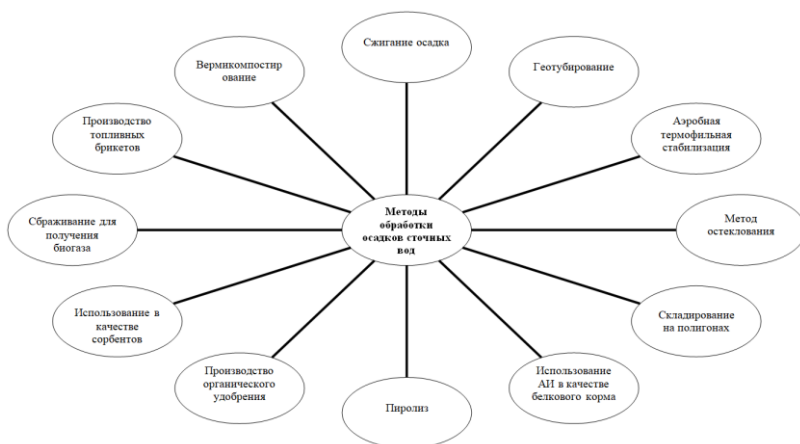


Рис. Основные методы обработки ОСВ

Наиболее предпочтительными методами обработки ОСВ являются методы, позволяющие значительно уменьшить объем ОСВ и минимизировать его негативное воздействие на окружающую среду [4]. К таким методам относятся сжигание осадка, пиролиз и сбраживание для получения биогаза. Несмотря на энергетический потен-

циал данных методов, они не являются экологически чистым. Применение этих методов становится экономически нецелесообразным для небольших количеств ОСВ. Более того, даже если оставить в стороне экономические аспекты, эти методы не в полной мере решают проблемы, связанные с ОСВ. Например, сжигание не может удалить все опасные компоненты, и, хотя оно может уменьшить массу ОСВ примерно на 50–60 % и объем примерно на 70 %, оно оставляет после себя золу, содержащую до 30–40 % от исходных величин ионов тяжелых металлов и других опасных веществ [5].

В условиях российского климата метод сбраживания ОСВ для получения биогаза, который может быть использован для энергетических нужд станции, тоже имеет ряд недостатков – для получения максимального выхода биогаза требуются значительные затраты на утепление метантенка, особенно в северных регионах. Кроме того, если в составе сточных вод содержится большое количество тяжелых металлов, то это делает невозможным последующее использование сброженного ОСВ в качестве почвогрунта.

К сожалению, наиболее используемый метод складирования ОСВ на полигонах перестает соответствовать современным требованиям экологии, занимает все большие площади и оказывает пагубное влияние на окружающую среду. Необходимость соответствия экологическим нормам подталкивает на внедрение и использование более современных и действенных методов утилизации осадка с целью предотвращения его негативного влияния на природу.

### Список литературы

1. Санников Л.А., Ходяшев Н.Б. Экологическая опасность складирования отработанного активного ила и отдельные направления его утилизации // Химия. Экология. Урбанистика. – 2023. – Т. 1. – С. 421–425.
2. Ещенко Л.С., Сумич А.И., Жук Г.М. Исследование состава и применение осадков, образующихся при очистке сточных вод обратным осмосом // Химия. Экология. Урбанистика. – 2017. – Т. 2017. – С. 497–501.
3. Сжигание осадка как безотходный способ утилизации осадка сточных вод / А.А. Векшин, Е.В. Рассохина, М.Ю. Дягелев,

В.Г. Исаков // Приволжский научный журнал. – 2023. – № 2 (66). – С. 100–107.

4. Дягелев М.Ю. Австрийский опыт удаления соединений фосфора из осадков сточных вод // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 3 (47). – С. 48–65. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.3.04

5. Dyagelev M. Thermal Treatment of Sewage Sludge // Advances in Ecology and Environmental Engineering. – Cham, 2024. – P. 254–264. DOI: 10.1007/978-3-031-64423-8\_22

### **Об авторе**

**Вейбер Богдан Игоревич** – бакалавр кафедры водоснабжения и водоподготовки, Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова.

**Я.И. Вебер, Ю.С. Лазуткина**

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ  
ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ  
НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

Исследовательская работа посвящена проблеме переработки образующихся на территории поселений твердых коммунальных отходов. Поиск управленческих решений, а также современных способов сокращения количества отходов, подлежащих размещению на полигонах твердых коммунальных отходов, является весьма актуальной задачей. В Алтайском крае существует большое количество несанкционированных свалок, которые необходимо ликвидировать для снижения антропогенной нагрузки на почву и подземные воды. Решение данной проблемы заключается в разностороннем подходе, а именно в изменении законодательства, разработке новых технологий, экологическом просвещении населения.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, переработка, утилизация.

**Ya.I. Weber, Yu.S. Lazutkina**

**PMODERN METHODS FOR PROCESSING SOLID MUNICIPAL  
WASTE GENERATED IN THE TERRITORY OF THE ALTAI REGION**

The research work is devoted to the problem of processing organic municipal waste generated on the territory of settlements. Finding management solutions, as well as modern ways to reduce the amount of waste to be disposed of in organic municipal waste landfills is a very urgent task. In the Altai Territory, there are a large number of unauthorized landfills that need to be eliminated to reduce the anthropogenic load on the soil and groundwater. The solution to this problem lies in an integrated approach - changing legislation, developing new technologies, and environmental education of the population.

**Keywords:** solid municipal waste, processing, utilization.

По данным Южно-Сибирского межрегионального управления Росприроднадзора в 2022 г. в Алтайском крае было выявлено 189

несанкционированных свалок коммунальных отходов, из которых ликвидировано 212, в 2023 г. – 143 и 118 соответственно.

Однако на данный момент количество несанкционированных свалок составляет около 100 штук, что требует принятия управленческих решений по их ликвидации. В Алтайском крае отсутствуют предприятия по переработке коммунальных отходов, что не позволяет в полной мере использовать их энергетический ресурс.

Несмотря на увеличение числа ликвидированных несанкционированных свалок, их количество на конец отчетного года продолжает расти. Для Алтайского края данная тенденция объясняется несовершенством территориальной схемы по обращению с твердыми коммунальными отходами. Одной из целей исследования является разработка управленческих и технических решений, реализация которых позволит сократить количество накопленных твердых коммунальных отходов.

**Состав отходов в Алтайском крае.** По данным «Информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям», введенного в действие 1 июля 2017 г. Приказом Росстандарта от 15 декабря 2016 г. № 1887, усредненный морфологический состав твердых коммунальных отходов (ТКО) в России по весу представлен на рисунке.

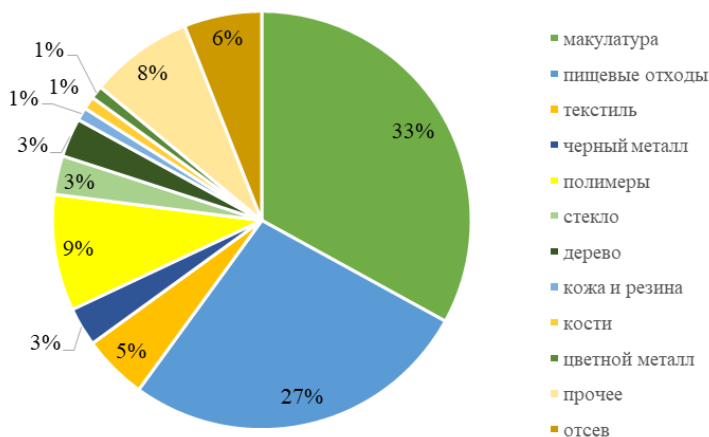


Рис. Морфологический состав ТКО в России

Данные могут различаться в зависимости от региона и его направленности. Алтайский край считается аграрным регионом, а исходя из письма Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 20 ноября 2023 г. № 25-29/44490 растительные отходы, схожие по составу с пищевыми (органическими) отходами, к числу ТКО не относятся [3].

Таким образом, можно сделать вывод, что большую часть твердых коммунальных отходов Алтайского края составляют органические (пищевые) отходы, образующиеся в результате жизнедеятельности населения.

**Перспективные технологии переработки отходов в Алтайском крае.** Анализ качественного состава отходов ТКО показал, что для Алтайского края актуален вопрос разработки технологических решений переработки органических отходов, входящих в состав ТКО. В связи с этим целесообразно рассмотрение метанового (анаэробного) брожения для получения биогаза, где главным продуктом является метан, выход которого составляет около 60 %.

В основе технологической схемы лежит процесс анаэробного брожения, который осуществляется в четыре стадии:

1) сложные биополимеры, такие как полисахариды, липиды и белки, подлежат гидролизу и преобразуются в более простые олиго- и мономеры, включая углеводы и простые сахара, длинноцепочные жирные кислоты и глицерин, а также аминокислоты и другие соединения;

2) мономеры, образующиеся в результате гидролиза, подвергаются сбраживанию, в результате которого формируются более простые вещества, такие как летучие жирные кислоты (ЛЖК), спирты, углекислый газ и водород, то есть происходит ферментация, которая включает стадию кислотогенеза;

3) ацетоногенез, или синтрофная стадия, на которой летучие жирные кислоты и спирты окисляются, что приводит к образованию ацетата, водорода и углекислого газа;

4) процесс образования метана, который является конечным продуктом анаэробного разложения органических веществ, при условии отсутствия других акцепторов электронов, таких как сульфаты, нитраты или железо (III).

Все реакции осуществляются в метантенке, где осуществляется постоянный обогрев для поддержания благоприятной среды для микроорганизмов.

Продолжительность процесса брожения биогаза определяется выбранным тепловым режимом, который можно разделить на два типа: мезофильное сбраживание, при температуре 30–35 °С, и термофильное сбраживание, проходящее при температуре 50–55 °С.

Реализация предлагаемого метода переработки отходов позволит решить ряд задач, а именно уменьшить количество отходов ТКО, размещаемых на полигонах, а также получить метан, который можно использовать на предприятии как энергоресурс, что отвечает принципам энерго- и ресурсосбережения.

### Список литературы

1. Официальный сайт Росприроднадзора [Электронный ресурс]. – URL: <https://rpn.gov.ru/open-service/analytic-data/statistic-reports/unauthorized-landfill/> (дата обращения: 11.02.2025).

2. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)). Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 15 – 2016. – М.: Бюро НДТ, 2016. – 208 с.

3. Письмо Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 20.11.2023 № 25-29/44490 «О рассмотрении обращения».

4. Серебрякова А.А., Лазуткина Ю.С. Твердые коммунальные отходы: проблема накопления и утилизации в Алтайском крае // Образование. Наука. Производство: материалы XIV Междунар. молодеж. форума, Белгород, 13–14 октября 2022 г. – Белгород, 2022. – С. 209–212.

### Об авторах

**Вебер Яна Игоревна** – магистрант международной кафедры ЮНЕСКО «Инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова e-mail: [yana.weber.02@gmail.com](mailto:yana.weber.02@gmail.com)

**Лазуткина Юлия Сергеевна** – канд. техн. наук, доцент международной кафедры ЮНЕСКО «Инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: [lazutkina78@mail.ru](mailto:lazutkina78@mail.ru)

**П.С. Бажина, А.М. Ардуанова, И.С. Глушанкова**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ  
ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ  
В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ**

Представлены результаты исследований по использованию сорбентов, полученных на основе лигносульфонатов, образующихся при получении целлюлозы методом сульфитной варки, и отходов потребления – древесностружечных плит – для очистки природной воды в полевых условиях в фильтрах одноразового действия. Определены дозы сорбентов, необходимые для очистки природной воды, в соответствии со стандартами качества питьевой воды.

**Ключевые слова:** углеродные сорбенты, лигнинсодержащие отходы, отходы древесно-стружечных плит.

**P.S. Bazhina, A.M. Arduanova, I.S. Glushankova**

**THE USE OF CARBON SORBENTS FROM PLANT RAW MATERIALS  
FOR WATER PURIFICATION IN THE FIELD**

The results of research on the use of sorbents obtained on the basis of lignosulfonates formed during the production of cellulose by sulfite cooking and consumer waste – chipboard – for the purification of natural water in the field in single-use filters are presented. The doses of sorbents necessary to purify natural water to the required standards for drinking water quality have been established.

**Keywords:** carbon sorbents, lignin-containing waste, wood-chipboard waste.

Утилизация многотоннажных растительных отходов лесозаготовительного комплекса (опилки, стружка), целлюлозно-бумажной промышленности (скоп, окорка древесины, отработанные щелока производства целлюлозы и др.), отходов потребления древесностружечных плит являются одной из сложно решаемых экологических и технологических проблем. Одним из перспективных вариантов конверсии целлюлозосодержащих отходов является их термохимическая утилизация с получением углеродных высокопористых сорбентов для решения экологических проблем – очистки сточных вод и газовых выбросов [1].

В настоящее время в промышленном масштабе углеродные высокопористые сорбенты из растительного сырья (древесина безрезы, косточки плодовых деревьев, скорлупа кокоса) получают по двухстадийной технологии – карбонизация сырья при 500–600 °С и активация карбонизатов водяным паром при 800 °С, а также проводятся исследования по использованию методов химической активации карбонизатов в присутствии гидроксида калия, фосфорной кислоты, карбоната натрия или калия с получением однороднопористых сорбентов.

Анализ научно-технической информации и предварительно проведенные исследования свидетельствуют о том, что ряд растительных отходов возможно перерабатывать методом термохимической деструкции с получением пористых сорбентов в одну стадию, а также, варьируя условия получения и используемые реагенты, получать сорбенты с заданными свойствами [2].

В ранее проведенных исследованиях были получены образцы углеродных сорбентов (УС) на основе жидких лигносульфонатов (ЛСТ) и отходов потребления – древесно-стружечных плит – методом термохимического и термокаталитического пиролиза [2, 3]. Образцы УС, полученные термокаталитическим пиролизом, содержали медь, обладающую бактерицидными свойствами. Полученные УС характеризуются хорошо развитой структурой микропор и высокой удельной поверхностью, сопоставимой с промышленными марками активных углей (АУ), полученными из растительного сырья (БАУ, КАУ), и доказано, что они не содержат водорастворимых токсичных примесей.

Целью работы являлось исследование возможности использования сорбентов из растительных отходов для очистки природной воды в полевых условиях.

Для проведения исследования была разработана модель фильтра одноразового действия для очистки воды в полевых условиях. Для определения массы АУ, необходимой для обработки 3–5 л воды, были проведены исследования по определению дозы сорбента, необходимого для снижения цветности и органических примесей, в соответствии с требованиями к качеству питьевой воды.

В фильтр добавляли заданные дозы углеродных сорбентов в пределах от 20 до 60 мг/дм<sup>3</sup>. Установлено, что время достижения адсорбционного равновесия составляет 60 мин, что обусловило время обработки воды в экспериментах [4]. Исследования по очистке воды проводили с образцами, полученными в лабораторных условиях из растительного сырья, и промышленными порошкообразными активными углями (ПАУ): ОУ-А и СПДК, получаемые методом парогазовой активацией древесины березы и скорлупы кокоса соответственно, УАФ получен карбонизацией и активацией каменноугольного сырья. В экспериментах эффективность очистки определяли по показателям ПМО, цветности и мутности.

Результаты исследований представлены в таблице.

Результаты исследований по адсорбционной  
очистке природной воды

| Образец                     | Доза<br>ПАУ,<br>мг/дм <sup>3</sup> | ПМО                     |      | Цветность |      | Мутность |      |
|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------|------|-----------|------|----------|------|
|                             |                                    | мгО/<br>дм <sup>3</sup> | Э, % | Ц°        | Э, % | ЕМ       | Э, % |
| Исходная вода               | 0                                  | 7,6±0,6                 | 0    | 60        | 0    | 3,8      | 0    |
| ОУ-А                        | 20                                 | 7,2                     | 5,2  | 45        | 25   | 1,4      | 63   |
|                             | 40                                 | 5,28                    | 32   | 34        | 43,3 | Н.п.о.   | 100  |
|                             | 60                                 | 1,12                    | 85,3 | 18        | 70   | Н.п.о.   | 100  |
| СПДК                        | 20                                 | 6,8                     | 10,5 | 48        | 20   | 1,4      | 63   |
|                             | 40                                 | 2,28                    | 69,7 | 37        | 38,3 | 1,2      | 68,4 |
|                             | 60                                 | 0,64                    | 91,6 | 27        | 55,5 | Н.п.о.   | 100  |
| УАФ                         | 20                                 | 7,0                     | 7,9  | 40        | 33   | 2,4      | 36,8 |
|                             | 40                                 | 6,9                     | 9,2  | 30        | 50   | 1,2      | 68,4 |
|                             | 60                                 | 1,6                     | 79   | 18        | 70   | Н.п.о    | 100  |
| УС- ДСП                     | 20                                 | 3,68                    | 51,6 | 18        | 70   | 1,5      | 60,5 |
|                             | 40                                 | 2,88                    | 62,1 | 17        | 71,6 | Н.п.о    | 100  |
|                             | 60                                 | 2,98                    | 60,8 | 15        | 75   | 1,3      | 65,8 |
| УС-ЛСТ                      | 20                                 | 2,7                     | 64,5 | 18        | 70   | 1,2      | 68,4 |
|                             | 40                                 | 1,92                    | 74,7 | 20        | 66,6 | Н.п.о    | 100  |
|                             | 60                                 | 2,88                    | 62,1 | 20        | 66,6 | 1,1      | 71,1 |
| ПДК по СанПин 2.1.4.1074-01 |                                    |                         |      |           |      |          |      |
| Показатель                  |                                    | 5,0                     |      | 20        |      | 1,5      |      |

*Примечание:* Н.п.о. – ниже предела обнаружения.

В ходе исследования были определены оптимальные дозы сорбентов: для промышленных АУ – 60 мг/дм<sup>3</sup>, для УС-ДСП и УС-ЛСТ – 20 мг/дм<sup>3</sup>.

Сравнительный анализ полученных результатов показывает возможность использования исследуемых УС из растительного сырья в фильтрах одноразового действия для очистки воды в полевых условиях до требуемых стандартов качества питьевой воды.

### Список литературы

1. Способ переработки лигнинсодержащих отходов целлюлозно-бумажной промышленности с получением сорбентов для очистки сточных вод / Я.И. Вайсман, И.С. Глушанкова, Е.С. Ширинкина, С.Ф. Давлетова // Теоретическая и прикладная экология. – 2018. – № 3. – С. 93–99.

2. Ардуанова А.М., Ардуанов Д.И. Утилизация лигнинсодержащих отходов производства и потребления с получением углеродных сорбентов // Вопросы прикладной экологии. – Пермь, 2023. – С. 238–245.

3. Глушанкова И.С., Комбарова М.М., Атанова А.С. Получение углеродных бактерицидных сорбентов из отходов древесностружечных плит // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2021. – № 2 (80). – С. 7–15.

4. Бажина П.С., Глушанкова И.С. Использование порошкообразных активных углей различных марок в системах водоподготовки // Химия. Экология. Урбанистика. – 2024. – Т. 1. – С. 18–21.

### Об авторах

**Бажина Полина Сергеевна** – магистрант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: polina.bazhina.03112001@mail.ru

**Ардуанова Анна Михайловна** – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: anna95mix@yandex.ru

**Глушанкова Ирина Самуиловна** – д-р техн. наук, профессор кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: irina\_chem@mail.ru

**А.А. Талейко, С.В. Леонтьев**

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРРИКОНИКОВ КИЗЕЛОВСКОГО  
УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Предложено одно из возможных решений экологической проблемы, связанной с необходимостью утилизации крупнотоннажных отвалов – отходов угледобычи, накопленных на территории Кизеловского угольного бассейна Пермского края. Установлено, что кардинальным способом решения данной проблемы может стать применение отходов при производстве строительных материалов. Предложен ранее неизученный подход по применению кизеловских терриконики как минеральных добавок для цементов и материалов на их основе. Приведены результаты оценки эффективности использования горелых и негорелых терриконики в качестве минеральной добавки.

**Ключевые слова:** терриконики, минеральные добавки, бетоны, кизеловский угольный бассейн, горелые породы.

**A.A. Taleiko, S.V. Leontev**

**THE UTILIZATION OF KIZEL COAL BASIN COAL GANGUES  
AS RAW MATERIALS FOR BUILDING MATERIALS PRODUCTION**

The environmental issue on the territory of Kizel coal basin of Perm krai was considered. It was established that utilization of dumps – the wastes of coal mining for building materials production can be fundamentally technic solving this problem. It was suggested new method of Kizel coal gangue utilization as supplementary cementitious materials for cement and cement-based materials. The results of efficiency assessment of self-ignited and not ignited coal gangue application as mineral admixture were presented.

**Keywords:** coal gangues, supplementary cementitious materials, concretes, Kizel coal basin, self-ignited coal gangues.

На сегодняшний день на территории Кизеловского угольного бассейна (КУБ) в Пермском крае остается нерешенной экологическая проблема, которая в том числе связана с негативным влиянием

расположенных там отвалов, образовавшихся в процессе угледобычи. Процессы самопроизвольного горения терриконов с последующей фильтрацией через них воды загрязняют воздушную и водную среду региона. Попытки устранить негативное влияние данных отвалов на окружающую среду путем разравнивания конусообразных отвалов, а также их рекультивации путем засыпки строительным мусором или грунтом имели ограниченное распространение. Таким образом, на данный момент в регионе КУБ сохраняются значительные запасы техногенных пород – отходов угледобычи, объем которых оценивается в 13 млн м<sup>3</sup> [1].

Для решения указанной проблемы в регионе необходимо рассмотреть такой подход, как утилизация терриконов путем использования их в качестве сырья для производства строительных материалов и изделий. С точки зрения строительного материаловедения данные отходы можно рассматривать как техногенное сырье. Известно, что отходы угледобычи представляют собой смесь различных алюмосиликатов, в частности глин, с включением угля. Исходя из этого, учеными Пермского политехнического университета проводились исследования [2, 3], направленные на изучение возможности использования данных пород в производстве строительных материалов. Положительные результаты показали исследования по получению строительной керамики с использованием как горелых («красных»), так и не горелых («черных») кизеловских терриконов, однако до сих пор данная технология не внедрена. Была также установлена непригодность терриконов в качестве крупных и мелких заполнителей для бетонов. Поэтому авторами настоящей статьи предлагается рассматривать кизеловские террикониты как сырье для получения минеральных добавок (МД) для портландцементов и материалов на их основе, в частности бетонов.

Применение минеральных добавок в составе портландцемента и цементных бетонов имеет ряд преимуществ, среди которых возможность придания материалам специальных свойств, экономия природного сырья, необходимого для производства портландцементного клинкера, увеличение объема производства цемента за

счет разбавления клинкерной составляющей [4]. Также за счет применения МД достигается снижение выбросов парниковых газов, связанных с производством цемента и бетонов. Данный эффект обусловлен либо отсутствием необходимости термической обработки МД, либо тем, что их обжиг происходит при более низкой температуре по сравнению с температурой обжига клинкера. Таким образом, применение кизеловских терриконигов в качестве МД позволит решить сразу две проблемы: решение экологического вопроса на территории КУБ и вопрос ресурсо- и энергосбережения при производстве цемента и материалов на его основе.

Однако для принятия технически эффективного решения по использованию кизеловских терриконигов в качестве МД требуется произвести оценку их химического и минералогического состава, а также определить их пуццоланическую активность. Авторами был произведен отбор проб породы терриконигов из отвалов в п. Шахта («красный» терриконик) и п. Шумихинский («черный» терриконик) (рисунок). Результаты химического анализа показали, что «красный» терриконик состоит в основном из кварца (65,9 %) с включениями сульфатов, угля и других примесей, тогда как «черный» терриконик образован каолинитом (41,3 %) и кварцем (28,3 %) со значительным содержанием угля (31–35 %).



*а*

*б*

Рис. Плоский отвал п. Шумихинский (*а*)  
и горелый терриконт п. Шахта (*б*) (фото от 25.09.2024)

Для оценки активности отобранных террикоников был произведен эксперимент по замене части (10, 20 и 30 %) портландцемента типа ЦЕМ I в растворе тонкомолотым «красным» и тонкомолотым и обожженным при 700 °С «черным» террикоником. Результаты показали, что замена до 30 % цемента «красным» террикоником незначительно сказывается на прочности раствора. Тогда как замена 20 % цемента обожженным «черным» террикоником даже повышает на 21 % прочность раствора на сжатие по сравнению с бездобавочным составом.

Таким образом, можно судить о принципиальной возможности использования кизеловских террикоников в качестве МД для цемента и материалов на его основе. Однако необходимо провести исследование и других отвалов на территории КУБ с целью установления идентичности и однородности их химического и минералогического составов. Дальнейшие исследования будут направлены на оценку пущолаической активности методом поглощения извести, а также подбор составов бетонов с МД на основе кизеловских террикоников.

### Список литературы

1. Баталин Б.С., Южаков К.Н., Белозерова Т.А. Техногенные месторождения минерального сырья для строительных материалов в Пермском крае: монография – Одесса, 2014. – 280 с.
2. Баталин Б.С., Белозерова, Т.А., Гайдай, М.Ф. Строительная керамика из террикоников Кизеловского угольного бассейна // Стекло и керамика. – 2014. – № 3. – С. 8–10.
3. Баталин Б.С., Хорошавина, А.И. Исследование возможности получения низкомарочного вяжущего вещества на основе горных пород шахтных террикоников // Master's Journal. – 2013. – № 2. – С. 137–142.
4. The Role of Supplementary Cementitious Materials in Hydration, Durability and Shrinkage of Cement-Based Materials, their Environmental and Economic Benefits: A Review / D. Ndahirwa, H. Zmamou, H. Lenormand, N. Leblanc // Cleaner Materials. – 2022. – Vol. 5. – P. 100123.

### **Об авторах**

**Талейко Андрей Алексеевич** – аспирант кафедры строительного инжиниринга и материаловедения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: taleyko.99@mail.ru

**Леонтьев Степан Васильевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры строительного инжиниринга и материаловедения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: n1306cl@yandex.ru

**Д.Р. Юдина, Н.А. Сыпачева, М.П. Шабалина, Э.Х. Сакаева**

## **ВЛИЯНИЕ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ**

Проводились экспериментальные исследования по оценке влияния загрязнения нефти и нефтепродуктов на ферментативную активность дерново-подзолистой суглинистой, дерново-подзолистой супесчаной почв и чернозема. Установлены закономерности изменения активности фермента в зависимости от типа почвы. Показана зависимость изменения активности каталазы от концентрации нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** углеводороды нефти, почва, ферменты, ферментативная активность.

**D.R. Yudina, N.A. Sypacheva, M.P. Shabalina, E.H. Sakaeva**

## **THE INFLUENCE OF PETROLEUM HYDROCARBONS ON THE ENZYMATIC ACTIVITY OF SOILS**

In the course of the work, experimental studies were conducted to assess the effect of oil and petroleum product pollution on the enzymatic activity of sod-podzolic loamy, sod-podzolic sandy loam soil and chernozem. Patterns of changes in enzyme activity have been established depending on the type of soil. The dependence of changes in catalase activity on the concentration of petroleum products is shown.

**Keywords:** petroleum hydrocarbons, soil, enzymes, enzymatic activity.

Среди загрязняющих веществ одно из первых мест занимают нефть и продукты ее переработки. Нефть представляет собой природный жидкий раствор, состоящий из множества углеводородов различной структуры, высокомолекулярных смолисто-асфальтеновых веществ, воды, микроэлементов и солей. Попадание нефтепродуктов или других углеводородов в почву приводит к значительному ухудшению ее водной и воздушной проницаемости, а также влияет на морфологические, физические, химические и биологические свойства, определяющие плодородие и экологические функции

почвы. Пропитанные нефтью почвы изменяют свой химический состав, свойства и структуру [1].

Высокая вязкость нефти способствует заполнению почвенных пор, вытесняя воздух и воду, необходимые для жизнедеятельности растений и микроорганизмов. Микро- и нанопленки нефти обволакивают почвенные частицы, агрегаты и элементы скелета почвы, изменяя их структуру. В зависимости от типа почвы и количества нефти это может привести к двум противоположным, но одинаково негативным последствиям: увеличению дисперсности – нефтяная пленка снижает силы сцепления между почвенными частицами, что приводит к их распаду и увеличению дисперсности, почва становится более рыхлой, подверженной эрозии и теряет влагоудерживающую способность; склеиванию и цементации – нефть, особенно тяжелые фракции, может склеивать почвенные частицы, образуя твердые агрегаты, что приводит к уменьшению дисперсности, но одновременно и к существенному снижению пористости, ухудшению аэрации и водопроницаемости, в крайних случаях это ведет к образованию гудрона – твердой, водонепроницаемой массы, практически полностью лишенной жизни [2].

Помимо этого, нефть оказывает токсическое воздействие на микробиоту, подавляя активность полезных бактерий, грибов и других организмов, ответственных за разложение органических соединений и обогащение почвы питательными веществами. Загрязнение почвы углеводородами уменьшает активность оксидоредуктазных и гидролитических ферментов, причем степень снижения может быть прямо пропорциональна содержанию нефти в почве. Среди таких ферментов почвенная уреаза, которая разлагает мочевину и поддерживает азотный баланс в почве. Исследования показывают, что фенольные и толуольные соединения способствуют ингибированию уреазной активности, в то время как парафиновые углеводороды проявляют стимулирующий эффект. Наибольшее ингибирующее действие на уреазу оказывают моторные масла и дизельное топливо, а наименьшее – бензин и легкие фракции углеводородов [3].

Помимо уреазы, подавляется активность и таких важных ферментов, как инвертаза, являющейся инструментом гидролиза сахаров в почве, полифенолоксидаза, пероксидаза и каталаза, отвечающих за распад и синтез гумусовых веществ [4]. Таким образом, изучение показателя ферментативной активности – это важный метод анализа физиологической активности микроорганизмов и скорости биохимических процессов, происходящих в загрязненной почве.

Целью настоящего исследования являлась оценка изменения каталазной активности почвы при попадании нефтяных углеводородов в различных концентрациях.

Для проведения экспериментальных исследований были взяты образцы дерново-подзолистой суглинистой, дерново-подзолистой супесчаной почвы и чернозем. В качестве нефтяных углеводородов использовалась нефть плотностью при 20 °С 874,6 кг/м<sup>3</sup>. В подготовленные образцы почвы вносились нефть в концентрациях 1, 5, 15, и 50 г/кг, чистая почва являлась контролем.

Определение активности каталазы проводили титрованием по методу Р.С. Кацнельсона, В.В. Ершова. Метод позволяет количественно оценить уровень активности каталазы в почве на основе объема выделившегося кислорода, выраженного в мл О<sub>2</sub> на грамм почвы за минуту. Расчет проводили по формуле:

$$AK = \frac{0,056 \cdot V_{KMnO_4} \cdot C_{KMnO_4} \cdot V_{\text{фильтрата}}}{V_{\text{фильтрата}} \cdot a \cdot T},$$

где  $V$  (KMnO<sub>4</sub>) – объем перманганата калия, пошедшего на титрование пробы, мл;  $C$  (KMnO<sub>4</sub>) – молярная концентрация перманганата калия, моль/дм<sup>3</sup>;  $V_{\text{фильтрата}}$  – объем фильтрата, мл;  $V_{\text{аликв.}}$  – объем аликвоты фильтрата, взятой на титрование, мл;  $m_{\text{нав.}}$  – масса навески, г;  $T$  – время экспозиции реакционной смеси, мин [5].

На рисунке представлены результаты экспериментальных исследований изменения каталазной активности загрязненных образцов дерново-подзолистой суглинистой, дерново-подзолистой супесчаной почв и чернозема.

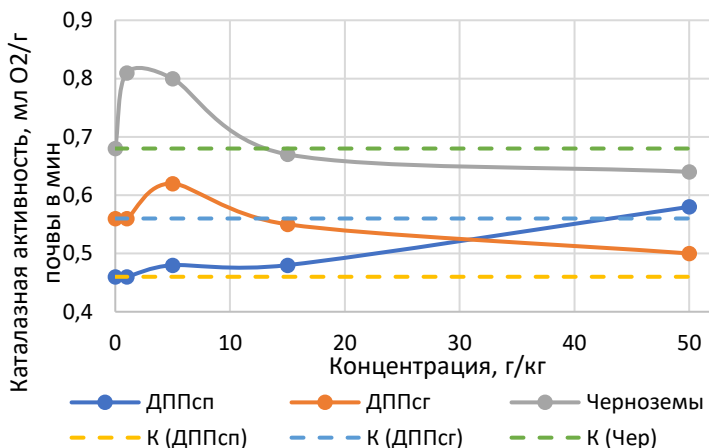


Рис. Зависимость каталазной активности от концентрации нефти

Активность каталазы в исследуемых почвах изменяется в зависимости от концентрации загрязнителя. В супесчаных почвах наблюдается увеличение активности фермента с ростом концентрации до 50 г/кг. Это может быть связано с особенностями структуры почвы, которые обеспечивают легкий доступ влаги и воздуха, что способствует интенсивным окислительно-восстановительным процессам. При загрязнении суглинистых почв и черноземов нефтью активность каталазы возрастает до 5 г/кг, что указывает на стимулирующее воздействие. Однако после этого наблюдается снижение активности, и показатели становятся ниже контрольных значений. Это может быть связано с токсичным влиянием нефти на почвы, что приводит к снижению биологической активности и замедлению окислительно-восстановительных процессов, необходимых для самоочищения почвы.

Полученные результаты экспериментальных исследований показывают, что каталазная активность меняется при загрязнении различных типов почвы нефтяными углеводородами. При попадании нефти каталазная активность снижается на 5–10 %. Наиболее ярко процесс самовосстановления почв замечен у черноземов и в супесчаных почвах.

## Список литературы

1. Исакова Е.А. Особенности воздействия нефти и нефтепродуктов на почвенную биоту [Электронный ресурс] // Colloquium-journal. – 2019. – № 12 (36). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-vozdeystviya-nefti-i-nefteproduktov-na-pochvennuyu-biotu> (дата обращения: 25.01.2025).
2. Химическое загрязнение и трансформация почв в районах добычи углеводородного сырья (обзор литературы) / И.В. Замотаев, И.В. Иванов, П.В. Михеев, А.Н. Никонова // Почвоведение. – 2015. – № 12. – С. 1505–1518.
3. Абдусаламова Х.С., Дохтукаева А.М., Усаева Я.С. Влияние нефтезагрязнения на показатели биологической активности почв // Universum: химия и биология. – 2017. – № 12 (42). – С. 4–6.
4. Сергатенко С.Н., Федорова И.Л., Игнатова Т.Д. Влияние нефтяного загрязнения на активность почвенных ферментов классов оксидоредуктаз и гидролаз // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 3 (59). – С. 83–88.
5. Хазиев Ф.Х., Фатхиев Ф.Ф. Изменение биохимических процессов в почвах при нефтяном загрязнении и активация разложения нефти // Агрохимия. – 1981. – № 10. – С. 102–115.

## Об авторах

**Юдина Дарья Равилевна** – магистрант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, член Молодежной ассоциации Фонда им. В.И. Вернадского, e-mail: [dasch.iudina2012@yandex.ru](mailto:dasch.iudina2012@yandex.ru)

**Сыпачева Наталья Александровна** – магистрант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [natalya.sypachewa@gmail.com](mailto:natalya.sypachewa@gmail.com)

**Шабалина Мария Павловна** – магистрант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [sabalina.marya@gmail.com](mailto:sabalina.marya@gmail.com)

**Сакаева Эльвира Хабиоровна** – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [elya2182@mail.ru](mailto:elya2182@mail.ru)

**М.А. Ведерникова**

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА НОРМАТИВОВ ДОПУСТИМЫХ ВЫБРОСОВ**

Рассматриваются ключевые особенности при разработке проекта нормативов допустимых выбросов. Подчеркивается важность учета местных экологических условий, также определение зоны воздействия выбросов и установление расчетной области.

**Ключевые слова:** атмосферный воздух, загрязняющие вещества, нормативы допустимых выбросов.

**M.A. Vedernikova**

## **FEATURES IN THE DEVELOPMENT OF THE PROJECT STANDARDS OF ALLOWABLE EMISSIONS**

The article examines key features in developing a draft emission standards. The importance of taking into account local environmental conditions, as well as determining the emission impact zone, and establishing the calculation area is emphasized.

**Keywords:** atmospheric air, pollutants, emission standards.

Актуальность разработки проекта нормативов допустимых выбросов обусловлена потребностью выявления объемов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на конкретной территории. Это позволяет установить, какие выбросы допустимы для данного участка, чтобы не было превышения предельно допустимых концентраций на нормируемой территории. Разработка проекта нормативов допустимых выбросов служит ключевым инструментом обеспечения экологической безопасности населения и поддержания качества воздуха в пределах установленных санитарных норм.

Нормативы допустимых выбросов – это регулирующие нормы, определяющие максимально допустимый объем и состав загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятиями. Эти показате-

тели устанавливаются с учетом общего содержания токсичных веществ в атмосфере по результатам расчетов рассеивания, проведенных с помощью программного продукта УПРЗА «Эколог».

**Учет фоновых концентраций, а также климатических и метеорологических параметров.** Для оценки экологического состояния вследствие выбросов от предприятий необходимо учитывать фоновые показатели. Данные о фоновых показателях можно получить в региональном отделении Гидрометцентра. Источники, оказывающее наибольшее влияние на уровень загрязнения атмосферы, называются вкладчиками. Группы суммации представляют собой смеси различных веществ с комбинированным воздействием. Они учитываются в рассеивании в случае превышения 0,1 ПДК одного из веществ группы [1]. В случае если приземная концентрация загрязняющего вещества в атмосфере не выше 0,1 ПДК за пределами территории объекта, то учет фона для группы, содержащих это вещество, не производится.

При проведении расчетов рассеивания необходимо учитывать состав и значения географических, климатических и метеорологических характеристик района расположения объекта [1]. К ним относятся коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, коэффициент рельефа [3], также роза ветров и максимальная температура в летний и в холодный период времени. Значения параметров рассчитывается Росгидрометом индивидуально для каждого региона.

**Определение области воздействия выбросов от источников загрязнения.** Зона влияния выбросов загрязняющих веществ – территория, ограниченная замкнутой линией, вне которой для любой точки местности в течение всего времени выбросов конкретного загрязняющего вещества значение приземной концентрации менее 0,05 ПДК [1]. Эта область играет ключевую роль при выборе параметров для анализа рассеивания. Параметры расчетной зоны и шаг расчетной сетки оказывают влияние на определение примесей в атмосфере на границах санитарно-защитной зоны объекта, жилых участков и зон с особыми условиями в расчетных точках, находя-

щихся в разных направлениях от объекта. При определении нормативов следует принимать во внимание, что концентрации загрязняющих веществ от объекта не должны превышать установленные гигиенические требования: менее 1 ПДК на границе санитарно-защитной зоны и жилой, а также не превышать 0,8 ПДК в местах, где действуют особые требования [2].

В статье рассмотрены моменты, касающиеся разработки нормативов допустимых выбросов. Важно учитывать фоновую концентрацию загрязняющих веществ и их влияние на окружающую среду, а также проводить рассеивания выбросов, принимая во внимание погодные условия.

### **Список литературы**

1. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565780531> (дата обращения: 17.02.2025).

2. Ламихова М.В. Новая форма проекта ПДВ. Неужели дождались? // Экология производства. – 2021. – № 3. – С. 86–97.

3. Приказ Минприроды России (Министерство природных ресурсов и экологии РФ) от 06 июня 2017 г. № 273 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71642906/> (дата обращения: 18.02.2025).

### **Об авторе**

**Ведерникова Мария Александровна** – студентка кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [mar3ved@yandex.ru](mailto:mar3ved@yandex.ru)

**А.Д. Плохая, Е.В. Калинина**

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ ИСТОЧНИКА ЗАПАХА НА СООРУЖЕНИЯХ  
ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД**

В статье представлены характеристики перекрытий поверхностей очистных сооружений для предотвращения попадания эмиссий дурнопахнущих веществ, образующихся в ходе очистки и транспортировки сточных вод. Проведена оценка эффективности применения тканых материалов для изоляции источника запаха на сооружениях очистки сточных вод

**Ключевые слова:** одоранты, дурнопахнущие вещества, дезодорация, эмиссии, перекрытие емкостных сооружений, плавающие перекрытия.

**A.D. Plokhaya, E.V. Kalinina**

**ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF USING WOVEN MATERIALS  
FOR ISOLATION OF ODOUR SOURCE AT WASTEWATER  
TREATMENT FACILITIES**

The article contains information about the characteristics of the covers of open wastewater treatment plants for the elimination of odorants generated during the treatment and transportation of wastewater. An assessment of the effectiveness of using woven materials for isolating the source of odor in wastewater treatment plants is carried out.

**Keywords:** odorants, foul-smelling components, deodorization, emissions, capping of tank structures, floating caps.

Выделение одорантов в процессе транспортировки и очистки сточных вод снижает качество жизни населения и негативно влияет на здоровье человека и объекты окружающей среды.

Основным источником образования дурнопахнущих веществ в сетях водоотведения являются биологические превращения органических веществ, которые содержат соединения азота, серы и протекают в анаэробных условиях, а также сброс промышленных сточных вод [1, 2].

Наибольшие концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на станциях очистки фиксируются в приемных камерах, на начальном этапе очистки сточных вод и при обработке осадков.

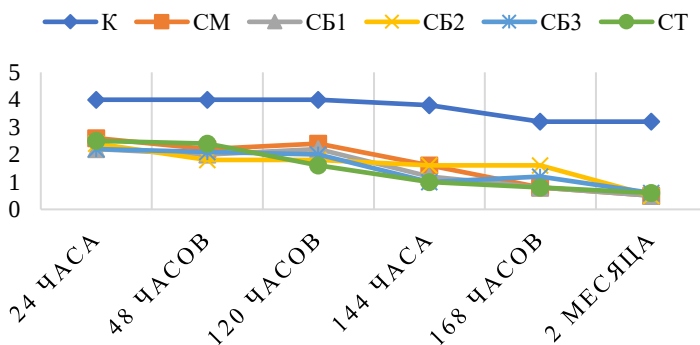
Для предотвращения распространения дурнопахнущих веществ применяются перекрытия открытых поверхностей очистных сооружений, которые оснащены системой отвода газов. Далее происходит очистка газа. Среди основных способов очистки воздуха выделяют физико-химические, биологические, плазмокаталитические методы. Физико-химические методы основаны на сорбционной технологии, заключающейся в поглощении загрязняющих примесей фильтрами с сорбционной загрузкой. К биологическим методам относят биоскрubberы, принцип работы которых основан на абсорбции одорантов рециркулирующей жидкостью, и биофильтры – устройства, имеющие фильтрующую загрузку с микроорганизмами, которые разлагают загрязнители. Сорбционно-плазмокаталитическая технология основана на высокой окислительной способности продуктов высоковольтного электрического разряда [3]. Принцип действия дезодорации газов основан на устранении запаха реагентами, состоящими из смеси разнообразных компонентов, способных нейтрализовать дурнопахнущие вещества. Еще одним методом дезодорации является применение реагентов-нейтрализаторов. Принцип действия реагентов основан на химических реакциях, разрушающих запахи, маскирующих их или заменяющих другими.

Так как начальным этапом для снижения эмиссий дурнопахнущих веществ является изоляция систем транспортировки и очистки сточных вод, рассмотрим реализованные технические устройства для перекрытия поверхностей очистных сооружений. Наиболее целесообразно применение плоских и плавающих типов перекрытий, так как они имеют низкий профиль, что минимизирует объем вентилируемого воздуха, который необходимо очистить, и снижает нагрузку на железобетонные конструкции. Типы и характеристика перекрытий очистных сооружений представлены в таблице.

## Перекрытия поверхностей очистных сооружений

| Тип       | Характеристика                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Примеры практической реализации                                                                      |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Купольные | Стационарное перекрытие открытых емкостных сооружений, выполненное в виде полусферы. Изготавливается из таких материалов, как металл и полимерные материалы. Для эффективной работы необходимо наличие эффективной системы вентиляции и очистки воздуха. Данный вид перекрытий имеет высокую стоимость эксплуатации                                     | Пластиковые перекрытия на очистных сооружениях г. Мергелыштеттен, г. Гармиш-Партен-Кирхен [4]        |
| Плоские   | Плоское неподвижное перекрытие. Позволяет существенно уменьшить размеры и вес перекрытия, а также объем вентилируемой зоны, в результате чего снижаются энергозатраты на вентиляцию и очистку вентиляционных выбросов. Возникают трудности эксплуатации в зимний период за счет скопления снега на поверхности                                          | Покрытие Z6000 от компании NordicWaterZickert. Плоское неподвижное перекрытие от компании Vökker [4] |
| Плавающие | Служит перекрытием бассейна илоскреба. Упрощает проведение ремонтных работ конструкций, расположенных внутри отстойника, а также имеет низкое энергопотребление системы очистки воздуха. Не требует каких-либо образований строительной части конструкции. Однако в ходе работы под нижней частью перекрытия накапливаются жировые и плавающие вещества | Первичный отстойник № 5 на Люберецких очистных сооружениях. Курьяновские очистные сооружения [4]     |

Для временной изоляции открытых емкостей небольшой площади возможно использование тканых перекрытий. Была проведена оценка эффективности тканых материалов для перекрытия площадных источников, выделяющих одоранты, с использованием высокосернистой нефти. Для подбора тканых материалов были использованы следующие критерии выбора: эффективность изоляции, экологическая безопасность, экономическая целесообразность. Для этого в открытые емкости, перекрытые ткаными материалами, вносилось равное по объему количество нефти. Контрольным образцом (К) была выбрана емкость с нефтью, не перекрытая тканым материалом. В качестве перекрытия использовали спанбонд с разными плотностями (СБ1 – спанбонд плотностью 150 г/м<sup>2</sup>; СБ2 – спанбонд плотностью 60 г/м<sup>2</sup>; СБ3 – спанбонд плотностью 60 г/м<sup>2</sup>, сложенный в два слоя); стеклоткань (СТ – стеклоткань плотностью 260 г/м<sup>2</sup>); спанбонд+мельтблаун (СМ – материал из трех слоев: 1-й слой – спанбонд плотностью 15–20 г/м<sup>2</sup>; 2-й слой – мельтблаун плотностью 20–25 г/м<sup>2</sup>; 3-й слой – спанбонд плотностью 15–20 г/м<sup>2</sup>). Оценка эмиссий проводилась группой исследователей по органолептическим показателям с определением характера и интенсивности запаха. Результаты исследования интенсивности эмиссии запаха при использовании тканых материалов в качестве перекрытия представлены на рисунке.



Интенсивность запаха при перекрытии источника запаха ткаными материалами

Результаты исследований показали, что использование тканых материалов для перекрытия открытых источников, выделяющих дурнопахнущие соединения, позволяет сократить интенсивность запаха в 1,5–2 раза. Наибольшую эффективность обеспечивает комбинированный трехслойный материал (спанбонд+мельтблаун), а также спанбонд плотностью 150 г/м<sup>2</sup>. При длительном использовании тканых материалов для изоляции источников дурнопахнущих веществ отмечено повышение эффективности с 2 до 7 раз. Зафиксировано, что увеличение количества слоев одного материала с одинаковой плотностью повышает эффективность поглощения незначительно относительно результатов применения материала в один слой.

### Список литературы

1. Глущенко Е.С., Кадысева А.А. Методы дезодорации сточных вод на канализационных очистных сооружениях // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 2. – С. 40–49.
2. Малышева А.А. Биофильтрация как способ дезодорации газовых выбросов при работе станций аэрации // Сантехника. – 2015. – № 3. – С. 40–43.
3. Кузьмин В.А., Клоков А.И., Джикирба Б.Р. Опыт эксплуатации систем удаления дурнопахнущих веществ на объектах водоотведения // Водоснабжение и санитарная техника. – 2021. – № 3. – С. 20–25.
4. Инженерные аспекты организации удаления запахов на очистных сооружениях канализации АО «Мосводоканал» / А.М. Пономаренко, Д.Ю. Власов, Н.С. Басов [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника – 2021. – № 1. – С. 29–35.

### Об авторах

**Плохая Анна Дмитриевна** – студентка кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: plohayanna@yandex.ru

**Калинина Елена Васильевна** – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kalininaelena1@rambler.ru

**К.А. Аристов, Н.Н. Слюсарь**

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ  
ПОЛИМЕРНЫХ БУТЫЛОК ПРИ СОРТИРОВКЕ  
УТИЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ ТКО**

В статье рассматривается метод идентификации полимерных бутылок при сортировке контейнерных сеток с применением компьютерного зрения и нейронных сетей. Представлены этапы подготовки данных, разметки изображений, предварительной обработки и обучения нейронной сети YOLOv11. Описаны преимущества применения этой сети для обнаружения полимерных бутылок в окружающей среде.

**Ключевые слова:** идентификация пластиковых бутылок, сортировка, применение компьютерного зрения.

**K.A. Aristov, N.N. Slyusar**

**APPLICATION OF NEURAL NETWORKS FOR IDENTIFYING  
POLYMER BOTTLES IN THE SORTING OF RECYCLABLE  
MSW FRACTIONS**

The article discusses a method for identifying polymer bottles in container net sorting using computer vision and neural networks. The stages of data preparation, image annotation, preprocessing, and training of the YOLOv11 neural network are presented. The advantages of using this network for detecting polymer bottles in the environment are described.

**Keywords:** plastic bottle identification, sorting, computer vision application.

По данным государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» в 2023 г. объем образованных твердых коммунальных отходов (ТКО) составил 45,9 млн т. Общий объем обработанных ТКО составил 24,6 млн т, что составляет 53 % от их общей массы образованных ТКО [1]. В соответствии с указом Президента от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года», национальная цель

«Экологическое благополучие» заключается в формировании экономики замкнутого цикла, где весь объем образованных ТКО должен проходить 100 % сортировку [2]. Современные технологии, используемые для сортировки пластиковых отходов, основаны на ближнем инфракрасном (NIR) излучении, рентгеновской флуоресценции (XRF) и видимом свете (анализ цвета с использованием камеры или спектроколориметра). Некоторые другие технологии, такие как средневолновое инфракрасное (MIR) излучение, распознавание формы, гиперспектральная съемка, электростатические сепараторы и сканеры штрих-кодов, обладают потенциалом для сортировки пластиковых отходов, но пока не применяются в промышленных масштабах [3]. Оптические методы обнаружения в сочетании с искусственным интеллектом разрабатываются и все чаще применяются для повышения точности идентификации и эффективности разделения пластмасс. Полимерные бутылки идентифицируются, классифицируются и сортируются на основе данных, получаемых в цифровом формате в режиме реального времени с использованием камер [4].

Сбор данных проводился на одном из предприятий, занимающихся сортировкой отходов. Отходы поступали из сетчатых контейнеров, предназначенных для сбора утильной фракции твердых коммунальных отходов. Эти контейнеры установлены на контейнерных площадках, что облегчает дальнейшую сортировку и переработку отходов. Утильная фракция включала следующие виды материалов: ПЭТ, ПНД, ПП, ПВД, ПС и АБС. Для фиксации процесса использовалась камера смартфона, закрепленная над конвейерной лентой. Камера работала с разрешением 1920×1080 пикселей и частотой съемки 30 кадров в секунду. В ходе эксперимента было записано 30-минутное видео, которое затем преобразовали в кадры. Из полученного набора изображений отобрали 843 релевантные фотографии. Разметка изображений осуществлялась прямоугольными метками по 7 классам, учитывающим тип бутылки и ее цвет. Данное количество классов было выбрано по частоте встречаемости полимерной тары. Названия классов и количество фотографий по каждому классу представлены на рис. 1.

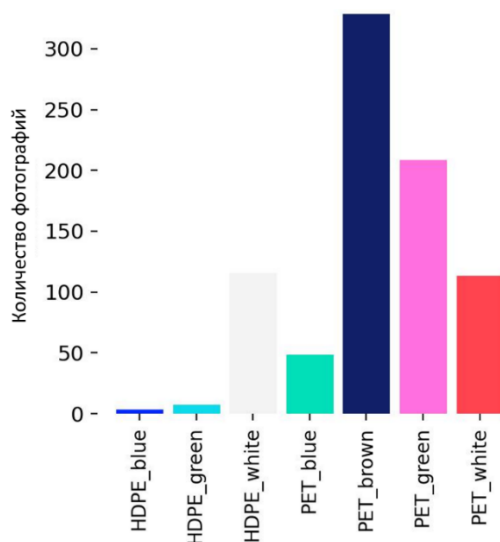
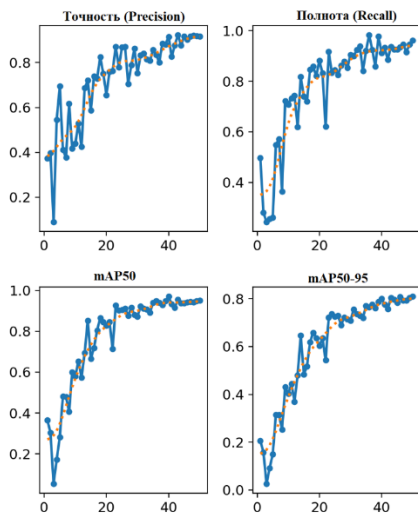
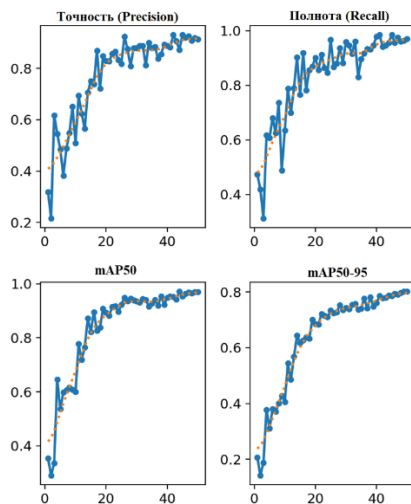


Рис. 1. Количество размеченных изображений по классам

Данные были разделены на обучающий, проверочный и тестовый наборы данных в соответствии с пропорцией 80/10/10 %. Для увеличения набора данных для обучения и повышения количества фотографий классов с малым количеством данных была применена аугментация, которая включала поворот изображений на  $-35^\circ$  и  $+35^\circ$ , а также их зеркальное отражение по вертикали. Общее количество изображений было увеличено до 2020 фотографий для обучающего набора. Для обучения идентификации полимерных отходов была использована нейросеть YOLO модели YOLOv11m, поскольку она представляет собой сбалансированное решение между точностью и производительностью. YOLOv11m остается достаточно быстрой и не требует чрезмерных вычислительных ресурсов, в отличие от более тяжелых моделей YOLOv11x. Обучение проводилось для двух наборов данных: 843 и 2189 фотографий с обучающей выборкой 674 и 2020 фотографий соответственно, с ограничением в 50 эпох. Результаты обучения моделей представлены на рис. 2.



*a*



*б*

Рис. 2. Результаты обучение модели YOLOv11m:  
*a* – обучение модели на 674 фотографиях;  
*б* – обучение модели на 2020 фотографиях

Полученные результаты исследования показывают, что идентификация полимерных бутылок на изображениях достигает средней точности 80–85 %. При увеличении количества обучающих данных снижается количество резких скачков в графиках при обучении модели. Скорость обработки одного видеокadra составляет в среднем 0,5 мс. Дальнейшее увеличение объема данных и добавление новых классов объектов позволит повысить точность и расширить функционал модели, что сделает ее более универсальной и применимой в различных задачах сортировки отходов.

### **Список литературы**

1. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации» в 2023 году [Электронный ресурс]. – URL: <https://2023.ecology-gosdoklad.ru/> (дата обращения: 18.02.2025).
2. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» // Собрание законодательства РФ. – 2024. – № 19.
3. Lubongo C., Alexandridis P. Assessment of performance and challenges in use of commercial automated sorting technology for plastic waste // Recycling. – 2022. – Vol. 7, no. 2. – P. 11.
4. Lubongo C., Bin Daej M.A.A., Alexandridis P. Recent developments in technology for sorting plastic for recycling: The emergence of artificial intelligence and the rise of the robots // Recycling. – 2024. – Vol. 9, no. 4. – P. 59.

### **Об авторах**

**Аристов Кирилл Александрович** – магистр кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [kirill\\_aristov2912@mail.ru](mailto:kirill_aristov2912@mail.ru)

**Слюсарь Наталья Николаевна** – д-р техн. наук, профессор кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [nnslyusar@gmail.com](mailto:nnslyusar@gmail.com)

**М.П. Красновских, И.Г. Мокрушин, А.А. Кетов**

## **МЕДЛЕННЫЙ ПИРОЛИЗ ОТХОДОВ ПОЛИОЛЕФИНОВ: ПУТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОДУКТОВ**

Работа посвящена проблеме утилизации отходов полиолефиновых полимеров на примере полиэтилена высокого давления и переработки их в востребованные продукты методом медленного пиролиза под давлением. Показано, что в ходе медленного пиролиза в реакторе проточного типа при разном времени нахождения сырья в реакционной зоне возможно получение продуктов с различными температурами плавления, которые могут быть применены в качестве частичной замены восков, масел, жидких топлив.

**Ключевые слова:** полиолефины, полиэтилен, пластик, термические методы утилизации, медленный пиролиз, топливо, масло, воск.

**M.P. Krasnovskikh, I.G. Mokrushin, A.A. Ketov**

## **SLOW PYROLYSIS OF POLYOLEFIN WASTE: PRODUCT APPLICATION PATHS**

The paper is devoted to the problem of waste disposal of polyolefin polymers using the example of high-pressure polyethylene and their processing into demanded products by slow pyrolysis under pressure. Products with different melting points can be obtained at different times of the raw material in the reaction zone during slow pyrolysis in a flow-type reactor. It is shown that the obtained products are fundamentally applicable as fuels, oily or waxy products.

**Keywords:** polyolefins, polyethylene, plastic, thermal recycling methods, slow pyrolysis, fuel, oil, wax.

По оценкам [1] ежегодно в мире образуется 218 млн т твердых пластиковых отходов. При этом среднемировой уровень переработки пластика составляет всего 15 %, в то время как около 40 % (90 млн т в год) утилизируются некорректно и в конечном итоге попадает в окружающую среду в результате засорения, смыва ливневыми водами. Крупнейшим рынком пластмасс является упаковка из полимеров полиолефинового типа (полиэтилен, полипропилен),

массовая доля пластмасс в твердых коммунальных отходах увеличилась с менее чем 1 % в 1960 г. до более чем 10 % к 2005 г. и продолжает расти. Переработка пластика после потребления является серьезной проблемой. Использование пластиковых отходов в качестве сырья для производства более ценных продуктов привело к поиску альтернативных методов переработки, поэтому внимание исследователей привлекают термохимические пути утилизации отходов полиолефинов, в частности, пиролиз для получения новых продуктов с добавленной стоимостью [2].

Химический процесс более эффективно протекает в проточном реакторе, чем в периодическом. Производительность, управляемость и энергоэффективность проточного реактора выше, а продукт характеризуется более стабильными свойствами. Кроме того, температура и давление в ходе пиролиза оказывают значительное влияние как на скорость процесса, так и на распределение продуктов разложения полиолефинов, в частности полиэтилена, в сторону более низкомолекулярных углеводородов [3]. Таким образом, регулируя параметры процесса (давление, время нахождения сырья в реакционной зоне, температуру), можно управлять качеством продуктов и получать продукты с различным молекулярно-массовым распределением, а соответственно, с различными потребительскими свойствами.

По результатам ранее проведенных исследований [4] разработаны технические решения для процесса медленного пиролиза в реакторе непрерывного типа. В качестве сырья полимеров использовался полиэтилен высокого давления (ПВД), представляет собой гранулы вторичного материала после удаления примесей, мойки и экструзионного формования. Проведены опытные работы по термической конверсии ПВД при температуре 550 °С, давлении 10 атм. и при трех значениях расхода сырья. Параметры процесса и свойства полученных продуктов приведены в таблице.

Показано, что снижение массового расхода сырья, что, по сути, приводит к увеличению времени пиролиза, способствует более глубокой деструкции полиолефина и образованию продуктов с меньшей молекулярной массой.

Результаты проведению непрерывного  
пиролиза вторичного ПВД

| Номер<br>продукта | Расход<br>сырья,<br>кг/час | Выход<br>жидких<br>продуктов,<br>масс. % | Внешний<br>вид<br>продукта | Температура<br>плавления<br>продукта, °С |
|-------------------|----------------------------|------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
| 1                 | 4,0                        | 82,0                                     | Воскооб-<br>разный         | 110                                      |
| 2                 | 1,0                        | 55,4                                     | Масляни-<br>стый           | 5                                        |
| 3                 | 0,6                        | 49,1                                     | Жидкий                     | –12                                      |

Исследованы характеристики и пути применения продуктов пиролиза.

Температура плавления полученного полиолефинового воска (продукт № 1) сопоставима с значениями для различных коммерческих восков. Исследовано влияние добавки 5 масс. % полученного воска на свойства дорожного битума. Проведен термомеханический анализ исходного и модифицированного битума, определены температуры размягчения (NETZSCH TMA 402 F1, режим пенетрации иглой). Показано, что для образцов модифицированного битума наблюдается закономерное увеличение температуры размягчения, как и в случае коммерческого модификатора Sasobit [5].

Продукт № 2 был добавлен в количестве 7 масс. % в масляную основу коммерческой смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) для быстрорежущей стали Р6М5. Установлено, что стабильность концентрата, стабильность эмульсии при разбавлении 1:200, а также защитный эффект эмульсии при гравиметрическом исследовании коррозии стали у исходной СОЖ и композиции с добавлением продукта № 2 идентичны.

Определена общая теплотворная способность для продукта № 3: составила 55 МДж/кг (IKA C6000 isoperibol), что близко к показателям для традиционных видов жидкого топлива, получаемых из минерального сырья, массовая доля серы 0,005 % (CHNS-элементный анализатор Elementar Analysensysteme модели Vario EL

Cube). Жидкие продукты пиролиза с таким качеством потенциально могут быть приняты в качестве замены мазута (ГОСТ 10585-2013).

Таким образом, предложенный в данной работе метод утилизации отходов полиолефиновых полимеров позволяет в проточном реакторе получать востребованные продукты с заданными свойствами, потенциально применимые в качестве замены части топлив, масел, восков.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, грант РНФ 25-24-00545, <https://rscf.ru/project/25-24-00545/>*

### Список литературы

1. Ragossnig A.M., Agamuthu P. Plastic waste: Challenges and opportunities // Waste Management & Research. – 2021. – No. 39 (5). – P. 629–630. DOI: 10.1177/0734242x21101342
2. The chemistry of chemical recycling of solid plastic waste via pyrolysis and gasification: State-of-the-art, challenges, and future directions / O. Dogu, M. Pelucchi, R. Van de Vijver [et al.] // Progress in Energy and Combustion Science. – 2021. – No. 84. – P. 100901. DOI: 10.1016/j.pecs.2020.100901
3. Murata K., Sato K., Sakata Y. Effect of pressure on thermal degradation of polyethylene // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2004. – No. 71 (2). – P. 569–589. DOI: 10.1016/j.jaap.2003.08.010
4. Baseline data of low-density polyethylene continuous pyrolysis for liquid fuel manufacture / A. Ketov, V. Korotaev, N. Sliusar, V. Bosnic, M. Krasnovskikh, A. Gorbunov // Recycling. – 2022. – No. 7. – P. 2. DOI: 10.3390/recycling7010002
5. New models for the properties of warm mix asphalt with sasobit / M.R. Herozi, W. Valenzuela, A. Rezagholilou, A. Rigabadi, H. Nikraz // CivilEng. – 2022. – Vol. 3, no. 2. – P. 347–364. DOI: 10.3390/civileng3020021

### **Об авторах**

**Красновских Марина Павловна** – канд. техн. наук, доцент кафедры неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности, Пермский государственный национальный исследовательский университет, e-mail: krasnovskih@yandex.ru

**Мокрушин Иван Геннадьевич** – канд. хим. наук, доцент кафедры неорганической химии, химической технологии и техносферной безопасности, Пермский государственный национальный исследовательский университет, e-mail: mig@psu.ru

**Кетов Александр Анатольевич** – д-р техн. наук, профессор кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alexander\_ketov@mail.ru

**Ю.А. Федосеева, И.Н. Ташкинова**

## **ПРОЯВЛЕНИЕ КЛИМАТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ**

Приведена краткая характеристика изменения климата Пермского края в период с 2014 по 2023 гг. Изучено качество атмосферного воздуха в период с 2014 по 2023 гг. Проанализирована заболеваемость населения Пермского края климаточувствительными заболеваниями за последние 10 лет. Рассмотрена взаимосвязь качества атмосферного воздуха, климатических условий и проявления климаточувствительных заболеваний. Даны рекомендации по здоровьесбережению в условиях климатической и экологической нагрузки.

**Ключевые слова:** климаточувствительные заболевания, изменение климата, загрязнение воздуха.

**Yu.A. Fedoseeva, I.N. Tashkinova**

## **MANIFESTATION OF CLIMATE-SENSITIVE DISEASES IN THE TERRITORY OF THE PERM REGION**

A brief description of climate change in the Perm Region from 2014 to 2023 is given. The quality of atmospheric air in the period from 2014 to 2023 is studied. An analysis of the incidence of climate-sensitive diseases in the Perm Region population over the past 10 years is conducted. The relationship between the quality of atmospheric air, climatic conditions and the manifestation of climate-sensitive diseases is considered. Recommendations are given for maintaining health in conditions of climatic and environmental stress.

**Keywords:** climate-sensitive diseases, climate change, air pollution.

Актуальность проблемы проявления климаточувствительных заболеваний обусловлена различными факторами, такими как увеличение частоты проявлений экстремальных температур, расширение ареала переносчиков болезней, увеличение засушливых периодов, воздействие на уязвимые группы населения, появления «волн жары» и «волн холода». Необходима разработка рекомендаций по здоровьесбережению в меняющихся климатических условиях.

Анализируя данные о среднегодовых температурах в Пермском крае за последние 10 лет [1], можно отметить, что среднегодовая температура выросла на 1,7 °С – это очень значимые изменения климатических условий Пермского края. Например, за 2023 г. было установлено 14 рекордов максимальной и два рекорда минимальной температуры воздуха. Также 2023 г. стал самым засушливым за последние 10 лет. По прогнозным данным к 2041–2060 гг. среднегодовая температура воздуха в Пермском крае увеличится: наибольший прирост ожидается зимой (на 3,2 °С), наименьший – летом (на 2,4 °С); весной температура вырастет на 2,9 °С, осенью – на 2,5 °С [1].

Климатические изменения значительно ухудшают состояние здоровья населения. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, с изменением климата связано от 1 до 10 % смертей в Европе в старшем возрасте, а также более 150 тыс. дополнительных смертей отмечается во всем мире ежегодно [3].

Климаточувствительные заболевания коррелируют с погодными условиями либо с климатическими изменениями, проявляются в территориальной динамике распространения недугов, смертности и других показателей, характеризующих уровень здоровья населения. К заболеваниям, характеризующимся чувствительностью к климатическим факторам, относятся заболевания органов дыхания (аллергический ринит, бронхиальная астма, острые респираторные инфекции), заболевания сердечно-сосудистой системы (гипертония, ишемическая болезнь сердца), трансмиссивные заболевания (Болезнь Лайма, лихорадка Денге, малярия), болезни эндокринной системы (сахарный диабет), травмы отравления и другие воздействия внешних причин (травмы, обморожения, утопления), психические расстройства (алкогольные психозы), кишечные инфекции (сальмонеллез, шегеллез, отравления) [2].

На территории Пермского края из климаточувствительных заболеваний в большей степени распространены болезни органов кровообращения, все болезни органов дыхания и болезни эндокринной системы. Из трансмиссивных болезней повсеместно встречаются случаи заражения клещевым вирусным энцефалитом, болезнью Лайма [3].

Климат влияет на качество атмосферного воздуха, в том числе на процессы рассеивания примесей в приземном слое атмосферы: происходят фотохимические процессы, приводящие к появлению

новых, более вредных соединений, чем исходные. Отмечается корреляция между климатическими условиями и уровнем загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов. К основным факторам среды, усиливающим действие климатических рисков, относятся превышения в атмосферном воздухе допустимых значений по взвешенным частицам PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>, по диоксиду азота, по сероводороду и диоксиду серы, по канцерогенным веществам (бензол, формальдегид, фенол, бенз(а)пирен), тяжелым металлам. Главными загрязнителями атмосферного воздуха в Пермском крае являются взвешенные частицы, диоксид серы, оксид углерода, оксиды азота, углеводороды, летучие органические соединения и др., характерные преимущественно выбросам автотранспорта, а также стационарным источникам промышленности [4]. В период с 2014 по 2023 гг. в атмосферный воздух Пермского края поступило 2933,1 тыс. т загрязняющих веществ.

Ключевыми климаточувствительными заболеваниями в нашем регионе, более интенсивно проявляющимися в условиях высокого загрязнения атмосферного воздуха, являются заболевания органов кровообращения и заболевания органов дыхания (рис. 1 и 2).

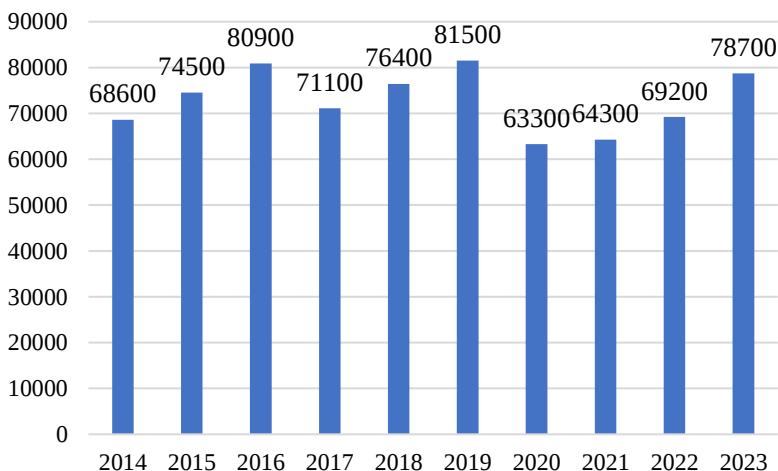


Рис. 1. Статистика по заболеваниям органов кровообращения в Пермском крае за 2014–2023 гг. [3]

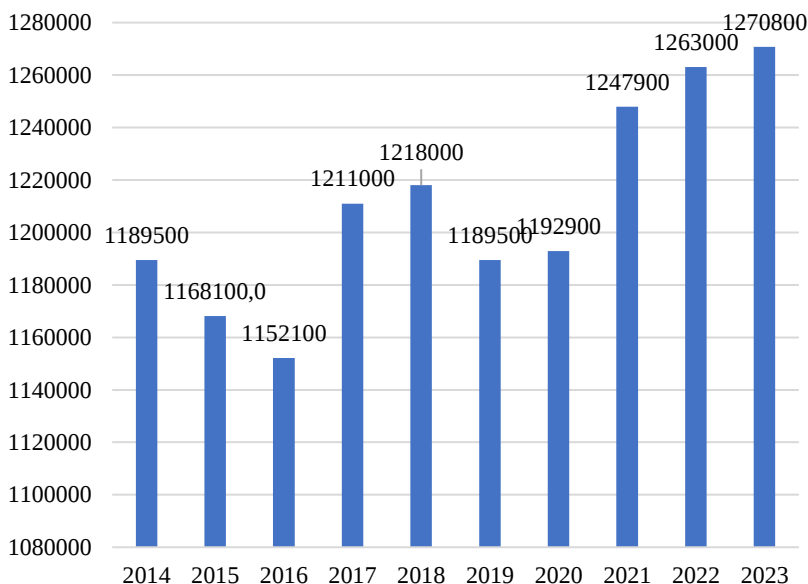


Рис. 2. Статистика по заболеваниям органов дыхания в Пермском крае за 2014–2023 гг. [3]

Для снижения количества проявлений климаточувствительных заболеваний в Пермском крае в качестве рекомендаций можно предложить следующие меры: оснащение зданий, а также общественного транспорта современными системами вентиляции и кондиционирования; организация в зданиях прохладных комнат; создание запасов препаратов компонентов крови для оказания медицинской помощи; разработка плана действий для населения в период «волн жары»; создание и развитие рекреационных зеленых зон и мест отдыха.

### Список литературы

1. Региональный план адаптации к изменениям климата на территории Пермского края (утв. Постановлением Правительства Пермского края № 3183-р от 25 декабря 2019 г.).

2. Оценка риска и ущерба от климатических изменений, влияющих на повышение уровня заболеваемости и смертности в группах населения повышенного риска: метод. рек. [Электронный ресурс]. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 52 с. – URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/601/4293755640.pdf> (дата обращения: 02.11.2024).

3. Статистический ежегодник Пермского края – 2023: сб. / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю (Пермьстат). – Пермь, 2023. – 352 с.

4. О состоянии и об охране окружающей среды Пермского края в 2023 году: доклад. – Пермь 2023. – 112 с.

### **Об авторах**

**Федосеева Юлия Андреевна** – студентка кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [fedoseevaulia58@gmail.com](mailto:fedoseevaulia58@gmail.com)

**Ташкинова Ирина Николаевна** – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [i.tashkinova@pstu.ru](mailto:i.tashkinova@pstu.ru)

**А.С. Перовщикова, К.П. Роголёва, Э.Х. Сакаева**

## **ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВАХ**

Исследовалось влияние нефти на различные типы почв юго-западной и восточной части России: перегнойно-карбонатные, каштановые глинистые, темные каштановые, коричневые типичные, вулканические сухоторфянистые. Были проведены исследования по влиянию нефти на сапрофитные микроорганизмы в почвах, выявлено, что при добавлении нефти во все образцы почв наблюдается снижение количества бактерий данной группы.

**Ключевые слова:** почва, нефтяное загрязнение, микроорганизмы, сапрофиты.

**A.S. Perevoschikova, K.P. Rogaleva, E.Kh. Sakaeva**

## **CHANGES IN MICROBIOLOGICAL ACTIVITY IN OIL-CONTAMINATED SOILS**

In the work the influence of oil on different types of soils of the south-western and eastern part of Russia was studied: humus carbonate, chestnut clay, dark chestnut, brown typical, volcanic dry peat soils. Studies on the effect of oil on saprophytic microorganisms in soils were conducted and it was revealed that when oil was added to all soil samples, a decrease in the number of bacteria of this group was observed.

**Keywords:** soil, oil pollution, microorganisms, Saprophytes.

При нынешнем интенсивном использовании углеводородов вероятность возникновения различных аварий с утечками загрязнителей увеличивается почти ежегодно. Так, например, в 2024 г. утечка нефти в гидросферу составила примерно 10 тыс. т [1]. Авария в Норильске в 2020 г., где вылилось 21 тыс. т нефти, показала важность понимания природы воздействия нефтепродуктов для дальнейшего сокращения ущерба [2]. Как видно, сами углеводороды (преимущественно нефть и нефтепродукты) оказывают различное воздействие на различные компоненты природы, в том числе на почву и ее свойства: физические, физико-химические и микробиологические. После

непосредственного попадания нефтепродуктов в почву наблюдается повышение содержания углеродных компонентов, в результате чего идет снижение концентрации азота и угнетение микробиоты почв, сокращение их вариативности. Вследствие чего изменяется почвенная ценность, реабилитация которой может стоить больших усилий.

Микробный состав почвы разнообразен и может изменяться под воздействием климата, который, в свою очередь, определяет как доминирующую группу микроорганизмов, так и саму типологию почв. Так, в некоторых трудах было отмечено разнообразие реакций различных микроорганизмов в почвах, отличных по типологии. Например, Е.Ю. Руденко отметил повышение численности азотоиспользующих бактерий в черноземе среднесуглинистом под воздействием нефти [3]. Е.А. Матенькова отмечает снижение численности и перекомпоновку морфологического состава дерново-подзолистых почв [4].

Влияние углеводородов на различные типы почв юго-западной и восточной части России остается недостаточно изучено, учитывая потенциал новых месторождений. Целью работы являлось исследование влияния нефтяных углеводородов на разные типы почв: перегнойно-карбонатные, каштановые глинистые, темные каштановые, коричневые типичные, вулканические сухоторфянистые.

Для изучения влияния нефтяных углеводородов были отобраны разные типы почв с юго-запада и востока России. Микробиологическому анализу подвергали следующие виды почв: перегнойно-карбонатные, каштановые глинистые, темные каштановые, коричневые типичные, вулканические сухоторфянистые.

На первом этапе эксперимента были проведены исследования по влиянию нефти на сапрофитные микроорганизмы в почвах. Загрязнение почв проводили нефтью в концентрациях 5, 20 и 50 г/кг. В качестве контрольного образца – чистая незагрязненная почва.

На рисунке представлена зависимость количества сапрофитных микроорганизмов от концентрации нефтепродуктов.

По результатам исследований было получено, что наибольшее количество сапрофитов в контрольных образцах наблюдается в каштановых глинистых и темных каштановых почвах. Меньше всего сапрофитных бактерий в перегнойно-карбонатных почвах.

При добавлении нефти во все образцы почв наблюдается снижение количества бактерий данной группы. Наиболее токсичной концентрацией нефти является концентрация в 50 г/кг. При этом стоит отметить, что нефть для сапрофитных бактерий перегнойно-карбонатных почв являлась активатором роста, особенно в концентрациях 5 и 20 г/кг.

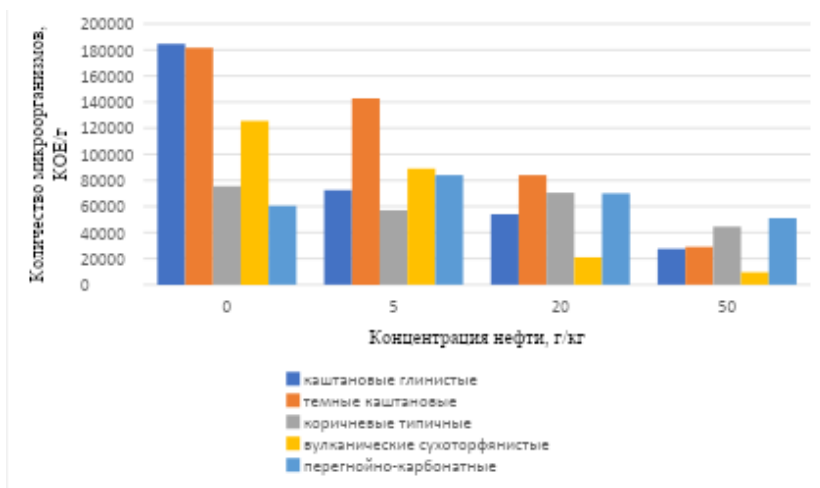


Рис. Зависимость количества микроорганизмов от концентрации нефти

По результатам исследований было получено, что нефть является ингибитором роста сапрофитных микроорганизмов большинства типов почв, при этом находится в прямой зависимости от увеличения концентрации нефтепродуктов. Для некоторых типов почв, таких как перегнойно-карбонатные, нефть играла роль активатора роста микроорганизмов, что свидетельствует о том, что данные бактерии использовали нефтяные углеводороды в качестве дополнительного источника питания.

### Список литературы

1. Объем нефти, вытекшей в результате инцидентов с танкерами по всему миру с 1970 по 2024 год [Электронный ресурс]. –

URL: <https://www.statista.com/statistics/268557/quantity-of-oil-spilt-from-tanker-incidents-since-1970/> (дата обращения: 17.02.2025).

2. Крупные разливы нефти и нефтепродуктов в России в 1994-2021 годах [Электронный ресурс] // РИА НОВОСТИ. – URL: <https://ria.ru/20210811/razliv-1745316414.html> (дата обращения: 17.02.2025).

3. Руденко Е.Ю. Исследование влияния нефти на биологическую активность черноземной почвы // Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – Т. 10, № 4. – С. 719–727.

4. Матенькова Е.А. Состояние микробных ценозов дерново-подзолистой почвы, загрязненной нефтью: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. – Новосибирск, 2012. – 110 с.

### **Об авторах**

**Перевощикова Ангелина Сергеевна** – студентка кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: prvschkva@gmail.com

**Рогалёва Ксения Павловна** – студентка кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: rogaliovaksenia@yandex.ru

**Сакаева Эльвира Хабировна** – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: elya2182@mail.ru

Д.П. Скорикова, О.М. Горелова

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ФЛОКУЛЯНТОВ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРЕСНОВОДНОГО ОЗЕРА

Рассматривается применение флокулянтов природного происхождения для реабилитации оз. Завьялово в Алтайском крае. Исследовательская часть работы нацелена на выявление природного флокулянта, не уступающего по эффективности синтетическим аналогам при обезвоживании придонных осадков. Для определения фитотоксичности применяемых реагентов и исходного озерного ила проводится биотестирование.

**Ключевые слова:** флокулянты природного происхождения, реабилитация пресноводных озер, использование ила, синтетические флокулянты, хитозан, желатин, биотестирование.

D.P. Skorikova, O.M. Gorelova

## RESEARCH ON THE USE OF NATURAL FLOCCULANTS FOR FRESHWATER LAKE RESTORATION

The paper considers the use of natural flocculants for rehabilitation of the lake. Zavyalovo in the Altai Territory. The research part of the work is aimed at identifying a natural flocculant that is not inferior in effectiveness to synthetic analogues. Biotesting is aimed at determining the phytotoxicity of the reagents used and the initial lake sludge.

**Keywords:** flocculants of natural origin, rehabilitation of freshwater lakes, use of silt, synthetic flocculants, chitosan, gelatin, biotesting.

В рамках федерального проекта «Сохранение уникальных водных объектов» на территории Завьяловского района Алтайского края проходит реабилитация оз. Завьялово. Озерный ил извлекается землесосными снарядами, после транспортируется на карты намыва. К откаченной гидросмеси добавляется флокулянт для ускорения обезвоживания донных отложений.

Принимая решение о применении флокулянтов для обезвоживания осадков, важно учитывать не только их эффективность, но и

потенциальное воздействие на окружающую среду. Выбор в пользу природных флокулянтов может снизить риск загрязнения окружающей среды синтетическими полимерами, будет способствовать восстановлению экосистем и расширит горизонты использования извлеченного ила.

Природные высокомолекулярные вещества, в отличие от большинства синтетических органических полимеров, безвредны для человека и окружающей среды [1]. Для исследований по флокуляции изначально были выбраны синтетические полимеры ПолиДАДМАХ (ПДМ) и Гринлайф К35 (ГК35). Из природных аналогов предложено использовать хитозан и желатин.

Хитозан – это природный аминополисахарид, извлекаемый из хитина. Свойства катионного полиэлектролита обусловлены присутствием аминогруппы. При взаимодействии с частицами загрязнений хитозан эффективно нейтрализует отрицательно заряженные коллоиды, что приводит к образованию флоккул.

Желатин – белок, получаемый из тканей животных, содержащих большое количество коллагена. Вещество обладает способностью образовывать гидрогели, что приводит к укрупнению частиц загрязнений и их последующему осаждению [2].

В натурном эксперименте по флокуляции использовался раствор хитозана концентрацией 0,360 г/л [3]. При  $pH = 7$  хитозан нерастворим в воде, для перевода его в раствор проводилось подкисление азотной кислотой. При  $pH = 4,6$  происходило интенсивное растворение хитозана, и в такой форме он вводился в обезвоживаемый ил.

Концентрация желатина принималась по аналогии с синтетическими флокулянтами – 4 г/л. Доза реагентов варьировалась в диапазоне от 1 до 6 мл на 40 мл пробы из озера (суспензии). Полученные значения мутности надосадочного слоя представлены на рис. 1.

Для оценки влияния компонентов исходного осадка и определения экотоксичности используемых реагентов проводилось биотестирование. Реакция растения-биотестера, количественно определенная по биометрическим показателям, позволяет судить о наличии/отсутствии экотоксикантов.

Обезвоженный осадок в количестве 10 г, исходный и смешанный с флокулянтами, добавляли в грунт (100 г), после чего высаживали по десять пророщенных семян редиса. Для сравнения был сделан контрольный образец без добавления донных отложений. Проращивание производили в течение двух недель, по мере подсыхания образцы почвы увлажнялись.

В дальнейшем производилось определение биометрических показателей растений – длины корня и побега. Полученные данные представлены на рис. 2.

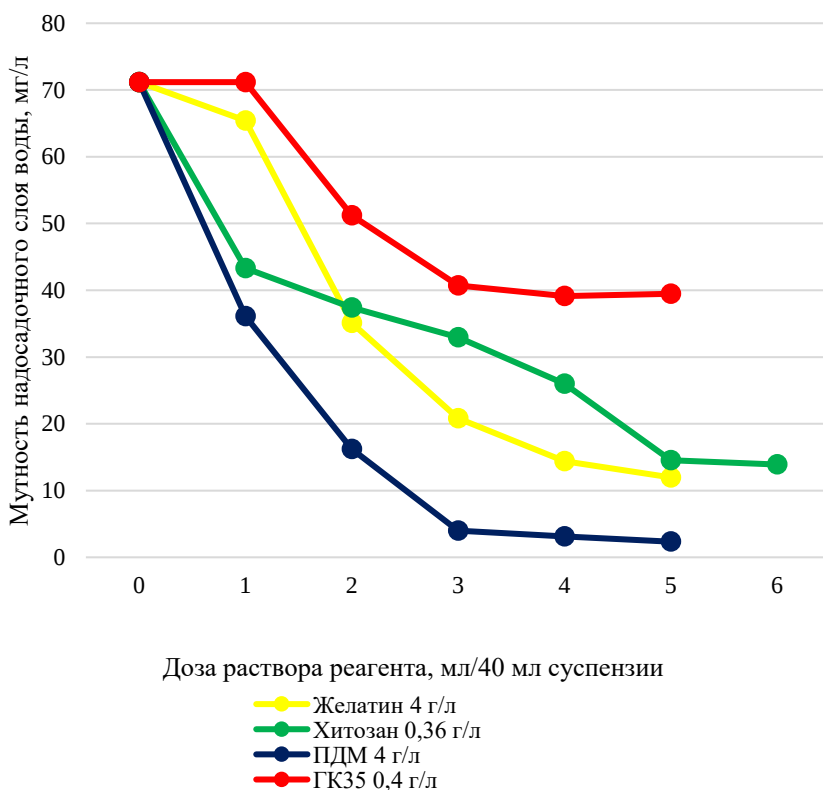


Рис. 1. Зависимость мутности надосадочной воды от дозы введенного флокулянта

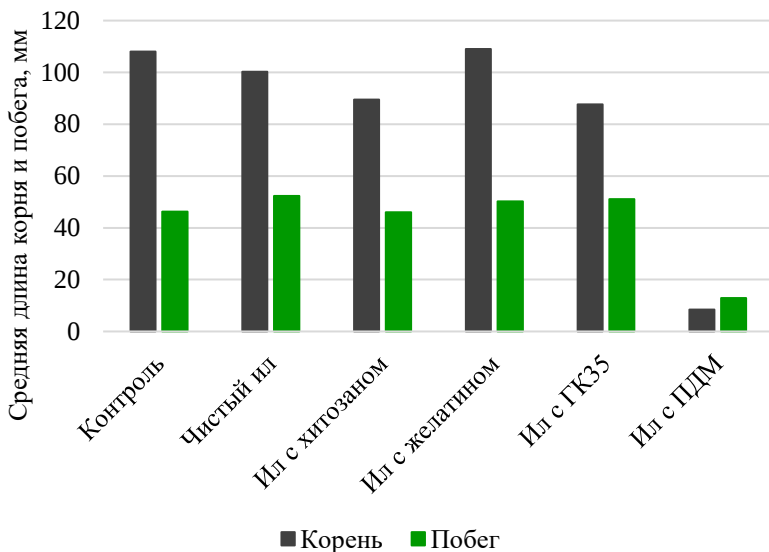


Рис. 2. Биометрические показатели редиса при оценке экотоксичности компонентов ила и флокулянтов

Как видно из рис. 1 и 2, при высокой эффективности для осветления надосадочной воды реагент ПДМ угнетает рост растений. Желатин значительно снизил мутность, не оказал токсического воздействия на редис.

Для рекомендации использования природных флокулянтов при обезвреживания донных отложений пресноводных озер необходимо проведение дополнительных исследований для определения оптимальной концентрации, дозы и препаративной формы реагентов.

### Список литературы

1. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. – Л.: Химия, 1987. – 208 с.

2. Ahmad K. Badawi., Reda S. Salama, Mohamed Mokhtar M. Mostafa Natural-based coagulants/flocculants as sustainable market-valued products for industrial wastewater treatment: a review of recent developments // Royal Society of Chemistry. – 2023. – No. 13. – P. 19335–19355.

3. Ульрих Е.В., Баркова А.С. Использование флокулянтов для очистки сточных вод // Трансформация экосистем. – 2023. – Т. 6, № 1. – С. 168–187.

### **Об авторах**

**Скорикова Дарья Петровна** – студентка международной кафедры ЮНЕСКО «Инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: skorikova\_daria@mail.ru

**Горелова Ольга Михайловна** – канд. техн. наук, доцент международной кафедры ЮНЕСКО «Инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: osgor777@mail.ru

**Е.А. Кокшарова, С.В. Новиков**

## **АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОЖДЕВЫХ СТОКОВ С КРОВЕЛЬ ВЫСОТНЫХ ДОМОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НУЖДЫ В ГОРОДЕ ПЕРМИ**

Целью статьи является выяснить потенциал использования дождевых стоков г. Перми, собранных с кровель высотных домов, для полива зеленых насаждений, смыва в бачках унитазов в качестве мероприятия по экономии питьевой воды. В задачи входило оценить, с какой площади кровли, какое количество квартир, какую площадь зеленых насаждений можно обеспечить собранными дождевыми стоками. Перечислены недостатки схемы использования дождевых вод для смыва унитазов и альтернативные практические рекомендации по данному ресурсосбережению.

**Ключевые слова:** дождевые воды, смыв унитазов, полив зеленых насаждений.

**E.A. Koksharova, S.V. Novikov**

## **ANALYSIS OF THE USE OF RAINWATER RUNOFF FROM THE ROOFS OF HIGH-RISE BUILDINGS FOR TECHNOLOGICAL NEEDS IN PERM**

The purpose of the article is to find out the potential of using rainwater runoff from Perm collected from the roofs of high-rise buildings for watering green spaces, flushing toilet bowls as a measure to save drinking water. The task was to estimate how much roof area, how many apartments, and how much green space could be provided with collected rainwater. The article lists the disadvantages of using rainwater for flushing toilets and alternative practical recommendations for resource conservation.

**Keywords:** rainwater, flushing the toilets, watering green spaces.

За последнее время федеральные и региональные девелоперы анонсировали строительство в г. Перми сразу нескольких высотных зданий. Это объясняется новым трендом градостроительной политики, а также необходимостью создания нового качества жизни [1]. В целях экономии воды питьевого качества СП253.1325800.2016 «Инженерные системы высотных зданий» предлагает предусматривать систему сбора и очистки дождевых и серых стоков для полива

прилегающей территории здания, смыва в бачках унитазов и писсуарах. Поэтому целью написания статьи стало выяснение возможности использования дождевых стоков г. Перми, собранных с кровель высотных домов, на технологические нужды. Для этого авторами поставлена задача оценить, с какой площади кровли, какое количество только унитазов (квартир) может обеспечить для смыва в бачках унитазов собранный дождевой сток в г. Перми, и какую площадь зеленых насаждений можно полить этой водой.

В статье приводится два типа плоской кровли: с плитами, с растительными насаждениями. По 1-му и 2-му типу стоки собираются в накопительной емкости и отводятся потребителю. Разница только в качестве воды (после зеленой крыши вода прошла стадию очистки). Средние месячные суммы осадков взяты по справочнику «Климат России 200–2011–2024 г., ФГБУ «ВНИИГ МИ-МЦД». Объем дождевых стоков рассматривался только с апреля по октябрь, так как осадки в первой половине весны выпадают преимущественно в виде снега, во второй – в виде затяжных морозящих дождей или мокрого снега. Осадки в первой половине осени – дожди или мокрый снег, во второй половине – снег. Основой стал расчет количества осадков и общей площади воды удержанной кровлей [2], расчет объема резервуара проводился по справочному пособию использования дождевой воды компании Wilo. Определение площади зеленых насаждений, которую можно полить собранными водами, проводилось по наихудшему сценарию – ежедневный, с наибольшим расходом полив в летнее время. Если поливать через день расходом  $3 \text{ л/м}^2$ , увлажняемая площадь увеличится в четыре раза. Количество жителей определялось по СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий» из расчета количества жилых комнат в квартире +1 человек. Вероятность действия санитарно-технических приборов рассчитывалась по числу жителей и приборов на данном стояке выделенной зоны.

По итогу расчетов плоская крыша из плит  $200 \text{ м}^2$  может обеспечить два санузла (две квартиры). Крыша площадью  $800 \text{ м}^2$  в среднем обеспечивает 10 санузлов (7–10 квартир). Крыша площадью  $1700 \text{ м}^2$  может обеспечить 22 санузла (11–22 квартиры). На этаже одним стояком может питаться как 4, так и 10 квартир, поэтому по средним значениям кровля  $800 \text{ м}^2$  обеспечивает один этаж, а кровля  $1700 \text{ м}^2$  – 2–3 этажа. Данные расчеты проводились для июня – самый

дождливый месяц г. Перми. В апреле количество сан. узлов сократится в два раза. В июне собранными водами с плоской кровли из плит можно полить площадь зеленых насаждений газонов и цветников в 4,6 раз большую, чем была исходная (собираемая) площадь, а в апреле она сократится вдвое. Плоской кровле с растительным насаждением любой площади в летние месяцы хватит отфильтрованной воды на собственные нужды (то есть полить самих себя во время ясной погоды) и поливку 30 % такой же площади зеленых насаждений газонов и цветников. Также рассмотрен вопрос для такого типа кровли: хватит ли дождевой воды на собственные нужды в осенний и весенний период? В осенние месяцы (сентябрь, октябрь) влаги будет достаточно только на собственные нужды; в апреле, мае – нет.

К недостаткам схемы использования дождевых вод для смыва унитазов можно отнести:

- дополнительные экономические затраты, а именно дополнительный резервуар для сбора стоков, очистка стоков, обеззараживание, увеличенный расход материалов и потребность в пространстве коммуникационных шахт для прокладки дополнительного водопровода, дальнейшее обслуживание системы, что влечет за собой дополнительные расходы;

- малая экономия воды в сравнении с количеством потребителей;

- периодичность действия: отсутствие экономии питьевой воды зимой, засуху; куда девать воду в дождливый период;

- проблемы бесперебойности и надежности эксплуатации системы (возникают протечки).

Альтернативой этой схемы могут стать практические рекомендации по ресурсосбережению от водоканала города:

- мониторинг утечек в местах стыков унитаза с другими агрегатами;

- уменьшение объема бачка с помощью литровой бутылки с водой. Бачок с наполненной тарой жидкости внутри быстрее наполнится, и уменьшится расход воды [3];

- могут быть устройства, ограничивающие слив воды из бачка унитаза. К ним относятся системы прерывания смыва старт-стоп; арматура с двумя режимами сливного механизма, позволяющая сли-

вать как весь объем воды в бачке (обычный режим), так и его половину; бачки с поворотной ручкой для регулирования объема смываемой воды [4].

Таким образом, для условий г. Перми можно выбрать только один способ использования дождевой воды на технологические нужды из предложенных: для пользования в санузлах; поливка зеленых насаждений; поливка зеленой крыши. По средним значениям в самый дождливый месяц кровля 800 м<sup>2</sup> обеспечивает 10 санузлов (один этаж), кровля 1700 м<sup>2</sup> – 22 санузла (2–3 этажа). В апреле эти показатели сократятся вдвое. Недостатками схемы использования дождевых вод для смыва унитазов являются дополнительные экономические затраты, периодичность действия, проблемы эксплуатации.

### Список литературы

1. Kommersant.ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6852405> (дата обращения: 17.02.2025).
2. Зеленые крыши: перспективы развития в России с учетом атмосферных осадков / А.А. Кадысева, С.В. Максимова, О.В. Сидоренко, В.В. Миронов // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15, № 2.
3. Novogor.perm.ru [Электронный ресурс]. – URL: <https://novogor.perm.ru/conservation> (дата обращения: 18.02.2025).
4. Соколов, Л.И., Соколов К.Л. Водосберегающие технологии современного санитарно-технического оборудования зданий // Сантехника. – 2020. – № 5. – С. 48–53.

### Об авторах

**Кокшарова Екатерина Андреевна** – магистрант кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: koksharovaeka@gmail.com

**Новиков Сергей Васильевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: sergei.novikov1951@yandex.ru

**А.А. Перевощикова, Л.В. Рудакова**

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БУРОВОГО ШЛАМА КАК МИНЕРАЛЬНОЙ ПОЧВООБРАЗУЮЩЕЙ ПОРОДЫ**

Дана экологическая оценка буровых шламов, размещенных в шламовом амбаре на территории Ханты-Мансийского автономного округа Югры. Представлены результаты токсикологического, химического, фракционного и минералогического исследования бурового шлама. Рассмотрены проблемы и возможности применения бурового шлама в качестве минеральной почвообразующей породы.

**Ключевые слова:** буровой шлам, почвообразование, токсичность, фиторемедиация.

**A.A. Perevoshchikova, L.V. Rudakova**

## **ECOLOGICAL ASSESSMENT OF DRILLING SLUDGE AS A MINERAL SOIL-FORMING ROCK**

This paper presents an ecological assessment of drilling sludge, placed in the sludge pit on the territory of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. It includes findings from toxicological, chemical, fractional, and mineral analyses of the drilling sludge. The challenges and potential applications of drilling sludge as a mineral soil-forming rock are considered.

**Keywords:** drilling sludge, soil formation, toxicity, phytoremediation.

На территории России нефтедобыча занимает значительные земельные площади в Западной и Восточной Сибири, Поволжья и на Северном Кавказе. На предприятиях нефтегазового комплекса при бурении и обслуживании скважин образуются многотоннажные отходы – буровые шламы [1]. Проблемы утилизации буровых шламов, особенно в Западной Сибири [2], обусловлены удаленностью региона и его природно-климатическими условиями. Кроме того, внедрение существующих технологий и технических решений по утилизации буровых шламов требует значительных материальных ресурсов. В связи с этим эколого-экономическое управление отходами

затруднено, что приводит к их накоплению на местах добычи. Анализ литературы показывает, что существует много методов утилизации буровых шламов, тем не менее большинство методов сводится к их захоронению или размещению на территории буровой станции или в специальных хранилищах (шламохранилищах, шламовых амбарах и др.) [3]. При этом буровой шлам, представляющий собой выбуренную горную породу с минеральными примесями, можно вернуть в экосистему и использовать в качестве минеральной почвообразующей породы при добавлении определенных компонентов и при использовании биологических методов. Основным показателем плодородия почвы или почвогрунта – это биологическая активность в сочетании с химическими и токсикологическими свойствами.

Цель работы – провести экологическую оценку бурового шлама, отобранного со шламового амбара Ханты-Мансийского автономного округа Югры для его последующего применения в качестве минеральной почвообразующей породы.

Для экологической оценки бурового шлама проведен ряд аналитических работ: определение класса опасности отходов, удельной эффективной активности естественных радионуклидов, фракционного и минералогического состава, анализ водной вытяжки и анализ на содержание нефтепродуктов.

Результаты токсикологического анализа на дафниях и на водорослях показывают отсутствие острого токсического действия водной вытяжки пробы – на водоросли и на дафний при концентрации 100 % и при всех последующих разбавлениях. Таким образом, буровой шлам относится к V практически неопасному классу опасности для окружающей природной среды. Опасные свойства отсутствуют.

По результатам радиационных измерений удельная эффективная активности естественных радионуклидов в буровом шламе соответствует допустимым нормам воздействия природных радионуклидов, которое нормируется требованиями норм радиационной безопасности с учетом их биологического влияния на организм человека и составляет  $101,2 \pm 15,0$  Бк/кг.

По результатам фракционного состава буровой шлам классифицирован как мелкозем по Н.А. Качинскому, с преобладанием частиц менее 1 мм, что также соответствует природным песчаным и супесчаным фоновым почвам.

Результаты минералогического состава фоновых почв и бурового шлама приведены в табл. 1. Почвы и буровой шлам преимущественно состоят из кварца, альбита и калиевых полевых шпатов (КПШ). Эти минералы встречаются в большинстве почв и почвообразующих пород.

Таблица 1

Минералогический состав фоновых почв и бурового шлама, %

|      | Кварц | Альбит | КПШ  | Хлорит | Слюда | Кальцит | Доломит | Сумма |
|------|-------|--------|------|--------|-------|---------|---------|-------|
| Шлам | 48,6  | 14,3   | 15,4 | 3,3    | 5,2   | 9,6     | 3,6     | 100   |
| Фон  | 52,9  | 25,1   | 12,3 | 6,4    | 0     | 0       | 0       | 100   |

Для роста и развития растений в почвенном растворе должно быть сбалансированное содержание ионов, в частности, натрия и калия, но при использовании буровых растворов разного химического состава наблюдается высокая степень засоления бурового шлама хлоридом натрия.

Таким образом, по результатам водной вытяжки сумма токсичных солей в образце бурового шлама составила 0,33 %. В исследуемой пробе представлен хлоридно-натриевый тип засоления (среднезасоленный) по Н.И. Базилевич, Е.И. Панковой. Содержание хлорид-иона в фоновых пробах составляет менее 177,3 мг/кг, в образце бурового шлама –  $3204,68 \pm 159,53$  мг/кг.

Содержание нефтепродуктов в фоновых пробах составляет менее 5 мг/кг, в образце шлама –  $13000 \pm 3000$  мг/кг, что входит в рамки допустимого остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах (16000 мг/кг), согласно постановлению Правительства Ханты-Мансийского автономного округа Югры от 10.12.2004 № 466-п.

Результаты по содержанию тяжелых металлов в буровом шламе приведены в табл. 2. Содержание тяжелых металлов не превышает предельно допустимые концентрации (ПДК), согласно СанПиН 1.2.3685-21, за исключением небольшого превышения по содержанию цинка и никеля.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов (валовая форма)  
в буровом шламе, мг/кг

|      | Кадмий    | Ртуть         | Марганец | Медь | Никель        | Свинец | Хром  | Цинк          |
|------|-----------|---------------|----------|------|---------------|--------|-------|---------------|
| Шлам | 0,23±0,12 | менее<br>0,02 | 510±160  | 29±6 | <b>29±11*</b> | 20±5   | 66±14 | <b>80±14*</b> |
| ПДК* | 0,5       | 2,1           | 1500     | 33   | 20            | 32     | —     | 55            |

*Примечания:* \*по СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», для песчаных и супесчаных почв; полужирным шрифтом выделены превышения ПДК.

Таким образом, буровой шлам относится к V практически неопасному классу опасности для окружающей природной среды, результаты радиационных измерений соответствуют нормам радиационной безопасности, содержание тяжелых металлов не превышает ПДК, за исключением цинка и никеля. Отмечена высокая степень засоления бурового шлама хлоридно-натриевыми солями, что усиливает токсичность и может вызвать снижение биологической активности минеральной почвообразующей породы. Тем не менее в условиях гуминного типа климата, добавления потенциально-плодородного слоя и органоминеральных удобрений возможно создание устойчивого фитоценоза для формирования молодых почв (техносолей/элювиоземов), что будет способствовать снижению негативного воздействия шламовых амбаров на окружающую среду и интеграции шламовых амбаров в естественный ресурсооборот.

### Список литературы

1. Власов А.С. Геоэкологическое обоснование использования бурового шлама в производстве асфальтобетона: дис. ... канд. техн. наук: 1.6.21. – Пермь, 2022. – 130 с.

2. Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В., Тарасова С.С. Экологическая оценка буровых шламов и разработка способа их биоремедиации в условиях Западной Сибири // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2023. – № 3 (63). – С. 90–100.

3. Cherepovitsyn A., Lebedev A. Drill Cuttings Disposal Efficiency in Offshore Oil Drilling // Journal of Marine Science and Engineering. – 2023. – Vol. 11, no. 317.

### Об авторах

**Перевощикова Анна Александровна** – аспирантка кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: aaperevoshchikova@yandex.ru

**Рудакова Лариса Васильевна** – д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: larisa.rudakova.007@gmail.com

**И.О. Красильников, В.А. Сомин**

## **МОДИФИКАЦИЯ МЕМБРАН ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ФЕНОЛА ИЗ ВОДЫ**

Мембраны применяются в современных технологиях для разделения смесей, очистки воды и извлечения ценных веществ. Повышение селективности и производительности мембран осуществляется при их модифицировании, которое может включать радиационную прививку, сульфирование, УФ-обработку, использование различных высокомолекулярных соединений. Эти методы улучшают прочность, влагоемкость и ионную селективность мембран, расширяя их применение в медицине, химической промышленности и экологии. Авторы произвели поверхностную модификацию хитозаном, которая позволила увеличить селективность мембраны по фенолу в два раза.

**Ключевые слова:** мембраны, модификация, очистка воды, хитозан, фенол.

**I.O. Krasilnikov, V.A. Somin**

## **MODIFICATION OF MEMBRANES TO REMOVE PHENOL FROM WATER**

Membranes are used in modern technologies for separation of mixtures, water purification, and extraction of valuable substances. Membrane modification can include radiation grafting, sulfonation, UV-treatment, and the use of chitosan. Studies have shown that these methods improve the strength, moisture capacity, and ionic selectivity of membranes, expanding their application in medicine, chemical industry, and ecology. The authors carried out surface modification with chitosan, which made it possible to increase the selectivity of the membrane for phenol by two times.

**Keywords:** membranes, membrane modification, chitosan, phenol.

В современном мире мембраны широко используются для разделения жидких смесей благодаря своей способности пропускать одни компоненты и задерживать другие при относительно невысоких энергозатратах. Это позволяет эффективно очищать воду, концентрировать растворы и извлекать ценные вещества, такие как ионы металлов [1] и различные органические соединения [2]. Мембраны используются во многих областях, включая медицину, химическую промышленность, экологию и др. Актуальность модификации мембран связана с необходимостью улучшения их свойств для

различных сфер применения, в том числе к увеличению их селективности, проницаемости, стабильности и других характеристик, что сделает их более эффективными и подходящими для широкого спектра задач. Модификация мембран связана с необходимостью адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды или требованиям процессов, в которых они используются. Например, модификация может быть необходима для работы мембран в более экстремальных условиях, таких как высокие температуры и давление, агрессивные химические среды и т.д.

В ТПУ были проведены исследования, направленные на синтез сульфосодержащих твердо-полимерных электролитов на основе поливинилиденфторида (ПВДФ) через радиационную прививочную полимеризацию стирола и последующее сульфирование без применения ионизирующего излучения. Обнаружено, что с ростом дозы ионизирующего излучения степень полимеризации увеличивается. Модификация способствует повышению массы мембраны, улучшению прочностных характеристик и, как следствие, увеличению долговечности и износостойкости. Установлено, что дальнейшее добавление кислотного агента приводит к повышению влагоемкости мембран, изменению краевого угла смачивания и приобретению способности к ионному обмену [3].

Учеными из МГУ им. М.В. Ломоносова было обнаружено значительное повышение ионной селективности у мембран Нафион после их модификации полидиаллилдиметиламмоний хлоридом в присутствии низших алифатических спиртов и хлорида натрия. Введение соли в спиртосодержащие модифицирующие растворы не только снижает диффузионную проницаемость мембран для ионов ванадила, но и увеличивает протонную проводимость примерно в 2–3 раза по сравнению с мембранами, модифицированными в водно-спиртовых растворах без соли. В результате ионная селективность модифицированных мембран возрастает примерно на четыре порядка по сравнению с исходным образцом Нафион 112 [4].

Д.Д. Фазуллина, Г.В. Маврина, И.Г. Шайхиев исследовали воздействие ультрафиолетового излучения на свойства мембран и

установили, что оно оказывает комплексное воздействие на полимерные мембраны, улучшая их характеристики при разделении эмульсий. Это выражается в повышении удельной производительности, снижении задерживающей способности для некоторых типов мембран и изменении их надмолекулярной структуры и спектральных характеристик. УФ-обработка приводит к увеличению интенсивности полос поглощения в инфракрасных спектрах и снижению массы и влагоемкости мембран. Кроме того, УФ-излучение снижает краевой угол смачивания и увеличивает гидрофильность мембран из нейлона и ацетата целлюлозы, улучшая их смачиваемость.

Для мембран из политетрафторэтилена УФ-излучение вызывает незначительные изменения массы и понижение удельной производительности, но при этом повышает эффективность разделения эмульсий. Это объясняется разрушением дефектных участков нейлона и окислением поверхности политетрафторэтилена, что влияет на их структуру и свойства. Комбинированное воздействие УФ-излучения с другими методами модификации, такими как сверхвысокочастотное излучение и микроволновая стабилизация, существенно улучшает параметры мембран, расширяя сферы их применения [5].

Авторами была изучена модификация обратноосмотических полиамидных мембран отечественного производства для удаления из воды фенола. Для модификации применялся раствор хитозана со слабо концентрированной органической кислотой путем его пропускания через мембрану в течение разного времени. Эксперимент проводился в нормальных условиях на лабораторной установке с тангенциальной подачей исходного раствора на мембрану. Производилась частичная рециркуляция концентрата, из пермеата периодически отбирались пробы для анализа на фенол фотоколориметрическим методом по РД 52.24.480-95 «Методические указания. Методика выполнения измерений массовой концентрации суммы летучих фенолов в водах ускоренным экстракционно-фотометрическим методом без отгонки». Начальная концентрация фенола в растворе составляла 0,067 г/л, рабочее давление – 9 атм. на протяжении всего эксперимента. Общая площадь мембраны составляла 0,0028 м<sup>2</sup>.

Результаты эксперимента представлены на рисунке, из которого видно, что исходная мембрана позволяет удалять фенол из воды с эффективностью порядка 20 %. Модификация предложенным способом позволила повысить селективность более чем в два раза: с 20 до 45 %.

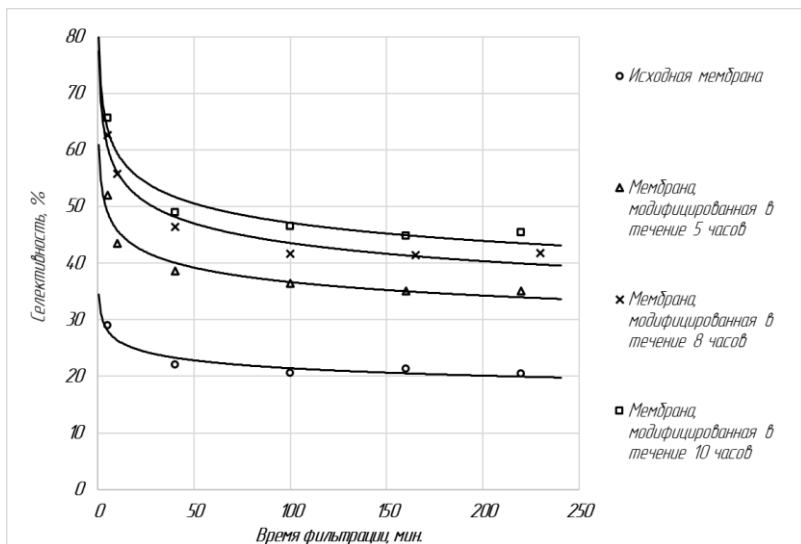


Рис. Зависимость изменения селективности мембраны от времени

В ходе эксперимента установлено, что все исследованные мембраны выходят на рабочий режим, при котором происходит стабилизация селективности разделения, примерно через 2,5 ч. Отмечено, что с увеличением времени модификации происходит рост селективности для каждой полученной мембраны, при этом максимальная достигает 45 % на модифицированной в течение 10 ч.

Проведенные исследования позволили определить перспективное направление модификации обратноосмотических полиамидных мембран, позволяющее более чем в два раза повысить эффективность очистки воды от фенола.

## Список литературы

1. Wang Y., Wei G. Recent Trends in Polymer Membranes: Fabrication Technique, Characterization, Functionalization, and Applications in Environmental Science (Part I) // *Polymers*. – 2024. – No. 16 (20).

2. Фазуллин, Д.Д., Маврин Г.В., Шайхиев И.Г. Очистка воздуха от органических соединений с помощью нанофильтрационной композиционной мембраны на основе ацетата целлюлозы и коммерческой мембраны марки ОПМН-П // *Мембраны и мембранные технологии*. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 56–64.

3. Дюсембекова А.А. Получение и модификация свойств трековых мембран: науч. доклад. – Томск, 2020.

4. Захарова Ю.А., Сергеев В.Г. Модификация мембран Нафион поликатионом в присутствии низших алифатических спиртов и соли // *Мембраны и мембранные технологии*. – 2023. – Т. 13, № 3. – С. 194–204.

5. Separation of oil emulsion using polyacrylonitrile membranes modified by corona discharge / I.G. Shaikhiev, V.O. Dryakhlov, M.F. Galihanov [et al.] // *Inorg. Mater. Appl. Res.* – 2020. – Vol. 11, no. 5. – P. 1160.

## Об авторах

**Красильников Илья Олегович** – магистрант международной кафедры ЮНЕСКО «Инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: [ilyakrasik.russia@gmail.com](mailto:ilyakrasik.russia@gmail.com)

**Сомин Владимир Александрович** – д-р техн. наук, зав. международной кафедрой ЮНЕСКО «Инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: [vladimir\\_somin@mail.ru](mailto:vladimir_somin@mail.ru)

**Д.С. Бизяева, А.А. Сурков**

## **ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ БУРОВЫХ ШЛАМОВ МЕТОДОМ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ**

Исследуется подход к обезвреживанию буровых шламов с использованием метода фиторемедиации. Рассмотрены стадии и параметры почвообразования, механизмы действия различных растений, способных накапливать и трансформировать загрязняющие вещества, содержащиеся в буровых шламах. В ходе исследования представлены результаты лабораторных испытаний, демонстрирующих эффективность применения фиторемедиации в сочетании с агротехнологиями. Акцентируется внимание на важности интеграции фитомелиоративных методов в процессы рекультивации техногенных ландшафтов.

**Ключевые слова:** буровые шламы, фиторемедиация, фитомелиоранты, почвообразование, техногенный ландшафт.

**D.S. Bizyaeva, A.A. Surkov**

## **NEUTRALISATION OF DRILL CUTTINGS BY PHYTOREMEDIATION METHOD**

In this article the approach to drill cuttings neutralisation using phytoremediation method is investigated. Stages and parameters of soil formation, mechanisms of action of various plants capable of accumulating and transforming pollutants contained in drill cuttings are considered. The results of laboratory tests demonstrating the effectiveness of phytoremediation application in combination with agrotechnologies are presented. The paper emphasises the importance of integrating phytoremediation methods into the processes of reclamation of anthropogenic landscapes.

**Keywords:** drill cuttings, phytoremediation, phytomeliiorants, soil formation, technogenic landscape.

Почвообразование — это сложный процесс формирования почвы из различных материальных основ, который играет ключевую роль в экосистемах и агрономии. Однако на фоне стремительного индустриального развития и расширения городских агломераций особое внимание привлекают техногенные грунты, представляющие

собой результат антропогенной деятельности. Эти грунты, отличающиеся от натуральных, часто имеют специфические физико-химические характеристики и требуют особого подхода к исследованию процессов почвообразования.

Существуют исследования по биорекультивации подобных грунтов различными методами: нарушенных территорий угольных карьеров Кузбасса [1], месторождений золота Якутии [2], территории золошлакоотвалов [3] и т.д. Накопленный опыт в этой сфере дает понять, что необходимо максимально оптимизировать условия рекультивируемой среды и выбрать устойчивые к стрессу виды растений-мелиорантов. Регулярный мониторинг состояния растений и состава грунта поможет оценить эффективность процесса, который длится от нескольких месяцев до нескольких лет. Учет экосистемных взаимодействий также способствует повышению эффективности фиторемедиации, что делает метод экологически безопасным, но требующим комплексного подхода.

В процессе формирования почвы она приобретает ряд морфологических (внешних) характеристик, которые отличают ее от материнской породы. К ключевым морфологическим признакам почвы относятся строение почвенного профиля, его мощность и мощность отдельных горизонтов, цвет, гранулометрический состав, структура, состав, новообразования и включения. Сочетание этих характеристик формирует общий внешний вид почвенного профиля и различия между генетическими горизонтами [4].

В данном контексте становится особенно важным понимание того, какие параметры почвообразования могут служить индикаторами степени преобразования техногенных грунтов в полноценные почвы. К таким параметрам относятся минералогический состав, текстурные характеристики, уровень гумуса, химический состав, а также биологическая активность. Специфика этих показателей может многократно варьироваться в зависимости от типа техногенных материалов, условий окружающей среды и времени воздействия на грунт.

Имея представление о почвообразовании и опыте рекультивации разного вида техногенных образований, можно выдвинуть гипотезу, что данный метод возможно применить для буровых шламов (БШ), образующихся при добыче нефти и газа.

Были проведены аналитические исследования образца БШ, выполненные аккредитованной лабораторией, результаты которого представлены в таблице.

Анализируемый буровой шлам имеет V класс опасности и низкие показатели по основным токсическим элементам, что позволяет рассматривать БШ в качестве почвообразующей породы.

Количественный химический анализ бурого шлама  
с месторождения Ханты-Мансийского автономного округа

| Показатель              | БШ с ХМАО        | Норматив [5]  |
|-------------------------|------------------|---------------|
| Хлорид-ион, мг/кг       | 3800±400         | 1000          |
| Нефтепродукты,<br>мг/кг | 2170±91          | 1000          |
| Cr, мг/кг, вал/подв     | 66±14 / 1,7±0,4  | 90/6          |
| Zn, мг/кг, вал/подв     | 80±16 / 14,2±2,2 | 4/23          |
| Ni, мг/кг, вал/подв     | 29±11 / 2,2±0,5  | <b>23 / 4</b> |
| Класс опасности         | V                | —             |

Объектом исследования является БШ с одного из месторождений ХМАО-Югра. Было подготовлено семь проб образцов (нижний слой – БШ высотой слоя в 2 см, верхний слой – песчаная, подзолистая почва соснового леса высотой слоя в 3 см) и одна контрольная песчаной почвы. В каждую пробу были посажены разные виды растений, преимущественно сидераты, способные поглощать загрязняющие вещества и обогащать почву органическими и минеральными элементами: горчица белая (*Sinápis álba*), клевер луговой (*Trifolium praténse*), фацелия рязанская (*Phacelia tanacetifolia*), травосмесь для рекультивации (овсяница луговая, костреч безостый, тимофеевка луговая, пырей и др). Всхожесть семян наблюдали на 3–4 день. Полученные результаты после 2,5 недель выращивания представлены на рисунке.



*а* *б* *в* *г* *д*  
 Рис. Пробы земли с буровым шламом: *а* – горчица белая;  
*б* – клевер луговой; *в* – фацелия рязанская; *г* – травосмесь;  
*д* – контрольная проба

Можно заметить, что травосмесь и фацелия рязанская показывают наиболее быстрый и активный рост на экспериментальных образцах, фитотоксического эффекта на растениях не наблюдается.

Ожидаемые результаты исследования:

- растения должны поглощать и ассимилировать токсичные компоненты из бурового шлама и способствовать процессу почвообразования;
- увеличение биомассы растений и их здоровье указывает на успешность процесса фиторемедиации;
- снижение уровня содержания загрязняющих веществ в буровом шламе до и после проведения эксперимента.

### Список литературы

1. Осинцева М.А., Дюкова Е.А. Изучение особенностей почвенного покрова и биорекультивации угольных отвалов // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. – 2024. – № 4. – С. 86–98.
2. Петров А.А. Восстановление почвенного покрова посттехногенных ландшафтов, сформированных при разработке месторождений золота Северо-Востока Якутии // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 5. – С. 120–122.
3. Возможность использования ЗШО в качестве изолирующего материала при рекультивации полигонов / А.В. Кочнева,

В.В. Барахтенко, М.П. Кузьмин, А.Е. Бурдонов // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2022. – № 1. – С. 83–97.

4. Витковская С.Е. Морфология почв: учеб.-метод. пособие. – СПб., 2022. – 38 с.

5. СанПиН 1.2.3685-21. «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: изд. официальное: утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2021: введ. 01.03.21 // КонсультантПлюс. – 2021.

### **Об авторах**

**Бизяева Дарья Сергеевна** – студентка кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: dorabizyaeva@gmail.com

**Сурков Александр Анатольевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: surkov-a@mail.ru

**Н.А. Воронин, В.А. Сомин**

**ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПАНЦИРЯ МОЛЛЮСКА  
*LISSACHATINA FULICA* ПО ОТНОШЕНИЮ К ИОНАМ КОБАЛЬТА**

Описывается проблема загрязнения водных ресурсов соединениями металлов и необходимость очистки от них перед сбросом в водоемы или повторным использованием в производстве. Авторы исследования предлагают использовать панцири моллюсков *Lissachatina fulica* для сорбции ионов кобальта из водных растворов. Представлены результаты эксперимента, в ходе которого были получены данные по эффективности сорбции ионов кобальта из раствора сульфата кобальта и рассчитана эффективность сорбции.

**Ключевые слова:** аккумуляирование металлов, панцири моллюсков, сорбция кобальта, хитин.

**N.A. Voronin, V.A. Somin**

**SORPTION PROPERTIES OF THE SHELL OF THE MOLLUSK  
*LISSACHATINA FULICA* IN RELATION TO COBALT IONS**

The text describes the problem of contamination of water resources with metal compounds and the need for their purification before discharge into reservoirs or reuse in production. The authors of the study suggest using shells of *Lissachatina fulica* mollusks to sorption cobalt ions from aqueous solutions. The results of an experiment are presented, during which data on the efficiency of sorption of cobalt ions from a solution of cobalt sulfate were obtained and the sorption efficiency was calculated.

**Keywords:** metal accumulation, shellfish shells, cobalt sorption, chitin.

Загрязнение водных ресурсов соединениями металлов представляет собой одну из наиболее острых экологических проблем современности. Токсичность этих веществ, их способность накапливаться в живых организмах и вызывать мутации, а также негативное воздействие на экосистемы и здоровье человека делают эту проблему особенно актуальной.

Металлы попадают в водные объекты различными путями. Основные источники загрязнения включают промышленные сточ-

ные воды, добывающие предприятия. Промышленные стоки, образующиеся в процессе производства, могут содержать высокие концентрации таких металлов, как кобальт, хром, медь, железо, цинк, свинец и др. Эти вещества могут быть чрезвычайно токсичными даже в малых количествах и представлять серьезную угрозу для экосистем и здоровья человека.

Еще одним источником загрязнения является поверхностный сток, за счет которого происходит транспортировка металлов с поверхности почвы в водные объекты. Загрязнение может происходить в результате эрозии почв, использования удобрений и пестицидов, а также в результате процессов строительства и урбанизации.

Металлы могут накапливаться в донных отложениях, водных растениях и организмах животных, что приводит к нарушению биохимических процессов, изменению их поведения и физиологических функций, гибели организмов и последующему снижению биоразнообразия.

Таким образом, возникает необходимость в очистке сточных вод до такого уровня, который позволил бы безопасно их сбрасывать в водоемы или повторно использовать в производственных процессах.

Для удаления ионов металлов из водных растворов применяется метод адсорбции на различных материалах, как природного, так и искусственного происхождения.

Авторы исследований [1, 2] отметили, что ионы кобальта могут эффективно сорбироваться хитином, содержащимся в панцирях различных живых организмов, в том числе раковинах моллюсков *Lissachatina fulica*.

Предварительная обработка панцирей улиток заключалась в их дроблении на крупные части с применением щековой дробилки. Затем материал дополнительно измельчали на дисмембраторе и производили рассев на виброситах, что позволило отделить фракцию размером от 3 до 5 мм. Полученная фракция была подвергнута вывариванию в воде с целью отделения органических и минеральных загрязнений. Из полученного материала, представляющего собой продукт переработки панцирей моллюсков, были отобраны навески массой порядка 1 г каждая, которые были помещены в колбы объемом

250 мл. В колбы добавлялось 100 мл раствора сульфата кобальта с различными концентрациями. После этого раствор тщательно перемешивался в течение 15 мин, после чего из него отбирались пробы, которые анализировались на содержание ионов кобальта. Для этого использовался фотоколориметрический метод, основанный на окрашивании соединений кобальта нитрозо-*r*-солью [3].

Результаты проведенных исследований представлены в таблице.

**Сорбция ионов кобальта на нативном панцире  
ахатинских моллюсков**

| Начальная концентрация, мг/л | Масса панциря | Концентрация, мг/дм <sup>3</sup> после сорбции | A, мг/г | Эффективность, % |
|------------------------------|---------------|------------------------------------------------|---------|------------------|
| 424,25                       | 1,0007        | 78,78                                          | 34,52   | 81,43            |
| 848,50                       | 1,0000        | 106,50                                         | 74,20   | 87,45            |
| 1060,63                      | 1,0005        | 181,39                                         | 87,88   | 82,90            |
| 1697,01                      | 1,0015        | 237,91                                         | 145,69  | 85,98            |

Согласно данным, представленным в таблице, эффективность извлечения ионов кобальта находится в диапазоне от 81,43 до 87,45 %, а максимальное значение сорбционной емкости, достигнутое в ходе эксперимента, составило 145,69 мг/г. Этот результат свидетельствует о высоком потенциале исследуемого сырья для применения в процессах очистки воды от соединений металлов.

### Список литературы

1. Омар Х.А. Адсорбция <sup>60</sup>Со на природном и модифицированном дитизоном хитине // Радиохимия. – 2013. – Т. 55, № 1. – С. 68–73.
2. Тунакова Ю.А., Мухаметшина Е.С., Шмакова Ю.А. Исследование эффективности биополимерных сорбентов на основе хитина в отношении металлов // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – № 14. – С. 141–149.

3. ПНДФ 14.1:2.44-96 «Методика измерений массовой концентрации ионов кобальта в природных и сточных водах фотометрическим методом с нитрозо-*r*-солью». – М., 2016.

### **Об авторах**

**Воронин Никита Андреевич** – магистрант международной кафедры ЮНЕСКО «Инженерная экология» Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: voroninna00@gmail.com

**Сомин Владимир Александрович** – д-р техн. наук, зав. международной кафедрой ЮНЕСКО «Инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: vladimir\_somin@mail.ru

**Д.А. Воронин, В.А. Сомин**

## **ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ СОРБЦИИ ИОНОВ НИКЕЛЯ СКОРЛУПОЙ МАНЬЧЖУРСКОГО ОРЕХА**

Органические отходы в виде скорлупы орехов могут быть использованы в качестве сорбентов для удаления различных загрязнителей из воды, в том числе соединений металлов. Представлены результаты исследований по определению кинетических параметров сорбции ионов никеля скорлупой маньчжурского ореха. Определено, что время установления сорбционного равновесия составляет 15 мин.

**Ключевые слова:** аккумулятирование металлов, маньчжурский орех, скорлупа.

**D.A. Voronin, V.A. Somin**

## **STUDY OF THE KINETICS OF SORPTION OF NICKEL IONS BY MANCHURIAN NUT SHELL**

Organic waste in the form of nut shells can be used as sorbents to remove various pollutants from water, including metal compounds. The results of studies on determination of kinetic parameters of sorption of nickel ions by Manchurian nut shell are presented. It is determined that the time to establish sorption equilibrium is 15 min.

**Keywords:** metal accumulation, manchurian nut, shell.

Загрязнение водных ресурсов соединениями металлов – серьезная экологическая проблема, так как эти вещества обладают высокой токсичностью, способностью к накоплению в живых организмах и мутагенным действием. Они негативно влияют в целом на экосистемы и здоровье человека.

Металлы попадают в водные объекты со сбросами недостаточно очищенных сточных вод различных отраслей промышленности, при добыче полезных ископаемых, с поверхностным стоком с территории. Промышленные сточные воды могут содержать высокие концентрации таких металлов, как медь, железо, цинк, свинец,

никель и др., поэтому требуется очистка таких стоков до норм, допустимых для сброса в водоемы или повторного использования воды в технологических процессах.

Для удаления ионов металлов из водных растворов можно использовать адсорбцию на разных материалах, включая природные и синтетические. Например, авторы [1] использовали скорлупу грецкого ореха для поглощения ионов железа с эффективностью 90 %. Модификация этого материала позволяет повысить его поглощающую способность. Авторы [2] показали, что химическая обработка скорлупы грецкого ореха 1 М раствором NaOH позволяет извлечь до 99 % металлов из воды.

Большинство природных органических материалов, в том числе скорлупа различных видов орехов, имеют растительное происхождение, следовательно, они являются естественными аккумуляторами металлов из окружающей среды. В этой связи представляет интерес изучение химической природы таких структур, в том числе содержание соединений металлов. Нами было предложено использование скорлупы маньчжурского ореха в качестве сорбента для очистки воды от соединений никеля. Задачей исследования стало изучение кинетики сорбции ионов никеля скорлупой ореха.

Предварительная подготовка скорлупы включала отделение мягких тканей околоплодника, дробление скорлупы с использованием щековой дробилки, измельчение на дисмембраторе и рассев на виброситах для отделения фракции крупностью от 2 до 4 мм. Из полученного таким образом продукта из скорлупы маньчжурского ореха отбиралась навеска массой 1 г, которая помещалась в колбу объемом 1 л. В колбу вносилось 500 мл раствора сульфата никеля концентрацией 200 мг/дм<sup>3</sup>, после чего производилось непрерывное перемешивание. Пробы раствора отбирались через 2, 5, 10, 15, 20, 30 и 60 мин от начала перемешивания, в них производился анализ на ионы никеля фотоколориметрическим методом [3] с помощью предварительно построенной калибровочной прямой. В результате проведенных исследований была построена кинетическая кривая сорбции ионов никеля, представленная на рисунке.

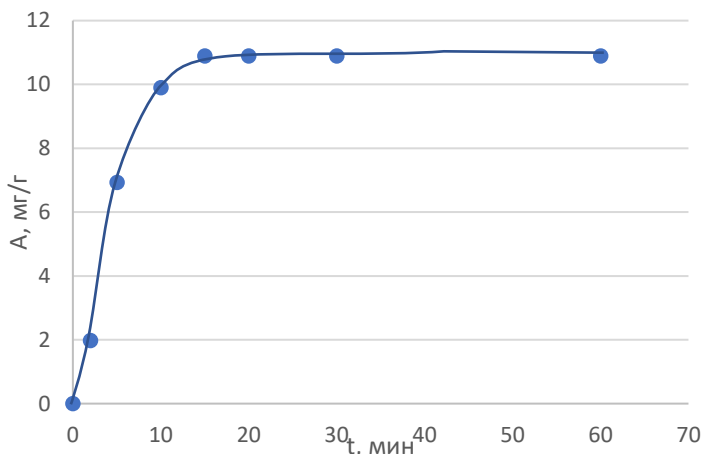


Рис. Кинетическая зависимость нативной скорлупы для ионов никеля

Как видно из рисунка, насыщение сорбента происходит достаточно быстро, равновесие устанавливается через 15 мин от начала контакта сорбента с раствором ионов никеля. Максимально достигнутое при этом значение сорбционной емкости составило 11 мг/г, что делает исследуемое сырье перспективным для изучения возможности удаления из воды соединений других металлов.

### Список литературы

1. Позднякова К.А. Исследование процесса сорбции ионов  $\text{Fe}^{3+}$  на скорлупе орехов // Химия – XXI век. теория, практика, образование: сб. материалов IV науч.-практ. нац. конф. с междунар. участием. – Брянск, 2021. – С. 86–88.
2. Использование скорлупы грецкого ореха (*juglansregia*) в качестве сорбционных материалов для удаления поллютантов из природных и сточных вод / И.Г. Шайхиев, С.В. Свергузова, К.И. Шайхиева, Ж.А. Сапронова // Химия растительного сырья. – 2020. – № 2. – С. 5–18.

3. ПНД Ф 14.1.46-96 «Методика выполнения измерений массовой концентрации никеля в сточных водах фотометрическим методом с диметилглиоксимом». – М., 2004.

### **Об авторах**

**Воронин Даниил Андреевич** – студент международной кафедры ЮНЕСКО «Инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: daniilvoronina@gmail.com

**Сомин Владимир Александрович** – д-р техн. наук, зав. международной кафедрой ЮНЕСКО «Инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: vladimir\_somin@mail.ru

А.М. Козлова, В.А. Сомин

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ С ПОМОЩЬЮ ВЕРМИТЕХНОЛОГИИ

Рассмотрены причины и последствия деградации почв при загрязнении нефтепродуктами. Предлагается технология вермиремедиации как альтернативный метод восстановления нарушенных земель. Представлены результаты эксперимента по вермиремедиации загрязненного грунта с использованием дождевых червей *Eisenia fetida* и результаты биотестирования полученного субстрата. Установлено, что вермиремедиация является эффективным способом восстановления нефтезагрязненных почв.

**Ключевые слова:** деградация почв, нефтепродукты, восстановление земель, вермитехнологии, вермиремедиация, вермикомпостирование, дождевые черви.

A.M. Kozlova, V.A. Somin

## THE STUDY OF THE ABILITY TO INCREASE SOIL FERTILITY USING VERMITECHNOLOGIES

The causes and consequences of soil degradation caused by oil pollution are considered. The technology of vermiremediation is proposed as an alternative method of restoration of disturbed lands. The results of an experiment on vermiremediation of contaminated soil using earthworms *Eisenia fetida* and the results of biotesting of the obtained substrate are presented. It has been established that vermiremediation is an effective way to restore oil-contaminated soils.

**Keywords:** soil degradation, oil products, soil restoration, vermitechnologies, vermiremediation, vermicomposting, earthworms.

Одним из наиболее значимых аспектов негативного воздействия на окружающую среду является деградация земель, особенно сельскохозяйственного назначения. В Российской Федерации площадь нарушенных земель, утрачивающих свою хозяйственную ценность или наносящих вред окружающей среде, превышает 1 млн га [1].

Под деградацией земель подразумевается ухудшение свойств земель в результате природного и (или) антропогенного воздействия [2].

Одной из распространенных причин деградации почв является химическое загрязнение, которое происходит из-за поступления загрязняющих веществ в литосферу в результате промышленных выбросов, сбросов сточных вод и накопления отходов. К числу наиболее опасных загрязняющих веществ для литосферы относятся нефть и нефтепродукты. Находясь в почве, они могут оказывать негативное воздействие не только на литосферу, но и на компоненты окружающей среды.

Вместе с тем в состав нефти и продуктов ее переработки входят большое количество микро- и макроэлементов, а также гуминовых кислот, образующихся в результате распада нефтепродуктов, что потенциально может снижать негативный эффект от попадания нефтепродуктов в почву.

Однако в большинстве случаев нефтепродукты попадают в почву в больших концентрациях и в больших объемах, что, в свою очередь, требует проведение мероприятий по их восстановлению.

В этой связи актуальным является применение альтернативных методов чистки, которые позволят значительно снизить содержание нефтепродуктов в почве. Примером таких методов может быть использование вермитехнологии, которая предполагает переработку дождевыми червями нефтезагрязненной почвы, в результате чего происходит деструкция частиц нефтепродуктов с сохранением их полезных свойств, насыщение почвы кислородом, микро- и макроэлементами, гумином, гуминовыми кислотами и гуматами. Дождевые черви в процессе вермиремедиации способны не только деструктурировать нефтепродукты, но и активировать аборигенную микробиоту почвы, ускоряя процесс самовосстановления плодородия [3].

Авторами проводился эксперимент по изучению способности дождевых червей вида *Eiseniafetida* к восстановлению и повышению ростостимулирующих свойств почв методами вермиремедиации и вермикомпостирования. Для этого были подготовлены образцы разных субстратов: почвы, обработанной от нефтепродуктов с помощью дождевых червей вида *Eiseniafetida* методом вермиремедиации, и смесью почвы и биогумуса, полученного из органических отходов с помощью дождевых червей вида *Eiseniafetida* в соотношении 1:1.

Полученные указанными способами субстраты подвергались изучению на биотестирование с использованием культуры овса. Для этого семена перед посадкой проращивали при температуре от 20 до 22 °С при поддержании контакта с воздухом и необходимой влажности. Для обеспечения непрерывной освещенности в темное время суток производилось искусственное досвечивание. Через 14 дней с момента посадки семян проводилось измерение массы и длины надземной и подземной частей ростков. Результаты биотестирования показаны на рисунке, где под термином «биогу́мус» понимается субстрат из смеси почвы и биогу́муса (1:1); «ОП» – почва, очищенная от нефтепродуктов червями *Eisenia fetida*.

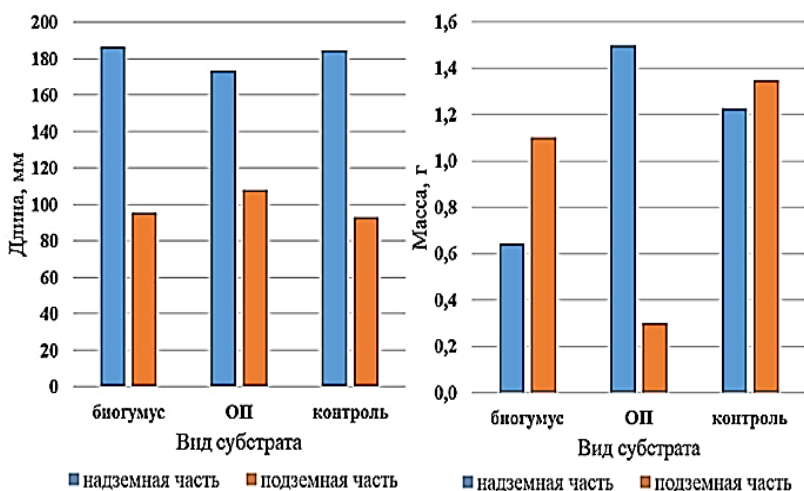


Рис. Длина и масса надземной и подземной частей тестовых растений

Установлено, что образцы растений, выращенные на загрязненной нефтепродуктами почве, в которую помещались дождевые черви *Eisenia fetida*, отличаются большей длиной корней и массой побегов относительно контроля. Также у данных образцов зафиксированы наименьшие массы подземных частей растений. Образцы,

выращенные на смеси почвы и биогумуса, отличались большей длиной надземной частей растений и меньшими и массами корней по сравнению с контролем.

Таким образом, установлено, что вермиремедиация является эффективным способом восстановления нефтезагрязненных почв.

### **Список литературы**

1. Указ Президента РФ от 19.04.2017 № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» // Собрание законодательства РФ. – 2017.

2. О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения: Федер. Закон [принят Гос. Думой 03.07.1998] // Собрание законодательства РФ. – 1998. – № 101 (ч. 1), ст. 1. – С. 1–2.

3. Блохина Е.В., Чачина С.Б., Колпаков З.М. Ремедиация загрязненных почв с помощью дождевых червей. Биотестирование очищенных почв // Актуальные вопросы энергетики. – 2021. – С. 122–125.

### **Об авторах**

**Козлова Александра Максимовна** – магистрант международной кафедры ЮНЕСКО «Инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: alexandra.kozlova19@mail.ru

**Сомин Владимир Александрович** – д-р техн. наук, зав. международной кафедрой ЮНЕСКО «Инженерная экология», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, e-mail: vladimir\_somin@mail.ru

**А.О. Сергеева, Н.Н. Слюсарь**

## **МИКРОПЛАСТИК: ВЛИЯНИЕ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ**

Рассматривается зависимость образующегося микропластика от деятельности текстильной промышленности, описываются основные пути и причины попадания микропластика в водные объекты. Представлены мероприятия для снижения объемов образующегося микропластика.

**Ключевые слова:** текстильная промышленность, микропластик, воздействие на водные объекты, синтетические волокна.

**A.O. Sergeeva, N.N. Slyusar**

## **MICROPLASTIC: THE IMPACT OF THE TEXTILE INDUSTRY ON WATER BODIES**

The article examines the dependence of the resulting microplastics on the activities of the textile industry, describes the main ways and causes of microplastics entering water bodies. The article presents measures to reduce the volume of microplastics formed.

**Keywords:** textile industry, microplastics, impact on water bodies, synthetic fibers.

Текстильная промышленность – одна из отраслей легкой промышленности, занимающаяся переработкой растительных (хлопок, лен), животных (шерсть, шелк), искусственных и синтетических волокон в готовый продукт: нить, пряжу или ткань.

Текстильная промышленность является одним из основных источников загрязнения водных объектов микропластиком, которым является любая частица пластика размером менее 5 мм.

Всемирный союз охраны природы опубликовал данные о ежегодном количестве микропластика, которые попадает в окружающую среду, общий объем составляет 3,2 млн т микропластика, из которых более 1 млн т приходится на текстильную промышленность [1].

Ежегодно потребляется порядка 70 млн т волокна для производства одежды, из которых 60 % являются синтетическими волокнами. Производство синтетических тканей (полиэстер, полиамид, акрил, эластан, капрон, нейлон и т.д.) является основной причиной образования микропластика в текстильной отрасли, поскольку синтетический материал ткани состоит из пластиковых волокон, которые под воздействием внешних факторов (вода, ветер, УФ-излучение) распадаются на мелкие частицы [1, 2].

Высокое использование синтетических волокон в текстильной промышленности потребляется в развивающихся странах (62,7 % от всех синтетических волокон в мире) в сравнении с развитыми странами. Это связано с использованием концепции «быстрой моды», которая помогает экспортировать объемы текстильной продукции в развитые страны и поднимать экономику развивающихся стран [1].

Волокна микропластика попадают в водные объекты при производстве синтетического текстиля, его носке, а также при стирке или сушке. Выделение микропластика и его количество при стирке одежды зависит от нескольких условий:

- 1) температура воды – при 60 °С одежда подвергается максимальному механическому воздействию и совместно с загрязнениями также отделяются и микроволокна тканей, оптимальной температурой для стирки тканей с минимальным выделением микроволокон или их полным отсутствием является температура 40 °С, при которой загрязнения удаляются менее агрессивно;

- 2) продолжительность стирки – чем дольше время стирки, тем дольше одежда подвергается трению, что также способствует образованию микроволокон, при минимальном режиме продолжительности стирки износ одежды уменьшается;

- 3) частота запусков стирки – чем чаще одежда стирается, чем она чаще подвергается механическому воздействию – трению, что приводит к выделению микроволокон;

- 4) состав ткани – наиболее подверженные ткани к образованию микроволокон – синтетические (полиэстер, акрил, полиамид), наименее подверженные – натуральные (хлопок, лен, шерсть);

- 5) наличие декоративных элементов: принты, стразы или пайетки;

6) количество оборотов во время стирки – как и в случае с продолжительностью и частотой запусков стирки, при максимальном количестве оборотов одежда подвергается трению;

7) стиральный порошок и его количество – агрессивные компоненты в стиральном порошке могут влиять на количество образующихся микроволокон, так как их воздействие разрушает волокна, в частности синтетических тканей; количество порошка непосредственно влияет на качество полоскания одежды, обильная пена, образующаяся при чрезмерном добавлении порошка, не до конца отделяется от одежды, что приводит к воздействию на ткань и ее регулярному разрушению с выделением микроволокон [3].

Главная проблема образования микропластика – это накопление в окружающей среде, изменение свойств под воздействием на него УФ-излучения, также микропластик является благоприятной средой для размножения бактерий и микроорганизмов и, вероятнее всего, может являться переносчиком вирусов и болезней [4].

Самый простой способ сократить количество образующегося микропластика – сократить потребление.

Необходимо осознанно подходить к подбору гардероба, а именно покупать действительно необходимые базовые вещи, подходящие для ежедневной носки; покупать вещи за более высокую стоимость, но хорошего качества; правильно ухаживать за вещами, рекомендации по уходу за каждой вещью прописаны на бирках, что позволит продлить их срок службы; покупать/продавать подержанные вещи в секонд-хэндах или онлайн-сервисах; отказаться от одежды с декоративными пластиковыми элементами.

Для того чтобы снизить количество образующегося микропластика от текстильной продукции в повседневной жизни, необходимо выполнять следующие правила: стирка при температуре менее 40 °C; продолжительность стирки менее 45 мин; полная загрузка стиральной машины; мягкие стиральные порошки, отказ от отбеливателя; снижение оборотов во время стирки до 400–600; ручная стирка синтетических тканей; химическая чистка.

Текстильная промышленность является одной из главных причин образования микропластика, в частности микроволокон. Ежегодно, только в Европе, в результате стирки синтетической одежды выделяется до 46 тыс. т микроволокон в год. За последние

20–30 лет значительно выросло производство синтетической одежды на волне «быстрой моды», что привело к глобальной проблеме – к стремительному росту образования микропластика. Последствия влияния микропластика на живые организмы до сих пор не изучены. На данный момент у ученых есть только предположения, но важно уже сейчас начать решать данную проблему, не дожидаясь необратимых последствий.

### **Список литературы**

1. Boucher J., Friot D. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. Primary Microplastics in the Oceans: a Global Evaluation of Sources. – 2017.

2. Загрязнение пресных вод микропластиком: необходимость мониторинга и контроля / О.В. Никитин, В.З. Латыпова, Л.М. Миннегулова, Э.И. Насырова // Химия и инженерная экология – XIX: сб. тр. междунар. конф. – Казань, 2019. – С. 154–160.

3. Swiatek O., Dabrowska A. A Feasible and Efficient Monitoring Method of Synthetic Fibers Released during Textile Washing // Journal Microplastic. – 2024. – P. 67–68.

4. Грицук А.А., Екимова Е.П., Хилюк А.В. Исследование миграции микропластика из окружающей среды в живой организм // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: Изд-во Сибир. федер. ун-та, 2022. – С. 609–611.

### **Об авторах**

**Александра Олеговна Сергеева** – магистрант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: leksandrasergeeva2001@yandex.ru

**Слюсарь Наталья Николаевна** – д-р техн. наук, профессор кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nnslyusar@gmail.com

**О.О. Марченко, Б.Д. Белан**

**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ  
КОНЦЕНТРАЦИЙ  $\text{SO}_2$  В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ  
НА ОСНОВЕ МНОГОЛЕТНИХ НАБЛЮДЕНИЙ  
НА ПОСТАХ МОНИТОРИНГА ГОРОДА ТОМСКА (2013–2017 гг.)**

В данной работе представлены результаты исследований мезомасштабных изменений концентраций диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) в приземном слое атмосферы на территории г. Томска за 2013–2017 гг. Изучен годовой концентраций  $\text{SO}_2$ , выполнено сравнение между городским, пригородным и фоновым постами мониторинга. Установлено, что корреляционная связь между постами достигает высоких значений, что указывает на общий механизм поступления  $\text{SO}_2$  в атмосферу.

**Ключевые слова:** диоксид серы, приземный слой атмосферы, мезомасштабный анализ.

**O.O. Marchenko, B.D. Belan**

**ASSESSMENT OF SPATIOTEMPORAL VARIABILITY OF  $\text{SO}_2$   
CONCENTRATIONS IN THE SURFACE LAYER OF THE ATMOSPHERE  
BASED ON LONG-TERM OBSERVATIONS AT MONITORING POSTS  
IN TOMSK (2013–2017)**

This article presents the results of research on mesoscale variations in sulfur dioxide ( $\text{SO}_2$ ) concentrations in the atmospheric boundary layer over the city of Tomsk for the period 2013–2017. The annual cycle of  $\text{SO}_2$  concentrations was analyzed, with a comparison made between urban, suburban, and background monitoring stations. It was found that the correlation between the monitoring stations reaches high values, indicating a common mechanism for  $\text{SO}_2$  entry into the atmosphere.

**Keywords:** sulfur dioxide, atmospheric surface layer, mesoscale analysis.

Диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ) — одна из малых газовых составляющих, при превышении концентраций которой наносится существенный ущерб окружающей среде.

Изменение состава воздуха на локальном уровне [1] может иметь значительные последствия для здоровья людей, сельского хозяйства, водных ресурсов и экосистем. Например, согласно [2, 3],

SO<sub>2</sub> является значительным загрязнителем воздуха в Китае. Здесь загрязнение воздуха привело к большим сельскохозяйственным потерям. В 2008 г. потери составили около 1,5 млрд долларов США.

В районе г. Томска проведены исследования SO<sub>2</sub> в приземном слое атмосферы на трех постах мониторинга. Основной целью являлось изучение мезомасштабных особенностей временных вариаций диоксида серы.

На территории Томской области Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН проводит измерение газового состава атмосферы на трех собственных постах мониторинга атмосферного состава: TOR-станции, обсерваториях «Фоновая» и Базовый экспериментальный комплекс (БЭК). TOR-станция располагается на северо-восточной окраине Томского научного центра (Академгородка), Обсерватория «Фоновая» расположена в 60 км западнее г. Томска, а БЭК – в пригородном районе в 3 км восточнее Академгородка. Такое расположение постов (рис. 1), практически на одной линии при наличии западно-восточного переноса воздушных масс позволяет оценить антропогенный вклад г. Томска в формировании поля атмосферных примесей. На исследуемой территории посты мониторинга находятся в условиях разного уровня антропогенной нагрузки: город (TOR-станция), пригород (БЭК), фоновый район (обсерватория «Фоновая»).



Рис. 1. Схема расположения постов мониторинга в районе г. Томска

Для исследования динамики концентрации  $\text{SO}_2$  в приземном слое воздуха на мезомасштабном уровне был взят ряд наблюдений среднечасовых отсчетов за 2013–2017 гг. В массиве данных имеются разрывы наблюдений из-за отключения электричества, выхода из строя оборудования во время гроз и других неблагоприятных гидрометеорологических явлений, снятия оборудования в ремонтных и калибровочных целях.

В случае, когда в ряде данных отсутствовало более 20 % данных, то этот ряд исключался при обработке.

Следует отметить, что данные для обсерватории «Фоновая» отсутствуют в период 2015–2016 гг.

Для изучения годового хода рассчитаны средние значения концентраций  $\text{SO}_2$  для каждого месяца. Результаты представлены на рис. 2.

Анализируя годовой ход, можно отметить схожую амплитуду поведения  $\text{SO}_2$  для каждого поста мониторинга. Здесь отмечается повышение концентраций в холодное время и понижение в теплое.

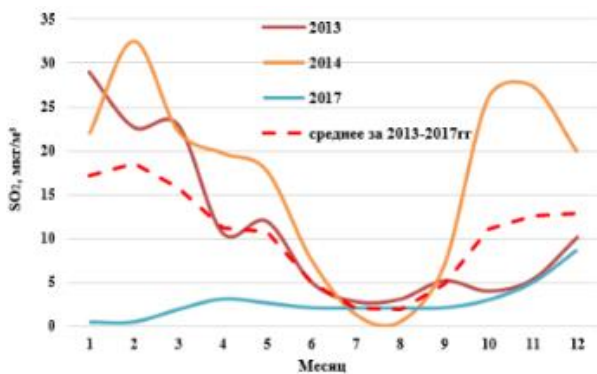
Максимальное значение ( $33 \text{ мкг/м}^3$ )  $\text{SO}_2$  в атмосфере для годового хода наблюдается в январе 2014 г. в обсерватории «Фоновая». Минимальное зафиксировано ( $0,5 \text{ мкг/м}^3$ ) в августе 2014 г. для этого же поста мониторинга.

Для БЭК разница концентраций между годами в годовом ходу практически незаметна и находятся на уровне усредненного значения.

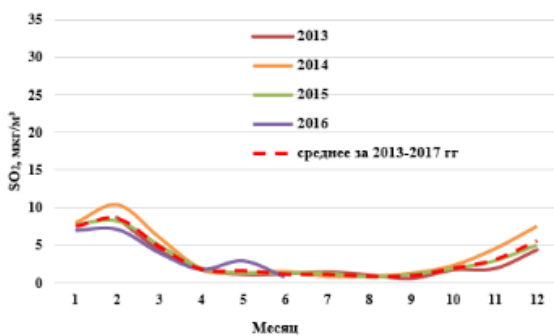
В случае годового хода TOR-станции с каждым годом явно видно повышение концентраций. Но в 2015 г. наблюдается резкое повышение  $\text{SO}_2$  после апреля, почти сравниваясь с 2017 г., возможно, что в этот весенне-летний период происходили лесные пожары в данной области.

Коэффициенты корреляции средних значений концентраций  $\text{SO}_2$  между TOR-станцией, обсерваторией «Фоновая» и БЭК для годового хода варьируются около значения 0,85, что говорит об общем механизме формирования поля диоксида серы на этих постах.

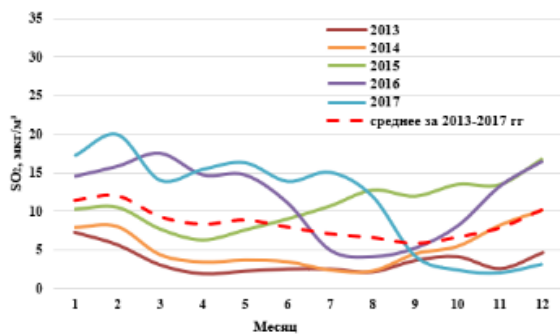
Для годового хода можно отметить схожую амплитуду поведения  $\text{SO}_2$  для каждого поста мониторинга. Здесь отмечается повышение концентраций в холодное время и понижение в теплое.



*a*



*б*



*в*

Рис. 2. Годовой ход  $\text{SO}_2$  в районе г. Томска за 2013–2017 гг.:  
*a* – обсерватория «Фоновая»; *б* – БЭК; *в* – TOR-станция

Максимальное значение ( $33 \text{ мкг/м}^3$ )  $\text{SO}_2$  в атмосфере для годового хода наблюдается в январе 2014 г. в обсерватории «Фоновая». Отмечается корреляционная связь между постами мониторинга на протяжении всего года (коэффициент корреляции для годового хода 0,85), что свидетельствует об общем механизме поступления  $\text{SO}_2$  в приземный слой атмосферы.

### Список литературы

1. Демьянцева Е.А., Шваб Е.А., Реховская Е.О. Механизм образования и негативное влияние выбросов, содержащих оксиды азота // Молодой ученый. – 2017. – № 2 (136). – С. 231–234.
- 2.. Industrial  $\text{SO}_2$  pollution and from heavy air polluters / J. Wei, X. Guo, D. Marinova, J. Fan // Journal of Cleaner Production. – 2013.
3. Yang S., Yuesi W., Changchun Z. Measurement of the vertical profile of atmospheric  $\text{SO}_2$  during the heating period in Beijing on days of high air pollution // Atmospheric environment – 2009. – No. 43. – P. 468–472.

### Об авторах

**Марченко Олеся Олеговна** – инженер, Институт радиационной безопасности и экологии, e-mail: marchenko@nnc.kz

**Белан Борис Денисович** – доктор физико-математических наук, профессор, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева, e-mail: bbd@iao.ru

**С.Ф. Валеев, А.Ф. Ахметов, Ю.Е. Носова**

## **ПРОЦЕССЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ**

Бытовые полимерные отходы, используемые для исследования, представляли собой смесь из полиэтилена, полипропилена, полистирола и полиэтилентерефталата. А промышленные отходы – смесь полиэтилена, полипропилена и полистирола. В ходе работы изучено влияние состава полимерных отходов и температуры процесса термоллиза на выход газообразных и жидких продуктов процесса. Также выполнен анализ образующихся продуктов с исследованием их качественного и количественного состава.

**Ключевые слова:** полимерные промышленные отходы, полимерные бытовые отходы, термоллиз, утилизация, экология, нефтепереработка.

**S.F. Valeev, A.F. Akhmetov, Yu.E. Nosova**

## **THERMAL DESTRUCTION PROCESSES FOR PROCESSING OF POLYMERIC WASTES**

Domestic polymer wastes used for the study, was a mixture of polyethylene, polypropylene, polystyrene and polyethylene terephthalate. Industrial wastes was a mixture of polyethylene, polypropylene and polystyrene. It was studied the effect of polymer wastes composition and thermolysis process temperature on the yield of gaseous and liquid products of the process. Also it was analyzed the formed products with the study of their qualitative and quantitative composition.

**Keywords:** polymeric industrial waste, polymeric household waste, thermolysis, utilization, ecology, oil refining.

Достижение поставленной задачи выполнялось в несколько этапов:

- 1) проведение анализа объемов полимерных отходов, требуемых к переработке;
- 2) проведение анализа способов химической переработки полимеров и технологий их проведения;
- 3) изучение особенностей технологий переработки полимеров различной природы;

4) исследование технологии переработки полимерных отходов путем термоллиза без применения сложного технологического оборудования, в отсутствие катализатора и органических растворителей;

5) анализ влияния параметров переработки полимерных отходов и их качественного и количественного состава на качество получаемых продуктов.

Процесс вовлечения полимерных отходов в переработку исследовался на пилотной установке коксования научно-исследовательской лаборатории ООО «ЛИНК». Целевые фракции получали на автоматической установке разгонки нефтепродуктов, разгонка до 280 °С проводилась при атмосферном давлении, оставшийся продукт разгонялся с использованием вакуума.

Полимерные отходы представляли собой модельную смесь полимеров, соответствующую объемам потребления полимеров и их доле в общей массе отходов, указанного состава, масс. %: полиэтилен высокой плотности – 35, полиэтилен низкой плотности – 35, полипропилен – 12, вспененный полистирол – 15, полиэтилентерефталат – 3. Полиэтилентерефталат не удалялся полностью при сортировке, поэтому присутствовал в перерабатываемой смеси в не больших количествах. Помимо смесового сырья, в работе исследовалось поведение индивидуальных полимеров в процессе термической деструкции, а именно полиэтилена высокой и низкой плотности, полипропилена и вспененного полистирола [2].

Вовлекаемые в переработку полимеры измельчались до размера частиц 10–20 мм и подвергались термическому воздействию в реакторе в течение 3 ч. Температура процесса поддерживалась в интервале 377–412 °С. В качестве продуктов вырабатывались неконденсируемый газ, смесь жидких углеводородов, выкипающих до рабочей температуры процесса, и остаток в реакторе.

Природа полимерных отходов и условия процесса термоллиза (температуры, типа реактора, давления, времени пребывания сырья в реакторе и пр.); определяли долю полученных в процессе переработки фракций и их состав. Отмечено, что при увеличении температуры процесса выход легких продуктов термоллиза повышался. Температура 398–402 °С обуславливала паритетный выход легкой и тяжелой частей продуктов термоллиза [3].

Длительность термической обработки полимеров имеет важное значение наряду с температурой. Отмечено, что при прочих

равных условиях увеличение длительности термической обработки способствует повышению выхода легкого термолизного масла и уменьшению количества тяжелых продуктов. Длительность процесса определялась в зависимости от необходимости получения различных продуктов применительно к нефтеперерабатывающему заводу и его продуктовой специфике.

Полипропилен и полистирол при индивидуальном термолизе при 400 °С подвергались более глубокой деструкции с образованием легких продуктов, что свидетельствовало о меньшей стабильности разветвленных полимеров при термическом разложении. Линейный полиэтилен в процессе термообработки показал выход легких продуктов не более 15 масс. % в расчете на загруженное сырье.

Исследования состава легкой и тяжелой частей термолизного масла показали высокое содержание гетероатомных элементов азота и серы, а также металлов железа и кальция, что обусловлено химическим составом функциональных добавок, входящих в состав полимерных композиций. Товарная полимерная продукция – это композиционный материал, содержащий добавки для придания изделиям цветности, огнестойкости, стойкости к ионизирующему излучению, а также способствующие улучшению реологических свойств на этапах переработки. К тому же указанные добавки снижают себестоимость продукции. Как и в случае нефтяного сырья, большая часть гетероатомных соединений концентрируется в тяжелокипящих фракциях, но в светлых фракциях они также присутствуют.

Давление процесса и влажность перерабатываемого сырья, наряду с остальными параметрами, имеют важное значение. В ходе исследований увеличение давления способствовало повышению жесткости процесса и увеличению выхода газообразных продуктов и легкого термолизного масла. Повышение влажности полимерного сырья способствовало протеканию нежелательных реакций газификации, приводящих к образованию CO, CO<sub>2</sub> и других газообразных продуктов, что, в свою очередь, уменьшало выход целевых жидких продуктов термолиза.

Вовлечение полимерных отходов в процессы квалифицированной переработки позволит решать экологические проблемы в сложившихся обстоятельствах современной промышленности и играет важную экономическую роль ввиду того, что отходы полимерных материалов являются мощным сырьевым ресурсом [4]. Проведенные

исследования подтверждают возможность использования термических процессов для получения углеводородного сырья, обладающего потенциалом на нефтеперерабатывающих заводах. Варьирование условий ведения процесса термоллиза и применение полимеров различной природы позволит получить продукты различного фракционного состава без применения сложного технологического оборудования в отсутствие катализатора и органических растворителей.

### Список литературы

1. Применение технологий нефтепереработки для утилизации полимерных отходов на установках коксования / М.Р. Усманов, Р.Р. Гималетдинов, С.Ф. Валеев, Ф.Р. Зайнуллов, А.В. Сулимов // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25, № 1. – С. 9–13.
2. Применение процессов термической деструкции для переработки полимерных отходов / М.Р. Усманов, Р.Р. Гималетдинов, С.Ф. Валеев, Ф.Р. Зайнуллов, А.В. Сулимов, М.В. Железнов // Мир нефтепродуктов. – 2021. – № 2.
3. Переработка полимерных отходов методом термоллиза / Р.Р. Гималетдинов, М.Р. Усманов, А.Ф. Ахметов, С.Ф. Валеев, Ф.Р. Зайнуллов, М.В. Железнов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2022. – № 10. – С. 27–30.
4. Фехретдинов Р.Н., Чарикова К.А., Дивина О.А. Переработка отходов пластмасс в России // Твердые бытовые отходы: научно-практический журнал. – 2019. – № 1 (151). – С. 28–31.

### Об авторах

**Валеев Салават Фанисович** – первый заместитель Генерального директора, ООО «ЛУКОЙЛ – Инженерные Навыки и Компетенции», e-mail: Salavat.Valeev@lukoil.com

**Ахметов Арслан Фаритович** – д-р техн. наук профессор, зав. кафедрой технологий нефти и газа, Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: aaf1948@gmail.com

**Носова Юлия Евгеньевна** – ведущий инженер лаборатории технологического сопровождения нефтехимических производств Центра технологического совершенствования, ООО «ЛУКОЙЛ – Инженерные Навыки и Компетенции», e-mail: Yuliya.Nosova@lukoil.com

**М.А. Ширяева, М.В. Пушкарёва**

## **ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРОЕКТИРУЕМОГО КАРЬЕРА ЛИПЕЦКОГО РАЙОНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

В данном исследовании оценена степень защищенности грунтовых вод на проектируемом известняковом месторождении. Методика исследования основана на расчете времени фильтрации загрязняющих веществ для безнапорных горизонтов. Оценка защищенности проводилась на качественном и количественном уровнях. На основе собранных данных для текущего состояния были созданы карты защищенности подземных вод. С учетом мероприятий по водопонижению карьера в условиях разработки участка месторождения флюсового известняка уровень концентрации загрязняющих веществ останется на прежних уровнях.

**Ключевые слова:** оценка защищенности, грунтовые воды, QGIS, геоинформационные системы, водоносный горизонт.

**M.A. Shiryayeva, M.V. Pushkareva**

## **GROUNDWATER PROTECTION ASSESSMENT FOR THE PROPOSED QUARRY IN THE LIPETSK REGION USING GIS-TECHNOLOGIES**

This study assesses the degree of groundwater protection at a proposed limestone mine. The research methodology is based on calculation of pollutants filtration time for non-pressurised horizons. Protection was assessed at qualitative and quantitative levels. Based on the data collected, groundwater protection maps were created for the current status. Taking into account the measures on pit dewatering in the conditions of fluxing limestone deposit development, the level of pollutants concentration will remain at the same levels.

**Keywords:** protection assessment, groundwater, QGIS, geographic information systems, aquifer.

Цель исследования – оценить степень защищенности грунтовых вод на проектируемом известняковом месторождении с применением инновационных технологий.

Исследуемый участок находится в среднерусской возвышенности, расположенной между р. Воронеж и Кузьминка, с высотами

от 140 до 175 м. Гидрогеологически территория относится к южной части Московского артезианского бассейна, где подземные воды находятся в отложениях различных геологических эпох, и их эксплуатация осуществляется из девонских водоносных горизонтов.

Применяемый подход основывается на расчете времени, необходимого для фильтрации загрязняющих веществ в напорных и безнапорных горизонтах по отдельности. Оценка защищенности подземных вод осуществлялась как на качественном, так и на количественном уровнях. [1–3]. В ходе работы были выделены зоны защищенности подземных вод на территории г. Липецка, где защищенные (III–VI) и условно защищенные (II–III) зоны показывают, что воды еланско-ливенского и задонско-елецкого водоносных горизонтов защищены от поверхностного загрязнения, с учетом предполагаемого уровня воды 115 м и максимальной глубины отработки известняков до 104 м. На основе собранных данных были созданы карты защищенности подземных вод для текущего момента (рис., а) и прогнозной оценки после проведения необходимых работ (рис., б). Карты защищенности грунтовых вод разрабатывались с учетом геологических, литологических и гидрогеологических данных. Синтез карт осуществлялся с использованием геоинформационных систем (ГИС), в частности QGIS 3.34, с разработанным модулем на Python для комбинирования соответствующих карт.

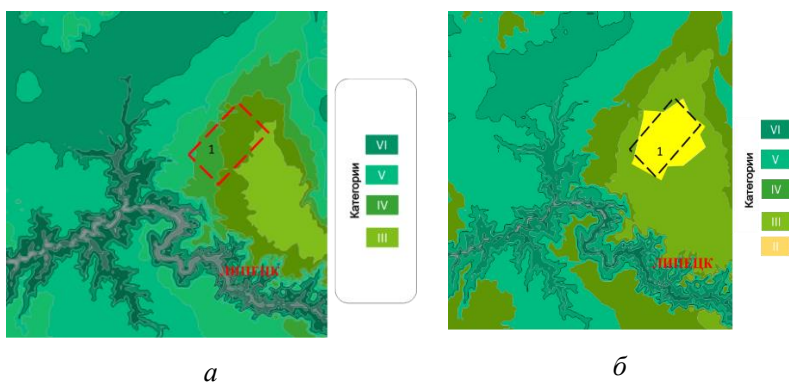


Рис. Карты защищенности подземных вод для: а – настоящего времени; б – при проведении работ (1 – участок вскрышных работ)

Исходя из представленных расчетов, в результате деятельности по промышленной обработке известняков до абсолютной отметки 104 м с учетом мероприятий по водопонижению карьера в условиях разработки участка месторождения флюсового известняка уровень концентрации загрязняющих веществ останется на прежних уровнях.

### **Список литературы**

1. Оценка горно-геологических и горнотехнических условий карьера «Северный» с помощью математических моделей / Р.В. Клоев, И.И. Босиков, Е.В. Егорова, О.А. Гаврина // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – Т. 12, № 3 (45). – С. 418.
2. Проблемы обоснования зон санитарной охраны подземных водозаборов: анализ основных геологических факторов / А.М.Г.Б. Никуленков, С.Н. Носков, Н.А. Мозжухина, М.В. Вилькина // Гигиена и санитария. – 2021. – Т. 100, № 8. – С. 762–768.
3. Ширяева М.А. Обоснование границ зон санитарной охраны подземного водозабора городского округа Щелково Московской области // Природообустройство. – 2024. – № 5. – С. 96–103.

### **Об авторах**

**Ширяева Маргарита Александровна** – младший научный сотрудник отдела гигиены воды, ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, e-mail: Shiryaeva.MA@fncg.ru

**Пушкарева Мария Васильевна** – д-р мед. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела гигиены воды, ФБУН «ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, e-mail: pushkareva.mv@fncg.ru

## Секция 2. БИОТЕХНОЛОГИЯ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

---

УДК 620.3:579.66

**С.С. Альхаджи, А.Ю. Максимов**

### **АДСОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ОКСИДА ГРАФЕНА ПО ОТНОШЕНИЮ К БЕЛКАМ И ОЦЕНКА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЛУЧЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

Исследована адсорбционная способность оксида графена по отношению к бычьему сывороточному альбумину и ферменту – нитрилгидратазе из штамма *Rhodococcus ruber* gt1. В 10 мМ К-Na-фосфатном буфере, pH 7,4. Показано, что используемый оксид графена в условиях данного эксперимента обладает высокой сорбционной емкостью по отношению к модельным белкам. Установлено, что сорбционная емкость в таких условиях составляет для бычьего сывороточного альбумина 0,24–0,26 мкг белка/мкг ОГ, а для НГ – 0,22–0,24 мкг белка/мкг ОГ. При этом активность фермента не снижается по сравнению с таковым в растворе. Полученные таким образом комплексы с ферментом перспективны для создания биосенсоров и биокатализа.

**Ключевые слова:** адсорбция, оксид графена (ОГ), нитрилгидратаза (НГ), *Rhodococcus*, бычий сывороточный альбумин (БСА).

**S.S. Alhaji, A.Yu. Maksimov**

### **ADSORPTION CAPACITY OF GRAPHENE OXIDE WITH RESPECT TO PROTEINS AND ASSESSMENT OF BIOTECHNOLOGICAL POTENTIAL OF THE OBTAINED COMPLEXES**

The adsorption capacity of graphene oxide with respect to bovine serum albumin and the enzyme – nitrile hydratase from the strain *Rhodococcus ruber* gt1 was studied. In 10 mM K-Na-phosphate buffer, pH 7.4. It was shown that the graphene oxide used under the conditions of this experiment has a high sorption capacity with respect to model proteins. It was found that the sorption capacity under such conditions is 0.24–0.26 µg protein/µg OG for bovine serum albumin, and 0.22–0.24 µg

protein/ $\mu\text{g}$  OG for NG. At the same time, the enzyme activity does not decrease compared to that in solution. The complexes with the enzyme obtained in this way are promising for the creation of biosensors and biocatalysis.

**Keywords:** adsorption, graphene oxide (OG), nitrile hydratase (NG), *Rhodococcus*, bovine serum albumin (BSA).

Графен и его производные обладают уникальными свойствами. Адсорбция белков, в том числе ферментов, на графене и других углеродных наноматериалах (УНМ) может быть использована для получения комплексов или ковалентно связанных нанокомпозитов, перспективных для практического применения в различных областях биотехнологии. Иммобилизация ферментов на графене открывает широкие перспективы для создания новых биосенсоров, медицинских и промышленных материалов с улучшенными характеристиками. В частности, такие наноматериалы могут быть использованы для получения биосенсоров, применяемых в медицинской и экологической биотехнологии, средств доставки лекарственных препаратов пептидного и белкового происхождения (пептидных гормонов, интерлейкинов, специфических антител, инъекционных ферментов и т.д.), в тонком биокаталитическом синтезе, новых методах очистки пептидных антибиотиков, ферментов, моноклональных антител и т.д. и обладают рядом полезных преимуществ [1, 2]:

- преимущества высокой чувствительности и селективности биосенсоров на основе УНМ: графен обладает большой удельной площадью поверхности и биосовместимостью, что делает его привлекательным для биомедицинского применения;

- разработки новых функциональных биосовместимых материалов: графеновые наноразмерные покрытия на поверхности неорганических материалов и органических полимеров могут быть использованы для разработки наносорбентов с большой площадью удельной поверхности и высокой сорбционной емкостью к белкам;

- улучшения стабильности ферментов: иммобилизация ферментов на наночастицах или поверхности, модифицированной наночастицами, как и другие виды иммобилизации, может повышать их стабильность и позволяет многократно использовать биокатализаторы;

- медицинской диагностики и изучения процессов в живых клетках: биосенсоры на основе графеновых наноматериалов способны детектировать биомаркеры.

Бактерии-продуценты нитрилгидратазы используются для промышленного синтеза акриламида в Японии и России. Также этот фермент перспективен для получения биосенсоров для определения примесей нитрилов в пищевых субстанциях, сточных водах и т.п. В настоящей работе в качестве модельных белков использован бычий сывороточный альбумин с чистотой 95 % и препарат фермента нитрилгидратазы, выделенный из штамма *R. ruber* gt1 [3].

Для определения адсорбционной способности оксида графена готовили раствор белка с концентрацией 1 мг/мл белка (БСА). Эксперимент проводили в микропробирках объемом 2 мл. В каждую микропробирку добавляли 100 мкл стоковой суспензии оксида графена (200 мкг/мл) до конечной концентрации 10 мкг ОГ/мл. Из исходного раствора БСА (1 мг/мл) добавляли до достижения нужных концентраций в диапазоне от 2,5 до 100 мкг/мл. Добавляли 10 мМК-*-*Na-фосфатный буфер, pH 7,4 до общего объема 2 мл. Пробирки помещали на ротатор на 30 мин при скорости вращения 30 об/мин. Связанный белок вместе с оксидом графена отделяли центрифугированием при 10000 g в течение 5 мин. В надосадочной жидкости определяли количество остаточного белка в растворе после связывания ОГ. Контрольные варианты (К) содержали растворы БСА без ОГ. Определение концентрации свободного белка в растворе проводили по методу Брэдфорда. Образующиеся комплексы красителя Кумасси с белком окрашивают раствор в синий цвет. Измерение проводили на спектрофотометре КФК-3 при длине волны 595 нм.

Определение количества белка в ряде разведений в присутствии ОГ

| Конц. БСА, мкг/мл | ОП 595, ОГ | ОП 595, К |
|-------------------|------------|-----------|
| 0                 | —          | 0         |
| 5                 | 0,074      | 0,16      |
| 12,5              | 0,236      | 0,305     |
| 25                | 0,318      | 0,382     |
| 37,5              | 0,378      | 0,413     |
| 50                | 0,39       | 0,41      |
| 100               | 0,417      | 0,437     |

Установлено, что в диапазоне использованных концентраций с оксидом графена связывалось 2,4–2,6 мкг белка. Сорбционная емкость составляла 0,24–0,26 мкг белка/мкг ОГ.

Показано, что используемый оксид графена в условиях данного эксперимента обладает высокой сорбционной емкостью по отношению к БСА подобной таковой, описанной в литературе [4].

Аналогично исследовали сорбционную емкость оксида графена по отношению к неочищенному препарату фермента нитрилгидратазы (НГ). Активность НГ измеряли по степени трансформации акрилонитрила в акриламид спектрофотометрически, как описано в [3]. Исходная удельная активность фермента составляла 235 мкмоль/мг/мин.

Показано, что в условиях эксперимента адсорбция нитрилгидратазы составляла от 0,22 до 0,24 мкг белка/мкг ОГ, что близко к аналогичному показателю по БСА. Активность иммобилизованной нитрилгидратазы сохранялась на уровне активности фермента в растворе.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 24-24-20008, <https://rscf.ru/project/24-24-20008/>*

### Список литературы

1. Graphene-Oxide Peptide-Containing Materials for Biomedical Applications / A. Gostaviceanu, S. Gavrila, L. Copolovici, D.M. Copolovici // Int. J. Mol. Sci. – 2024. – Vol. 25 (18). – P. 10174. DOI: 10.3390/ijms251810174
2. Potential Biomedical Limitations of Graphene Nanomaterials / G. Ban, Y. Hou, Z. Shen, J. Jia, L. Chai, C. Ma // Int. J. Nanomedicine. – 2023. – Vol. 18. – P. 1695–1708. DOI: 10.2147/IJN.S402954
3. Влияние нитрилов и амидов на рост и нитрилгидратазную активность штамма *Rhodococcus* sp. gt1 / А.Ю. Максимов, М.В. Кузнецова, Г.В. Овечкина, С.В. Козлов, Ю.Г. Максимова, В.А. Демаков // Прикладная биохимия и микробиология. – 2003. – Т. 39, № 1. – С. 63–68.

4. Albumin (BSA) adsorption on to graphite stepped surfaces / P. Rubio-Pereda, J.G. Vilhena, N. Takeuchi, P.A. Serena, R. Pérez // J. Chem. Phys. – 2017. – Vol. 146 (21). – P. 214704. DOI: 10.1063/1.4984037

### **Об авторах**

**Альхаджи Салма Сара** – студентка магистратуры кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ss8006853@gmail.com

**Максимов Александр Юрьевич** – канд. биол. наук, старший научный сотрудник Института экологии и генетики микроорганизмов, Пермский федеральный исследовательский центр УРО РАН, e-mail: almaks1@mail.ru

**М.Н. Балахнина, Ю.Н. Дмитриева, Я.А. Климова, Л.Д. Аснин**

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ХИРАЛЬНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ  
ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ АМИНОКИСЛОТ  
В БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Изучено разделение дериватизированных энантиомеров аминокислот на различных хиральных неподвижных фазах на основе цвиттерийных производных хинина и хинидина. Показана возможность анализа энантиомерных смесей серина, аспарагиновой кислоты, фенилаланина и тирозина на хиральных неподвижных фазах АК 59 на основе аддукта хинидина и дипептида Ala-Leu.

**Ключевые слова:** аминокислоты, энантиомеры, хиральная хроматография, дериватизация, хиральная неподвижная фаза.

**M.N. Balakhnina, J.N. Dmitrieva, Ya.A. Klimova, L.D. Asnin**

**APPLICATION OF CHIRAL CHROMATOGRAPHY FOR ANALYTICAL  
CONTROL OF AMINO ACIDS IN BIOTECHNOLOGICAL PRODUCTION**

The separation of derivatized amino acid enantiomers on different chiral stationary phases based on zwitterionic quinine and quinidine derivatives was studied. The possibility of analyzing enantiomeric mixtures of serine, aspartic acid, phenylalanine, and tyrosine for chiral stationary phases AK 59 based on the quinidine adduct and the Ala-Leu dipeptide was shown.

**Keywords:** amino acids, enantiomers, chiral chromatography, derivatization, chiral stationary phase.

D-аминокислоты входят в структуру различных лекарственных соединений, а также играют важную роль в преодолении проблемы резистентности бактерий к пептидным антибиотикам путем замены некоторых L-аминокислот на их D-энантиомеры [1]. Используемые в фармацевтическом производстве аминокислоты должны обладать высокой энантиомерной чистотой, что требует применения соответствующих методов контроля. Одним из наиболее популярных методов является хиральная жидкостная хроматография. В представленной работе изучается возможность определения энантиомеров четырех аминокислот: серина, аспарагиновой кислоты,

фенилаланина и тирозина. Поскольку аминокислоты слабо поглощают излучение в УФ-области спектра, их предварительно дериватизировали окрашивающими реагентами, в качестве которых использовали дансилхлорид (Dns-Cl) [2] и дабсилхлорид (Dbs-Cl) [3].

Эксперименты выполнялись на хроматографе LC20-ADXR (Shimadzu) с диодно-матричным детектором. В качестве неподвижных фаз использовались силикагель с ковалентно привитыми аддуктами хинина и дипептида Leu-Ala (АК 56), 6-аминогексановой кислоты (Chiral WCX-WAX CH166), таурина (Taurine-QN), а также аддукта хинидина и дипептида Ala-Leu (АК 59). Неподвижные фазы марки АК помещали в колонки из нержавеющей стали размером 150×3 мм; другие фазы – в колонки размером 150×4 мм. В качестве подвижной фазы использовался метанол с добавлением 12,5 ммоль триэтиламина и 25 ммоль муравьиной кислоты. Температура варьировалась от 25 до 35 °С.

Результаты измерения коэффициента разделения ( $\alpha$ ) дериватизированных энантиомеров аминокислот на различных колонках приведены в таблице. Значения  $\alpha > 1$  указывают на порядок элюирования энантиомеров L > D, значения  $\alpha < 1$  указывают на обратный порядок элюирования. Как видно, хорошее энантиоразделение достигается на колонке АК 59, на которой можно полностью разделить энантиомеры всех четырех исследованных аминокислот после дансирования (рисунок). Дабсированные производные на данной колонке характеризуются худшим энантиоразделением, но на других колонках лучшим.

Значения коэффициента разделения на разных ХНФ

| Колонка              | t,<br>°C | F <sub>v</sub> ,<br>мл/мин | Dns-Cl                |                       |                       |                       | Dbs-Cl                |                       |                       |                       |
|----------------------|----------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                      |          |                            | $\alpha_{\text{Ser}}$ | $\alpha_{\text{Asp}}$ | $\alpha_{\text{Phe}}$ | $\alpha_{\text{Tyr}}$ | $\alpha_{\text{Ser}}$ | $\alpha_{\text{Asp}}$ | $\alpha_{\text{Phe}}$ | $\alpha_{\text{Tyr}}$ |
| Chiral WCX-WAX CH166 | 30       | 1                          | 1,161                 | 0,947                 | 0,627                 | 1,135                 | 1,081                 | 0,912                 | 0,619                 | 1,030                 |
| АК59                 | 35       | 0,5                        | 0,709                 | 0,727                 | 0,705                 | 0,855                 | 0,925                 | 0,879                 | 0,822                 | 0,985                 |
| АК56                 | 20       | 0,5                        | 1,333                 | 1,320                 | 1,174                 | 1,098                 | 1,188                 | 1,237                 | 1,105                 | 1,066                 |
| Taurine-QN           | 25       | 1                          | 1,104                 | 1,244                 | 1,117                 | 1,057                 | 1,009                 | 1,092                 | 1,055                 | 1,575                 |

Следующими за АК 59 по энантиоселективности являются колонки АК 56 (относительно высокая селективность по отношению к

энантиомерам серина и аспарагиновой кислоты) и Chiral WCX-WAX CN166 (относительно высокая селективность по отношению к энантиомерам фенилаланина и тирозина). Наихудшую энантиоселективность проявляла колонка Taurine-QN. Время анализа на всех исследованных колонках не превышало 10 мин.

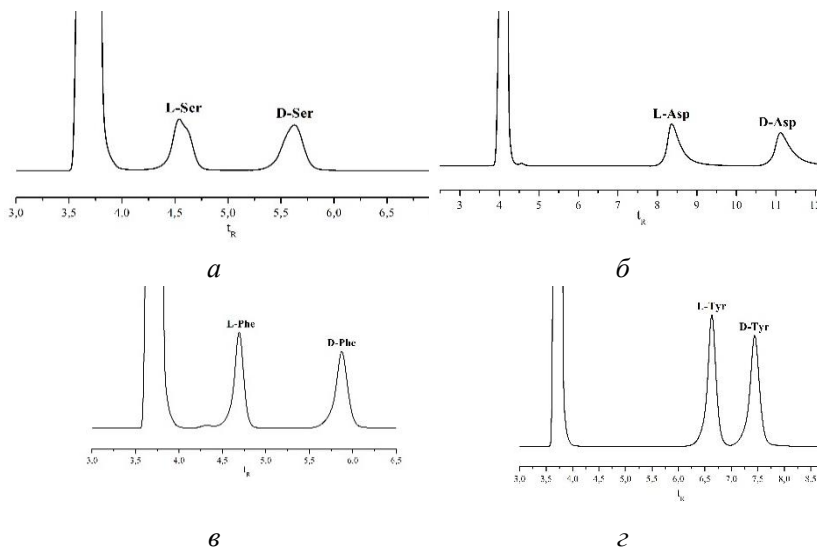


Рис. Хроматограммы рацемических смесей серина (а), аспарагиновой кислоты (б), фенилаланина (в) и тирозина (г), полученные на колонке АК 59

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-13-00038.*

### Список литературы

1. Czerwenka C., Lindner W. Stereoselective peptide analysis // Anal. Bioanal. Chem. – 2005. – Vol. 382. – P. 599–638.
2. Dansylation of amino acids for high-performance liquid chromatography analysis / Y. Tapuhi, D. Schmidt, W. Lindner, B. Karger // Anal. Biochem. – 1981. – Vol. 115, no. 1. – P. 123–129.

3. Kim T.Y., Kim H.J. Membrane ion-exchange chromatography for process-scale antibody purification // J. Chromatogr. A. – 2001. – Vol. 933, no. 1–2. – P. 99–106.

### **Об авторах**

**Балахнина Мария Николаевна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: masha.balachnina@gmail.com

**Дмитриева Юлия Николаевна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ulad925@gmail.com

**Климова Яна Анатольевна** – ассистент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: yana-klimova-1995@mail.ru

**Аснин Леонид Давыдович** – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: asninld@mail.ru

**С.А. Балтаева**

## **ЗНАЧЕНИЕ РАСТЕНИЯ ЭЙХОРНИЯ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ТУРКМЕНИСТАНА**

Рассматривается роль растения Эйхорния (*Eichhornia crassipes*) в процессе очистки сточных вод в Туркменистане. Эйхорния – это водное растение, которое широко применяется для очистки водоемов и сточных вод за счет своей способности поглощать органические вещества, тяжелые металлы и токсичные соединения. В условиях Туркменистана, где вопросы водоснабжения и экологии имеют большое значение, использование эйхорнии в очистных сооружениях может существенно улучшить качество водных ресурсов. Рассмотрены основные механизмы очистки, а также примеры успешного применения этого растения в других странах, что может быть полезно для внедрения в Туркменистане.

**Ключевые слова:** эйхорния, очистка сточных вод, экологический мониторинг, водные ресурсы, Туркменистан, водоочистка, экология, устойчивое развитие.

**S.A. Baltaeva**

## **THE IMPORTANCE OF THE PLANT EICHORNIA I N WASTEWATER TREATMENT IN TURKMENISTAN**

The article discusses the role of the plant *Eichhornia crassipes* in the process of wastewater treatment in Turkmenistan. Eichhornia is an aquatic plant that is widely used to purify reservoirs and wastewater due to its ability to absorb organic matter, heavy metals and toxic compounds. In the conditions of Turkmenistan, where water supply and ecology issues are of great importance, the use of Eichhornia in treatment facilities can significantly improve the quality of water resources. The article discusses the main purification mechanisms, as well as examples of successful use of this plant in other countries, which can be useful for implementation in Turkmenistan.

**Keywords:** Eichhornia, wastewater treatment, environmental monitoring, water resources, Turkmenistan, water treatment, ecology, sustainable development.

В условиях Туркменистана, где вопросы управления водными ресурсами и охраны окружающей среды приобретают особое значение, эффективные методы очистки сточных вод становятся приоритетными задачами. Одним из возможных решений является использование природных способов очистки, таких как водные растения.

Эйхорния, известная своей способностью очищать воды, является перспективным растением для этих целей.

Эйхорния (*Eichhornia crassipes*) – это водное растение, которое широко используется для очищения водоемов в различных странах мира. Эйхорния способна абсорбировать загрязняющие вещества, включая органические и неорганические, что делает ее ценным компонентом в очистке сточных вод.

Эйхорния очищает воду через несколько механизмов:

1. Физическое поглощение загрязняющих веществ: корневая система растения активно поглощает органические вещества и микроэлементы из воды.

2. Химическая абсорбция: эйхорния способна абсорбировать тяжелые металлы и токсичные химические соединения.

3. Биологическое очищение: растение способствует биodeградации органических веществ, улучшая общий химический состав воды.

Преимущества использования эйхорнии:

1. Низкая стоимость: эйхорния может быть легко выращена и использована для очистки сточных вод без значительных затрат.

2. Высокая эффективность: растение способно очищать большие объемы воды, улучшая качество воды в водоемах.

3. Экологическая безопасность: эйхорния не требует использования химических веществ, что делает ее экологически чистым способом очистки.

В разных странах мира успешно применяется эйхорния для очистки сточных вод. Например, в Индии и Китае используются специальные водоемы, в которых культивируется эйхорния для очистки воды в городской и сельской местности. Эти проекты показали высокую эффективность растения в улучшении качества воды и снижении загрязнения.

Туркменистан сталкивается с рядом экологических проблем, связанных с недостаточным качеством воды и загрязнением водоемов. Эйхорния может стать эффективным решением для очистки сточных вод в стране. В условиях ограниченных водных ресурсов и необходимости защиты экосистем реки Амударья, Копетдага и других водоемов, использование эйхорнии для очищения сточных вод может существенно улучшить экологическую ситуацию.

Для внедрения эйхорнии в систему водоочистки в Туркменистане необходимо:

1. Исследование климатических условий для определения наиболее эффективных методов выращивания растения в стране.
2. Создание пилотных проектов в небольших водоемах и сточных системах для демонстрации эффективности этого метода.
3. Разработка экологических стандартов для регулирования использования эйхорнии в очистных системах.

Эйхорния представляет собой эффективное и экономически выгодное решение для очистки сточных вод, которое может быть успешно внедрено в Туркменистане. Использование этого растения для очистки водоемов и сточных вод позволит улучшить качество воды, снизить загрязнение и способствовать устойчивому развитию водных экосистем. Для достижения максимальной эффективности необходимо провести дополнительные исследования и разработать конкретные проекты по использованию эйхорнии в стране.

### Список литературы

1. *Eichhornia crassipes* in wastewater treatment: An overview // Journal of Environmental Management. – 2020.
2. Use of aquatic plants in wastewater treatment: A review of the field // Science of the Total Environment. – 2018.
3. Дюсметова М. Водные растения в процессе очистки сточных вод. – Ташкент, 2015.
4. Water Pollution Control by *Eichhornia crassipes*: A Review // Environmental Science and Pollution Research. – 2017.
5. Назаров А. Применение водных растений в очистке сточных вод Туркменистана. – Ашхабад, 2022.

### Об авторе

**Балтаева Саяра Алтыбаевна** – преподаватель кафедры сельскохозяйственной мелиорации, Туркменский сельскохозяйственный институт, e-mail: narmemedowa09@gmail.com

**В.А. Болотова, Ю.Г. Максимова**

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОБОЧНОГО  
ПРОДУКТА ЖИВОТНОВОДСТВА СМЕШАННЫМИ КУЛЬТУРАМИ  
ГИДРОЛИТИЧЕСКИХ БАКТЕРИЙ**

Проводилась трансформация органического вещества куриного помета препаратами отдельных и смешанных культур в небольших объемах. Оценивается возможность роста штаммов бактерий совместно. Рассматривается возможность создания смешанной культуры бактерий.

**Ключевые слова:** побочные продукты сельского хозяйства, трансформация органического вещества, гидролитические бактерии, смешанная культура.

**V.A. Bolotova, Yu.G. Maksimova**

**TRANSFORMATION OF ORGANIC MATTER OF ANIMAL  
BY-PRODUCT BY MIXED CULTURES OF HYDROLYTIC BACTERIA**

The work includes the transformation of organic matter of chicken manure by preparations of individual and mixed cultures in small volumes. The possibility of joint growth of bacterial strains is estimated. The possibility of creating a mixed bacterial culture is considered.

**Keywords:** agricultural by-products, transformation of organic matter, hydrolytic bacteria.

Защита окружающей среды от негативного воздействия отходов, образующихся при хозяйственной деятельности человека, уже долгое время является необходимой. С этой целью разрабатываются и внедряются разнообразные технологии переработки. Не все они достаточно эффективны и удобны для использования. Часто способы переработки включают множество дополнительных условий: специальный температурный режим, обязательное наличие влагопоглощающего материала, строгие соотношения в смеси штаммов и т.д. Необходимо создание микробиологических комплексных препара-

ратов, при использовании которых будет повышена производительность процесса трансформации и обеспечено снижение себестоимости за счет снижения затрат на ферментацию [1].

Целью данной работы является создание искусственной ассоциации галоалкалотолерантных гидролитических бактерий с различными свойствами (протеазная активность, способность к азотфиксации).

Для создания биопрепарата были выбраны пептонгидролизующий штамм бактерий *Bacillus amyloliquefaciens* 2П, обладающий протеазной и амилазной активностями, и азотфиксирующий штамм *Microbacterium hydrocarbonoxydans* Т382ж, выделенные из содового шламохранилища и поддерживаемые в коллекции лаборатории молекулярной микробиологии «ИЭГМ УРО РАН» г. Перми [2]. Данные виды микроорганизмов являются галоалкалофилами, которые приспосабливаются к условиям высокой минерализации и щелочного pH благодаря ферментам, называемыми экстремозимами (протеазы, амилазы) и веществам – осмопротекторам (сахароза, трегалоза, диметилсульфониопропионат, эктоин) [3]. Эти алкалофильные вещества интересны для проведения биотрансформации органического вещества.

Бактерии предварительно выращивали в 300 мл питательной среды БТН.

Трансформация под влиянием штаммов бактерий 2П и Т382ж проводилась в четырех контейнерах, в каждый из которых было внесено 20 г помета. В первый контейнер добавили 20 мл дистиллированной воды, этот контейнер являлся контрольным. Во второй – 20 мл суспензии штамма 2П в изотоническом растворе 0,9%-го NaCl ( $ОП_{540} = 0,941$ ). В третий – 20 мл суспензии азотфиксирующего изолята Т382ж в изотоническом растворе 0,9%-го NaCl ( $ОП_{540} = 0,91$ ). В четвертый – смесь двух штаммов в соотношении 1:1 (по 10 мл). На протяжении трех недель проводили определение аммиачного азота в курином помете колориметрическим методом с использованием реактива Несслера. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Определение содержания аммиачного азота в пробе  
при добавлении пептонгидролизующего штамма  
и азотфиксирующего изолята

| №<br>п/п | Добавляе-<br>мый штамм | Через 7 дней | Через 14<br>дней | Через 21<br>день |
|----------|------------------------|--------------|------------------|------------------|
|          |                        | С, мг/мл     | С, мг/мл         | С, мг/мл         |
| 1        | – (контроль)           | 1,131        | 17,226           | 19,350           |
| 2        | Т382ж                  | 17,136       | 20,858           | 25,260           |
| 3        | 2П                     | 7,902        | 18,580           | 22,397           |
| 4        | Т382ж + 2П             | 23,907       | 25,475           | 28,122           |

Данные результаты показывают, что внесение биомассы штаммов Т382ж и 2П позволяет ускорить процесс созревания компоста и увеличить содержание аммиачного азота в созревшем компосте.

Определение возможности совместного роста культур было проведено в 24-луночном полистероловом планшете. В среду, необходимую для роста одного штамма, добавили культуральную (бесклеточную) жидкость, полученную при культивировании другого штамма. По оптической плотности определяли, будет происходить подавление роста, активация или не будет значимого влияния. Соотношение компонентов указано в табл. 2. В лунки засевали 50 мкл инокулята культуры, на которую изучали влияние.

При оценке влияния культуральной жидкости азотфиксирующего изолята Т382ж на рост *Bacillus amyloliquefaciens* 2П в качестве культуральной жидкости была использована бесклеточная среда БТН после выращивания азотфиксирующего изолята Т382ж. Она была получена при продавливании через фильтр с диаметром пор 0,22 мкм. Питательной средой для *B. Amyloliquefaciens* 2П являлась модифицированная среда Пфеннига с пептоном.

Через пять дней на планшетном ридере TECAN измеряли оптическую плотность при длине волны 540 нм. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние культуральной жидкости (КЖ) азотфиксирующего  
 изолята Т382ж на рост *Bacillus amyloliquefaciens* 2П  
 по оценке оптической плотности (ОП)

| Повтор-<br>ность            | 2 мл<br>ПС +<br>0 мл<br>КЖ | 1,9 мл<br>ПС +<br>0,1 мл<br>КЖ | 1,5 мл<br>ПС +<br>0,5 мл<br>КЖ | 1 мл<br>ПС +<br>1 мл<br>КЖ | 0,5 мл<br>ПС +<br>1,5 мл<br>КЖ |
|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| 1                           | 0,9167                     | 1,0405                         | 1,0645                         | 0,7934                     | 0,9781                         |
| 2                           | 1,1892                     | 1,0668                         | 1,3807                         | 0,7268                     | 0,9488                         |
| 3                           | 1,0216                     | 1,0574                         | 0,9911                         | 0,8595                     | 0,9773                         |
| 4                           | 1,2075                     | 0,9913                         | 0,9949                         | 0,8767                     | 0,9849                         |
| Среднее<br>значе-<br>ние ОП | 1,08375                    | 1,06400                        | 1,10780                        | 0,81410                    | 0,972275                       |

Согласно полученным результатам, культуральная жидкость азотфиксирующего изолята Т382ж будет незначительно уменьшать рост *Bacillus amyloliquefaciens* 2П, что не мешает совместному росту данных штаммов бактерий.

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлено, что на основе штамма бактерий *Bacillus amyloliquefaciens* 2П и азотфиксирующего штамма *Microbacterium hydrocarbonoxydans* Т382ж возможно создать смешанную культуру бактерий, которая позволит ускорить трансформацию органического вещества и увеличить содержание усвояемой формы азота в полученном органическом удобрении.

### Список литературы

1. Пискаева А.И. Анализ способов переработки сельскохозяйственных органических отходов на примере куриного помета // Аэкономика: экономика и сельское хозяйство. – 2016. – № 4 (12).

2. Шилова А.В. Филогенетическое разнообразие и гидролитический потенциал бактериального сообщества содового шламохранилища: дис. ... канд. биол. наук. – Пермь, 2021. – с. 86–104.

3. Gunde-Cimerman N., Plemenitaš A., Oren A. Strategies of adaptation of microorganisms of the three domains of life to high salt concentrations // FEMS Microbiology Reviews. – 2018. – Vol. 42, iss. 3. – P. 353–375. DOI: 10.1093/femsre/fuy009

### **Об авторах**

**Болотова Вероника Андреевна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: eryfelis@gmail.com

**Максимова Юлия Геннадьевна** – д-р биол. наук, зав. лабораторией молекулярной биотехнологии, Институт экологии и генетики микроорганизмов, Пермский федеральный исследовательский центр УРО РАН, e-mail: yul\_max@mail.ru

Д.К. Варданын, А.А. Ботева

**ОЦЕНКА ПРОТИВОМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ ПРОИЗВОДНЫХ  
АЦИЛПИРОВИНОГРАДНЫХ КИСЛОТ И 2,3-ДИАЦИЛ-4-ХИНОЛОНОВ  
НА МИКРООРГАНИЗМАХ РАЗЛИЧНЫХ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ГРУПП**

Проведен ряд экспериментов по определению минимальных ингибирующих концентраций шести енаминов: ВДК-001, CBR-411, CBR-425, CBR-476, CBR-409, CBR-176, на культурах *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* и *Candida maltose*.

**Ключевые слова:** енамины, производные (гет)ароилпировиноградных кислот, антибактериальная активность, противогрибковая активность, резистентность.

D.K. Vardanyan, A.A. Boteva

**EVALUATION OF ANTIMICROBIAL PROPERTIES OF DERIVATIVES  
OF ACYLPYRUVIC ACIDS AND 2,3-DIACYL-4-QUINOLONES  
ON MICROORGANISMS OF VARIOUS TAXONOMIC GROUPS**

A number of experiments were conducted to determine the minimum inhibitory concentration of six enamines: VDK-001, CBR-411, CBR-425, CBR-476, CBR-409, CBR-176, on cultures of *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* and *Candida maltose*.

**Keywords:** enamines, derivatives of (het)aroylpyruvic acids, antibacterial activity, antifungal activity, resistance.

Растущая антибиотикорезистентность представляет собой одну из наиболее серьезных угроз современной медицине. Эффективность существующих антимикробных препаратов снижается с высокой скоростью, что приводит к увеличению заболеваемости и смертности. Для решения этой проблемы необходима разработка новых антимикробных средств, способных преодолевать механизмы резистентности и эффективно бороться с инфекциями [1, 2]. Оценка антибактериальных и противогрибковых свойств новых соединений играет ключевую роль в процессе их разработки. Целью представленной работы является определение МИК шести метиловых эфиров 4-(гет)арил-2-ариламино-4-оксо-2-бутеновых кислот: ВДК-001,

CBR-411, CBR-425, CBR-476, CBR-409, CBR-176, на культурах *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* и *Candida maltose*.

Метилловые эфиры 4-(гет)арил-2-ариламино-4-оксо-2-бутеновых кислот получали конденсацией метилловых эфиров (гет)ароилпировиноградных кислот с замещенными анилинами. Реакцию проводили при кипячении в метаноле, мониторинг осуществляли методом тонкослойной хроматографии.

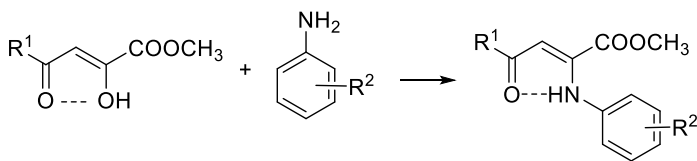


Рис. Общая схема получения метилловых эфиров 4-(гет)арил-2-ариламино-4-оксо-2-бутеновых кислот

Для определения минимальной ингибирующей концентрации был выбран метод серийных разведений в жидкой питательной среде. В связи с тем, что енамины представляют собой кристаллические вещества, для проведения эксперимента их предварительно растворяли в ДМСО до концентрации 3000 мкг/мл. Далее в пробирки добавляли по 5 мл жидкой питательной среды, вносили раствор енамина (3000 мкг/мл), суспензию микроорганизмов и добавочную питательную среду. В результате в пробирках получились концентрации 500, 250, 125, 62,5, 31, 15,6, 7,8, 3,9, 1,95 мкг/мл. В качестве препаратов сравнения использовали «Ципролет» («Биннофарм Групп»), «Флуконазол» («Белмедпрепараты») и «Флуконазол эльфа» («Эльфа Лабораториз»), «Диоксидин» («Валента Фарм»).

Для оценки роста микроорганизмов измеряли оптическую плотность растворов в пробирках сразу после розлива и через 24 ч инкубации в термостате при 37 °С. Поскольку культура *Bacillus subtilis* образует пленку, то инкубацию осуществляли на качалках при температуре 30 °С и 150 об/мин. Измерения проводили на фотоэлектроколориметре Apel AP-101 (фильтр 600 нм, раствор сравнения – вода). Все эксперименты проводили в двух повторностях для обеспечения надежности результатов. За МИК принимали наименьшую концентрацию вещества, которая полностью подавляет видимый рост микроорганизмов.

В результате исследования было установлено, что вещества ВДК-001, CBR-411, CBR-425 и CBR-409 подавляют рост *Escherichia coli* при концентрации 250 мкг/мл (таблица). Енамин CBR-176 продемонстрировал активность уже при концентрации 125 мкг/мл, в то время как вещество CBR-476 не ингибирует рост культуры.

В ходе экспериментов с *Bacillus subtilis* было установлено, что CBR-411, CBR-425, CBR-176 и CBR-409 эффективно подавляют рост бактерий при минимальной концентрации 250 мкг/мл. ВДК-001, в свою очередь, демонстрирует ингибирующую активность при концентрации 500 мкг/мл. При этом CBR-476 не оказывает влияния на рост *B. Subtilis* даже в высоких концентрациях.

Исследование противогрибковых свойств показало, что енамин ВДК-001 подавляет рост *Candida maltosa* при 62,5 мкг/мл. МИК для CBR-411 составляет 125 мкг/мл. Вещества CBR-176, CBR-409 и CBR-425 проявили активность при 500 мкг/мл, тогда как для CBR-476 ингибирование роста *C. Maltosa* не наблюдалось.

#### Антимикробная активность синтезированных соединений и препаратов сравнения

| №<br>п/п | Шифр                | R <sup>1</sup>                       | R <sup>2</sup> | МИК, мкг/мл                       |                              |                            |
|----------|---------------------|--------------------------------------|----------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
|          |                     |                                      |                | <i>Esche-<br/>richia<br/>coli</i> | <i>Bacillus<br/>subtilis</i> | <i>Candida<br/>maltose</i> |
| 1        | CBR-409             | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>        | 4-Me           | 250                               | 250                          | 500                        |
| 2        | CBR-411             | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>        | 3-Br           | 250                               | 250                          | 125                        |
| 3        | ВДК-001             | C <sub>6</sub> H <sub>5</sub>        | 4-<br>COOEt    | 250                               | 500                          | 62,5                       |
| 4        | CBR-476             | 4-<br>FC <sub>6</sub> H <sub>4</sub> | 4-Br           | Не акти-<br>вен                   | Не акти-<br>вен              | Не акти-<br>вен            |
| 5        | CBR-176             | Tyen                                 | 4-Br           | 125                               | 250                          | 500                        |
| 6        | CBR-425             | Fur                                  | 4-F            | 250                               | 250                          | 500                        |
| 7        | Диоксидин           |                                      |                | 62,5                              | —                            | —                          |
| 8        | Ципро-<br>флоксацин |                                      |                | 1,95                              | 0,03-0,06<br>[3]             | —                          |
| 9        | Флукона-<br>зол     |                                      |                | —                                 | —                            | >500                       |

Таким образом, антибактериальная активность веществ CBR-409, CBR-411, ВДК-001, CBR-176, CBR-425 в отношении *E. Coli* и *B. Subtilis* не превосходит действие препаратов сравнения. Вещества CBR-409, CBR-411, ВДК-001, CBR-176, CBR-425 превосходят по антигрибковому действию препараты сравнения «Флуконазол» и «Флуконазол эльфа» в отношении *C. Maltose*.

### Список литературы

1. Орлова Н.В. Антибиотикорезистентность и современная стратегия антибактериальной терапии // Медицинский совет. – 2022. – Т. 16, № 8. – С. 89–97.
2. Косенко И.М. Резистентность бактерий к антибиотикам – старая проблема. Есть ли решения? // Лечение и профилактика. – 2019. – Т. 9, № 4. – С. 56–62.
3. Citron D.M., Appleman M.D. In Vitro Activities of Daptomycin, Ciprofloxacin, and Other Antimicrobial Agents against the Cells and Spores of Clinical Isolates of *Bacillus* Species // Journal of Clin. Microbiol. – 2006. – P. 3814–3818.

### Об авторах

**Варданян Диана Камоевна** – магистрант кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: vardanandiana09@gmail.com

**Ботева Анастасия Андреевна** – канд. фарм. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: aboteva@pstu.ru

**А.А. Гребенщикова, Т.С. Соколова**

## **ИНГИБИРОВАНИЕ КОРРОЗИИ СТАЛИ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЖЕЛЕЗОБАКТЕРИЙ**

Осуществлено выделение железобактерий с использованием речной воды. Дана оценка железоокисляющей способности накопительных культур в питательной среде. Биологическое окисление железа (II) выделенными культурами достигает 60–77 %. В присутствии железобактерий наблюдается увеличение скорости коррозии стали. Определены также скорости биологической коррозии стали в растворах, содержащих ингибирующие и биоцидные средства. При совместном присутствии в коррозионной среде нитрита натрия и буры степень защиты составила 87–95 %.

**Ключевые слова:** микробиологическая коррозия стали, железобактерии, ингибиторы.

**A.A. Grebenshchikova, T.S. Sokolova**

## **INHIBITION OF STEEL CORROSION UNDER THE INFLUENCE OF IRON BACTERIA**

The isolation of iron bacteria using river water was carried out. Iron-oxidizing ability of enrichment cultures in a growth medium was evaluated. The biological oxidation of iron (II) by isolated cultures reaches 60–77 %.

In the presence of iron bacteria, an increase of steel corrosion rate was stated. There were also found biological corrosion rates of steel in solutions containing inhibitory and biocidal agents. With the co-presence of sodium nitrite and borax in a corrosive medium, the protection degree reached 87–95 %.

**Keywords:** microbiological corrosion of steel, iron bacteria, inhibitors.

Электрохимическая коррозия стали сопровождается образованием в растворах ионов железа (II), что обеспечивает условия физиологической активности железобактерий. Под воздействием железобактерий, как правило, наблюдается увеличение скорости коррозии и формируются значительные по объему отложения продуктов

коррозионного процесса на поверхности металла. Негативные последствия, обусловленные процессом микробиологической коррозии, требуют проведения защитных мероприятий при эксплуатации стальных аппаратов и оборудования [1].

Целью исследования являлось выделение железобактерий из речной воды и определение скорости микробиологической коррозии стали в присутствии ингибирующих и биоцидных средств.

Железобактерии были выделены из воды р. Данилиха и р. Кама в зимний и осенний периоды года. Для выделения накопительных культур использовали питательную среду Летена. Все выделенные культуры являются грамотрицательными и имеют схожие внешние морфологические признаки. Под микроскопом клетки представлены прямыми палочками в цепочках, продукты окисления железа прикреплены снаружи к клеткам. Клетки жгутиков не имеют. Исходя из имеющихся данных, можно предположить, что все три выделенные культуры относятся к виду *Leptothrix ochraceae*.

Изучение железоокисляющей способности бактерий проводили по анализу количества окисленного железа (II) в питательной среде. Содержание двухвалентного железа определяли фотометрическим методом с 1,10-фенантролином. Для определения общего содержания железа (III) предварительно восстанавливали хлоридом гидроксилamina [2].

В условиях эксперимента химическое окисление железа (II) осуществляется при взаимодействии с кислородом воздуха, а биологическое окисление происходит в результате метаболизма железобактерий. Исследования показали, что в присутствии бактерий преобладает биологическое окисление железа (II), которое достигает 60–77 %. Наиболее высокой железоокисляющей способностью обладает культура № 3 (табл. 1).

Таблица 1

## Окисление железа (II) выделенными культурами

| Наличие культуры    | Источник отбора пробы воды | Концентрация, мг/л |         | Окисление железа (II), % |               |
|---------------------|----------------------------|--------------------|---------|--------------------------|---------------|
|                     |                            | Fe общее           | Fe (II) | общее                    | биологическое |
| Культура № 1        | Ноябрь, р. Данилиха        | 251,2              | 62,5    | 75,1                     | 60,5          |
| Культура № 2        | Февраль, р. Данилиха       | 233,7              | 125,0   | 46,5                     | 31,9          |
| Культура № 3        | Сентябрь, р. Кама          | 225,0              | 17,5    | 92,2                     | 77,6          |
| Отсутствие культуры | —                          | 231,2              | 197,5   | 14,6                     | —             |

Исследовано влияние выделенных культур железобактерий на скорость коррозии стали. В качестве коррозионной среды использовали дистиллированную воду в условиях естественной аэрации. Образцы стали предварительно обрабатывали по рекомендуемой методике [3]. Железобактерии вносили в коррозионную среду в виде суспензии по 10 мл. Продолжительность испытаний составляла 28 сут (табл. 2).

Таблица 2

## Влияние железобактерий на скорость коррозии стали

| Номер образца | Наличие культуры | Изменение массы образца $\Delta m$ , г | Скорость коррозии $K_m^-$ , г/м <sup>2</sup> ч |
|---------------|------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1             | Без культуры     | 0,162                                  | 0,049                                          |
| 2             | Культура № 1     | 0,294                                  | 0,105                                          |
| 3             | Культура № 2     | 0,300                                  | 0,093                                          |

Под влиянием выделенных культур железобактерий скорость коррозии стали увеличивается практически в два раза. Метаболический процесс железобактерий обусловлен аэробным окислением

ионов железа (II)  $4\text{Fe}^{2+} + 10\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 8\text{H}^+$ , которое стимулирует дальнейшее растворение кислорода для осуществления деполяризации в процессе коррозии и метаболизма бактерий.

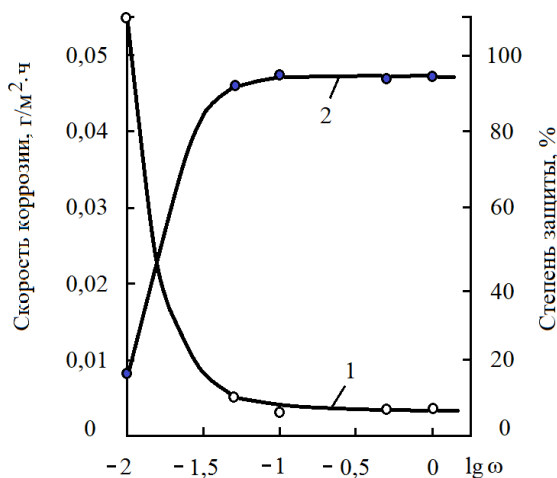


Рис. Влияние концентрации  $\text{NaNO}_2$  на скорость биологической коррозии (1) и степень защиты (2) стали.

Концентрация  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  – 0,1 масс. %;  $\omega$  – массовая доля, %

Ингибирование биологической коррозии стали изучали в растворах нитрита натрия  $\text{NaNO}_2$ , а также при совместном присутствии в растворе нитрита и тетрабората натрия (буры)  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . Действие данных ингибиторов основано на изменении потенциалов анодных участков в результате образования оксидных пленок на поверхности стали. Кроме того, бора обладает биоцидным действием по отношению к бактериям. Железобактерии дозировали в виде суспензии одинакового объема в каждой пробе.

Ингибирующее действие начинает проявляться при концентрации  $\text{NaNO}_2$  более 0,05 масс. % (рисунок). Одновременное присутствие буры с концентрацией 0,1 масс. % не приводит к заметным изменениям скорости коррозии, что свидетельствует о предпочти-

тельном ингибировании под воздействием  $\text{NaNO}_2$ . При концентрациях  $\text{NaNO}_2$  в интервале 0,05–1 масс. % степень защиты составила 87–95 %.

### Список литературы

1. Биокоррозия, биообрастание и современные методы борьбы с ними / Т.А. Кочина, Ю.А. Кондратенко, О.А. Шилова, Д.Ю. Власов // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2022. – Т. 58, № 1. – С. 86–112.
2. Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина З.Н. Методы исследования качества воды водоемов. – М.: Медицина, 1990. – С. 173–174.
3. Соколова Т.С., Воложенинова Е.А. Коррозия стали под воздействием железобактерий и методы защиты от нее. // Химическая технология и биотехнология. Вестник ПНИПУ. – 2012. – № 14. – С. 185–192.

### Об авторах

**Гребенщикова Анна Алексеевна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: grebenshchikova28@gmail.com

**Соколова Татьяна Степановна** – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: soktast@hotmail.com

**М.В. Грязнова, Я.А. Климова, Л.Д. Аснин**

**УСТОЙЧИВОСТЬ ДАБСИЛИРОВАННЫХ АМИНОКИСЛОТ  
И ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ДЕРИВАТИЗАЦИИ  
НА ФОРМУ ХРОМАТОГРАФИЧЕСКОГО ПИКА**

Исследована устойчивость дабсилированных серина и триптофана в течение суток при различных условиях хранения проб. На примере серина рассмотрено влияние соотношения аминокислоты и дабсилхлорида (4-(диметиламино)азобензол-4'-сульфонилхлорида) в реакции дериватизации на форму хроматографического пика аминокислоты.

**Ключевые слова:** хроматография, аминокислоты, дериватизация.

**M.V. Gryaznova, Ya.A. Klimova, L.D. Asnin**

**STABILITY OF DADSYLATED AMINO ACIDS AND THE EFFECT  
OF DERIVATIZATION CONDITIONS ON THE SHAPE  
OF THE CHROMATOGRAPHIC PEAK**

The stability of dabsylated serine and tryptophan during the day under various storage conditions of samples was studied. Using the example of serine, the effect of the ratio of amino acid and dabsyl chloride (4-dimethylaminoazobenzene-4'-sulfonyl chloride) in the derivatization reaction on the shape of the chromatographic peak was considered.

**Keywords:** chromatography, amino acids, derivatization.

Количественный анализ аминокислот (АК) необходим в анализе пищевых продуктов, клинической диагностике, биомедицинских исследованиях и в биоинженерии [1]. Определение содержания АК возможно с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии с предколоночной дериватизацией [2]. Одним из таких дериватирующих реагентов является дабсилхлорид (DABS-Cl) [3]. В представленной работе исследована устойчивость дабсилированных аминокислот с целью определения возможности длительного хранения дериватизированных

проб, а также определено влияние условий дериватизации на форму хроматографического пика.

Измерения проводились на хроматографе Shimadzu LC-20 ADXR с диодно-матричным детектором ( $\lambda = 435$  нм). В исследованиях использовалась колонка AK58 (Galochrom, Чехия). Анализ выполняли при температуре 25 °С, расход подвижной фазы (ПФ) составлял 1 мл/мин, объем пробы – 20 мкл. В качестве ПФ использовали метанол, модифицированный муравьиной кислотой (0,05 М) и триэтиламино (0,025 М). Для реакции дериватизации использовали бинарные растворы серина + триптофана с концентрациями 0,08, 0,02 и 0,005 мг/мл каждой АК в 0,1 М натрий-карбонатном буфере с  $\text{pH} = 9$  и раствор дабсилхлорида (5 мг/мл) в ацетонитриле.

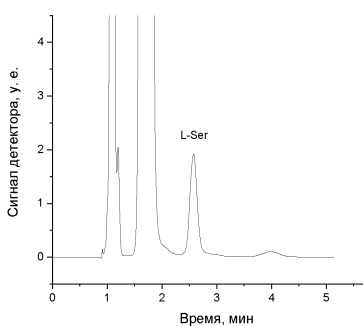
Реакцию дериватизации (в трех повторностях) осуществляли смешением 300 мкл раствора смеси АК и 900 мкл раствора DABS-Cl в микроцентрифужной пробирке с последующим термостатированием при 70 °С в течении 10 мин. По окончании термостатирования в пробирку добавляли 20 мкл раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (18 мг/мл) для нейтрализации непрореагировавшего реагента. Реакционную смесь фильтровали через шприцевой нейлоновый фильтр (0,45 мкм) и переносили в две 2 мл виалки, одну из которых хранили при комнатной температуре, а другую – в холодильнике при +4 °С. Каждую пробу анализировали на хроматографе три раза. Как видно из данных, представленных в таблице, площади пиков серина и триптофана менялись не значительно в течение всего времени эксперимента. Таким образом, можно сделать вывод, что дабсилированные аминокислоты стабильны в течение суток при хранении как при +4 °С, так и при комнатной температуре.

Изменение относительной площади пиков дабсилированных  
аминокислот в процессе хранения

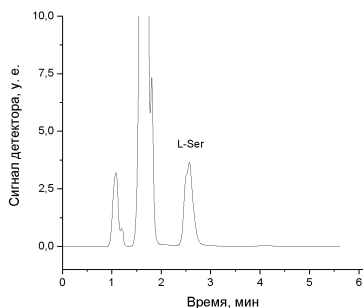
| Концен-<br>трация<br>АК, мг/мл | Комнатная температура |                             |                                 | 4 °C         |                             |                                 |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------|-----------------------------|---------------------------------|
|                                | Время*,<br>ч          | $S/S_0^{**}$ , %<br>(серин) | $S/S_0^{**}$ , %<br>(триптофан) | Время*,<br>ч | $S/S_0^{**}$ , %<br>(серин) | $S/S_0^{**}$ , %<br>(триптофан) |
| 0,08                           | 0                     | 100,0                       | 100,0                           | 0            | 100,0                       | 100,0                           |
| 0,08                           | 5                     | 99,4                        | 99,8                            | 7,5          | 99,6                        | 100,3                           |
| 0,08                           | 24                    | 99,6                        | 100,2                           | 26,5         | 100,1                       | 99,4                            |
| 0,02                           | 0                     | 100,0                       | 100,0                           | 0            | 100,0                       | 100,0                           |
| 0,02                           | 5                     | 99,3                        | 99,7                            | 7,5          | 100,0                       | 100,5                           |
| 0,02                           | 24                    | 99,1                        | 99,6                            | 26,5         | 100,6                       | 94,7                            |
| 0,005                          | 0                     | 100,0                       | 100,0                           | 0            | 100,0                       | 100,0                           |
| 0,005                          | 5                     | 99,9                        | 100,5                           | 7,5          | 100,3                       | 101,3                           |
| 0,005                          | 24                    | 100,1                       | 101,0                           | 26,5         | 101,2                       | 94,2                            |

*Примечания:* \* время хранения; \*\*  $S$  – площадь пика для данного времени хранения;  $S_0$  – площадь пика в начале эксперимента;  $t = 0$  ч.

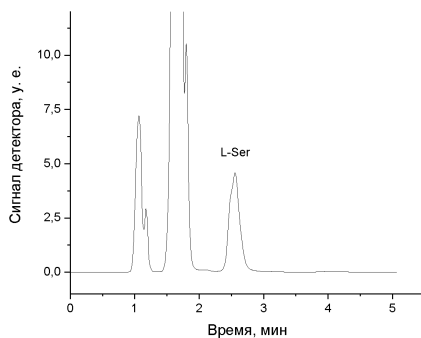
Для изучения влияния условий дериватизации на форму пика соотношение объема раствора АК (серина, 0,04 мг/мл) и DABS-Cl меняли от 1:1 до 1:4 при сохранении объема смеси 500 мкл. Как видно на рисунке, по результатам эксперимента при соотношении объемов растворов АК – DABS-Cl 1:4 искажение пика не наблюдается. В случаях соотношений 1:2 и 1:1 у хроматографического пика появляется плечо, что, по-видимому, связано с уменьшением растворимости дабсилированных АК при уменьшении доли органического растворителя в смеси.



*a*



*б*



*в*

Рис. Хроматограммы дабсилированного серина  
при соотношении объемов растворов  
АК – DABS-Cl 1:4 (*a*), 1:2 (*б*) и 1:1 (*в*)

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-13-00038.*

### Список литературы

1. Advances in amino acid analysis / H. Kaspar, K. Dettmer, W. Gronwald, P.J. Oefner // Analytical and bioanalytical chemistry. – 2009. – Vol. 393, no. 2. – P. 445–452.

2. David V., Moldoveanu S.C., Galaon T. Derivatization procedures and their analytical performances for HPLC determination in bioanalysis // Biomed. Chromatogr. – 2021. – Vol. 35, no. 1. – P. e5008.

3. Lin J.K., Chang J.Y. Chromophoric labeling of amino acids with 4-dimethylaminoazobenzene-4'-sulfonyl chloride // Analytical Chemistry. – 1975. – Vol. 47, no. 9. – P. 1634–1638.

### **Об авторах**

**Грязнова Мария Васильевна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: mariagryaznova11@mail.ru

**Климова Яна Анатольевна** – ассистент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: yana-klimova-1995@mail.ru

**Аснин Леонид Давыдович** – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: asninld@mail.ru

**А.И. Гуляев, Е.А. Фарберова, Е.А. Тиньяева**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПО РАЗРАБОТКЕ БАКТЕРИЦИДНОГО  
КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ  
В ВОЗДУШНЫХ ФИЛЬТРАХ**

Работа посвящена изучению бактерицидных свойств фильтрующе-сорбционного материала, представляющего собой активную угольную ткань, модифицированную частицами металлической меди (АУТ-Сu). Частицы металлической меди на поверхность ткани наносили методом электролиза из растворов электролитов разного состава. Бактерицидные свойства получаемых образцов АУТ-Сu определяли с помощью диско-диффузионного метода. Образцы с высокой бактерицидной активностью были испытаны в динамическом режиме в потоке воздуха, содержащего аэрозоль с клетками микроорганизмов. Для исследования культура микроорганизмов была выделена из воздушной среды микробиологической лаборатории. Показана достаточно высокая эффективность образцов АУТ-Сu по обеззараживанию воздуха в потоке.

**Ключевые слова:** фильтры, бактерицидные свойства, активная углеродная ткань, микроорганизмы, электролиз, очистка воздуха.

**A.I. Gulyaev, E.A. Farberova, E.A. Tingaeva**

**RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF A BACTERICIDAL  
COMPOSITE MATERIAL FOR USE IN AIR FILTERS**

The work is devoted to the study of the bactericidal properties of a filtering and sorption material, which is an active carbon fabric modified with particles of metallic copper (ACF-Cu). Metallic copper particles were applied to the surface of the fabric by electrolysis from electrolyte solutions of different compositions. The bactericidal properties of the obtained ACF-Cu samples were determined using the disco diffusion method. Samples with high bactericidal activity were tested dynamically in an air stream containing an aerosol with microbial cells. For the study, the culture of microorganisms was isolated from the air environment of a microbiological laboratory. A sufficiently high efficiency of ACF-Cu samples for disinfection of air in the stream has been shown.

**Keywords:** filters, bactericidal properties, active carbon tissue, microorganisms, electrolysis, air purification.

На многих биотехнологических производствах возникает проблема бактериальной обсемененности воздушной среды. Повышенная концентрация мелкодисперсных частиц в воздухе, которая может возникать в различных технологических процессах, создает условия для распространения микроорганизмов в атмосфере рабочей зоны. Способность микроорганизмов закрепляться на частицах способствует их перемещению в воздушных потоках [1]. В результате безвредные, условно-патогенные или патогенные биологические агенты в большой концентрации адсорбируются на различных поверхностях в рабочем помещении и могут попадать в органы дыхания персонала. Известные и широко используемые средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) не обеспечивают защиты от микроорганизмов. Решением данной проблемы может стать создание фильтрующе-сорбирующего материала с бактерицидными или бактериостатическими свойствами [2].

Данная работа посвящена исследованию по разработке материала для использования в респираторах или фильтрах-поглотителях. В качестве основы бактерицидного фильтра использовали образцы активной угольной ткани саржевого плетения (АУТ). АУТ обладает развитой пористой структурой, низким аэродинамическим сопротивлением потоку воздуха, термической и химической устойчивостью к воздействию агрессивных сред [3]. Небольшие значения толщины АУТ (3–5 мм) и развеса (300–350 г/м<sup>2</sup>) позволят создать легкие, компактные изделия. Развитая пористость АУТ делает ее универсальной матрицей для размещения на поверхности различных компонентов неорганической природы [4].

В качестве активного бактерицидного компонента выбрана металлическая медь [5]. Нанесение меди на поверхность АУТ осуществляли методом электролиза из растворов электролита разного состава. В качестве анода использовали медные пластины, роль катода выполнял образец АУТ, закрепленный в металлическую рамку. Лучшие результаты по формированию слоя меди на поверхности и бактерицидным свойствам были получены при использовании глицератного электролита. В ходе исследования изучали влияние сле-

дующих факторов: предварительная обработка АУТ в растворе электролита, время обработки и продолжительность процесса электролиза. Бактерицидные свойства композитного материала исследовались в статическом и динамическом режимах.

Статический эксперимент осуществлялся диско-диффузионным методом. На засеянную микроорганизмами плотную питательную среду помещали образцы материала размером 1 см<sup>2</sup> и фиксировали зоны лизиса. Установили, что предварительная выдержка АУТ в электролите повышает эффективность электролиза и увеличивает бактерицидные свойства ткани. Оптимальное время выдержки составляет 20 мин. Образцы, полученные электролизом АУТ с использованием глицератного раствора соли меди, обладают высокой бактерицидной активностью. Результаты статического эксперимента представлены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость бактерицидных свойств АУТ-Cu  
от времени выдержки в электролите

| №<br>п/п | Состав<br>электролита,<br>г/дм <sup>3</sup>                                                                                                             | I,<br>А | U,<br>В | t<br>электро-<br>лиза, с | t предвари-<br>тельной<br>выдержки<br>в электро-<br>лите, мин | Диаметр<br>зоны<br>лизиса,<br>мм |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------|--------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1        | Глицератный<br>CuSO <sub>4</sub> ·5 H <sub>2</sub> O –<br>17; КОН – 200;<br>глицерин –<br>50 см <sup>3</sup> ;<br>Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> – 100 | 6       | 3,9     | 1200                     | 0                                                             | 16,8                             |
| 2        |                                                                                                                                                         |         | 4,0     |                          | 10                                                            | 19,1                             |
| 3        |                                                                                                                                                         |         | 3,9     |                          | 20                                                            | 22,5                             |
| 4        |                                                                                                                                                         |         | 3,8     |                          | 30                                                            | 21,5                             |

Образцы, полученные в оптимальных условиях, испытали в динамическом режиме для оценки сорбционно-фильтрующих свойств материала в потоке воздуха, зараженного микроорганизмами с концентрацией 1,09·10<sup>2</sup> КОЕ/см<sup>3</sup>. Для проведения эксперимента использовалась динамическая установка, принцип действия которой заключается в

пропускании с заданной скоростью воздуха с высокой концентрацией микроорганизмов через фильтр в течение определенного промежутка времени. За слоем фильтрующего материала воздух пропускали через емкость со стерильной жидкостью, в которой по окончании опыта определяли количество клеток микроорганизмов. Подсчет микроорганизмов в жидкости производится методом определения КОЕ. Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость КОЕ в воздухе за слоем сорбента  
от времени фильтрации

| Фильтрующий слой                            | Количество клеток (КОЕ/см <sup>3</sup> )<br>при продолжительности фильтрации |        |        |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|
|                                             | 30 мин                                                                       | 60 мин | 90 мин |
| Лобовой слой – АУТ,<br>второй слой – АУТ-Си | 19                                                                           | 1      | 0      |
| Лобовой слой – АУТСи,<br>второй слой – АУТ  | 0                                                                            | 0      | 0      |

Двухслойный фильтр работает эффективнее, когда лобовой слой выполнен из АУТ-Си, а второй слой состоит из АУТ. При таком расположении фильтрующих слоев КОЕ в отфильтрованном воздухе стремятся к нулевым значениям. С увеличением времени пропускания зараженного воздуха, концентрация микроорганизмов в отфильтрованном воздухе уменьшается. Динамические испытания подтверждают возможность использования материала в СИЗОД и в качестве воздушного фильтра поглотителя для обеззараживания воздуха. Следующий этап работы будет направлен на установление срока службы фильтра и возможности стерилизации материала.

## Список литературы

1. Капцов В.А., Чиркин А.В. Индивидуальная защита органов дыхания медицинских работников от биоаэрозолей (обзор литературы) // Гигиена и санитария. – 2021. – № 3.
2. Фарберова Е.А., Тиньгаева Е.А., Максимов А.С. Получение сорбционного материала с бактерицидными свойствами для использования в водоподготовке // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2012. – № 14. – С. 193–197.
3. Земскова Л.А. Модифицированные углеродные волокна, сорбенты, электродные материалы, катализаторы // Вестник ДВО РАН. – 2009. – № 2. – С. 39–52.
4. Меньшова И.И., Аверина Ю.М., Заболотная Е. Углеродные волокна в адсорбционных процессах // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2023. – Т. 66, № 3. – С. 52–58.
5. Оценка токсического эффекта металлов на клетки *Pseudomonas putida* k12 в остром и хроническом экспериментах / А.Ю. Александровская, А.В. Сафонов, К.Э. Герман, Н.К. Зайцев // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. – 2017. – № 4 (28).

## Об авторах

**Гуляев Андрей Иванович** – студент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: gulyayev.andrey.school@mail.ru

**Фарберова Елена Абрамовна** – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: elenafarb@gmail.com

**Тиньгаева Елена Александровна** – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: teengaeva@mail.ru

**Ю.Н. Дмитриева, М.Н. Балахнина, Я.А. Климова,  
А.В. Кудинов, В.В. Литвинов**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ АМИНОКИСЛОТ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ МЕТОДОМ ДЕРИВАТИЗАЦИОННОЙ ХРОМАТОГРАФИИ**

Изучено влияние состава подвижной фазы на разделение и коэффициент удерживания серина и аспарагиновой кислоты. Определено содержание серина в тканях головного мозга.

**Ключевые слова:** ВЭЖХ, дериватизация, аминокислоты.

**Yu.N. Dmitrieva, M.N. Balakhnina, Ya.A. Klimova,  
A.V. Kudinov, V.V. Litvinov**

## **DETERMINATION OF AMINO ACIDS IN BIOLOGICAL SAMPLES BY DERIVATIZATION CHROMATOGRAPHY**

The influence of mobile phase composition on the separation and retention coefficient of serine and aspartic acid was studied. The serine concentration in brain tissue was determined.

**Keywords:** HPLC, derivatization, amino acids.

Содержание свободных аминокислот в тканях головного мозга может быть полезным диагностическим признаком нейродегенеративных заболеваний [1]. Для определения аминокислот в биологических пробах может быть использован метод высокоэффективной жидкостной хроматографии. Так как аминокислоты присутствуют в биологических образцах в малых количествах и слабо поглощают свет (кроме ароматических аминокислот), их хроматографическое определение с помощью обычных спектрофотометрических детекторов невозможно. Для решения этой проблемы используют метод предколоночной дериватизации, в котором аминокислоты подвергают реакции с получением производных, содержащих хромофорные группы, легко поддающиеся УФ-детек-

тированию. В представленной работе в качестве такого реагента использовался дансилхлорид [2]. Было изучено влияние состава подвижной фазы на разделение и коэффициент удерживания дансильированных серина и аспарагиновой кислоты и продемонстрирована возможность количественного определения серина в тканях головного мозга.

Работа выполнялась на хроматографе Ultimate 3000 с УФ-детектором (Thermo Fisher, Германия). Разделение осуществляли на хроматографической колонке C18 YMC Triart (150×2,1 мм). Подвижными фазами (ПФ) служили смеси ацетонитрил-вода, содержащие 0,01 моль/л трифторуксусной кислоты. Скорость потока была 0,15 мл/мин. Температура 25 °С. Для дериватизации смешивали 200 мкл стандартного раствора аминокислоты в натрий-ацетатном буфере (pH = 9,5), 200 мкл этого же буфера и 200 мкл раствора дансилхлорида (2 мг/мл) в ацетонитриле. Пробы термостатировали 1 ч при температуре 40 °С, после чего в них добавляли 100 мкл раствора NH<sub>4</sub>Cl для остановки реакции. Пробу вводили в хроматограф в объеме 20 мкл. Для оптимизации методики разделения меняли соотношение воды и ацетонитрила в ПФ и следили за временем выхода ( $t_R$ ) и фактором разделения ( $\alpha$ ) тестовых аминокислот. В таблице приведены результаты этих экспериментов, а также значения фактора удерживания ( $k$ ), рассчитанные на основании времени удерживания

$$k = (t_R - t_0) / t_0,$$

где  $t_0$  – мертвое время, найденное по тиомочевине. Как видно, наилучшее разделение обеспечивает ПФ, содержащая 20 % CH<sub>3</sub>CN, которая использовалась в дальнейшем для анализа биологических образцов.

Подготовка образца для анализа заключалась в следующем. Образец тканей (~1 г) в метаноле гомогенизировали пестиковым гомогенизатором, гомогенат центрифугировали при 15000 g в течение 20 мин. Надосадочную жидкость высушивали при температуре 55 °С под током азота. Остаток после испарения жидкости растворяли в 1 мл натрий-ацетатного буфера (pH = 9,5) и центрифугировали в течение 10 мин. Полученную надосадочную жидкость очищали через патрон диапак C18 («БиоХимМак СТ») и доводили объем пробы до 2 мл

раствором ацетонитрила (10 об. %) в натрий-ацетатном буфере. Пример хроматограммы экстракта показан на рисунке.

Влияние состава ПФ на коэффициенты удерживания и разделения серина и аспарагиновой кислоты

| Подвижная фаза                                         | $t_{R,Ser}$ , мин | $t_{R,Asp}$ , мин | $k_{Ser}$ | $k_{Asp}$ | $\alpha_{Ser-Asp}$ |
|--------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------|-----------|--------------------|
| CH <sub>3</sub> CN:H <sub>2</sub> O (30:70), 0,01М ТФУ | 4,049             | 4,408             | 0,474     | 0,616     | 1,30               |
| CH <sub>3</sub> CN:H <sub>2</sub> O (25:75), 0,01М ТФУ | 4,979             | 5,673             | 0,841     | 1,114     | 1,32               |
| CH <sub>3</sub> CN:H <sub>2</sub> O (20:80), 0,01М ТФУ | 7,240             | 8,835             | 1,731     | 2,360     | 1,36               |

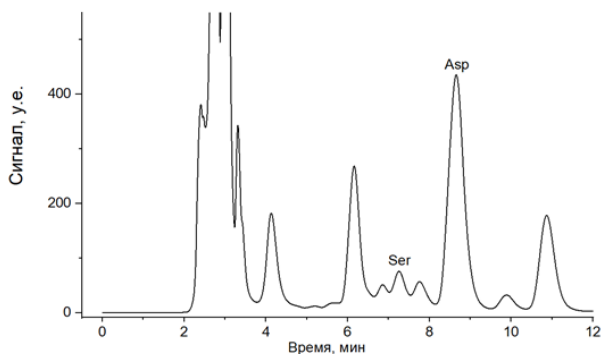


Рис. Хроматограмма биологического образца

Количественное определение серина осуществляли методом внешнего стандарта и методом добавок [3]. В качестве стандарта использовали раствор серина с концентрацией 0,05 мг/мл. В случае метода добавок в смесь для дериватизации вводили 50 и 100 мкл стандартного раствора серина соответственно, уменьшая объем добавленного буфера так, чтобы общий объем смеси составлял 600 мкл. Строя зависимость площади пика от концентрации добавки в пробе, получали значение концентрации аналита по стандартной процедуре [3]. Резуль-

таты, полученные обоими методами (38 и 41 мкг/г соответственно), характеризуются хорошей сходимостью и находятся в пределах референсных значений содержания серина в тканях головного мозга.

### Список литературы

1. Targeted Chiral Metabolomics of D-Amino Acids: Their Emerging Role as Potential Biomarkers in Neurological Diseases with a Focus on Their Liquid Chromatography-Mass Spectrometry Analysis upon Chiral Derivatization / C. Lella, L. Nestor, D. De Bundel, Y.V. Heyden, A. Van Eeckhaut // Int. J. Mol. Sci. – 2024. – Vol. 25, no. 12410.

2. Gros C., Labouesse B. Study of the dansylation reaction of amino acids, peptides and proteins // Eur. J. Biochem. – 1969. – Vol. 7, no. 4. – P. 463–470.

3. Майер В.Р. Практическая высокоэффективная жидкостная хроматография. – Litres, 2019. – С. 276.

### Об авторах

**Дмитриева Юлия Николаевна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ulad925@gmail.com

**Балахнина Мария Николаевна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: masha.balachnina@gmail.com

**Климова Яна Анатольевна** – ассистент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: yana-klimova-1995@mail.ru

**Кудинов Андрей Викторович** – старший преподаватель кафедры химических технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: kudinov@pstu.ru

**Литвинов Валерий Викторович** – канд. мед. наук, старший научный сотрудник кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: drlitvinov@mail.ru

**А.В. Кулаков, П.А. Мокин, М.Д. Хохрякова, Н.А. Зыков**

## **БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ПРЕПАРАТОВ-СИНБИОТИКОВ**

Представлен биотехнологический подход при конструировании препаратов-синбиотиков. Обоснован выбор индуцированной ферментации растительного сырья с использованием пробиотической культуры лактобактерий. Показана целесообразность наличия метабита в составе комплексного препарата.

**Ключевые слова:** растительное сырье, индуцированная ферментация, экзо-метаболиты, синбиотик.

**A.V. Kulakov, P.A. Mokin, M.D. Khokhryakova, N.A. Zikov**

## **BIOTECHNOLOGICAL ASPECTS OF DEVELOPMENT OF SYNBIOTICS**

A biotechnological approach to the design of synbiotic drugs is presented. The choice of induced fermentation of plant materials using a probiotic culture of lactobacilli is substantiated. The expediency of the presence of a metabiotic in the composition of a complex drug is shown.

**Keywords:** plant materials, induced fermentation, exometabolites, synbiotic.

Более полная реализация биологического потенциала растительного сырья, используемого в пищевой промышленности, кормопроизводстве и фармацевтике, связана с технологическими операциями, направленными на сохранение или приобретение необходимых свойств продукта в результате воздействия факторов физического, химического или биологического характера [1]. Создание на основе растительного сырья препаратов-синбиотиков, обладающих сочетанным пре- и пробиотическим действием, предполагает различные технологические подходы при конструировании их составов. Процесс ферментации является биотехнологическим вариантом получения таких продуктов, если совокупность их бактериотропных свойств отвечает необходимым требованиям. При этом пробиотическая составляющая

в препарате может быть представлена жизнеспособными бактериальными клетками и (или) их экзометаболитами, которые существенно влияют на биологическую активность синбиотика [2].

В нашей работе для проведения процесса ферментации ряда растительных субстратов был использован пробиотический штамм *Lactobacillus plantarum* 8P-A3, применяемый в производстве лекарственных средств и БАД, предназначенных для коррекции дисбиотических состояний человека и животных [3]. Сравнительное исследование бактериотропных свойств исходного растительного сырья и получаемого продукта проводилось на модели нативной и индуцированной ферментации. Изучалась роль аборигенной микрофлоры в качестве самостоятельного ферментирующего агента и целесообразность ее присутствия в качестве дополнительного фактора при использовании пробиотической культуры. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности применения апробированного штамма лактобактерий при разработке препаратов-синбиотиков, обладающих высокой биологической активностью. Во всех вариантах опыта индуцированная ферментация превосходила аналогичный нативный процесс по достигаемой бактериотропной активности получаемого продукта. Предварительная стерилизация растительного субстрата не оказывала существенного влияния на конечный результат в сравнении с использованием «смешанной» бактериальной популяции. При этом следует отметить эффект стимуляции (ускорения) роста пробиотического штамма при его контаминации представителями аборигенной микрофлоры, что может иметь практическое значение. Анализ стабильности биологических параметров экспериментальных образцов препаратов на основе ферментированных субстратов свидетельствует о преимуществах метаболитного пробиотического компонента в сравнении с клеточным вариантом.

Таким образом, создание синбиотиков с метаболитной составляющей представляется перспективным направлением при конструировании комплексных препаратов медицинского и ветеринарного назначения.

## Список литературы

1. Погорелова Н.А., Гаврилова Н.Б. Конверсия пшеничных отрубей в целевые продукты биосинтеза // Техника и технология пищевых производств. Food Processing: Techniques and Technology. – 2023. – Т. 53, № 1. – С. 49–59.
2. Ардатская, М.Д. Роль синбиотиков в коррекции нарушений микробиоты кишечника и повышенной проницаемости кишечной стенки // Consilium medicum. – 2024. – № 26 (5). – С. 332–340.
3. Гуляутдинова, А.Ф., Пономарева Д.Н., Тимшина Д.И. *Lactobacillus plantarum* нормальная микрофлора человека // Журнал «Энигма». – 2021. – № 32. – С. 133–137.

## Об авторах

**Кулаков Алексей Викторович** – канд. мед. наук, генеральный директор, ООО «НПК «Миламед», e-mail: dir@milapharma.ru

**Мокин Павел Александрович** – канд. фарм. наук, главный технолог, ООО «НПК «Миламед», e-mail: pa\_mokin@milapharma.ru

**Хохрякова Мария Дмитриевна** – сотрудник, ООО «НПК «Миламед», e-mail: hohryakovamd@gmail.com

**Зыков Николай Андреевич** – магистрант кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

**А.А. Каменских, О.И. Бахирева**

## **ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КУЛЬТУРЫ МИКРООРГАНИЗМОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА**

Отражены результаты работы с музейной культурой микроорганизмов. Построены кривые, описывающие закономерности роста культуры в различных условиях. Проанализирована возможность дальнейшего использования культуры с целью извлечения ионов железа из воды.

**Ключевые слова:** сорбция, культура микроорганизмов, ионы железа.

**A.A. Kamenskikh, O.I. Bakhireva**

## **STUDYING THE POSSIBILITY OF USING MICROORGANISMS CULTURE FOR PURIFYING WATER FROM IRON IONS**

The study reflects the results of work with a museum culture of microorganisms. Curves describing the growth patterns under different conditions were constructed. The possibility of further use of the culture to extract iron ions from water is analyzed.

**Keywords:** biosorbent, microorganism culture, iron ions.

В настоящее время вопрос очистки воды от металлов, отрицательно влияющих на ее качество и органолептические свойства и вызывающих у человека заболевания, по-прежнему является актуальным. Железо, будучи распространенным элементом земной коры, попадает в воды в результате естественного процесса выветривания пород. Активная урбанизация и деятельность предприятий также способствуют накоплению его в экосистемах [2].

На данный момент известен ряд методов, позволяющих эффективно очищать воду различной степени загрязненности до требуемых значений. Так, предельно допустимая концентрация железа составляет 0,3 мг/л для источников хозяйственно-питьевого пользования [1]. Однако эти методы не являются универсальными и имеют свои недостатки и ограничения.

С увеличением интереса к биотехнологии стали набирать популярность биологические методы обезжелезивания воды, основанные на

окислении двухвалентного железа с последующим удалением коллоидов и бактериальных пленок [3]. Также можно наблюдать активное развитие методов биосорбции, имеющих такие преимущества, как дешевизна и экологичность.

В работе использовались музейные микроорганизмы. Культивирование проводилось на среде PYG (Peptone, Yeast, Glucose). Твердая среда имела тот же состав с добавлением бактериологического агара. После посева на твердую питательную среду были описаны морфологические признаки культуры. Колонии небольшого размера диаметром 1–3 мм, полупрозрачные, светло-серые, имели округлую форму с выпуклым профилем.

Для оценки зависимости роста биомассы от наличия ионов  $\text{Fe}^{2+}$  применялось культивирование на твердых средах в присутствии дисков, пропитанных солями железа (II). По результатам эксперимента был сделан вывод о стойкости культуры к концентрациям ионов  $\text{Fe}^{2+}$  от 5 мг/л до 10 г/л. Зоны лизиса вокруг дисков отсутствовали во всем диапазоне концентраций ионов железа(II).

Для оценки влияния наличия в среде ионов  $\text{Fe}^{2+}$  на увеличение количества биомассы были сняты кривые роста. Использовался сульфат железа(II). Культивирование проводилось на протяжении 7 сут. Концентрация ионов  $\text{Fe}^{2+}$  составляла 100 мг/л. В результате были получены следующие кривые роста культуры, представленные на рис. 1.

Для нахождения удельной скорости роста были построены графики в координатах  $\ln D = f(t)$ , представленные на рис. 2.

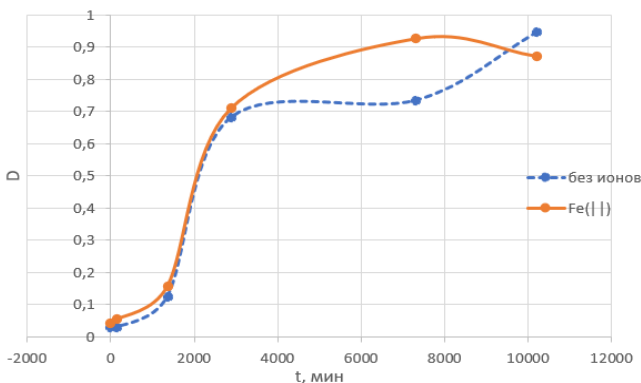


Рис. 1. Кинетические кривые роста культуры микроорганизмов

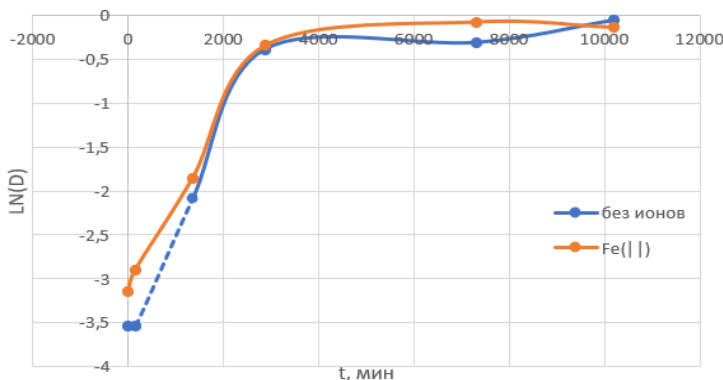


Рис. 2. Кривые роста культуры  
в координатах  $\ln D = f(t)$

Максимальная удельная скорость роста составила с ионами  $\text{Fe}^{2+}$   $0,057 \text{ ч}^{-1}$ , без ионов –  $0,067 \text{ ч}^{-1}$ . Время генерации при этом составило соответственно 5,28 и 4,49 ч. Длина лаг-фазы не изменилась. Торможение роста предположительно обусловлено сорбцией клетками ионов  $\text{Fe}^{2+}$ . Полученные результаты дают возможность дальнейшего исследования данной культуры с целью получения биосорбционных материалов, используемых в технологиях очистки воды от ионов металлов.

### Список литературы

1. ГН 2.1.5.1315-03. «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». – М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 154 с.
2. Иванова Н.В. Методы обезжелезивания воды // Эффективные технологии в области водоподготовки и очистки в системах водоснабжения и водоотведения. – 2023. – С. 37–39.
3. Батталов Д.И., Низамова А.Х., Селюгин А.С. Обезжелезивание подземных вод для централизованных систем водоснабжения:

в сб. науч. ст. по итогам работы Междунар. науч. форума. – 2021. – С. 215.

### **Об авторах**

**Каменских Александра Алексеевна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [aleksandrakamenskih9059@gmail.com](mailto:aleksandrakamenskih9059@gmail.com)

**Бахирева Ольга Ивановна** – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [bahirevy@mail.ru](mailto:bahirevy@mail.ru)

**А.С. Кожевникова, А.С. Зорина**

**ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛЕРОДНОГО СУБСТРАТА  
С ЦЕЛЮ ПОЛУЧЕНИЯ МИКРОБНОГО БЕЛКА  
ИЗ ДРОЖЖЕЙ ШТАММОВ *SCHIZOSACCHAROMYCES POMBE* Y-3303  
И *CANDIDA MALTOSA* Y-194**

Реализована поэтапная оптимизация компонентного состава питательной среды для штаммов *Schizosaccharomyces pombe* Y-3303 и *Candida maltosa* Y-194. Подобран источник углерода и других питательных веществ – меласса, определена ее оптимальная концентрация. Представлены результаты построения кривых роста на выбранных субстратах. Проведен анализ содержания микробного белка при выращивании на выбранных субстратах. Содержание белка в культурах клеток *Sz. Pombe* Y-3303 и *C. Maltosa* Y-194 составило 0,065 и 0,068 г соответственно.

**Ключевые слова:** микробный белок, оптимизация субстрата, *Schizosaccharomyces pombe*, *Candida maltosa*.

**A.S. Kozhevnikova, A.S. Zorina**

**OPTIMIZATION OF THE CARBON SUBSTRATE IN ORDER  
TO OBTAIN MICROBIAL PROTEIN FROM YEAST STRAINS  
*SCHIZOSACCHAROMYCES POMBE* Y-3303  
AND *CANDIDA MALTOSA* Y-194**

A step-by-step optimization of the nutrient composition of the medium was carried out for two yeast strains: *Schizosaccharomyces pombe* Y-3303 and *Candida maltosa* Y-194. Molasses was identified as the optimal substrate, and its concentration was optimized. Growth curves for these strains on different substrates were generated, and the protein content of their cell cultures was analyzed. The protein content of *Sz. Pombe* Y-3303 was found to be 0.065 g/L, and that of *C. Maltosa* Y-194 was 0.068 g/L.

**Keywords:** microbialprotein, substrate optimization, *Schizosaccharomyces pombe*, *Candida maltosa*.

Белок одноклеточных – белок, полученный из одноклеточных организмов. Производство микробной биомассы в качестве кормо-

вого белка имеет много преимуществ по сравнению с традиционными методами производства белков для пищи или корма. Недостаток кормового белка в масштабах планеты по данным ФАО ООН оценивается примерно в 30 млн т в год. Коренным образом изменить эту ситуацию возможно лишь биотехнологическим путем. Проблема заключается еще и в том, что в настоящее время традиционное сельскохозяйственное производство высококачественного белка в виде продукции животноводства и птицеводства практически достигло предела своих возможностей. В этих условиях одним из перспективных путей увеличения производства белка и других биологически ценных веществ может стать крупнотоннажное биотехнологическое производство<sup>4</sup>.

Одним из главных аспектов производства является оптимальный расход сырья. Эффективным способом повышения продуктивности биотехнологических производств и увеличения синтеза целевых продуктов является оптимизация компонентного состава среды культивирования.

Целью работы является оптимизация углеродного субстрата для получения максимально возможного количества белка.

Дрожжевые штаммы культивировали на синтетической среде следующего состава (г/л): пептон 20,0, дрожжевой экстракт 5,0. Источник углерода (меласса свекловичная, сахароза, глюкоза, мальтоза, лактоза) вносили в синтетическую среду в количестве 4 г/л. Для выбора оптимальной концентрации источника углерода культуры клеток выращивали на синтетической питательной среде с добавлением источника углерода в количестве 1, 2, 4, 6, 8, 10 г/л. В качестве дополнительных факторов варьирования выступали микроэлементы,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ .  $\text{NH}_4\text{Cl}$  добавляли в качестве дополнительного источника неорганического азота в концентрации 0,01 М.  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  добавляли в качестве дополнительного источника неорганического фосфора в концентрации 0,01 М.

---

<sup>4</sup> Прикладная экобиотехнология / А.Е. Кузнецов, Н.Б. Градова, С.В. Лушников, М. Энгельхарт, Т. Вайссер, М.В. Чеботаева. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 629 с.

Состав микроэлементов (г/л):  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,5;  $\text{CaCl}_2$  – 0,005;  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 0,01;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,005.

Клетки дрожжей выращивали в 20 мл среды в конических колбах объемом 50 мл на роторной качалке при постоянном перемешивании со скоростью вращения 120 об/мин и температуре 28–30 °С. Рост дрожжей оценивали по изменению оптической плотности суспензии клеток при  $\lambda = 540$  нм на фотоэлектроколориметре КФК-3 с использованием 0,5 см кюветы. Абсолютно сухую биомассу определяли путем взвешивания на аналитических весах предварительно отцентрифугированных и высушенных до постоянной массы клеток.

Определение содержания белка производилось по методу Бредфорда. Суточную культуру помещали в ультразвуковую ванну на 16 мин при частоте 40 кГц. После культуру центрифугировали и ресуспендировали отделившиеся клетки физраствором до оптической плотности 0,5. К 0,04 мл пробы добавили 2 мл реактива Бредфорда (Coomassie Brilliant Blue G-250) и на спектрофотометре определили оптическую плотность при длине волны 595 нм. Концентрацию белка в пробе рассчитывали с помощью калибровочного графика.

Анализ роста культур на различных сахарах осуществляли методом измерения сухой массы клеток и оптической плотности культуры. Анализ данных показал, что наибольшее количество биомассы как *Sz. Pombe* Y-3303, так и *C. Maltosa* Y-194 накапливается на мелассе (0,0048 и 0,0104 г соответственно). Для дальнейшего продолжения эксперимента выбрали сахарозу и мелассу для культивирования *C. Maltosa* Y-194; глюкозу и мелассу для культивирования *Sz. Pombe* Y-3303.

Анализ данных определения оптимальной концентрации источника углерода показал, что для культуры *C. Maltosa* Y-194 не было значительной разницы в приросте биомассы на сахарозе и мелассе, однако оптимальная концентрация углеродного субстрата отличалась (таблица). При культивировании *Sz. Pombe* Y-3303 биомасса хорошо накапливалась как на глюкозе, так и на мелассе, но при разной концентрации субстрата.

Определение ростовых характеристик при культивировании  
с разной концентрацией субстрата

| Концен-<br>трация<br>углерод-<br>ного<br>субстрата,<br>г/л | Оптическая плотность, усл. ед. (сухая масса, мг) |                    |                         |                    |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
|                                                            | <i>Sz. Pombe</i> Y-3303                          |                    | <i>C. Maltosa</i> Y-194 |                    |
|                                                            | Глюкоза                                          | Меласса            | Сахароза                | Меласса            |
| 1                                                          | 0,382(0,53)                                      | 0,165(0,42)        | 1,575(0,56)             | 1,365(0,51)        |
| 2                                                          | 1,020(0,48)                                      | 0,274(0,51)        | <b>1,602(0,56)</b>      | 1,369(0,56)        |
| 4                                                          | 0,454(0,51)                                      | 1,048(0,57)        | 1,339(0,59)             | 1,325(0,53)        |
| 6                                                          | 0,841(0,58)                                      | 0,974(0,56)        | 1,541(0,50)             | 1,637(0,62)        |
| 8                                                          | 1,059(0,53)                                      | 0,568(0,50)        | 1,561(0,47)             | <b>1,692(0,66)</b> |
| 10                                                         | <b>1,193(0,60)</b>                               | <b>1,924(0,58)</b> | 1,391(0,53)             | 1,636(0,60)        |

Анализ данных эксперимента по внесению дополнительных фактор варьирования показал, что штамм *Sz. Pombe* Y-3303 при культивировании на мелассе не требует внесения дополнительных источников азота, фосфора и микроэлементов, тогда как при культивировании на глюкозе их внесение необходимо. При этом на мелассе к 24 ч культивирования накапливается больше биомассы, чем на глюкозе. Аналогичные данные были получены для штамма *C. Maltosa* Y-194. При этом культура одинаково хорошо растет как на мелассе, так и на сахарозе.

Анализ данных эксперимента по определению содержания белка показал, что в штамме *Sz. Pombe* Y-330 при культивировании на мелассе количество белка составило 0,065 г/л, а в штамме *C. Maltosa* Y-194 количество белка составило 0,068 г/л. При культивировании смешанной культуры на мелассе количество белка составило 0,072 г/л, что делает перспективным использование смешанной культуры для биотехнологического получения белка.

### **Об авторах**

**Кожевникова Александра Сергеевна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: a.kozhevnikova08@gmail.com

**Зорина Анастасия Сергеевна** – канд. биол. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: cjscyf\_92@mail.ru

**И.С. Конин, Н.В. Галайко, В.В. Гришко**

## **СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ РАСТВОРИМОСТИ ТРИТЕРПЕНОВОГО ПРОИЗВОДНОГО ОЛЕАНАНОВОГО ТИПА**

Подтверждена возможность улучшения растворимости в воде гидрофобных тритерпеноидов при образовании комплексов с циклодекстринами. Подтверждено образование четырех комплексов включения. Исследована стехиометрия комплексов. Изучена зависимость растворимости тритерпеноида от концентрации циклодекстрина по методу Хигучи – Коннора.

**Ключевые слова:** циклодекстрины, пентациклические тритерпеноиды, бетулин, комплексы включения, изоксазол.

**I.S. Konin, N.V. Galaiko, V.V. Grishko**

## **A METHOD FOR INCREASING THE SOLUBILITY OF A TRITERPENE DERIVATIVE OF THE OLEANANE TYPE**

The possibility of improving the water solubility of hydrophobic triterpenoids during the formation of complexes with cyclodextrins has been confirmed. The formation of four inclusion complexes is proved. The stoichiometry of the complexes is investigated. The dependence of the solubility of the triterpene derivative on the concentration of cyclodextrin was studied by the Higuchi – Connors method.

**Keywords:** cyclodextrins, pentacyclic triterpenoids, betulin, inclusion complexes, isoxazole.

Онкология – одна из ведущих причин смерти в мире. Значительный прогресс в противоопухолевой терапии, достигнутый в последние десятилетия, обусловлен лучшим пониманием основ развития злокачественных опухолей и методов их лечения. Противоопухолевая терапия направлена на ингибирование безудержного роста и пролиферации опухолевых клеток и индукцию апоптоза, однако большинство химиотерапевтических препаратов не действуют селективно, затрагивая и нормальные клетки в организме.

В последние годы возрастает интерес к веществам природного происхождения, активно использующихся в качестве полифункциональных платформ в синтезе новых биологически активных веществ.

Одним из таких соединений является растительный тритерпеноид – бетулин, обладающий кроме противоопухолевой активности также антиоксидантными, противовирусными, антидиабетическими, гепатопротекторными и кардиопротекторными свойствами [1, 2].

Вместе с тем основным недостатком бетулина и его производных для применения в фармацевтике является их низкая растворимость в воде, уменьшающая их биодоступность. В обширных научных изысканиях по преодолению этой проблемы используются многочисленные методы, среди которых функционализация структуры вещества, образование дисперсных систем, применение полимерных носителей, мицелл, липосом и т.п. [1, 2].

Большой интерес представляют методы, сохраняющие исходную структуру и свойства соединения. Одним из таких методов является солюбилизация циклодекстринами [1, 2, 4], выделяющихся своей среди прочих носителей безопасностью, низкой аллергенностью. Взаимодействие биологически активного соединения и циклодекстрина, помимо улучшения растворимости, благоприятно сказывается на стабильности и вкусовых качествах вещества [2].

Циклодекстрины – олигосахариды, состоящие из звеньев  $\alpha$ -D-глюкозы, замкнутых в кольцо. Природные  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -циклодекстрины (рисунок) состоят из 6, 7 и 8 остатков соответственно. Форма усеченного конуса с внутренней гидрофобной полостью обеспечивает циклодекстринам возможность солюбилизировать нерастворимые в воде вещества, образуя комплексы включения типа «гость – хозяин».

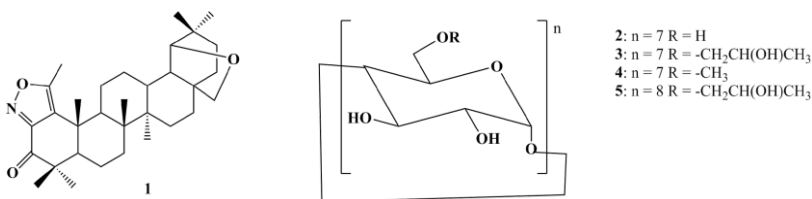


Рис. Структура олеананового метилизоксазола и циклодекстринов

В настоящей работе получены и изучены физико-химические свойства комплексов цитотоксичного олеананового метилизоксазола 1 [3] с  $\beta$ -циклодекстрином 3, 2-гидроксипропил- $\beta$ -циклодекстрином 4, метил- $\beta$ -циклодекстрином 5, 2-гидроксипропил- $\gamma$ -

циклодекстрином **6**. В исследовании использованы коммерчески доступные циклодекстрины, олеанановый метилизоксазол (см. рис.) получен согласно способу [3].

Чистота синтезированного тритерпеноида **1** оценена методом ВЭЖХ на приборе «Милихром-А02». Для получения комплексов включения **1** использовали метод замешивания в полутвердом состоянии в молярном соотношении 1:2 [1]. Образование комплексов подтверждали методами термогравиметрического анализа, ДСК, ЯМР- и ИК-спектроскопии. Кроме того, методами ТГА проанализированы физические смеси веществ.

Проведено исследование комплексообразования по методу Джоба и Бенези-Хильдебранда [1, 2, 4]. В ходе эксперимента выявлено, что по обеим методикам наблюдается уменьшение оптической плотности растворов комплексов по сравнению с растворами чистого вещества, что свидетельствует о повышении растворимости исследуемого тритерпеноида в результате комплексообразования. Однако колоколообразная кривая, соответствующая стехиометрии 1:1, получена лишь при исследовании комплекса **1–3** по методу Джоба. В остальных случаях закономерности не наблюдалось. Использование 0,1 М фосфатного буфера в качестве растворителя предположительно связано с крайне низкой растворимостью тритерпеноидов в воде, тогда как при использовании смеси ацетонитрил : вода отсутствие закономерности в результатах может быть связано с нарушением равновесия процесса комплексообразования из-за перехода вещества из гидрофобной полости циклодекстрина в раствор.

Было также проведено исследование фазовой растворимости по модифицированному методу Хигучи – Коннора [4] в 0,01 М фосфатном буферном растворе. В ходе анализа получена линейная зависимость концентрации **1** от концентрации циклодекстринов **2–5**, что соответствует стехиометрии комплексов 1:1.

Кроме того, подтверждено, что при образовании комплексов включения растворимость в воде тритерпеноида **1** увеличивается.

При исследовании растворимости исходных веществ и полученных комплексов методом двойных разведений согласно методике [5] визуально установлено, что комплексы **1–3** и **1–5** показали наилучшую растворимость в диапазоне концентраций 0,1–2 мг/мл. Комплексы с  $\beta$ -ЦД и Мет- $\beta$ -ЦД растворимы в диапазоне 0,1–1 мг/мл, тогда как тритерпеновое производное **1** лишь при концентрации 0,1–0,2 мг/мл.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания № 124021400012-1*

### Список литературы

1. Betulonic acid-cyclodextrins inclusion complexes / L. Sbârcea, A. Ledeti, L. Udrescu, [et al.] // J. Therm. Anal. Calorim. – 2019. – Vol. 138. – P. 2787–2797.
2. Complexation between oleanolic and maslinic acids with native and modified cyclodextrins / S. López-Miranda, L. Guardiola, P. Hernández-Sánchez, E. Núñez-Delicado // Food Chem. – 2018. – Vol. 240. – P. 139–146.
3. Synthesis of triterpene A-condensed azoles / N.V. Galaiko, A.V. Nazarov, I.A. Tolmacheva [et al.] // Chem. Heterocycl. Compd. – 2014. – Vol. 50. – P. 65–75.
4. NMR (1H, ROESY) spectroscopic and molecular modelling investigations of supramolecular complex of  $\beta$ -cyclodextrin and curcumin / V. Jahed, A. Zarrabi, A. Bordbar, M.S. Hafezi // Food Chem. – 2014. – Vol. 165. – P. 241–246.
5. Preparation of amino acid conjugates of betulonic acid with activity against human melanoma / H.J. Jeong, H.B. Chai, S.Y. Park, D.S. Kim // Bioorganic Med. Chem. Lett. – 1999. – Vol. 9, no. 8 – P. 1201–1204.

### **Об авторах**

**Конин Иван Сергеевич** – студент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ivankonin8@gmail.com

**Галайко Наталья Владимировна** – канд. хим. наук, научный сотрудник лаборатории биологически активных соединений, Институт технической химии УрО РАН, e-mail: natagalaiko@gmail.com

**Гришко Виктория Викторовна** – канд. хим. наук, доцент, зав. лабораторией биологически активных соединений, Институт технической химии УрО РАН, e-mail: grishko.v@itcras.ru

О.А. Кривощёкова, А.В. Портнова

**ПОЛУЧЕНИЕ БИООРГАНИЧЕСКОГО КОБАЛЬТСОДЕРЖАЩЕГО  
УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ  
И *BACILLUS SUBTILIS***

В ходе исследования была выделена культура *Bacillus subtilis* и проведен ряд экспериментов, направленных на определение активности роста бактерии в условиях воздействия на них гуминовых кислот и микроэлемента — кобальта (II). Было экспериментально подтверждено, что в среде с гуминовыми кислотами и ионами кобальта (II) наблюдается интенсивное развитие микроорганизмов. В качестве источника ионов металла была использована соль — хлорид кобальта (II). Полученные результаты легли в основу разработки состава биоорганического удобрения, обогащенного ионами кобальта, на основе гуминовых кислот с добавлением культуры бактерий *Bacillus subtilis*.

**Ключевые слова:** *Bacillus subtilis*, гуминовые кислоты, кобальт, удобрение.

O.A. Krivoshchekova, A.V. Portnova

**OBTAINING BIOORGANIC COBALT-CONTAINING FERTILIZER  
BASED ON HUMIC ACIDS AND *BACILLUS SUBTILIS***

During the study, a culture of *Bacillus subtilis* was isolated and a number of experiments were carried out to evaluate the growth activity of the bacterium under the influence of humic acids and cobalt (II) ions. It was experimentally confirmed that intensive development of microorganisms was observed in the medium with humic acids and trace element — cobalt (II). The salt — cobalt (II) chloride was used as a source of metal ions. The obtained results formed the basis for the development of bioorganic fertiliser composition enriched with cobalt ions, based on humic acids with the addition of *Bacillus subtilis* bacterial culture.

**Keywords:** *Bacillus subtilis*, humic acids, cobalt, fertilizer.

В последние годы все большее внимание уделяется разработке биоорганических удобрений, являющихся экологически безопасными и эффективными. Одним из перспективных направлений является использование гуминовых кислот и микроэлементов, таких

как кобальт, для стимуляции роста полезных микроорганизмов, в том числе *Bacillus subtilis* (сенная палочка). Данный бактериальный штамм имеет широкое применение в сельском хозяйстве благодаря своей способности улучшать плодородие почвы, подавлять патогенные микроорганизмы и стимулировать рост растений.

Гуминовые кислоты – это природные высокомолекулярные полимеры, которые образуются в результате разложения органических веществ, биомассы. Гуминовые кислоты играют важную роль в почвообразовании, улучшая структуру почвы, ее плодородия, водоудерживающую способность и ионообменные свойства. Такие соединения оказывают положительное влияние на рост почвенных бактерий, что связано с повышением эффективности усвоения органических веществ среды [1].

Кобальт является микроэлементом, необходимым для роста многих микроорганизмов. Данный металл повышает урожайность различных сельскохозяйственных культур. Большое значение имеет применение кобальтовых микроудобрений для повышения диетической ценности пищевой продукции растительного происхождения и качества кормов сельскохозяйственных животных [2].

Комбинированное использование гуминовых кислот и ионов кобальта (II) представляет особый интерес, поскольку эти компоненты положительно влияют на динамику роста бактерий *Bacillus subtilis*. Гуминовые кислоты способны связывать ионы металлов в комплексные соединения и доставлять питательные элементы растениям через корни. Это делает их перспективными компонентами для создания комплексных биоорганических удобрений.

Гуминовые кислоты, выступающие основой для создания удобрения, были выделены из торфа методом щелочной экстракции с последующим осаждением избытком кислоты. Полученный осадок гуминовых кислот отфильтровали, промыли дистиллированной водой и высушили, после чего определили практический выход продукта. Параллельно проведено выделение накопительной культуры *Bacillus subtilis* (сенная палочка) из ее естественной среды обитания – сена. Произведена идентификация микроорганизмов на основе морфологических признаков: форма колоний, цвет, текстура,

также изучены особенности роста бактерий на плотных и жидких питательных средах [3]. На плотных средах произошло формирование характерных колоний с волнистым краем, а в жидких средах – помутнение с образованием пленки на поверхности, которое доказывает наличие в них бактерий и их активный рост.

Для изучения динамики роста бактерий в жидкой питательной среде был использован спектрофотометрический метод, основанный на измерении оптической плотности суспензии при длине волны 610 нм и толщине поглощающего слоя 1 см. На основании данных, полученных в ходе эксперимента, построены кинетические кривые роста, отражающие изменение численности клеток во времени в процессе их культивирования. При построении кривых роста культуры *Bacillus subtilis* в питательные среды были добавлены следующие компоненты:

- ионы кобальта (II) в количестве 25 мг/л;
- гуминовые кислоты, в количестве 1 г/л;
- комбинация гуминовых кислот и ионов кобальта (II) в тех же количествах.

Проведя данный эксперимент, можно дать характеристику и оценить влияние каждого компонента на рост и развитие бактерий сенной палочки, что является важным этапом в разработке биоорганического кобальтсодержащего удобрения и в дальнейшем – технологии его получения.

Результаты исследования показали, что удельная скорость роста культуры бактерий *Bacillus subtilis* в питательной среде, содержащей в качестве добавки ионы металла – кобальта (II) в количестве 25 мг/л ( $0,113 \text{ ч}^{-1}$ ), превышает аналогичный показатель в среде, не содержащей выбранного микроэлемента ( $0,078 \text{ ч}^{-1}$ ). Сравнивая данные параметры скоростей роста, можно сделать вывод о стимулирующем влиянии ионов кобальта (II) на рост бактерий сенной палочки. При этом в среде, содержащей гуминовые кислоты, и в среде с комбинацией гуминовых кислот и ионов кобальта (II) наблюдалась одинаковая интенсивность роста бактерий. Это подтверждает перспективность использования выбранных компонентов в составе металло-содержащего биоорганического удобрения.

Таким образом, разработка удобрений на основе гуминовых кислот и ионов кобальта (II) с использованием культуры *Bacillus subtilis* имеет большую практическую значимость и может внести значительный вклад в развитие устойчивого сельского хозяйства.

### Список литературы

1. Влияние гуминовых веществ на покоящиеся клетки *Bacillus subtilis* / Е.В. Емельянова, Е.А. Михина, И.В. Шемонаев, А.А. Макаренко, А.Н. Решетиллов // Агрохимия. – 2016. – № 6. – С.46–51.
2. Комплексоны кобальта на основе кобальта на основе экологически безопасных комплексонов в качестве микроэлементных удобрений / Т.И. Смирнова, О.В. Шилова, В.М. Никольский, И.Г. Тумасьева, Е.С. Биберина, А.А. Варламова // Вестник Тверского государственного университета. Серия «Химия». – 2021. – № 1 (43). – С. 127–133.
3. Ухарцева И.Ю., Гулевич В.М., Тюлькова Е.Г. Микробиология: практикум к лабораторным занятиям для студентов специальности 1-25 01 09 «Товароведение и экспертиза товаров» специализации 1-25 01 09 01 «Товароведение и экспертиза продовольственных товаров». – Гомель, 2008. – 100 с.

### Об авторах

**Кривощёкова Ольга Анатольевна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: olyakupekr@yandex.ru

**Портнова Анна Владимировна** – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: annsky2002@mail.ru

**В.Ю. Ладейщиков, Л.С. Пан**

## **ПРИМЕНЕНИЕ БИОМАССЫ МОРСКИХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СОРБЕНТОВ НА ЦЕЗИЙ**

Перспективное изучение сорбентов на основе матрицы морских водорослей и ферроцианидной фазы для извлечения цезия демонстрирует многообещающие результаты и способствует дальнейшему изучению свойств сорбента для удаления радионуклидов цезия [1]. Для исследования сорбционных свойств были использованы биомассы морских водорослей трех видов: *Zostera marina*, *Phyllophora nervosa*, *Cystoseira barbata*. Водоросли используются в качестве полимерной матрицы для осаждения ферроцианидной фазы. Иммобилизацию ферроцианидной фазы проводили методом послойной сборки. Были определены значения сорбционной обменной емкости для образцов в статических условиях. На основании анализа выбран наиболее эффективный сорбент для извлечения тяжелых металлов. Было показано, что структура морских водорослей влияет на иммобилизацию ферроцианидной составляющей. Наилучшие результаты по сорбции цезия показали биосорбенты на основе *Cystoseira barbata*. Развита поверхность и наличие большого количества функциональных групп на целлюлозной поверхности водорослей улучшают внедрение и закрепление активной фазы внутри матрицы водорослей. Рассматривается дальнейшее изучение свойств биосорбентов, а также их использование для совместного извлечения стронция и цезия из растворов.

**Ключевые слова:** цезий, очистка воды, морские водоросли, ферроцианид железа, биосорбент, сорбция.

**V.Yu. Ladeishchikov, L.S. Pan**

## **THE USE OF SEAWEEDBIOMASSFOR THE PRODUCTION OF CESIUMSORBENTS**

The prospective study of sorbents based on seaweed matrix and ferricyanide phase for cesium extraction shows promising results and contributes to further study of sorbent properties for cesium radionuclide removal. Biomasses of seaweeds of three species: *Zostera marina*, *Phyllophora nervosa*, *Cystoseira barbata* were used to study the sorption properties. Algae is used as a polymer matrix for deposition of ferricyanide phase. Immobilization of ferricyanide phase was carried out by layer-by-layer assembly method. The values of sorption exchange capacity for the samples

under static conditions were determined. Based on the analysis, the most effective sorbent for heavy metal extraction was selected. It was shown that the structure of seaweed affects the immobilization of the ferricyanide component. Biosorbents based on *Cystoseira barbata* showed the best results for caesium sorption. The developed surface and the presence of a large number of functional groups on the algal cellulose surface, improves the introduction and fixation of the active phase inside the algal matrix. The possibility of further study of biosorbents properties and their use for joint extraction of strontium and cesium from solutions is considered.

**Keywords:** cesium, water purification, seaweed, ferric ferrocyanide, biosorbent, sorption.

В последнее время увеличилось количество объектов, представляющих потенциальную радиационную опасность: заводы по переработке ядерного топлива, атомные электростанции, горно-химические комбинаты, а также мероприятия, связанные с испытанием ядерного оружия и т.д. Жидкие радиоактивные отходы представляют опасность для человека и окружающей среды, особенно Cs-137 с полураспадом до 30 лет. Поэтому необходимы эффективные и доступные методы для получения сорбентов на цезий [4].

Для этих целей предлагается использовать биомассу морских бурых водорослей в качестве носителя для сорбента на цезий. Используемые водоросли являются нетоксичным, безопасным и экономичным сырьем, они имеют большую развитую поверхность контакта между фазами, содержат важные полимеры с разветвленной структурой – альгинаты и фукоинады, а также функциональные группы, которые могут участвовать в обменных процессах [3]. Данные полимеры способны сорбировать тяжелые металлы, не влияя при этом на водно-солевой обмен в клетках живых организмов, и поэтому могут послужить в качестве энтеросорбентов для удаления токсичных веществ.

В данной работе в качестве природного носителя были использованы три образца разных видов водорослей: *Zostera marina*, *Phyllophora nervosa*, *Cystoseira barbata*. На природный носитель иммобилизируется ферроцианид железа методом послойной сборки, который подразумевает повторную обработку сорбентов раствором нитрата железа (III) после образования частиц берлинской лазури на

поверхности водорослей. Далее определяли статическую сорбционную обменную емкость (СОЕ) по цезию. Равновесную концентрацию цезия в растворе определяли на атомно-абсорбционном спектрометре ThermoScientific (ААС) iCE 3500. Результаты приведены в таблице.

Значения статистической обменной емкости (Е)  
на полученных биосорбентах

| Сорбент                               | $C_{\text{равн. Cs}^+}$ , мг/л | $E_{\text{Cs}^+}$ , мг/г |
|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| <i>Phyllophora nervosa</i>            | 97,27                          | 21,13                    |
| <i>Zostera marina</i>                 | 108,08                         | 10,33                    |
| <i>Cytoseira barbata</i>              | 113,64                         | 5,69                     |
| <i>Phyllophora n.</i> + ГЦФ – Fe(III) | 62,46                          | 55,94                    |
| <i>Zostera m.</i> + ГЦФ – Fe(III)     | 64,27                          | 54,14                    |
| <i>Cytoseira b.</i> + ГЦФ – Fe(III)   | 71,81                          | 58,057                   |

Для сравнения приведены значения сорбционной емкости на чистых образцах водорослей. Из приведенных значений сорбционной емкости видно, что чистые водоросли поглощают ионы цезия, но незначительно. Однако обработка водорослей ферроцианидной фазой приводит к увеличению сорбционной емкости почти в 2,5–8 раз. Обработанные берлинской лазурью водоросли *Cytoseira barbata* показали самые эффективные результаты по сорбции цезия, поэтому они будут использоваться в дальнейших исследованиях. Планируется изучить термодинамические, кинетические и равновесные характеристики сорбционного процесса на полученных биосорбентах.

Создание нетоксичных сорбентов на основе водорослей позволит синтезировать на их основе не только биосорбенты, но и энтеросорбенты, которые могут быть использованы для очистки питьевой воды и выведения радионуклидов цезия и стронция из организмов животных и человека.

### Список литературы

1. Очистка морской воды от радионуклидов цезия и стронция / А.В. Воронина [и др.] // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2019. – № 6. – С. 102–120.
2. Производство нового целлюлозного наноматериала из морской биомассы красных водорослей *Gelidiumelegans* / В. Чен, Х. Вун Ли, Д.Ч. Хуан, С.-М. Пханг // Углеводные полимеры. – 2016. – Т. 151. – С. 1210–1219.
3. Кузнецов А.Ю., Янченко С.С., Лысенко А.А. Сорбция радионуклидов стронция и цезия из водных сред полимерными сорбентами // Радиохимия. – 2021. – Т. 64, № 4. – С. 66–70.
4. Милютин В.В., Ершов Б.Г. Сорбционные технологии в современной прикладной радиохимии // Вопросы радиационной безопасности. – 2015. – № 3. – С. 52–55.

### Об авторах

**Ладейщиков Виктор Юрьевич** – студент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: lavito03@mail.ru

**Пан Лариса Сергеевна** – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: pan.pstu2020@mail.ru

**А. Мохаммад, Н.Б. Ходяшев, Е.Н. Анашкина**

## **ПОЛУЧЕНИЕ БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ И КОМПОЗИТА НА ЕЕ ОСНОВЕ, ОБЛАДАЮЩЕГО АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Рассмотрен биосинтез бактериальной целлюлозы коллекционным штаммом В-12429 *Acetobacter xylinus* и симбиотической культурой *Medusomyces* чайного гриба. Установлено влияние температурного фактора и доступной поверхности раздела фаз при контакте с кислородом воздуха на продуцирование бактериальной целлюлозы.

**Ключевые слова:** бактериальная целлюлоза, температурный фактор, биосинтез.

**A. Mohammad, N.B. Khodyashev, E.N. Anashkina**

## **OBTAINING BACTERIAL CELLULOSE AND A COMPOSITE BASED ON IT WITH ANTIBACTERIAL PROPERTIES**

The biosynthesis of bacterial cellulose by collection strain В-12429 *Acetobacter xylinus* and symbiotic culture *Medusomyces* of kombucha was studied. The influence of temperature factor and available phase interface during contact with air oxygen on bacterial cellulose production was established.

**Keywords:** bacterial cellulose, temperature factor, biosynthesis.

Бактериальная целлюлоза (БЦ) представляет собой биополимер, обычно синтезируемый грамотрицательными бактериями рода *Komagataeibacter* (*Acetobacter*) и по сравнению с растительной целлюлозой обладает более высокой степенью чистоты, улучшенными механическими и влагоудерживающими свойствами [1]. Благодаря своим уникальным свойствам БЦ находит применение в различных областях, включая биомедицину, где она используется в качестве биоматериала для искусственной кожи, искусственных кровеносных сосудов, сосудистых трансплантатов, скаффолдов для тканевой инженерии и других направлений [2]. В связи с этим представляло ин-

интерес рассмотреть биосинтез пленочных структур БЦ с использованием отдельных культур микроорганизмов, а также установить влияние на ее рост температурного фактора и доступности кислорода воздуха.

Для продуцирования БЦ были использованы коллекционный штамм В-12429 *Acetobacter xylinus* и культуральная жидкость симбиотической культуры *Medusomyces* чайного гриба, ранее выращенного в лабораторных условиях. В экспериментальных исследованиях использовали стандартную питательную среду Хестрина – Шрамма [3].

Изучение влияния температурного фактора на продуцирование БЦ проводили в статических условиях в интервале температур 25–35 °С. Образовавшиеся пленки БЦ доставали через определенные промежутки времени. Все образцы для удаления клеток микроорганизмов и компонентов культуральной жидкости промывали дистиллированной водой и подвергали автоклавированию в 0,5 н растворе NaOH. На завершающем этапе осуществляли удаление щелочи дистиллированной водой до нейтральной реакции. В дальнейшем образцы БЦ сушили на воздухе при комнатной температуре, а затем доводили до постоянного веса в сушильном шкафу при 50 °С и взвешивали.

Полученные результаты представлены на рисунке. Как следует из данного рисунка, на синтез БЦ продуцентом *Acetobacter xylinus* на среде Хестрина – Шрамма существенным образом влияет температурный фактор. Из рисунка видно, что для данного штамма оптимальной температурой синтеза БЦ является 30 °С. Снижение температуры культивирования до 25 °С несущественно уменьшает выход бактериальной целлюлозы по сравнению с 30 °С, однако увеличение температуры культивирования до 35 °С значительно снижает выход продукта. Аналогичный характер зависимостей реализуется для симбиотической культуры чайного гриба. Но в этом случае следует отметить более интенсивный рост продукта – бактериальной целлюлозы (см. зависимость на рис.).

Повышение температуры при культивировании штамма *Acetobacter xylinus* и симбиотической культуры чайного гриба также

ускоряет образование таких метаболитов, как глюконовая кислота, что повышает уровень кислотности среды и замедляет синтез БЦ.

Таким образом, можно отметить, что для синтеза БЦ штаммом *Acetobacter xylinus* и симбиотической культурой чайного гриба оптимальным является температурный диапазон 25–30 °С. Отклонения от этой области температур вызывают снижение целлюлозо-синтетической способности.

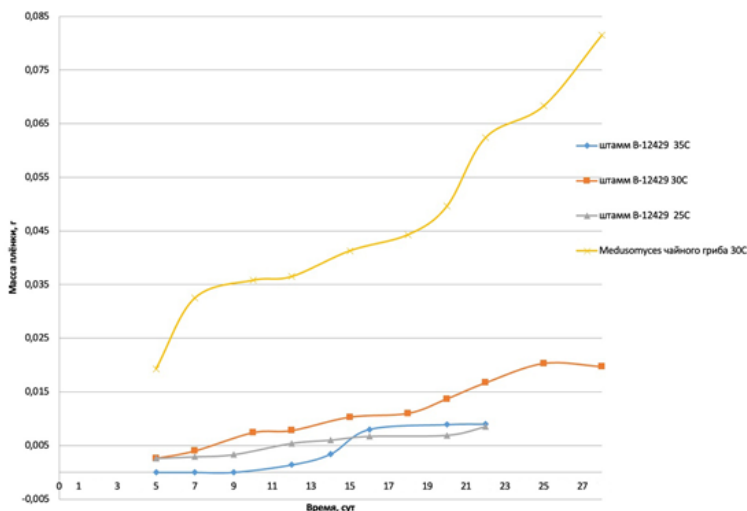


Рис. Зависимость массы образующейся пленки бактериальной целлюлозы для штамма В-12429 от времени культивирования (при различных температурах) и симбиотической культуры *Medusomyces* чайного гриба при температуре 30 °С

Анализ литературных сведений показал, что биосинтез БЦ в значительной степени зависит от доступа кислорода воздуха к поверхности раздела фаз. В соответствии с этим были выполнены исследования по оценке поверхностного фактора при культивировании в статических условиях без перемешивания среды. Опыты проводились с одинаковым объемом культуральной среды Хестрина – Шрамма, но с различной поверхностью контакта с воздухом и с по-

следующей оценкой количества бактериальной целлюлозы. Результаты опытов показывают, что пленки из БЦ, синтезированной с использованием штамма В-12429 *Acetobacter xulinus* в сосудах с различной поверхностью, обладают различной массой. Причем это различие оказалось кратным соотношению поверхностей контакта с воздухом: увеличение поверхности контакта в 8 раз приводит к увеличению выхода (продуцирования) БЦ в 8 раз. Последнее является важным для синтеза БЦ и использования ее в биомедицинских целях.

Выполнение последующих исследований будет направлено на оценку чистоты БЦ, синтезированной штаммом *Acetobacter xulinus* и симбиотической культурой *Medusomyces* чайного гриба.

### **Список литературы**

1. Cannon R.E., & Anderson S.M. Biogenesis of bacterial cellulose // Microbiology. – 1991. – Vol. 17. – P. 435–447.
2. Bacterial synthesized cellulose artificial blood vessels for micro-surgery / D. Klemm, D. Schumann, U. Udhardt, S. Marsch // Progress in Polymer Science. – 2001. – Vol. 26. – P. 1561–1603.
3. Schramm M., Hestrin S. Factors Affecting Production of Cellulose at the Air/Liquid Interface of a Culture of *Acetobacter xylinum* // Journal of General Microbiology. – 1954. – Vol. 11. – P. 123–129.

### **Об авторах**

**Мохаммад Али** – магистрант кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: ali\_fayez\_93@icloud.com

**Ходяшев Николай Борисович** – профессор кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: nhodyashev@yandex.ru

**Анашкина Елена Николаевна** – учебный мастер кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: anashkina1964@yandex.ru

**М.В. Першина, Ю.П. Снигирева**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕНЗОЛА И ГЕКСАНОЛА В КАЧЕСТВЕ МОДЕЛЬНЫХ ПОЛЛЮТАНТОВ ПРИ АДсорбЦИИ НА ГРУНТЕ**

Исследованы морфологические и адсорбционные свойства грунта, отобранного на территории Пермской городской агломерации. Показана возможность использования бензола и гексанола в качестве модельных органических загрязнителей при изучении адсорбционной способности грунтов, отобранных на глубине до 10 м. Адсорбционная способность грунтов зависит от минералогического состава, в частности, от содержания глинистой фракции.

**Ключевые слова:** грунт, почва, минералогический состав, сорбционная емкость, изотерма адсорбции.

**M.V. Pershina, Yu.P. Snigireva**

## **THE USE OF BENZENE AND HEXANOL AS MODEL POLLUTANTS IN ADSORPTION BY SOIL**

The morphological and adsorption properties of soil collected in the Perm urban agglomeration were studied. The possibility of using benzene and hexanol as model organic pollutants in studying the adsorption capacity of soils was demonstrated. The adsorption capacity of soils depends on the mineralogical composition, especially on the content of clay fraction.

**Keywords:** soil, subsoil, mineralogical composition, sorption capacity, adsorption isotherm.

Способность различных загрязнителей проникать в почву и распространяться в литосфере зависит от свойств среды. На миграцию токсичных веществ влияют как структурные, так и адсорбционные характеристики почвогрунтов. К первым относят гранулометрический, литологический, минеральный состав, плотность, а также удельную поверхность и объем пор, ко вторым – сорбционную способность частиц грунта. В качестве модельных загрязнителей при изучении миграции поллютантов вглубь почвенных горизонтов могут выступать бензол [1] и гексанол [2]. В представленной работе

изучена адсорбция указанных веществ на образцах грунта, отобранных на территории г. Перми из шести скважин (скв. 1–6), принадлежащих двум кустам (в каждом кусте по три скважины). Расстояние между скважинами составляло от пяти (внутри одного куста) до ста (между двумя кустами) метров. Каждой скважине соответствует десять глубин отбора: от 0 до 10 м с шагом в 1 м. По литологическому строению исследованный грунт представляет собой суглинки разной степени пластичности (местами с включением гравия), с прослоями и линзами супеси и коренными отложениями в виде аргиллита. Минералогический состав грунта, установленный методом рентгенофазового анализа, представлен кристаллическими (кварц, плагиоклазы, калиевый полевой шпат, с небольшим содержанием кальцита, доломита, пирита и магнетита) и глинистыми (смектит, иллит, хлорит) минералами. Содержание глинистой фракции растет с увеличением глубины отбора образца.

Адсорбционные свойства грунта были исследованы по способности образцов поглощать пары бензола. Для этого высушенные до постоянной массы и остуженные до комнатной температуры (в эксикаторе над оксидом алюминия) навески грунта в бюксах помещали в эксикатор с бензолом, термостатируемый при 25,0 °С. Конечную приращенную массу образца пересчитывали на объем адсорбтива. Зависимость сорбционной емкости (СЕ) по бензолу от глубины залегания грунта представлена на рис. 1.

Сорбционная емкость составляет не менее 0,05 и не более 0,12 см<sup>3</sup>/г, при этом для скв. 1–4 характерно относительно монотонное возрастание значения СЕ, а для скв. 5 и 6 в интервале глубин 6–8 м наблюдается слабовыраженный максимум. Величина СЕ коррелирует с содержанием глинистых минералов в образце, что неудивительно, поскольку сорбционная способность глины во много раз выше, чем у песка.

Были измерены изотермы адсорбции гексанола из водных растворов для некоторых образцов скв. 1. Концентрацию гексанола определяли спектрофотометрически по методу, описанному в [3].

Диапазон исходных концентраций составляет  $0,02\text{--}1,02\text{ г/дм}^3$ . Полученные зависимости имеют вид изотермы Генри. Пример изотермы адсорбции гексанола на грунте представлен на рис. 2.

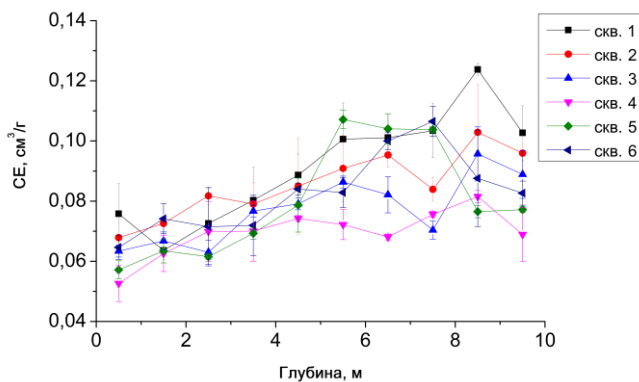


Рис. 1. Сорбционная емкость по бензолу в зависимости от глубины отбора грунта для скважин 1–6

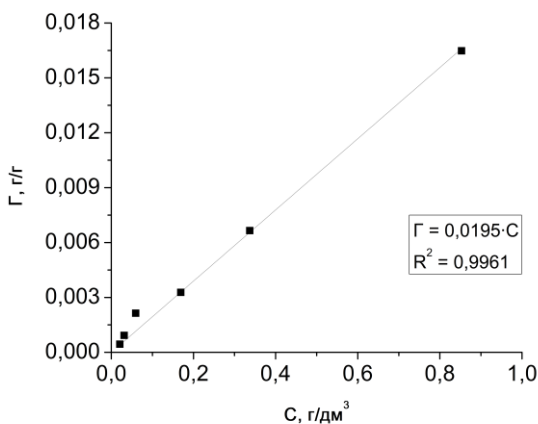


Рис. 2. Изотерма адсорбции гексанола

Таким образом, показана возможность использования бензола и гексанола в качестве адсорбатов при изучении сорбционных

свойств почвогрунтов. Способность грунта к адсорбции коррелирует с содержанием глинистых минералов в образце. Полученные результаты могут послужить основой для разработки моделей распространения поллютантов по глубинному профилю почв.

### **Список литературы**

1. Diffusion and adsorption of benzene in contaminated Andosol and sand / P. Du, M. Sagehashi, A. Terada, M. Hosomi // *Environmental Science*. – 2010. – Vol. 23, no. 6. – P. 459–466. DOI: 10.11353/sesj.23.459

2. Poole S.K., Poole C.F. Chromatographic models for the sorption of neutral organic compounds by soil from water and air // *Journal of Chromatography A*. – 1999. – Vol. 845, iss. 1–2. – P. 381–400. DOI: 10.1016/S0021-9673(98)01085-1

3. Александров А.А., Дементьева М.И., Шмуляковский Я.Э. Методы исследования продуктов нефтепереработки и нефтехимического синтеза. – Л.: Гостоптехиздат, 1962. – 233 с.

### **Об авторах**

**Першина Маргарита Владимировна** – аспирант кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: mvpersh@yandex.ru

**Снигирева Юлия Петровна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: snigiruva@mail.ru

**В.И. Сагидуллина, В.А. Абрамова, А.В. Ахова, А.Г. Ткаченко**

**ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАНКТОННЫХ И ИММОБИЛИЗОВАННЫХ  
БАКТЕРИЙ В КАЧЕСТВЕ БИОКАТАЛИЗАТОРОВ КОНВЕРСИИ  
ЛИЗИНА В КАДАВЕРИН**

Изучена способность природных изолятов *Escherichia coli* продуцировать кадаверин. Подобрана оптимальная среда для конверсии *L*-лизина в кадаверин природным изолятом *E. Coli* N16. На основе бактериальных клеток получен иммобилизованный биокатализатор, сохраняющий лизиндекарбоксилазную активность в течение 30 дней.

**Ключевые слова:** биокатализатор, *L*-лизин, кадаверин, 1,5-диаминопентан, лизиндекарбоксилаза.

**V.I. Sagidullina, V.A. Abramova, A.V. Akhova, A.G. Tkachenko**

**APPLICATION OF PLANKTONIC AND IMMOBILIZED BACTERIA  
AS BIOCATALYST FOR THE CONVERSION OF LYSINE  
TO CADAVERINE**

The ability of natural isolates of *Escherichia coli* to produce cadaverine was studied. An optimal medium for the conversion of *L*-lysine to cadaverine by the natural isolate of *E. Coli* N16 was selected. An immobilized biocatalyst based on bacterial cells, which retains lysine decarboxylase activity for 30 days, was obtained.

**Keywords:** biocatalyst, *L*-lysine, cadaverine, 1,5-diaminopentane, lysine decarboxylase.

В настоящее время вопросу получения биопластиков – полимерных материалов на основе возобновляемого сырья биологического происхождения, уделяется особое внимание [1]. Общая продукция пластмасс в 2022 г. составила 386 млн т, из которых 4 млн т приходится на биопластики [2]. Широкое применение находят полимеры, образованные из мономеров, связанных амидными связями – полиамиды. Особый интерес представляют биополиамиды на ос-

нове 1,5-диаминопентана, для которого пока не разработан эффективный метод химического синтеза из углеводородного сырья, но который может быть получен путем микробного синтеза [3, 4].

Основное внимание в современных исследованиях процессов биотехнологического синтеза 1,5-диаминопентана уделяется разработке целноклеточных биокатализаторов на основе генетически-модифицированных микроорганизмов. Основные генетические модификации направлены на усиление экспрессии лизиндекарбоксилазы – фермента, катализирующего конверсию *L*-лизина в кадаверин, повышение синтеза кофактора лизиндекарбоксилазы – пиримидоксальфосфата, и эффективности транспорта *L*-лизина. Для повышения стабильности биокатализаторов их иммобилизуют на различных носителях.

Цель работы – разработка биокатализатора конверсии *L*-лизина в кадаверин на основе планктонных и иммобилизованных клеток природных микроорганизмов.

В качестве объектов исследования использованы 70 природных изолятов *Escherichia coli*, а также коллекционный штамм *Escherichia coli* K12. Для первичного скрининга микроорганизмы культивировали в декарбоксилазном бульоне – селективной среде, позволяющей определить наличие лизиндекарбоксилазной активности. Способность микроорганизмов, обладающих лизиндекарбоксилазной активностью, продуцировать кадаверин оценивали на средах разного состава. Количественный анализ кадаверина в среде культивирования проводили методом тонкослойной хроматографии с предварительной дериватизацией дансилхлоридом. Бактерии иммобилизовали на агаровых гранулах размером 4×4×4 мм.

По результатам первичного скрининга у 94 % природных изолятов выявлена способность декарбоксилировать *L*-лизин. Дана оценка способности этих изолятов продуцировать 1,5-диаминопентан при культивировании на средах разного состава: минимальная среда М9 с добавкой глюкозы в качестве единственного источника углерода и энергии, среда М9 с добавкой глюкозы и 0,6 г/л *L*-лизина, LB бульон. На основе полученных результатов выявлен изолят N16,

характеризующийся наиболее высокой продуктивностью. Установлено, что оптимальной средой для протекания реакции биоконверсии лизина в кадаверин, катализируемой изолятом N16, является среда M9 с pH = 4. В лабораторных условиях изолят N16 был способен продуцировать в среду до 5 мМ кадаверина со скоростью  $7,4 \pm 1,5$  ммоль/г АСБ/ч. В условиях, приближенных к производственным, суспензионная культура изолята N16 продуцировала около 100 мМ кадаверина.

Иммобилизация клеток изолята N16 в агаре приводила к снижению скорости биоконверсии примерно в два раза, но повышала стабильность биокатализатора и обеспечивала сохранение его активности при повторном использовании. Обнаружена прямая зависимость между сохранением лизиндекарбоксилазной активности и концентрацией иммобилизованных клеток в течение 30 дней.

### Список литературы

1. Rosenboom J.G., Langer R., Traverso G. Bioplastics for a circular economy // Nature Reviews Materials. – 2022. – Vol. 7, no. 2. – P. 117–137.
2. Bio-based Building Blocks and Polymers Global Capacities, Production and Trends 2023–2028 / P. Skoczinski [et al.] // Industrial Biotechnology. – 2024. – Vol. 20, no. 2. – P. 52–59.
3. From zero to hero-production of bio-based nylon from renewable resources using engineered *Corynebacterium glutamicum* / S. Kind [et al.] // Metabolic Engineering. – 2014. – Vol. 25. – P. 113–123.
4. Advances in cadaverine bacterial production and its applications / W. Ma [et al.] // Engineering. – 2017. – Vol. 3, no. 3. – P. 308–317.

### Об авторах

**Сагидуллина Вероника Илнуровна** – лаборант Института экологии и генетики микроорганизмов, Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, e-mail: veronikabarda@mail.ru

**Абрамова Валентина Алексеевна** – студент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский

политехнический университет; лаборант лаборатории адаптации микроорганизмов Института экологии и генетики микроорганизмов, Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, e-mail: valyusha\_abramova@mail.ru

**Ахова Анна Викторовна** – канд. биол. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет; старший научный сотрудник Института экологии и генетики микроорганизмов, Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, e-mail: akhovan@mail.ru

**Ткаченко Александр Георгиевич** – д-р мед. наук, зав. лабораторией адаптации микроорганизмов Института экологии и генетики микроорганизмов, Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, e-mail: agtkachenko@iegm.ru

**А.С. Симонова, А.В. Портнова**

## **ПОЛУЧЕНИЕ ПРОБИОТИЧЕСКОГО ПРОДУКТА НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

Кисломолочные продукты являются ценным источником легкоусвояемых питательных веществ, необходимых для организма, а их регулярное употребление способствует улучшению микрофлоры кишечника. Среди таких продуктов особой популярностью пользуется йогурт. Основным сырьем для производства кисломолочных продуктов, включая йогурт, является молоко. Однако в современном мире все больше людей сталкиваются с непереносимостью лактозы, аллергией на животный белок или сознательно отказываются от продуктов животного происхождения, руководствуясь этическими или экологическими принципами. В связи с этим возрастает интерес к растительным альтернативам, таким как растительное молоко и продукты на его основе, которые становятся важной частью рациона многих людей.

**Ключевые слова:** кисломолочный продукт, йогурт, растительное молоко, растительный йогурт, ферментация растительного молока.

**A.S. Simonova, A.V. Portnova**

## **OBTAINING A PROBIOTIC PRODUCT BASED ON PLANT RAW MATERIALS**

Fermented milk products are a valuable source of easily digestible nutrients necessary for the body, and their regular use helps to improve the intestinal microflora. Yogurt is particularly popular among such products. Traditionally, milk is the main raw material for the production of fermented dairy products, including yogurt. However, in the modern world, more and more people are faced with lactose intolerance, allergies to animal protein, or deliberately abstain from animal products based on ethical or environmental principles. In this regard, there is a growing interest in plant-based alternatives such as vegetable milk and milk-based products, which are becoming an important part of many people's diets.

**Keywords:** fermented milk product, yogurt, vegetable milk, vegetable yogurt, fermentation of vegetable milk.

Актуальность проблемы обеспечения натурального и корректного состава йогуртов приобретает особую значимость в современных условиях. На рынке представлен широкий ассортимент кисломолочной продукции, состав которой зачастую включает не только базовые компоненты, но и значительное количество дополнительных ингредиентов, таких как стабилизаторы, эмульгаторы, ароматизаторы и другие пищевые добавки [1]. Это вызывает беспокойство среди потребителей, стремящихся к выбору продуктов с минимальной степенью технологической обработки и максимальной пищевой ценностью.

Также долгое время коровье молоко считалось одним из самых здоровых продуктов, так как в нем имеется высокое содержание кальция, и следовательно, благодаря регулярному употреблению молока у человека должны быть крепкие зубы и кости, защита от развития остеопороза. Однако последние исследования показывают, что молоко не только малоэффективно против этого заболевания, но и содержит ингредиенты, которые повышают риск развития рака [2].

В настоящее время степень обеспечения населения России натуральным молоком не превышает 75 %, в то время как спрос на молочную продукцию в стране ежегодно растет на 5–6 %. Неспособность отечественных сельскохозяйственных производителей удовлетворить спрос на молоко стимулирует развитие рынка растительного молока, представляющего собой водный экстракт из различных маслосодержащих семян – соевых бобов, зерна овса, риса, гречки, мака, конопли, а также из различных орехов – миндального, грецкого, кедрового, лесного, кокосового и других [3].

В связи с этим продукты на основе растительного молока представляют собой перспективную альтернативу традиционным йогуртам, изготовленным из молока животного происхождения. Целью исследования является разработка натурального пробиотического продукта на основе растительного молока, а также изучение влияния различных типов загустителей на формирование стабильной консистенции конечного продукта.

Загустители играют ключевую роль в формировании текстуры, консистенции и стабильности йогурта, особенно в случае

продуктов на растительной основе. Они помогают достичь желаемой густоты, предотвращают расслоение и улучшают органолептические свойства продукта.

В рамках проведенных экспериментов было изучено влияние различных загустителей, а именно агар-агара, гуаровой камеди, изолята соевого белка, картофельного крахмала и кукурузного крахмала, на физико-химические и структурные показатели йогурта, изготовленного на основе растительного молока.

1. Изолят соевого белка характеризуется рыхлой, рассыпчатой структурой и выраженным ароматом, свойственным соевым продуктам. При использовании данного загустителя в процессе приготовления йогурта наблюдалось его осаждение на дно емкости. После перемешивания консистенция продукта не приобрела однородности, сохраняя наличие гранул изолята, а также выраженный специфический вкус, характерный для соевого белка.

2. Картофельный крахмал характеризуется мелкодисперсной порошкообразной фракцией. При введении в достаточном количестве он обеспечивает выраженный загущающий эффект, однако придает продукту специфический вкус, характерный для картофельного загустителя.

3. Кукурузный крахмал по своим свойствам схож с картофельным крахмалом, однако обладает более высокой эффективностью в процессе загущения йогурта. Кроме того, он придает продукту приятный вкусовой оттенок, что способствует улучшению органолептических характеристик пробиотического продукта.

4. Агар-агар – эффективный и натуральный загуститель для йогурта, особенно для продуктов на растительной основе. Его использование позволило достичь стабильной текстуры при достаточной низкой концентрации, но учитывались особенности технологии внесения для придания плотной, но нежной текстуры, исключая возможность образования геля.

5. Гуаровая камедь является растительным продуктом, что делает ее подходящей для веганских и вегетарианских продуктов. Она придала йогурту гладкую, кремообразную консистенцию, близкую к традиционному йогурту на животном молоке. Но для достижения оптимальных результатов также учитывалась технология внесения.

Так образом, выбор загустителя для йогурта на растительной основе зависит от желаемой текстуры, вкуса и технологических требований. Натуральные загустители, такие как агар-агар и гуаровая камедь, являются популярными вариантами благодаря своей эффективности. Кукурузный крахмал также обладает высокой эффективностью в качестве загустителя, успешно выполняя свои функции в достижении текстуры продукта. Использование изолята соевого белка и картофельного крахмала в качестве загустителей для йогурта на основе растительного молока не рекомендуется в связи с наличием у данных ингредиентов выраженных специфических органолептических свойств, включая характерные вкусы и текстуру, которые могут негативно влиять на потребительские характеристики готового продукта.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 31981-2013 Йогурты. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2019. – 10 с.
2. Демчук Е.А., Богданова Ю.З. Растительное молоко: за или против? // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: сб. материалов ЛП Междунар. студ. науч.-практ. конф., Тюмень, 29 марта 2019 г. – Тюмень, 2019. – Т. 1. – С. 171–175.
3. Агаларова Е.Г., Гунько Ю.А., Антонова И.Ю. Исследование факторов потребительского спроса и потенциал роста рынка растительного молока в России // Вестник Института дружбы народов Кавказа (Теория экономики и управления народным хозяйством). Экономические науки. – 2022. – № 4 (64). – С. 102–109.

### **Об авторах**

**Симонова Анна Сергеевна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [simonova.anya2003@yandex.ru](mailto:simonova.anya2003@yandex.ru)

**Портнова Анна Владимировна** – канд. хим. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: [annysky2002@mail.ru](mailto:annysky2002@mail.ru)

**А.А. Соснина, Е.А. Слюсарева, О.И. Ручкина**

## **КОМПСТИРОВАНИЕ ОСАДКОВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД**

Компостирование осадков городских сточных вод представляет собой эффективный и экологически чистый метод утилизации отходов, образующихся в процессе очистки сточных вод. В статье рассматриваются преимущества компостирования, различные технологии, включая термофильное и анаэробное компостирование, а также вызовы, с которыми сталкивается данная практика. Особое внимание уделяется популярным технологиям, которые способствуют улучшению качества почвы и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

**Ключевые слова:** компостирование, осадки сточных вод, экология, термофильное компостирование, анаэробное компостирование, управление отходами, загрязняющие вещества.

**A.A. Sosnina, E.A. Slyusareva, O.I. Ruchkinova**

## **COMPOSTING OF MUNICIPAL WASTEWATER SLUDGE**

Composting of municipal wastewater sludge is an effective and environmentally friendly method for waste disposal generated during wastewater treatment. This article discusses the advantages of composting, various technologies including thermophilic and anaerobic composting, as well as the challenges faced by this practice. Special attention is given to popular technologies that contribute to improving soil quality and reducing negative environmental impacts.

**Keywords:** composting, wastewater sludge, ecology, thermophilic composting, anaerobic composting, waste management, pollutants.

Компостирование осадков городских сточных вод становится все более актуальным в условиях растущих экологических проблем и необходимости эффективного управления отходами. Осадки, образующиеся в процессе очистки сточных вод, содержат питательные вещества и органические вещества, которые могут быть переработаны в полезный продукт – компост. В данной статье рассмотрены преимущества, технологии и вызовы, связанные с компостированием осадков.

Выделяют несколько преимуществ для данного вида переработки осадков. Уменьшение объема отходов – компостирование, позволяет значительно сократить объем осадков, которые необходимо утилизировать на свалках. Улучшение качества почвы – компост, полученный из осадков, обогащает почву органическими веществами, улучшает ее структуру и водоудерживающие свойства. Снижение выбросов парниковых газов – утилизация осадков, через компостирование способствует снижению выбросов метана, которые возникают при разложении органических веществ на свалках. Экономическая выгода – использование компоста в сельском хозяйстве и ландшафтном дизайне может снизить затраты на удобрения и улучшить урожайность.

В последние десятилетия технологии компостирования значительно эволюционировали, благодаря этому появились различные новые технологии, такие как аэробное и анаэробное компостирование, термофильное компостирование, вермикомпостирование, мембранное компостирование, технология «Гумиком» и другие инновационные подходы [1].

Можно рассмотреть технологию «Гумиком». Это технология, направленная на переработку органических отходов с целью получения гуминовых веществ, которые являются ценными для сельского хозяйства и экологии. Гуминовые вещества представляют собой сложные органические соединения, которые образуются в результате разложения растительных и животных остатков. Они обладают высокой питательной ценностью и способствуют улучшению структуры почвы, повышению ее плодородия и удержанию влаги. При использовании данной технологии важно контролировать параметры, такие как температура, влажность и pH, чтобы обеспечить оптимальные условия для разложения и образования гуминовых веществ [1].

Применение современных технологий компостирования и переработки органических отходов представляет собой комплексный подход, который не только решает проблемы утилизации, но и вносит значительный вклад в устойчивое развитие общества. Эти технологии способствуют эффективному управлению отходами, что

позволяет значительно сократить их объем на свалках и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду. В частности, инновационные методы, такие как вермикомпостирование и биогазовые установки, превращают органические отходы в ценные ресурсы, что снижает нагрузку на экосистемы и способствует более рациональному использованию природных ресурсов.

Кроме того, технологии компостирования, включая термофильное и мембранное компостирование, позволяют производить высококачественный компост, который обогащает почву питательными веществами, улучшает ее структуру и способствует росту растений. Это, в свою очередь, повышает продуктивность сельского хозяйства и способствует устойчивому развитию агроэкосистем [2].

Таким образом, применение современных технологий компостирования и переработки органических отходов не только решает проблемы утилизации, но и способствует устойчивому развитию, охране окружающей среды и улучшению качества жизни, создавая более гармоничное взаимодействие между человеком и природой.

Компостирование осадков городских сточных вод представляют собой эффективный способ утилизации и переработки отходов, однако этот процесс сталкивается с рядом вызовов, которые необходимо учитывать для успешного внедрения технологий. Во-первых, одной из основных проблем является контаминация [3]. Осадки сточных вод могут содержать патогенные микроорганизмы, тяжелые металлы и другие загрязнители. Во-вторых, технологические сложности также играют важную роль. Процесс компостирования требует тщательного контроля. Компостирование может требовать значительных затрат на оборудование, технологии и управление процессом.

Таким образом, для успешного внедрения и развития технологий компостирования осадков городских сточных вод необходим комплексный подход и инновационные решения, которые помогут преодолеть указанные вызовы.

### **Список литературы**

1. Компостирование осадков сточных вод/ С.Д. Беляева, Е.В. Короткова, М.И. Петров [и др.] // Журнал экология производства. – 2022. – С. 98–100.

2. Дрозд Г.Я. Новые технологии утилизации осадков - путь к малоотходным канализационным очистным сооружениям // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение: Произв.-техн. и науч.-практ. журн. – 2014. – № 3 (75). – С. 22–31.

3. Благоразумова А.М. Экология. Охрана природы. Обработка и обезвоживание осадков городских сточных вод: учеб. пособие. – СПб.: Лань, 2014. – 208 с.

### **Об авторах**

**Соснина Ангелина Александровна** – магистрант кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: lina.sosnina.97@bk.ru

**Слюсарева Екатерина Алексеевна** – магистрант кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: katya.slyusareva.00@mail.ru

**Ручкинова Ольга Ивановна** – д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой теплогазоснабжения, вентиляции и водоснабжения, водоотведения, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: xgogax@mail.ru

**Э.Р. Фахрутдинова, О.И. Бахирева**

## **ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ – НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА**

Вода играет важную роль в мировой экономике, однако ее качество постоянно ухудшается из-за антропогенного воздействия. С развитием промышленности в водные объекты попадают тяжелые металлы, опасные загрязнители, что представляет серьезную угрозу для экосистем. Накопление этих металлов в воде может вызвать негативные последствия для растительного и животного мира. В связи с этим активно разрабатываются методы очистки вод от тяжелых металлов, в число которых входят никель и кобальт. Одним из наиболее эффективных и экологически безопасных подходов является биологический метод, который основан на поглощении микроорганизмами токсичных веществ, обеспечивая тем самым эффективную очистку.

**Ключевые слова:** биологическая очистка вод, сточные воды, кобальт, никель, микроорганизмы, кривая роста.

**E.R. Fakhrutdinova, O.I. Bakhireva**

## **STUDY OF METHODS OF WASTEWATER PURIFICATION FROM HEAVY METAL IONS – NICKEL AND COBALT**

Water plays an important role in the world economy, but its quality is constantly deteriorating due to anthropogenic impact. With industrial development, heavy metals and hazardous pollutants enter water bodies, posing a significant threat to ecosystems. The accumulation of these metals in water can lead to adverse effects on both plant and animal life. As a result, methods for removing heavy metals, such as nickel and cobalt, from water are being actively developed. One of the most effective and environmentally safe approaches is the biological method, which relies on the absorption of toxic substances by microorganisms, thereby ensuring efficient purification.

**Keywords:** biological water treatment, wastewater, cobalt, nickel, microorganisms, growth curve.

Многие промышленные предприятия в водные ресурсы сбрасывают отходы, содержащие тяжелые металлы и их соединения. Эти вещества не подвергаются биологическому разложению, накапливаются в живых организмах и могут вызывать различные заболевания, что в

конечном итоге создает угрозу для здоровья и жизни человека. Среди таких элементов выделяют никель (Ni) и кобальт (Co) [1].

Биологическая очистка является одним из наиболее перспективных методов удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод, сбрасываемых различными предприятиями [1]. Данный метод считается экономически выгодным, поскольку не требует использования дорогостоящих химических реагентов. Кроме того, биоматериалы, применяемые в процессе и превращающие загрязнители в менее токсичные формы, могут быть переработаны, либо же использованы для производства биогаза и удобрений.

Ионы кобальта и никеля являются биогенными элементами при низких концентрациях, поскольку участвуют в процессах жизнедеятельности организмов. Однако при повышенных концентрациях эти элементы становятся токсичными, оказывая негативное влияние на экосистемы. Ионы выбранных металлов изучаются в совместном присутствии, поскольку они имеют похожие химические свойства, используются в схожих отраслях промышленности (металлургия, металлообработка, гальваника, химия, производство сплавов) и они часто встречаются вместе в сточных водах [2].

Биологические методы очистки являются перспективным решением для удаления ионов никеля и кобальта из сточных вод и минимизировать их негативное влияние.

В основе метода биологической очистки сточных вод от ионов кобальта и никеля лежит использование культуры микроорганизмов, выделенной из почвы, загрязненной ионами тяжелых металлов [2, 3]. В ходе исследования была произведена процедура омоложения культуры для восстановления продуктивности и стабильности, поскольку ее старение приводит к снижению активности. Также были изучены культуральные признаки выделенного штамма.

Чувствительность микроорганизмов к ионам никеля и кобальта оценивалась с помощью диско-диффузионного метода. Данный метод основан на способности ингибиторов диффундировать из бумажных дисков, пропитанных растворами исследуемых металлов,

в питательную среду, что приводит к подавлению роста микроорганизмов. Исследование динамики роста проводилось при концентрациях ионов  $\text{Co}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  от 5 до 200 мг/л.

Активный рост культуры микроорганизмов происходил при концентрациях ионов выбранных металлов в концентрациях 5, 50, 100 мг/л. На основании полученных данных можно сделать вывод, что культура чувствительна к ионам выбранных металлов в области концентраций 200 мг/л и более.

Для анализа динамики роста исследуемой культуры были построены графические зависимости изменения оптической плотности клеточной суспензии в жидких питательных средах различного состава во времени (рисунок).

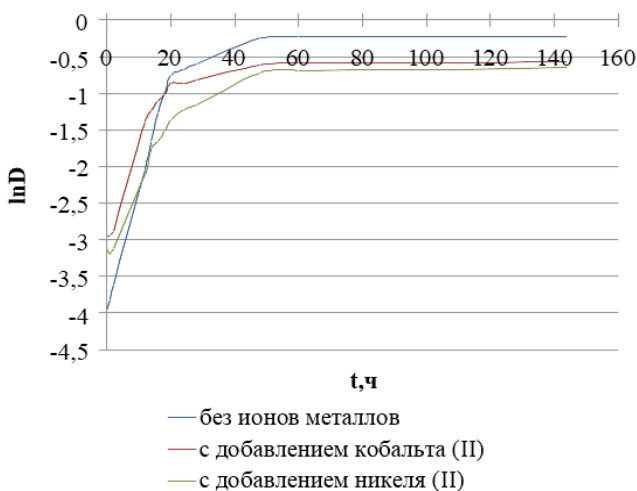


Рис. Зависимости роста биомассы микроорганизмов от присутствия металлов в среде

На основании полученных зависимостей были рассчитаны в экспоненциальной фазе роста максимальные скорости роста исследуемой культуры микроорганизмов, культивируемых в различных питательных средах.

В питательной среде, не содержащей ионы кобальта (II) и никеля (II), максимальная удельная скорость составила  $0,1698 \text{ ч}^{-1}$ .

В среде, содержащей ионы кобальта, –  $0,0694 \text{ ч}^{-1}$ , ионы никеля –  $0,1121 \text{ ч}^{-1}$ . Происходило ингибирование роста культуры микроорганизмов в присутствии выбранных металлов в среде, которое связано с накоплением элементов в клетках.

В ходе работы были изучены чувствительность микроорганизмов к ионам кобальта (II) и никеля (II), зависимость скорости роста в присутствии этих элементов. Полученные данные важны для разработки процесса биологической очистки. Изученные закономерности позволяют предположить, что исследуемую культуру микроорганизмов можно использовать в качестве биосорбента для очистки вод от ионов кобальта и никеля в концентрациях от 0 до 100 мг/л. Учитывая, что в промышленных стоках концентрации металлов значительно ниже указанного предела, применение таких культур микроорганизмов представляется особенно эффективным.

### Список литературы

1. Пименов А.В., Шамбазова А.М., Шулаев М.В. Применение биосорбции для очистки сточных вод от тяжелых металлов // Пищевые технологии и биотехнологии: материалы XVIII Всерос. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием. – Казань, 2023. – С. 483–487.
2. Желнина И.В. Бахирева О.И. Биотехнологическая очистка воды от ионов кобальта // Химия. Экология. Урбанистика. – 2021. – Т. 2. – С. 92–95.
3. Махрова О.В., Бахирева О.И., Соколова М.М. Микробиологический метод очистки почв от ионов тяжелых металлов:  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$  и  $\text{Co}^{2+}$  // Химия. Экология. Биотехнология, 2015. – С. 111–112.

### Об авторах

**Фахрутдинова Элина Рафисовна** – студентка кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: elina17102003f@mail.ru

**Бахирева Ольга Ивановна** – канд. техн. наук, доцент кафедры химии и биотехнологии, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: Bahirevy@mail.ru

О.В. Шергина

## ИЗУЧЕНИЕ ЧАСТИЦ АЭРОТЕХНОГЕННОГО АЭРОЗОЛЯ С ПОМОЩЬЮ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

Оценивались адсорбция взвешенных частиц листьями березовых насаждений в городских лесах г. Иркутска, Восточная Сибирь. С помощью сканирующей электронной микроскопии были определены количество, размер и химический состав аэрозольных частиц. Исследование подчеркивает важность березовых лесов как фитофильтров и необходимость их мониторинга для оценки состояния городских экосистем.

**Ключевые слова:** городские березовые леса, взвешенные частицы, тяжелые металлы, сканирующая электронная микроскопия.

O.V. Shergina

## STUDY OF AEROTECHNOGENIC AEROSOL PARTICLES USING TREES

The adsorption of suspended particles by birch leaves in urban forests of Irkutsk, Eastern Siberia, was assessed. Using scanning electron microscopy, the number, size, and chemical composition of aerosol particles were determined. The study highlights the importance of birch forests as phytofilters and the need to monitor them to assess the state of urban ecosystems.

**Keywords:** urban birch forests, suspended particles, heavy metals, scanning electron microscopy.

Исследования выполнялись на территории г. Иркутска (Восточная Сибирь, Россия) в городских сосново-березовых и березовых лесах естественного происхождения. Площадь города составляет 305 км<sup>2</sup>, лесные массивы занимают примерно пятую часть его территории. Исследование лесов выполнялось на 14-ти пробных площадях (ПП), 8 из которых были постоянными мониторинговыми. На каждой ПП проводилось комплексное изучение деревьев березы повислой (*Betula pendula* Roth), травяного покрова, почвы (тип серые лесные) и лесной подстилки. Пробные площади были заложены и описаны в соответ-

ствии с международной методикой ICP Forests [1]. Все показатели лесов сравнивались с аналоговыми на фоновых ПП. Было заложено три фоновых ПП, расположенные на расстоянии более 120 км от городских границ.

В англоязычной литературе аэрозольные частицы называют Particulate Matter (PM). Всемирная организация здравоохранения считает их наиболее распространенными и опасными загрязнителями воздуха, особенно в урбоэкосистемах. Исследование PM привлекает внимание из-за их разнообразия по размерам, химическому составу и форме. Эти частицы могут содержать все известные техногенные загрязнители [2]. Изучение твердых частиц в воздухе позволяет получить исчерпывающие сведения об уровне и специфике загрязнения окружающей среды. По мнению ученых, одним из результативных методов уменьшения уровня загрязнения воздуха в населенных пунктах является создание разнообразных видов зеленых насаждений. Древесные растения могут служить в качестве мощных фильтров для PM [3].

В рамках исследования проводилось изучение загрязнения воздуха на каждой ПП в течении всего вегетационного сезона (конец апреля – начало октября) в 2021–2024 гг. Для этого использовался монитор качества атмосферного воздуха Air detector 2AM7P производства Environmental Protection Agency. С его помощью проводилось измерение концентрации взвешенных частиц различных размеров: PM0.3, PM0.5, PM1.0, PM2.5, PM5.0 и PM10. Кроме того, выполнялось измерение индекса AQI (Air Quality Index) с помощью монитора PM Detector Biostar от BIOTEQ Technologies. В связи с тем, что взвешенные частицы включают в свой состав значительную долю аэротехногенных загрязнителей, на всех ПП было проведено изучение степени аккумуляции листьями березы наиболее распространенных загрязнителей, включая ТМ, серу и хлор. В ходе исследования не проводилась предварительная отмывка листьев березы, чтобы выявить общее количество накопленных загрязняющих веществ, которые могли быть адсорбированы поверхностью листа или проникнуть внутрь через устьица и покровные ткани.

Результаты показали, что в листьях березы на городских ПП обнаруживается значительное превышение фоновых уровней ТМ. В частности, концентрация свинца была выше фоновой в 11 раз, кадмия – в 25, хрома – в 20, а цинка – в 12 раз. Кроме ТМ, в листьях также были зафиксированы повышенные концентрации серы и хлора. Эти элементы, несмотря на их важную роль в биогеохимических циклах, при высоких уровнях техногенного воздействия считаются распространенными токсичными загрязнителями. Исследования продемонстрировали, что накопление валовых и ионных форм серы и хлора происходит по схожему тренду. При этом содержание ионных форм элементов оказалось выше фонового уровня от 7 до 14 раз.

Оценка аккумулирующей способности древесных растений по отношению к взвешенным частицам была проведена также по данным поверхностного загрязнения листьев березы. Анализ проводился с помощью сканирующей электронной микроскопии, которая позволяет делать снимки высокого разрешения при увеличении от 800 до 2000 крат, и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS), необходимой для определения размеров, химического состава и концентрации РМ. В работе применяли растровый электронный микроскоп FEI Company Quanta 200 с приставкой рентгеновского микроанализа с безазотным охлаждением GENESIS XM 2 60 – Imaging SEM и приставкой EDAX. Исследования показали, что сильно загрязненные листья березы могут быть покрыты частицами твердого аэрозоля на 60–85 % и образовывать очень плотный слой на их поверхности (рисунок). Обнаружено, что основная масса частиц оседает на верхней стороне листа, концентрируясь вдоль жилок и на трихомах, тогда как нижняя сторона остается менее загрязненной. При изучении микрофотографий видно, что адсорбция техногенного аэрозоля на поверхности листьев березы приводит к закупориванию устьиц (см. рис.) и выраженному повреждению покровных тканей. Интересная закономерность была выявлена при расчете содержания ТМ на поверхности листьев березы и проникших внутрь покровных тканей. Результаты показали, что количество

адсорбированных на поверхности ТМ меньше того количества, которые проникают внутрь растительных тканей. Разница может составлять более 20 раз. При этом многократное отмывание листьев дистиллированной водой (эксперимент по созданию искусственного дождевого потока) привело к уменьшению количества ТМ только на поверхности листьев, но не изменило их содержание внутри тканей листьев березы.

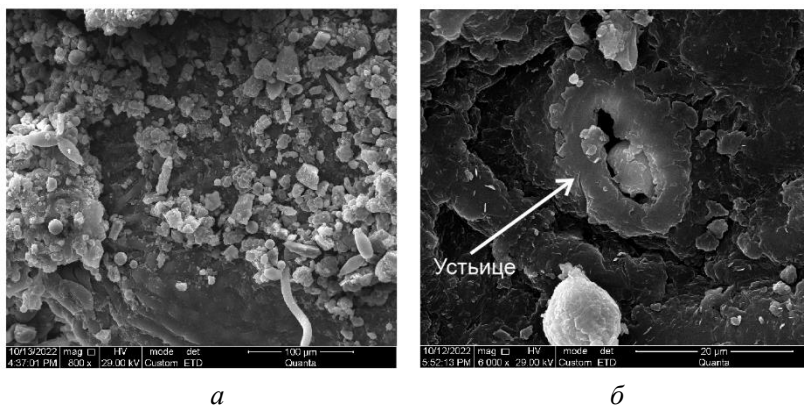


Рис. Плотный слой из РМ-частиц на поверхности листа березы (увеличение  $\times 800$ ) (*a*), устье листа, закупоренное РМ-частицами (увеличение  $\times 6000$ ) (*б*)

При анализе данных о распределении частиц на поверхности листьев было определено процентное содержание в них химических элементов. Установлено, что наибольшее количество РМ-частиц содержит кремний, серу, кальций, фосфор, магний, хлор. Также в них присутствует значительная доля углерода и ТМ, таких как кадмий, свинец, цинк, медь, алюминий, железо, марганец, кобальт, хром, молибден, никель, олово, ванадий, вольфрам. Металлы, как правило, регистрируются в составе отдельных шарообразных РМ-частиц, которые образуют специфические скопления различных форм и размеров. Такие металлизированные скопления из отдельных частиц образуются благодаря взаимному притяжению посредством их магнитных полей. На микрофотографиях можно видеть, как такие

частицы способны активно проникать внутрь растительных тканей через устьица и кутикулу.

В целом, использование сканирующей электронной микроскопии позволило детально изучить адсорбцию техногенных частиц на поверхности листьев деревьев березы. Значимая прямая корреляция между уровнем взвешенных частиц в атмосферном воздухе и концентрацией токсикантов в листьях деревьев свидетельствует о наличии высокой очищающей способности городских березовых лесов.

### **Список литературы**

1. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. – Hamburg: UNECE, ICP Forests Programme Coordinating Centre, 2010. – 208 p.

2. Cellular effects of PM<sub>2.5</sub> from Suzhou, China: relationship to chemical composition and endotoxin content / L. Xin, J. Wang, J. Sun, C. Zhang, X. Tong, J. Wan, J. Feng, H. Tian, Z. Zhang // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – No. 28. – P. 287–299.

3. Yang J., Chang Y., Yan P. Ranking the suitability of common urban tree species for controlling PM<sub>2.5</sub> pollution // Atmospheric Pollution Research. – 2015. – No. 6. – P. 267–277.

### **Об авторе**

**Шергина Ольга Владимировна** – канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории природных и антропогенных экосистем, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, e-mail: sherolga80@mail.ru

**Е.Г. Шилова, П.А. Мокин, В.А. Несчисляев**

## **РАЗРАБОТКА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА С АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ**

Представлены все этапы разработки комплексного препарата на основе бактериофагов и метабиотика. Описан состав препарата и его преимущество в сравнении с антибиотиками. Отмечена проблема совместимости компонентов, их влияние на совокупную биологическую активность и стабильность препарата в процессе хранения.

**Ключевые слова:** антибиотикорезистентность, бактериофаги, метабиотики, комплексный препарат.

**E.G. Shilova, P.A. Mokin, V.A. Neschislyayev**

## **DEVELOPMENT OF BIOTECHNOLOGICAL DRUG WITH ANTIBACTERIAL ACTIVITY**

All stages of the development of a complex drug based on bacteriophages and metabiotics are presented. The composition of the drug and its advantages in comparison with antibiotics are described. The problem of compatibility of the components, their effect on the total biological activity and stability of the drug during storage is noted.

**Keywords:** antibiotic resistance, bacteriophages, metabiotics, complex preparation.

Проблема антибиотикорезистентности актуализирует поиск новых подходов и средств борьбы с инфекционными заболеваниями для медицины и ветеринарии. В этой связи перспективны комплексные препараты на основе бактериофагов и метабиотиков, обладающие широким спектром бактериотропной активности. Сочетание специфического антибактериального и пробиотического действия является преимуществом таких лекарственных средств в сравнении с антибиотиками [1].

Сконструирован состав биофармацевтической композиции, включающий совокупность бактериофагов, применяемых при кишечных инфекциях, возбудителями которых являются бактерии

*Shigella flexneri* 1, 2, 3, 4, 6 сероваров, *Shigella sonnei*, *Salmonella paratyphi A*, *Salmonella paratyphi B*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella infantis*, *Salmonella choleraesuis*, *Salmonella oranienburg*, *Salmonella enteritidis*, энтеропатогенной *Escherichia coli* различных серогрупп, наиболее значимых в этиологии энтеральных заболеваний, *Proteus vulgaris*, *Proteus mirabilis*, *Enterococcus*, *Staphylococcus*, *Pseudomonas aeruginosa*, и экзометаболитов пробиотической культуры *Lactobacillus plantarum* 8P-A3 [2, 3]. Проведено изучение физической и биологической совместимости компонентов, что позволило определить их оптимальные количественные соотношения, адекватные параметры pH-диапазона и сохранение исходной специфической активности. Показано позитивное влияние компонентов на совокупную биологическую активность композиции и специфику сочетанного механизма действия.

Разработана технологическая схема производства, получены экспериментальные образцы лекарственных форм комплексного препарата, предложены и апробированы методы его контроля. При исследовании стабильности экспериментальных образцов в процессе хранения выявлено положительное влияние метабиотика на сохранение специфической активности бактериофагов. Состав комплексного препарата защищен патентом РФ на изобретение № 2 795 770(13) С2.

Таким образом, алгоритм разработки комплексного препарата «Интестим» на основе метабиотика и бактериофагов можно рекомендовать в качестве методической основы при создании аналогичных лекарственных средств с антибактериальной активностью.

### Список литературы

1. Стратегия предупреждения распространения антимикробной резистентности в Российской Федерации на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 марта 2019 г. № 604-р [Электронный ресурс] // Гарант. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72116668/> (дата обращения: 07.02.2025).

2. Бактериофаги как альтернативное средство антибактериальной терапии: анализ востребованности и потребительских предпочтений / И.В. Болгова, Е.В. Тормышова, Е.В. Михайлова, Т.А. Бредихина // Актуальные вопросы современной фармации: сб. тр. III межрегион. науч.-практ. конф., Воронеж, 05–06 июня 2024 г. – Воронеж, 2024. – С. 19–23.

3. Эффекты метабитиков / П.А. Лемзо, Ю.И. Лимонова, В.Т. Пампуха [и др.] // Инновационный потенциал развития науки в современном мире: технологии, инновации, достижения: сб. науч. ст. по материалам XVI Междунар. науч.-практ. конф., Уфа, 22 ноября 2024 г. – Уфа: Науч.-изд. центр «Вестник науки», 2024. – С. 29–33.

### **Об авторах**

**Шилова Екатерина Геннадьевна** – соиск. кафедры промышленной технологии лекарств с курсом биотехнологии, Пермская государственная фармацевтическая академия Минздрава России, e-mail: eket1981@mail.ru

**Мокин Павел Александрович** – канд. фарм. наук, главный технолог, ООО «НПК «Миламед», e-mail: pa\_mokin@milapharma.ru

**Несчисляев Валерий Александрович** – д-р мед. наук, профессор кафедры промышленной технологии лекарств с курсом биотехнологии, Пермская государственная фармацевтическая академия Минздрава России, e-mail: neschislayew@gmail.com.

Научное издание

# ХИМИЯ. ЭКОЛОГИЯ. УРБАНИСТИКА

*Материалы  
международной научно-практической конференции*

г. Пермь, 26–28 марта 2025 г.

В четырех томах

Том 1

---

Подписано в печать 21.05.2025. Формат 60×90/16.

Усл. печ. л. 15,5. Тираж 00 экз. Заказ 084

---

Издательство

Пермского национального исследовательского  
политехнического университета.

Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, к. 113.

Тел. (342) 219-80-33

Отпечатано в типографии Издательства Пермского национального  
исследовательского политехнического университета.

Адрес: 614990, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, к. 113.

Тел. (342) 219-80-33