СЕКЦИЯ 24

«ХИМИКО-БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ»

СОДЕРЖАНИЕ

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА СМЕШАННЫХ НАНООКСИДОВ СИСТЕМЫ Eu-La ГЛИЦИН-НИТРАТНЫМ МЕТОДОМ Аитова А.Ф., Юдин А.А. 4465

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ И ФАКТОРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛИМИКРОБНЫХ БИОПЛЕНОК Айрих Е. А., Алешина Е.С., канд. биол. наук, доцент, Дроздова Е.А., канд. биол. наук, доцент 4469

АНАЛИЗ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЕЩЕСТВ Ахмерова Д.В. 4474

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МЕХАНИЗМ ЭКСТРАКЦИИ ИОДА Бекенов А.Б., Пономарева П.А. 4481

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ УРАЛ МЕТОДАМИ БИОИНДИКАЦИИ Бельтикова В.А., Булгакова М.А., канд. биол. наук, доцент 4488

ПРИМЕНЕНИЕ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОСОБИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ 06.04.01 БИОЛОГИЯ ПРОФИЛЬ «БИОХИМИЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ» Бибарцева Е.В.,1 канд. мед. наук, Фомина М.В.,2 канд. мед. наук, доцент... 4491

СПЕЦИФИКА НАПИСАНИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ БИОИНЖЕНЕРИЯ И БИОИНФОРМАТИКА ПО ДИСЦИПЛИНЕ БИОХИМИЯ КРОВИ Бибарцева Е.В.,[1] канд. мед. наук, Фомина М.В.,[2] канд. мед. наук, доцент , Соколова О.В.,[2] канд. биол. наук, доцент 4494

ПЕРСПЕКТИВЫ И РИСКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ Галактионова Л.В., канд. биол. наук, доцент 4497

СОВРЕМЕННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ ХИМИКОВ И БИОЛОГОВ Горшенина Е. Л., канд. тех. наук, доцент, Пасрутдинова А.П., Красницкая У.М. 4501

ПРОФИЛАКТИКА НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ КАК ЭЛЕМЕНТ МЕДИЦИНСКОЙ КУЛЬТУРЫ СТУДЕНТОВ Гуць А.В. 4506

ФОРМИРОВАНИЕ И МОРФОЛОГИЯ БИОПЛЕНОК *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* В ПРИСУТСТВИИ ЦЕФТРИАКСОНА Давыдова О.К., канд. биол. наук, доцент, Никиян А.Н., канд. физ.-мат. наук, доцент, Ишемгулов А.Т., канд. физ.-мат. наук, Мороз М.Д., Абдрахманова В.А., Летута С.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор 4509

ПРЕИМУЩЕСТВА И ОСОБЕННОСТИ МИКРОБНЫХ БИОРЕМЕДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Дубинин Д.И., Дроздова Е.А. канд. биол. наук, доцент, Алешина Е.С. канд. биол. наук, доцент 4512

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ *BACILLUS SPP*. В КАЧЕСТВЕ БИОРЕМЕДИАТОРОВ (ОБЗОР) Жальских К. А., Здорова А. А., Сизенцов А. Н. канд. биол. наук, доцент 4517

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ В ОТНОШЕНИИ ПАТОГЕННЫХ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ (ОБЗОР) Здорова А.А., Жальских К.А., Сизенцов А.Н., канд. биол. наук, доцент..... 4521

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМУЛЬСИЙ ПОЛИМЕТИЛСИЛОКСАНОВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ Иванова Е.В., Пономарева П.А., Юдин А.А. 4526

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ И КОНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕТИЛСИЛОКСАНОВ МЕТОДОМ КАПИЛЛЯРНОЙ ВИСКОЗИМЕТРИИ Иванова Е.В., Пономарева П.А., Юдин А.А. 4529

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CHLORELLA VULGARIS В КАЧЕСТВЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ Киржаева О.И., Алешина Е.С., канд. биол. наук, доцент, Дроздова Е.А., канд. биол. наук, доцент 4534

ПРЕИМУЩЕСТВО МЕТОДА СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА Колисниченко Т.М., Колисниченко В.Н. 4539

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЧВ Г. ОРЕНБУРГА МЕТОДАМИ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ В СООТВЕТСТВИИ С ДЕЙСТВУЮЩИМИ СТАНДАРТАМИ Комарова Д.С., Верхошенцева Ю.П., канд. биол. наук 4542

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧАСТИЦ ОКСИДОВ САМАРИЯ И ГАДОЛИНИЯ МЕТОДОМ ПЕЧИНИ Крушенова А.С., Юдин А.А..... 4546

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОСТРАНСТВЕ УЧЕБНОГО ПЛАНА ХИМИКА-МАГИСТРАНТА Кудряшова А.А., Абубакирова Р.Р., Каныгина О.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор, Сальникова Е.В., д-р биол. наук, доцент 4549

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ПРЕПОДАВАНИИ ХИМИИ Кушнарева О.П. 4554

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ ОРЕНБУРГСКОГО РЕГИОНА НА ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ Кушнарева О.П. 4558

СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ СОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИНАХ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР Леонов В.С. 4562

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИМИТИРУЮЩЕЙ СТАДИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОДА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В СИСТЕМЕ ИОД–ВОДА–КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ Леонтьев И.С., Пономарева П.А. 4567

МЕХАНИЗМЫ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ *SALMONELLA* SPP. (ОБЗОР) Лопатина О.Ю., Сизенцов А.Н. канд. биол. наук, доцент 4571

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНТАГОНИСТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ *BACILLUS* SPP. В КАЧЕСТВЕ АНТИМИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ (ОБЗОР) Лопатина О.Ю., Сизенцов А.Н. канд. биол. наук, доцент 4577

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ Лукьянова А. В., Верхошенцева Ю. П., канд. биол. наук 4585

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ГРИБЫ-КСИЛОТРОФЫ АРХИВНЫХ КОЛЛЕКЦИЙ: ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ Маслова А. В., Алешина Е.С., канд. биол. наук, доцент 4590

ВОЗМОЖНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОДУКТОВ ОТЖИГА НЕФТЕШЛАМОВ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТОВ ШИРОКОГО СПЕКТРА ДЕЙСТВИЯ Мирзамахсутова Д.М., Осипова Е.А. канд. хим. наук 4596

РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ РОДА *BACILLUS* SPP. В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ (ОБЗОР) Морозова С.А. Пластамак А. П., Григорьева М. В., Сизенцов А. Н., канд. биол. наук, доцент 4600

«ЗЕЛЕНЫЙ» СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ЦИНКА (ОБЗОР) Назарикова А.И., Сизенцов А.Н., канд. биол. наук, доцент, Сальникова Е.В. д-р биол. наук, доцент 4605

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ФЛАВОНОИДОВ В РАСТЕНИЯХ *PORTULACA OLERACEA* И *THLASPI ARVENSE* Науменко О.А., канд. мед. наук, доцент, Смирнова С.С. 4612

«КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ БЕЛКАМИ И ЛИГАНДАМИ: ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПОДХОД В СОЗДАНИИ НОВЫХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ» Плотникова Ю.А., Барышева Е.С. д-р мед. наук, доцент 4615

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО МАРШРУТА: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВНЕУРОЧНОЙ РАБОТЫ Посягина Е.В. 4618

СТРАТЕГИИ ПРЕОДОЛЕНИЯ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ В БИОПЛЁНКАХ: КОМБИНИРОВАННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТОВ, ДЕЗИНФЕКТАНТОВ И КЛАССИЧЕСКИХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ЛИЗИСА УЛЬТРАСТРУКТУРЫ БИОПЛЁНОК Рогонов Д. Е., Алешина Е. С., канд. биол. наук, доцент, Дроздова Е. А., канд. биол. наук, доцент 4623

ТЕРМИНОЛОГИЯ ДИСЦИПЛИН «ИММУНОЛОГИЯ» И «ИММУНОХИМИЯ»: КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ Романенко Н.А., канд. биол. наук 4627

ТЕРМОДИНАМИКА ИОННОГО ОБМЕНА ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ НА ПРИМЕРЕ АНИОНИТОВ, СЕЛЕКТИВНЫХ К ИОДИД-ИОНУ Саблина В.А., Пономарева П.А. 4631

МОДЕЛЬ СЕДИМЕНТАЦИИ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ ПОЛИМИНЕРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ МОНТМОРИЛЛОНИТА Савинов В.В., Каныгина О.Н., д-р физ.-мат.наук, профессор 4635

МЕХАНИЗМЫ БИОТОКСИЧНОСТИ КАДМИЯ В ОТНОШЕНИИ МИКРООРГАНИЗМОВ (ОБЗОР) Сизенцов А.Н. канд. биол. наук, доцент, Григорьева М.В., Морозова С.А., Пластамак А.П. 4641

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ СЕРОВОДОРОДА Симонова А.В., Степанов А.Д., Сальникова Е.В. д-р биол. наук, канд. хим. наук, доцент 4646

АНАЛИТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА СЕРОВОДОРОДА В ВОДНЫХ СРЕДАХ Симонова А.В., Степанов А.Д., Юдин А.А. 4651

СОВРЕМЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СОРБЕНТЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИАКРИЛАТОВ Симонова А.В., Степанов А.Д., Юдин А.А., Баязитов А.А. 4657

СРАВНЕНИЕ СОРБЦИИ ИОНОВ СВИНЦА НА ГЛИНАХ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ Тарабыкина А.А., Осипова Е.А. канд. хим. наук 4661

ДЕЛОВЯ ИГРА КАК СРЕДСТВО ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ» В ВУЗЕ Ткачева Т.А., канд. хим. наук . 4664

АТЛАС И ОНЛАЙН-ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ РАСТЕНИЙ И ЛИШАЙНИКОВ ПЛАНТАРИУМ КАК ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС Трофимова С.А., канд. биол. наук, доцент 4667

ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРЩЕНИЙ БЕНТОНИТА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ Тухватуллина Г.Х., Каныгина О.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор, Поспелова Е.С., Юдин А.А. 4671

ВИДОСПЕЦИФИЧНЫЕ РЕАКЦИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ЗАЩИТНОЙ ЛЕСОПОЛОСЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ Федосеева В. Р., Хардикова С. В., канд. биол. наук 4678

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОДА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В СИСТЕМАХ ИОД-ВОДА-КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ Шляхов А.А., Пономарева П.А. 4682

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ДЕКОРАТИВНО-ЗАЩИТНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ СЕЛИТЕБНОЙ ЗОНЫ Щебланова М.А., канд. биол. наук, Маркова П.В. 4686

ПРОТОЧНО-ИНЖЕКЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ЦЕРИЯ (III) С ПИРОГАЛЛОВЫМ КРАСНЫМ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ Щенникова А.В., Юдин А.А. 4689

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДОСТУПНОГО ИОДА В ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ ТОРГОВЫХ СЕТЕЙ ГОРОДА ОРЕНБУРГА Юдин А. А., Гавриленко С. Н., Руднева Д. И. 4693

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА СМЕШАННЫХ НАНООКСИДОВ СИСТЕМЫ Eu-La ГЛИЦИН-НИТРАТНЫМ МЕТОДОМ

Аитова А.Ф., Юдин А.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Оксиды редкоземельных металлов (РЗМ) в наноразмерном состоянии обладают оптическими, каталитическими и магнитными свойствами, что обусловлено большой удельной поверхностью. Выбор системы Eu–La обусловлен перспективами её применения в качестве люминесцентных материалов [4] и катализаторов [3].

Одним из эффективных методов их синтеза является глицин-нитратный метод [1], который основан на экзотермической реакции горения между нитратами металлов, выступающими в роли окислителя, и глицином, выполняющим функции горючего. Этот метод отличается простотой и позволяет получать наноразмерные порошки с заданными характеристиками.

Синтез проводился по методике, описанной в работе [1], из растворов нитратов европия и лантана с добавлением глицина в качестве горючего [5]. После выпаривания и предварительного высушивания полученные гели подвергались термическому разложению с образованием оксидного порошка. Ключевым этапом синтеза является подбор соотношений между органическим горючим (глицином) и ионами металлов, что напрямую влияет на полноту протекания реакции горения, а следовательно, на размер частиц и выход продукта.

Целью данной работы являлось определение оптимальных значений массы глицина и содержания Eu_2O_3 в смеси, обеспечивающих максимальный выход наночастиц смешанных оксидов Eu–La. Выбор системы Eu–La обусловлен перспективами её применения в качестве люминесцентных материалов [4] и катализаторов [3].

Для систематизации исследования был применен метод планирования эксперимента по сокращенной схеме, варьирующими факторами выбраны масса глицина (в граммах) и процентное содержание Eu_2O_3 в смеси оксидов (от La_2O_3). В таблице 1 представлены условия и результаты 13 проведенных опытов.

Таблица 1 – Экспериментальные данные синтеза нанооксидов Eu–La

Номер опыта	Глицин, г	Eu_2O_3, г	La_2O_3, г	Eu_2O_3, %	La_2O_3, %	выход, г	Выход, %
1	0,2250 (по уравнению реакции)	0,6	1,4	30	70	0,0998	49,9

2	0,2700 (20 % избыток)	0,6	1,4	30	70	0,0884	44,2
3	0,2250 (по уравнению реакции)	1,4	0,6	70	30	0,086	43
4	0,2700 (20 % избыток)	1,4	0,6	70	30	0,0586	29,3
5	0,2025 (10 % недостаток)	1,0	1,0	50	50	0,0959	47,95
6	0,2925 (30 % избыток)	1,0	1,0	50	50	0,1177	58,85
7	0,2475 (10 % избыток)	0,2	1,8	10	90	0,0764	38,2
8	0,2475 (10 % избыток)	1,8	0,2	90	10	0,1334	66,7
9	0,2475 (10 % избыток)	1,0	1,0	50	50	0,1324	66,2
10	0,2475 (10 % избыток)	1,0	1,0	50	50	0,1324	66,2
11	0,2475 (10 % избыток)	1,0	1,0	50	50	0,1134	66,2
12	0,2475 (10 % избыток)	1,0	1,0	50	50	0,1134	66,2
13	0,2475 (10 % избыток)	1,0	1,0	50	50	0,1134	66,2

Для математической обработки данных была применена квадратичная регрессионная модель вида:

$$Y=A+B\cdot G+C\cdot Eu+D\cdot G^2+E\cdot Eu^2+F\cdot(G\cdot Eu), \quad (1)$$

где Y – выход наночастиц, %;

G – масса глицина (отн. ед.);

Eu – содержание Eu_2O_3, %.

Регрессионный анализ проводился в программе Microsoft Excel с использованием инструмента «Анализ данных → Регрессия» [2].

Результаты регрессионного анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты квадратичной регрессионной модели

	Коэффициенты	P-Значение
Y-пересечение	-0,913019145	0,315144
Глицин	7,406551724	0,267791
Eu	0,219381106	0,606221
Глицин^2	-14,02894849	0,279605
Eu^2	-0,04735722	0,251402
Глицин*Eu	-0,444444444	0,790704

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,29$. Это говорит о том, что предложенная модель объясняет лишь около 29 % общей изменчивости

экспериментальных данных. Все коэффициенты статистически незначимы (P> 0,05). Низкое значение R^2 и отсутствие статистической значимости коэффициентов свидетельствует о том, что зависимость выхода от исследованных факторов имеет сложный нелинейный характер, либо на процесс влияют неучтённые факторы. Следовательно, для математического описания процесса требуется рассмотреть другие типы моделей, включая более сложные зависимости, или включить в модель дополнительные параметры, такие как температура синтеза и скорость нагрева, которые могут оказывать существенное влияние на процесс горения и формирование наночастиц. В связи с этим оптимальные условия синтеза были определены эмпирически по максимальным значениям выхода.

На основе экспериментальных данных (таблицы 1) были определены оптимальные условия синтеза смешанных нанооксидов Eu–La:

1) максимальный выход наночастиц (66,7 %) был достигнут в опыте №8 при содержании Eu_2O_3 90 % и массе глицина 0,2475 г.

2) Альтернативная область с высоким и воспроизводимым выходом (~66,2 %) наблюдается при равном содержании оксидов (Eu_2O_3 = 50%, La_2O_3 = 50 %) и массе глицина 0,2475 г (10 % избыток), что подтверждается опытами № 9-13. Однако при избытке глицина массой 0,2925 г (30 % избыток) в этой точке выход падает до 58,85 % (опыт №6), что подчеркивает важность оптимального соотношения горючее/окислитель.

3) Наименьшие выходы зафиксированы в области высокого (70 %) и низкого (10 %) содержания Eu_2O_3 (выход 29,3–49,9 %), что указывает на существенное влияние состава на эффективность процесса горения.

В результате проведённой работы по оптимизации синтеза смешанных нанооксидов системы Eu–La глицин-нитратным методом была выявлена неэффективность применения квадратичной регрессионной модели для описания зависимости выхода продукта от массовой доли глицина и содержания оксида европия.

Определение оптимальных условий синтеза было выполнено на основе прямого анализа экспериментальных данных. Установлено, что максимальный выход наночастиц на уровне 67 % обеспечивается при содержании Eu_2O_3 90 % и массе глицина 0,2475 г. Альтернативным составом с сопоставимо высоким и воспроизводимым выходом около 66 % является система с равным соотношением оксидов европия и лантана (50 % Eu_2O_3 / 50 % La_2O_3) при той же оптимальной массе глицина. Резкое снижение выхода при других комбинациях факторов, особенно при 70% и 10% Eu_2O_3, подтверждает высокую чувствительность процесса горения к соотношению реакционной смеси.

Проведённое исследование подтверждает, что для многофакторных процессов, эмпирический подход на начальном этапе может давать более надежные практические результаты, чем попытка описания упрощенной регрессионной зависимостью.

Список литературы

1. Аитова А. Ф. Получение наночастиц редкоземельных металлов / А. Ф. Аитова, А. С. Крушенова, А. А. Юдин // Химико-биологическое образование: современные тенденции и технологии в подготовке кадров – 2025. – С. 80-86

2. Кеткина О. С. Возможности MS Excel для регрессионного анализа / О. С. Кеткина // Екатеринбург: Уральский федеральный университет первого Президента России Б.Н. Ельцина. – 2020. – С. 14-20.

3. Кузнецов И. В. Технология получения нанесенного катализатора на основе алюмосиликатной матрицы, модифицированной оксидом европия / И. В. Кузнецов, Д. С. Сугатов, В. И. Грызлова // Вестник ВГУИТ – 2022. – № 1. – С. 209-212.

4. Павлович, Е. В. Наночастицы оксида европия как люминесцентные метки клеточных культур / Павлович Е. В. // Биотехнология. – 2014. – № 1. – С. 117-122.

5. «Уральский государственный университет им. А.М. Горького» Методы получения наноразмерных материалов: Курс лекций / Уральский государственный университет им. А.М. Горького – Екатеринбург: Химия, 2007. – 34 с. – 62 с.

ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ И ФАКТОРЫ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛИМИКРОБНЫХ БИОПЛЕНОК

Айрих Е. А., Алешина Е.С., канд. биол. наук, доцент,
Дроздова Е.А., канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В природе большинство микроорганизмов редко существуют в планктонных формах – гораздо чаще они формируют консорциумы, известные как биопленки.

Это высокоорганизованные структуры, прикрепляющиеся к поверхностям и обеспечивающие выживание микроорганизмов в неблагоприятных условиях среды. В их состав могут входить как представители одного вида, формирующие монокультурные биоплёнки, так и разных, образующие полимикробные биоплёнки. Последние преобладают в естественных условиях, а потому представляют наибольший интерес для изучения [1]. Понимание того, как формируются и стабилизируются такие сообщества, важно как с точки зрения экологии микроорганизмов, так и медицины.

Формирование биопленок является многоэтапным процессом и включает в себя несколько основных стадий: первичное прикрепление микроорганизмов, фиксацию, созревание, рост за счет слияния отдельных колоний и дисперсию [2]. Процессы сопровождаются активацией систем межклеточной коммуникации, позволяющих координировать поведение отдельных особей в составе биопленки.

Устойчивость полимикробных биопленок обеспечивается совокупностью физико-химических и биологических механизмов, формирующихся по мере их созревания. Одним из ключевых факторов является пространственная гетерогенность. Внутри зрелого сообщества формируются градиенты кислорода, pH и концентраций питательных веществ, что приводит к метаболической дифференциации микроорганизмов. Клетки, локализованные в поверхностных слоях, как правило, обладают более высокой метаболической активностью, тогда как микроорганизмы внутренних слоёв находятся в состоянии пониженного метаболизма, что повышает их толерантность к неблагоприятным воздействиям, включая антимикробные агенты и колебания условий среды.

Внеклеточный матрикс биоплёнки выполняет не только структурную, но и защитную функцию. Полисахаридные компоненты ограничивают диффузию потенциально токсичных веществ, создавая барьер, замедляющий их проникновение к клеткам. Кроме того, он способствует удержанию воды и питательных соединений, формируя локальную микросреду [3].

Существенную роль в устойчивости играет функциональная избыточность полимикробных сообществ. Наличие нескольких видов, способных выполнять сходные метаболические функции, обеспечивает сохранение активности биоплёнки при изменении численности отдельных популяций. Такая организация повышает адаптивный потенциал системы и позволяет поддерживать её целостность при воздействии стрессовых факторов.

Важнейшим биологическим механизмом координации является чувство кворума. Эта форма межклеточной коммуникации, опосредованная сигнальными молекулами (аутоиндукторами), позволяет микроорганизмам в составе биоплёнки совместно регулировать экспрессию генов в ответ на плотность популяции. Данная система управляет ключевыми процессами, такими как синтез компонентов внеклеточного матрикса, продукция факторов вирулентности, переход к стадии дисперсии и формирование персистирующих клеток [4].

Поддержание стабильности невозможно без сложной сети межвидовых взаимодействий, которые определяют динамическое равновесие внутри сообщества. Одним из наиболее распространённых типов кооперации является перекрестное питание, при котором продукты метаболизма одних микроорганизмов используются другими участниками консорциума в качестве источников энергии или субстратов для роста. Подобные взаимодействия способствуют снижению накопления токсичных метаболитов и повышают общую эффективность использования доступных ресурсов.

Важную роль играют и процессы коагрегации, обеспечивающие пространственную организацию биоплёнки. Так, показано, что коагрегация *Fusobacterium nucleatum* и *Streptococcus gordonii* в поддесневых биоплёнках приводит к изменению адгезивных и инвазивных свойств бактерий по сравнению с монокультурами. В частности, коагрегация снижает адгезию и инвазию *F. nucleatum* в эпителиальные клетки десны человека, одновременно усиливая адгезию *S. gordonii*, что свидетельствует о функциональной перераспределённости ролей внутри консорциума [5].

Наряду с кооперацией в полимикробных сообществах присутствует и конкуренцию за питательные вещества и пространство, а также выработка антимикробных соединений. Эти процессы выполняют регуляторную функцию, ограничивая чрезмерный рост отдельных видов и предотвращая доминирование одной популяции. Баланс между кооперативными и конкурентными взаимодействиями обеспечивает поддержание функциональной целостности биоплёнки [3].

Подобные сообщества широко распространены в различных биологических системах. В частности, в человеческом организме они формируются на поверхности кожи, участках слизистых оболочек, в желудочно-кишечном тракте, мочевыводящих путях, а также в ротовой полости.

Полимикробные биоплёнки ротовой полости играют ключевую роль в поддержании микробного гомеостаза и формировании барьерных свойств слизистых. Нарушение их структуры влечет за собой развитие кариеса,

гингивита и других воспалительных процессов [6]. В то же время в последние годы наблюдается рост потребления некалорийных сахарозаменителей, влияние которых на состав и устойчивость таких сообществ остается недостаточно изученным. Исследование данного вопроса важно для понимания механизмов регуляции микробных консорциумов и разработки профилактического подхода к сохранению здоровья полости рта.

Оральный микробиом в целом можно рассматривать как своеобразную экосистему, где большое разнообразие микроорганизмов специализировано под определенные экологические ниши, каждая из которых обладает своими физико-химическими характеристиками, определяющими состав и структуру сообщества. Так, на поверхности зубов, где преобладают аэробные условия и богатая углеводами среда, доминируют представители рода *Streptococcus*. Поддесневое пространство, напротив, характеризуется низким содержанием кислорода и высоким уровнем белковых субстратов, что является благоприятной средой для анаэробных протеолитических бактерий, таких, например, как *Fusobacterium spp.* Существуют и другие ниши, такие как поверхность языка, слизистые оболочки и слюна. Последняя содержит планктонные формы микроорганизмов и обеспечивает их циркуляцию между зонами [7].

В случае биоплёнок в ротовой полости существенное влияние на их стабильность оказывают особенности диеты. В частности, использование некалорийных сахарозаменителей может рассматриваться как специфический экологический фактор, поскольку они могут существенно влиять на микробные сообщества в этой части организма.

Для иллюстрации этих эффектов подходящей является наиболее изученная группа веществ – полиолы, или сахароспирты. Это многоатомные спирты, используемые в пищевой промышленности с целью придания сладости продуктам без добавления сахара. Основными их представителями являются сорбитол, ксилитол, эритритол, мальтитол, изомальтит.

В контексте полимикробных биопленок сахароспирты представляют интерес благодаря их способности модулировать процессы, связанные с формированием и стабильностью консорциумов. Эти соединения неэффективно метаболизируются основными кариесогенными бактериями, в частности *Streptococcus mutans*, вследствие чего снижается продукция органических кислот. Тем самым уменьшается риск деминерализации эмали, из-за которой зубы становятся хрупкими и больше подверженными развитию кариеса [8].

Ксилитол, кроме того, способен оказывать прямое ингибирующее воздействие на метаболизм *S. mutans* за счёт так называемого «бесполезного цикла». После транспорта в бактериальную клетку через систему фосфотрансферазы ксилитол фосфорилируется до ксилитол-5-фосфата, который не может быть далее метаболизирован. Для его удаления клетка вынуждена затрачивать энергию, что приводит к энергетическому стрессу,

снижению скорости роста, уменьшению кислотообразования и ослаблению адгезивных свойств бактерий [9].

Другой представитель группы – эритритол, способен снижать массу и протеазную активность мультивидовых биоплёнок. А также способствовать смещению их состава в сторону ранних колонизаторов, что важно для формирования здоровой экосистемы [10].

Однако, влияние ксилитола и эритритола на полимикробные биоплёнки носит выраженно контекст-зависимый характер. В ряде исследований показано, что при постоянном присутствии сахарозы в культуральной среде и на стадии зрелых биоплёнок (96 часов) полиолы оказывают лишь незначительное влияние на биомассу, количество жизнеспособных клеток и общее содержание белка и ДНК во внеклеточном матриксе. Это объясняется предпочтительным метаболизмом глюкозы и фруктозы по сравнению с сахарными спиртами. В то же время даже при отсутствии выраженного антибактериального эффекта ксилитол и эритритол способствовали снижению содержания внеклеточных углеводов в матриксе биоплёнки примерно на 30 %, что имеет клиническое значение, поскольку этот параметр напрямую связан с вирулентностью и устойчивостью сообщества [11].

Следует отметить, что большинство данных о влиянии сахароспиртов на формирование и устойчивость полимикробных биоплёнок получено в условиях *in vitro* с использованием модельных систем. В реальных клинических условиях эффекты данных соединений могут модифицироваться под влиянием факторов хозяина, что ограничивает прямую экстраполяцию экспериментальных результатов.

Полимикробные биопленки функционируют как высокоорганизованные и адаптивные микробные экосистемы, чья устойчивость является следствием сложного динамического равновесия. Эта стабильность обеспечивается синергией внутренних факторов – архитектуры внеклеточного матрикса, чувства кворума и сети метаболических взаимодействий между видами, – которая постоянно модулируется под влиянием внешних условий среды.

На примере орального микробиома продемонстрировано, что целенаправленные воздействия, в частности диетические компоненты (сахароспирты), способны избирательно влиять на состав и функциональную активность сообщества, изменяя видовой состав. Такой подход открывает перспективы **для** экологически направленной терапии, целью которой является не стерилизация, а коррекция микробиома для восстановления его защитных функций. Ключевыми векторами её развития могут стать поиск новых селективных модуляторов биоплёнок на основе диеты и переход к персонализированным стратегиям управления микробиомом.

Список литературы

1 Шварц, Т. А. Биопленки как микробное сообщество / Т. А. Шварц // Вестник Курганского государственного университета. – 2015. – №1. – С. 41-44.

2 Андрюков, Б. Г. Механизмы адгезивно-коадгезивного взаимодействия бактерий при формировании биопленки / Б. Г. Андрюков [и др.] // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. – 2020. – Т. 38, № 4. – С. 155-161. – DOI: 10.17116/molgen202038041155.

3 Liu, H. Y. Mechanisms of antimicrobial resistance in biofilms / H. Y. Liu, E. L. Prentice, M. A. Webber // NPJ Antimicrobials and Resistance. – 2024. – Vol. 2. – № 27. – DOI: 10.1038/s44259-024-00046-3.

4 Mukherjee, S. Bacterial quorum sensing in complex and dynamically changing environments / S. Mukherjee, B. L. Bassler // Nature Reviews Microbiology. – 2019. – Vol. 17, N 6. – P. 371-382. – DOI: 10.1038/s41579-019-0186-5.

5 Yang, R. The regulatory effect of coaggregation between Fusobacterium nucleatum and Streptococcus gordonii on the synergistic virulence to human gingival epithelial cells / R. Yang [et al.] // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. – 2022. – Vol. 12. – № 879423. – DOI: 10.3389/fcimb.2022.879423.

6 Гурина, А. В. Роль нарушений микробиоценоза полости рта в формировании соматической и стоматологической патологии / А. В. Гурина [и др.] // Проблемы стоматологии. – 2022. – Т. 18, № 2. – С. 15-22. – DOI: 10.18481 / 2077-7566-2022-18-2-15-22.

7 Mark Welch, J. L. Oral microbiome geography: micron-scale habitat and niche / J. L. Mark Welch, S. T. Ramirez-Puebla, G. G. Borisy // Cell Host & Microbe. – 2020. – Vol. 28, N 2. – P. 160-168. – DOI: 10.1016/j.chom.2020.07.009.

8 Koljalg, S. Exploration of singular and synergistic effect of xylitol and erythritol on causative agents of dental caries / S. Koljalg [et al.] // Scientific Reports. – 2020. – Vol. 10. – № 6297. – DOI: 10.1038/s41598-020-63153-x.

9 Puzio, J. Xylitol, erythritol as sucrose replacements: their effect on oral health - narrative review / J. Puzio [et al.] // Journal of Education, Health and Sport. – 2025. – Vol. 86. – № 66939. – eISSN 2391-8306.

10 Janus, M.M. Effect of erythritol on microbial ecology of in vitro gingivitis biofilms / M. M. Janus [et al.] // Journal of Oral Microbiology. – 2017. – Vol. 9. – № 1337477. – DOI: 10.1080/20002297.2017.1337477.

11 Zen, I. Evaluation of Solutions Containing Fluoride, Sodium Trimetaphosphate, Xylitol, and Erythritol, Alone or in Different Associations, on Dual-Species Biofilms / I. Zen [et al.] // International Journal Molecular Sciences. – 2023. – Vol. 24, N 16. – № 12910. – DOI: 10.3390/ijms241612910.

АНАЛИЗ ЦВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЕЩЕСТВ

Ахмерова Д.В.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Изучение колориметрических параметров изображений позволяет определять визуальные цветовые различия между образцами через составляющие аддитивной цветовой модели RGB (R – red (красный), G – green (зеленый), B – blue (голубой)). RGB – система позволяет точно идентифицировать цвет по значениям цветовых координат и определить количество каждой составляющей колориметрической системы в составе рассматриваемого цвета. Сумма трех основных цветовых составляющих при максимальной насыщенности дает белый цвет и принята за единицу. [1]

Цель исследования – отследить влияние различий в цветопередаче на интерпретацию наблюдаемых объектов.

На первом этапе работы были отобраны объекты исследования: образцы бурого угля и диоксида титана. Объекты были сняты на двух разных портативных световых микроскопах и при разном освещении. Изображения были получены при одном и том же увеличении, что обеспечило единый масштаб для последующего сравнительного анализа.

Марки двух микроскопов.

1. User Manusl USB (далее M1) ($\lambda \approx 300$нм)

2. Bresser JUNIOR USB (далее M2) ($\lambda \approx 500$нм)

Характеристики источников освещения

В работе использовались светодиодные (LED) осветители двух типов, принцип действия и спектральный состав которых фундаментально различаются.

1. Белые светодиоды (основное освещение в микроскопах).

В светодиодах с преобразованием длины волны в качестве основы используется полупроводниковый кристалл структуры InGaN, излучающий на длине волны $\approx 460 - 470$ нм (синий цвет), и нанесенный сверху на поверхность кристалла люминофор на основе YAG (иттрий – гадолиниевых гранатов, активизированный Ce^{+3}). Комбинация двух дополнительных цветов, в частности синего и желтого, создает суммарное белое излучение, имеющее максимум в желтой части спектра, который состоит из синего пика и широкой полосы в зелено – желтой области. [2]

2. Монохроматические оранжевые светодиоды.

Для изготовления светодиодов используют нетипичные полупроводниковые соединения, например арсенид галлия (GaAs), фосфид галлия (GaP), арсенид – фосфид галлия (GaAsP). Эти материалы смешиваются в различных пропорциях для получения цвета с различной длиной волны. За счет

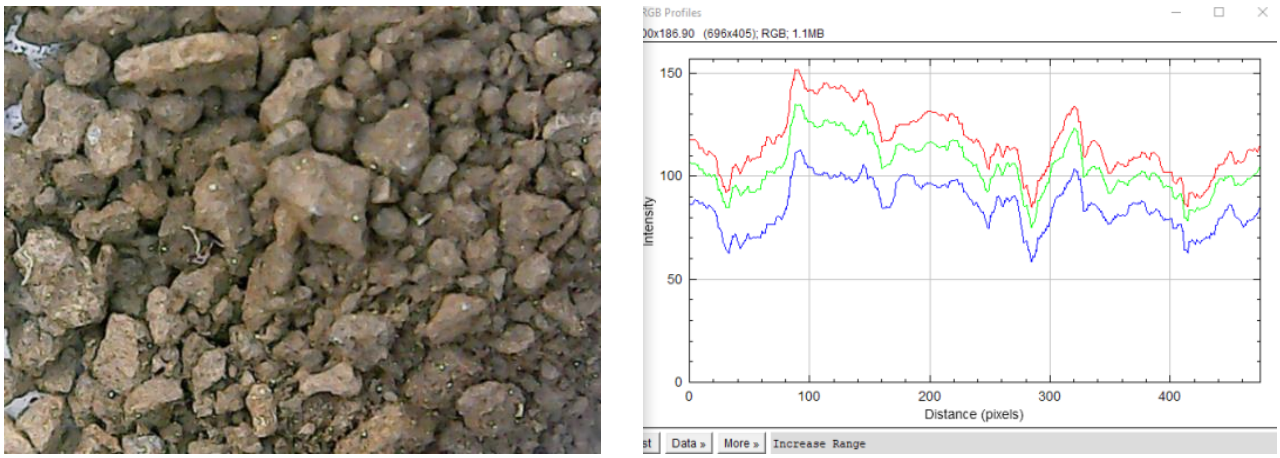
малого тока базы в диоде генерируется квазимонохроматическое (в определенном диапазоне волн (≈ 590 – 610 нм)) излучение. Пик острый в красно–оранжевой области.

Были получены изображения бурого угля при помощи М1 и М2 и графики RGB – профилей (рисунки 1, 2), а также посчитаны интегральные коэффициенты отражения (КО) по формуле 1[3]:

$$(R+B+G)/3, \quad (1)$$

где R (Red) – интенсивность отражённого света в красной части;
G (Green) – интенсивность отражённого света в зеленой части;
B (Blue) – интенсивность отражённого света в синей части.

На изображении, полученном с помощью М1, наблюдается переэкспозиция или пересвет (захват слишком большого количества света во время съёмки, в результате чего изображение получается чрезмерно ярким, засвеченным и иногда размытым). Цвет светло – коричневый, частицы выглядят гладкими и крупными, детализация затруднена (рисунок 1(а)).

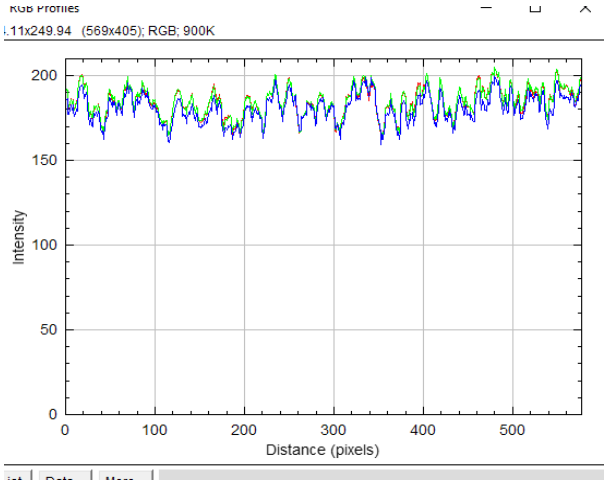


а б

Рисунок 1 – Изображение бурого угля на М1 (а); график значений R, G, B (б)

На графике RGB–профиля для М1 кривые красного (Red) и зеленого (Green) каналов имеют более высокую интенсивность по сравнению с синим (Blue) каналом. Это подтверждает теплый, коричневый оттенок изображения (рисунок 1(б)) [5].

На изображении, полученном с помощью М2, наблюдается «холодный» светлый оттенок. Картинка сильно засветлена при сером цвете, видны еле заметные цветные ореолы вокруг отдельных частичек в основном по краям изображения (рисунок 2(а)).



а б

Рисунок 2 – Изображение бурого угля на М2 (а); график значений R, G, B (б)

На графике RGB–профиля для М2 все три кривые (Red, Green, Blue) расположены очень близко друг к другу по оси интенсивности, что является характерным признаком нейтрального серого цвета. При этом кривая синего канала часто находится на одном уровне или даже немного выше красного и зеленого каналов, что объясняет легкий голубоватый оттенок (рисунок 2(б)).

Значения цветометрических параметров для бурого угля приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения цветометрических параметров бурого угля

Микроскоп	R	G	B	КО
М1	0,46	0,41	0,34	0,40
М2	0,72	0,72	0,71	0,72
М2-М1	0,27	0,31	0,37	0,32

Анализ показал, что М2 демонстрирует более высокие значения во всех каналах (среднее 0,72), чем М1 (среднее 0,40). Его встроенная система освещения оснащена более тонким слоем люминофора.

Объектив М1 преломляет синий свет от кристалла сильнее, желтый свет от люминофора – слабее. В итоге мы получаем расслоение. По краям каждого засветленного участка всегда будет синяя или желтая кайма, это и дает цветные контуры на крупинках угля (оптические аберрации). На изображениях, полученных при помощи М1 (теплый, красноватый ($\lambda \approx 550$нм)), наблюдается заметный разброс (R 0,46 значительно выше B 0,34). Это означает, что изображение с М1 будет иметь выраженный «теплый» желто – красный оттенок. Люминофоры диодов в М1 составляют более толстый слой или имеют «теплый» спектр, преобразующий большую часть синего спектра.

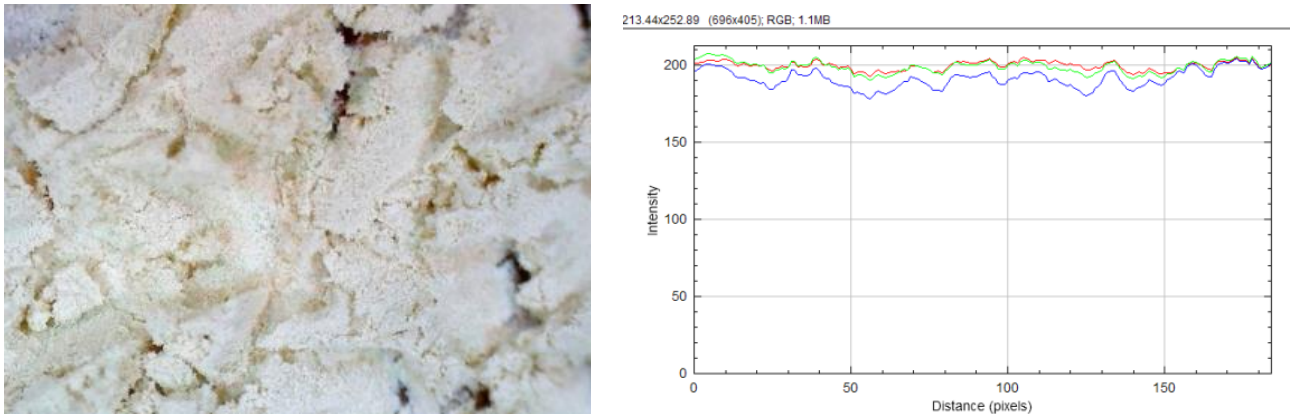
Самая большая разница наблюдается в синем канале (Δ B = 0,37), что объясняет более «естественную» цветопередачу M1 по сравнению с M2.

Общая разница в интенсивности (Δ ≈ 0,32) говорит о том, что эти микроскопы разного класса или с принципиально разными настройками экспозиции.

Сравнительный анализ изображений одного препарата, полученных на двух разных световых микроскопах, показывает большие различия в цветопередаче, общей яркости и морфологии частиц. M1 обеспечивает изображение с естественными «теплыми» тонами, в то время как M2 формирует яркое, но серое изображение с хроматическими аберрациями. Эти различия обусловлены типами источника света, настройками баланса белого и экспозицией камеры, а также оптическими характеристиками самих микроскопов. [6]

Были получены изображения диоксида титана при помощи M2 при разном освещении и графики RGB – профилей. (рисунки 3, 4), а также посчитаны интегральные коэффициенты отражения (КО).

Оранжевый свет: на микрофотографии изображение выглядит теплым, светло-оранжевым. Частицы рассеивают в основном оранжевые длины волн. Освещение искажает натуральный белый или кремовый цвет диоксида титана. Изображение не является репрезентативным для оценки оптических свойств (рисунок 3 (а)).

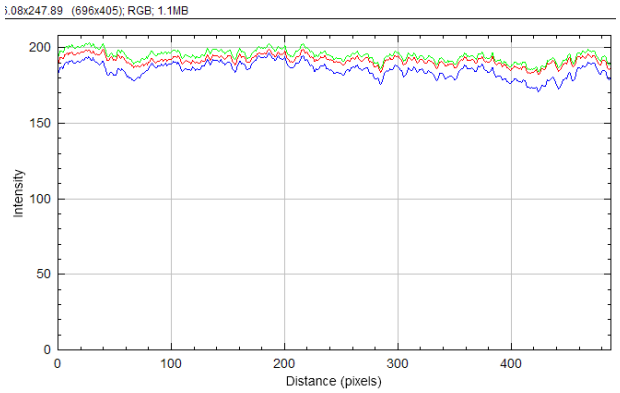


а б

Рисунок 3 – Изображение диоксида титана на M2 при оранжевом освещении (а); график значений R, G, B (б)

На графике RGB-профиля все три цветовых канала (красный, зеленый, синий) имеют очень высокую интенсивность (выше 0,78). Красный и зеленый каналы идут вровень, синий канал чуть ниже. Такая комбинация свидетельствует об очень яркой, практически белой области с небольшим, едва уловимым желтоватым или бежевым оттенком. Профиль довольно гладкий, что указывает на высокую однородность цвета без значительных перепадов (рисунок 3 (б)).

Белый свет: на микрофотографии видны частицы белого или очень светлого бежевого цвета. Общая цветовая гамма изображения гораздо нейтральнее и «холоднее». Материал состоит из мельчайших, неправильной формы частиц, образующих скопления. Поверхность кажется шероховатой и мелкозернистой (рисунок 4 (а)).



а б

Рисунок 4 – Изображение диоксида титана на М2 при белом освещении (а); график значений R, G, B (б)

На графике RGB–профиля интенсивности всех каналов высоки и находятся в диапазоне 0,66 – 0,80, что указывает на светлую, близкую к белой анализируемую область. Красный и зеленый каналы снова очень близки друг к другу, на изображении заметен легкий теплый оттенок, это объясняется тем, что синий канал стабильно ниже. Однако, в отличие от первого профиля, здесь более выраженные волнообразные колебания интенсивности всех каналов. Эти колебания указывают на наличие заметной текстуры, неоднородности или градиентов цвета в проанализированном участке (рисунок 4 (б)).

Значения цветометрических параметров для диоксида титана приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения цветометрических параметров диоксида титана при белом и оранжевом свете

освещение	R	G	B	КО
белый свет (Б)	0,85	0,84	0,82	0,84
оранжевый (ОР)	0,79	0,78	0,74	0,77
ОР - Б	-0,06	-0,06	-0,08	-0,07

Белый свет обеспечивает максимальную яркость изображения со средним значением 0,84. В таком освещении значительную роль играет большой коэффициент преломления диоксида титана. Разница между красным (0,85) и синим (0,82) каналами минимальна. Изображение выглядит белым, но один из цветов (синий) всегда будет «не в фокусе» из-за того, что синее и желтое

рассеивание происходят под разными углами и фокусируются линзой в разных местах. Синий свет рассеивается на мелких частицах гораздо сильнее. Он создает вокруг каждой крупинки «световой туман» (ореол). Желтый проходит сквозь пыль чуть глубже, отражаясь от внутренних слоев. Линза физически не может сфокусировать синий и желтый одновременно. Синие лучи фокусируются ближе к линзе, желтые – дальше. Если мы настроим фокус по желтому свету, то синий свет в этот момент уже расфокусирован. Вместо четкой синей точки на матрицу будет падать синее пятно. Диоксид возвращает почти 100% падающего света, из-за этого матрица камеры впадет в пересвет. Микрорельеф исчезнет. На графике мы увидим неестественно высокий уровень синего канала (B) из-за «синего пика» диода. Белый объект на снимке может приобрести холодный, голубоватый оттенок. Камере портативного микроскопа будет сложно «свести» эти пики в чистый белый цвет.[7]

Оранжевый свет дает чуть менее интенсивную картинку – среднее значение составляет 0,77. Несмотря на смену спектра освещения, яркость остается высокой (выше 0,43), что говорит о мощной подсветке микроскопа и высокой отражающей способности самого порошка. Оранжевый свет имеет длинную волну (~600 нм). При этом режиме красный канал (0,79) больше синего (0,74). Это создает легкий бежевый оттенок, который мы наблюдали на первой микрофотографии. Когда монохроматический свет попадает на грань частицы, он преломляется под одним конкретным углом. Теневые участки (трещинки между крупинками) остаются черными, что дает объем**.** Монохроматический свет позволяет изучить морфологию (форму) порошка. Мы видим реальный размер частиц без оптических иллюзий. Линейная зависимость ($\Delta \approx 0{,}06$) свидетельствует о том, что оранжевое освещение в данном микроскопе, просто снижает общую экспозицию кадра без резких искажений одного конкретного цвета.

Сравнительный анализ изображений демонстрирует, что разница в цвете диоксида титана на этих изображениях полностью обусловлена разным освещением. Этот пример еще сильнее подчеркивает критическую важность учета условий освещения при анализе цвета.

Для проведения любого объективного и достоверного сравнительного анализа цветовых характеристик образцов, особенно в микроскопии, необходимо соблюдать строго идентичные и стандартизированные условия съемки. Это включает в себя не только использование источника освещения с одинаковым спектральным составом, но и приведенные к одному виду настройки самого микроскопа и камеры. Только при таком подходе можно избежать искажений и неверной интерпретации наблюдаемых цветов, что обеспечивает научную достоверность и сопоставимость результатов исследования. Отсутствие стандартизации условий съемки неизбежно приведет к ошибочным выводам о различиях в составе, структуре или свойствах исследуемых органических и неорганических материалов

Благодарности: Автор благодарит профессора кафедры химии, доктора физико-математических наук Каныгину Ольгу Николаевну за внесение

существенного вклада в планирование научной работы и интерпретацию результатов, а также за критический пересмотр текста и включение ценного интеллектуального содержания.

Список литературы

1. Краснящих, А. В. Обработка оптических изображений / А. В. Краснящих. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2012. – 131 с.

2. Хисамиева, Л. Г. Световая микроскопия материалов / Л. Г. Хисамиева, Э. Д. Усманова, Р. Н. Гимадитдинов. – Казань: КГТУ, 2010. – 44 с.

3. Каныгина, О. Н. Компьютерные лабораторные работы по физическим методам исследования структуры веществ: учебное пособие / О. Н. Каныгина, А. А. Юдин; Оренбургский государственный университет. – Оренбург: ОГУ, 2021. – 118 с.

4. Бердинский, В. Л. Кристаллофизика: учебное пособие / В. Л. Бердинский, О. Н. Каныгина, А. Г. Четверикова; Оренбургский государственный университет. – Оренбург: ОГУ, 2016. – 104 с. – ISBN 978-5-7410-1617-6.

5. Четверикова, А. Г. Структурные трансформации в оксидах, составляющих природные глины, под воздействием СВЧ-поля: монография / А. Г. Четверикова, О. Н. Каныгина, М. М. Филяк; Оренбургский государственный университет. – Оренбург: ОГУ, 2021. – 208 с. – ISBN 978-5-7410-2621-2.

6. Каныгина, О. Н. Современные химические технологии: проблемы и перспективы: учебное пособие [Электронный ресурс] / О. Н. Каныгина [и др.]; Оренбургский государственный университет. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – № гос. регистрации 0321900923.

7. Каныгина, О. Н. Оптические свойства анодного оксида алюминия, полученного в электролите на основе гидроксида натрия / О. Н. Каныгина, М. М. Филяк // Наноструктурированные оксидные пленки и покрытия: материалы 4-ой Международной школы-семинара. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2017. – С. 176–183.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА МЕХАНИЗМ ЭКСТРАКЦИИ ИОДА

Бекенов А.Б., Пономарева П.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Экстракционные процессы играют важную роль в гидрометаллургии, аналитической химии и очистке сточных вод. В современном мире добыча энергоресурсов, в том числе нефти, прямо или косвенно влияет на жизнь каждого человека. Часто в местах залегания нефти присутствуют пластовые воды, содержащие в том числе соединения иода. Особый интерес представляет изучение кинетики экстракции иода с учетом влияния ионной силы раствора, которая может существенно изменять механизм взаимодействия на границе раздела фаз, а также температуры [1, 2]. Иод как модельный сорбат представляет практический интерес в связи с его применением в различных отраслях промышленности и медицины.

Целью работы являлось изучение влияния температуры раствора на механизм экстракции иода полиметилсилоксаном марки ПМС-200 с использованием интегрального метода подстановки для определения порядка реакции.

В ходе проведения эксперимента были приготовлены два раствора с концентрациями иода 234,95 мг/л, 238,13 мг/л.

Посредством компьютерной программы Exel по данным эксперимента были построены графики зависимости остаточной концентрации иода от времени контакта раствора с экстрагентом, а также графики зависимости натурального логарифма от времени, обратной концентрации и квадрата обратной концентрации от времени. Полученные графики, соответствующие проведению экстракции при температуре 22°С, представлены ниже на следующих рисунках.

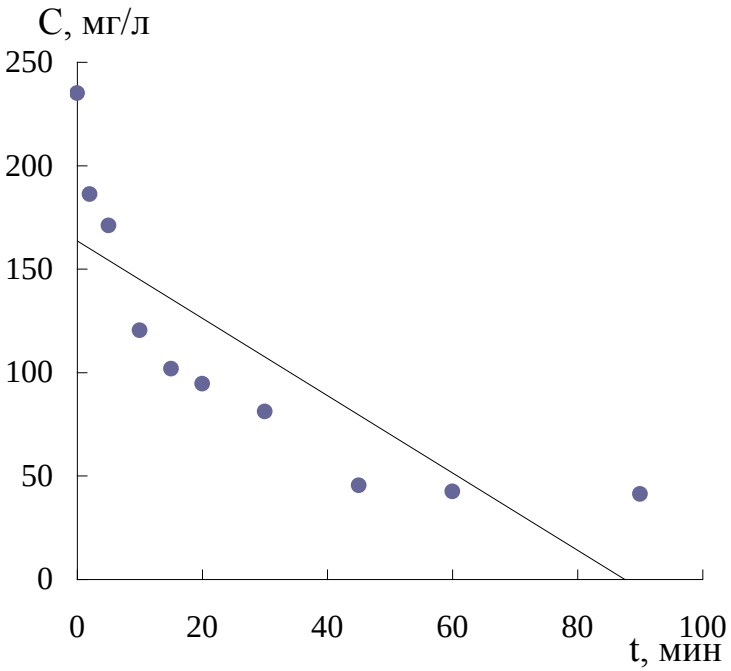


Рисунок 1 − Графики зависимости остаточной концентрации иода от времени контакта раствора с экстрагентом при температуре 22°С.

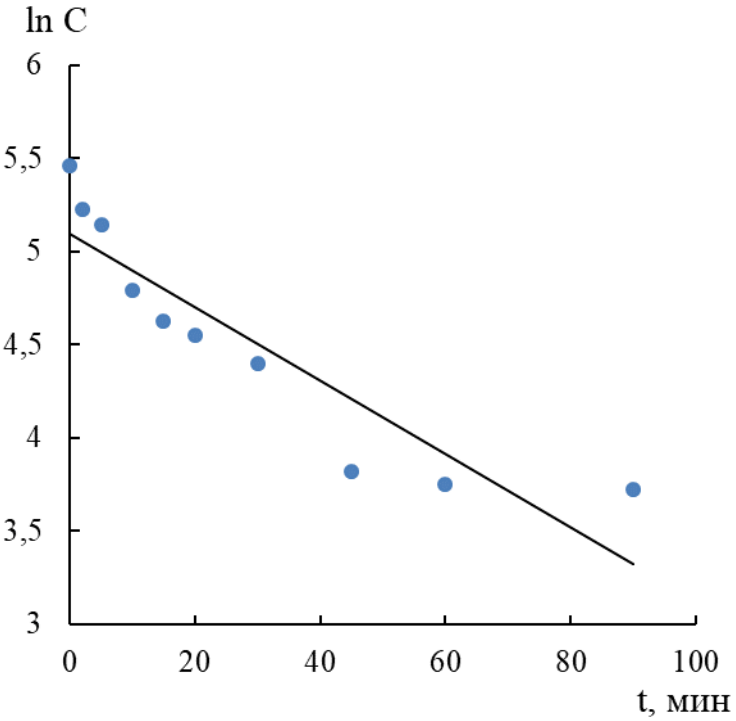


Рисунок 2 − Графики зависимости натурального логарифма остаточной концентрации иода от времени контакта раствора с экстраентом при температуре 22°С.

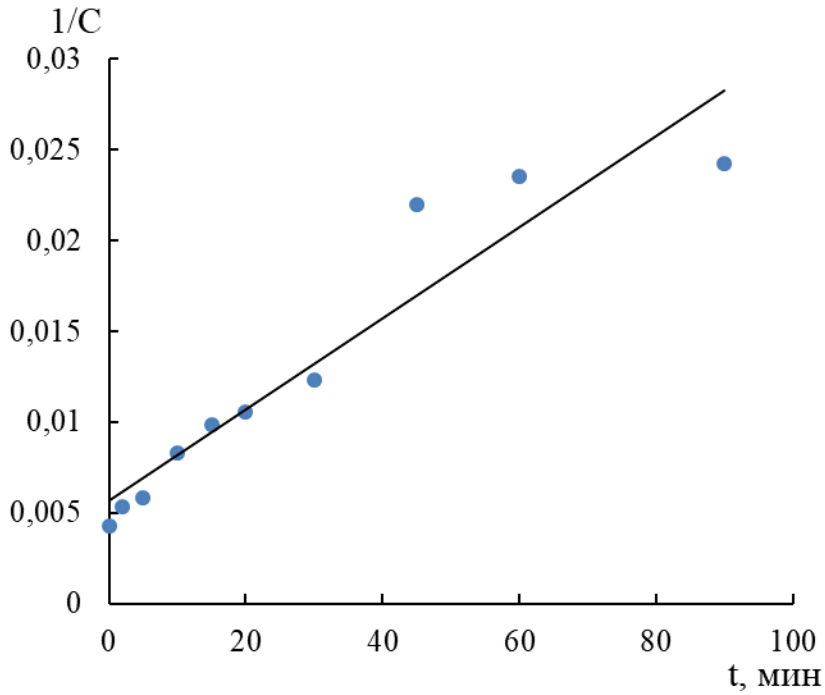


Рисунок 3 − Графики зависимости обратной остаточной концентрации иода от времени контакта раствора с экстраегнтом при температуре 22°С.

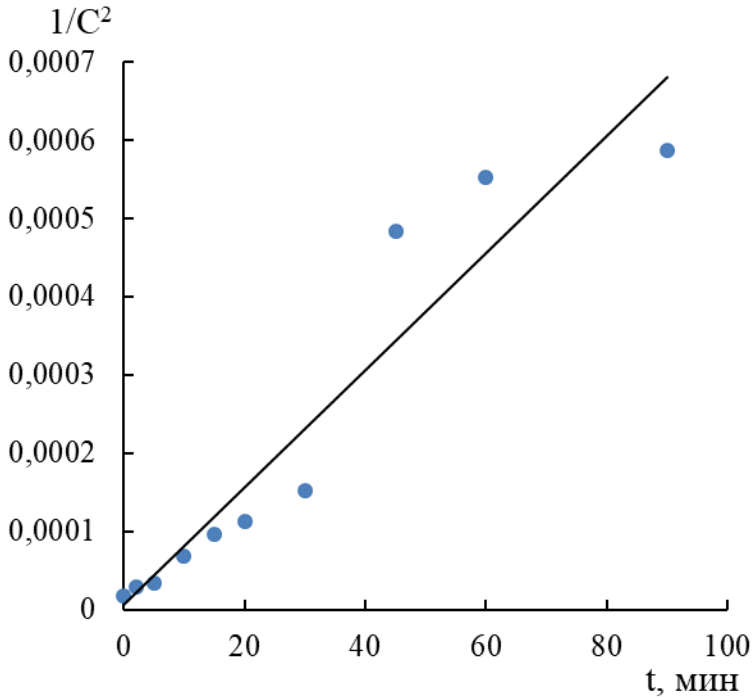


Рисунок 4 − Графики зависимости квадрата обратной остаточной концентрации иода от времени контакта раствора с экстрагентом при температуре 22°С.

Полученные зависимости всех графиков были изучены посредством программы Exel. Полученные данные порядков реакции представлены в следующих таблице 1.

Таблица 1 – Результаты обработки графиков зависимостей при температуре проведения экстракции 22°С.

График зависимости	С, мг/л	ln С	1/С	$1/С^2$
Уравнение зависимости	y = - 1,8693x + 163,7	y = - 0,0197x + 5,0928	y = 0,0003x + 0,0057	y = 0,000007x +0,000006
Величина достоверности аппроксимации, R^2	0,677	0,8331	0,9283	0,9027

Аналогичные графики были получены по результатам экстракции при температуре 8°С. Полученные графики представлены ниже на следующих рисунках.

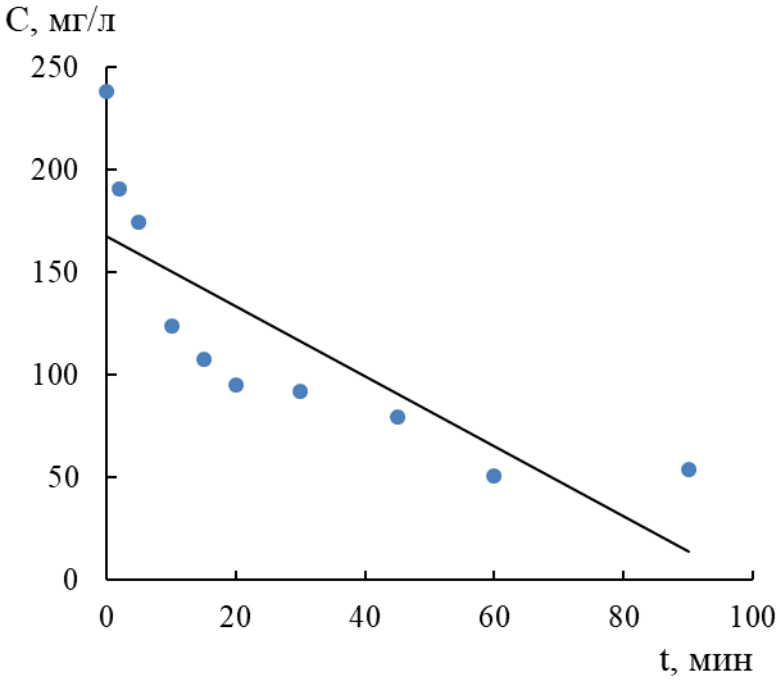


Рисунок 5 − Графики зависимости остаточной концентрации иода от времени контакта раствора с экстрагентом при температуре 8°С.

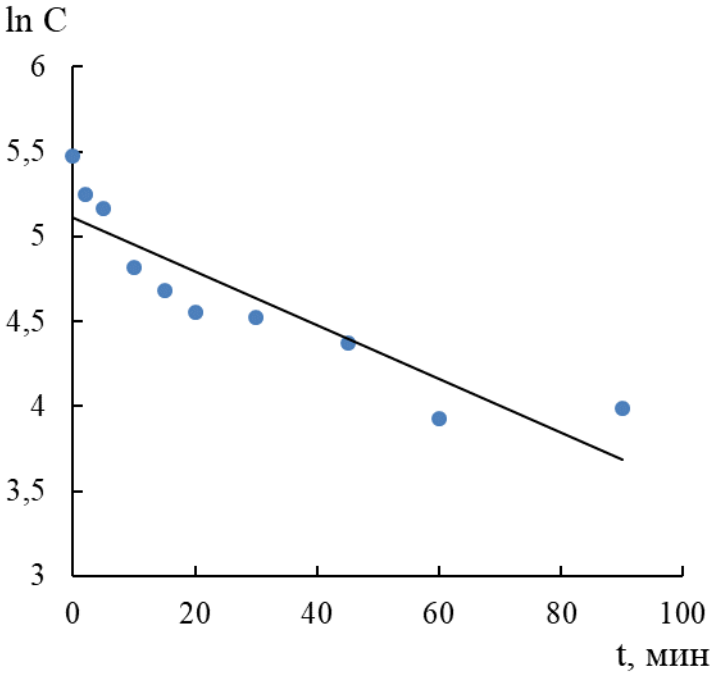


Рисунок 6 − Графики зависимости натурального логарифма остаточной концентрации иода от времени контакта раствора с экстрагентом при температуре 8°С.

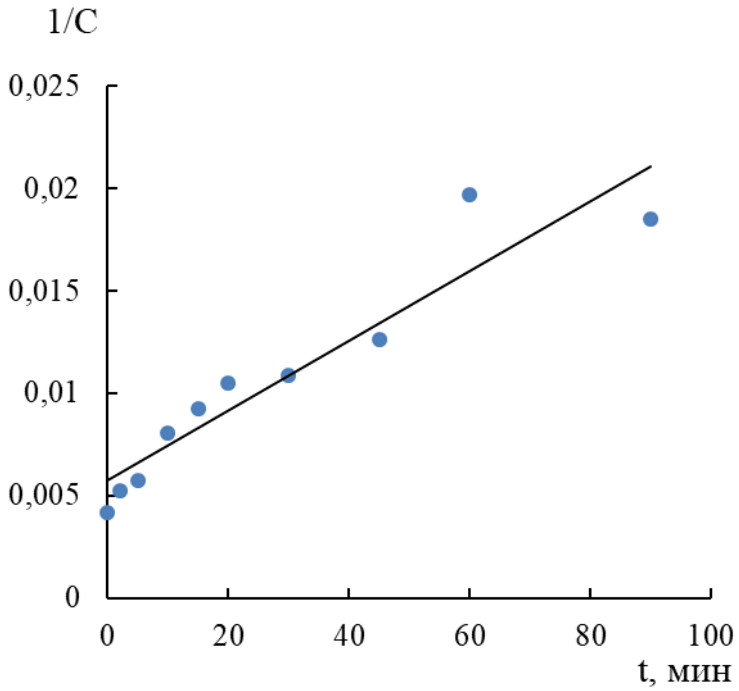


Рисунок 7 − Графики зависимости обратной остаточной концентрации иода от времени контакта раствора с экстрагентом при температуре 8°С.

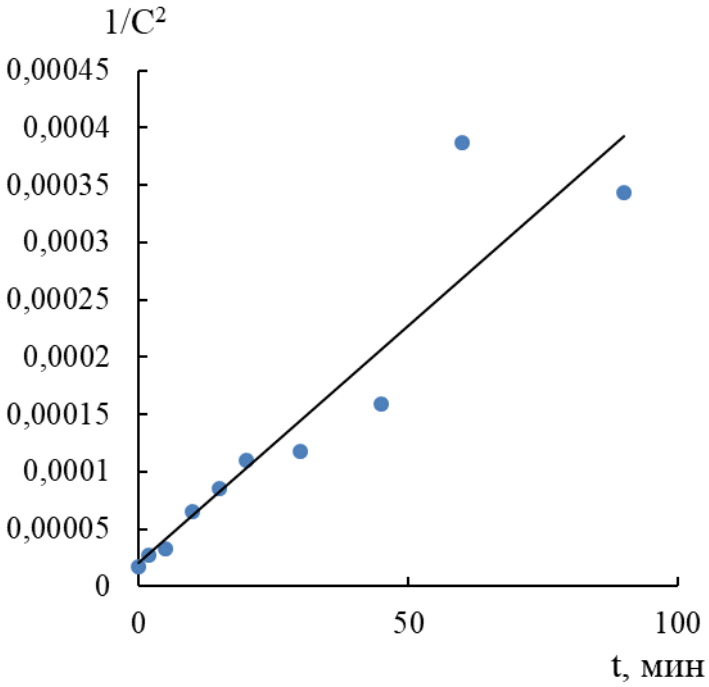


Рисунок 8 – Графики зависимости квадрата обратной остаточной концентрации иода от времени контакта раствора с экстрагентом при температуре 8°С.

Таблица 2 – Результаты обработки графиков зависимостей при температуре проведения экстракции 8°С.

График зависимости	С, мг/л	ln С	1/С	$1/С^2$
Уравнение зависимости	y = - 1,7082x + 167,97	y = - 0,0158x + 5,1145	y = 0,0002x + 0,0058	y = 0,000004x + 0,00002
Величина достоверности аппроксимации, R^2	0,6564	0,8121	0,8884	0,8698

Анализ полученных данных показывает, что значения величины аппроксимации наиболее близки к единице в графиках обратной концентрации от времени для обеих реакций. Исходя из полученных данных, можно сделать предварительный вывод о том, что процесс экстракции иода полиметилсилоксаном марки ПМС-200 описывается кинетикой второго порядка.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологий очистки водных сред от соединений иода.

Список литературы

1. Бурмистрова, О.А. Практикум по физической химии: учебное пособие для вузов / О.А. Бурмистрова, М.Х. Карапетьянц, Г.С. Каретников [и др.]; под

ред. С.В. Горбачева. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: Высшая школа, 1974. – 496 с.

2. Фомин, В.В. Кинетика экстракции / В.В. Фомин. – Москва: Атомиздат, 1978. – 120с.

2. Коренман, И.М. Экстракция в анализе органических веществ / И.М. Коренман. – Москва: Химия, 1977. – 200с.

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ УРАЛ МЕТОДАМИ БИОИНДИКАЦИИ

Бельтикова В.А., Булгакова М.А., канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В пределах Оренбургской области река Урал выступает ключевой водной магистралью. Из общей протяженности реки, составляющей 2428 км, на территорию области приходится 1164 км. Оценка экологического состояния реки Урал имеет непосредственное значение для поддержания здоровья населения и устойчивого развития региона [4]. Анализ состояния поверхностных вод реки Урал в пределах города Оренбурга в летний период обусловлен совокупностью природных и антропогенных факторов, создающих как уникальные, так и особенно неблагоприятные условия для экосистемы реки [5]. В летний период наблюдается недостаток осадков, и основной источник пополнения реки – грунтовые воды.

Анализ экологического благополучия рек базируется на биологических и химических параметрах. Основными определяемыми гидрохимическими показателями состояния водных ресурсов выступают жесткость воды, массовая концентрация ионов кальция в водах, химическое потребление кислорода в водах [8], массовая концентрация нитритного азота в водах, массовая концентрация аммиака и ионов аммония в водах, растворенный кислород, массовая концентрация железа общего и валового в водах, водородный показатель воды.

Гидробиологический подход выступает одним из способов оценки состояния водных ресурсов, где определение состояния экосистемы строится на исследовании зоопланктона [1]. Исследования проводились в Оренбургском центре гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, в летний период 2024, 2025 годов.

Отбор проб осуществляется согласно Руководству по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений [3].

В ходе работ для отбора проб было установлено три створа:

Створ № 1: Расстояние от устья: 1299 км. Створ установлен на 6,0 км выше по течению от автодорожного моста.

Створ № 2: Расстояние от устья: 1286,4 км. Находится на 0,3 км ниже точки впадения в реку Урал его крупного притока – реки Сакмара. Расположен на 0,5 км ниже выпуска сточных вод с городских очистных сооружений города Оренбург [2].

Створ № 3: Расстояние от устья: 1281,9 км. Расположен на 4,8 км ниже точки впадения в реку Урал его крупного притока – реки Сакмара [7]. Находится на расстоянии 5 км ниже сброса сточных вод с городских очистных

сооружений (ГОС) город Оренбург, что соответствует створу гарантированного смешения, где потоки считаются усредненными.

По полученным результатам гидрохимических исследований за летний период был рассчитан индекс загрязненности воды (ИЗВ) [9, 6], который составил в 2024 году, в створе № 1-1; в № 2-1,56; в № 3- 1,39, в 2025 году 0,98; 1,42; 1,27 соответственно (рисунок 1). Створ № 1 относится ко 2 классу «слабо загрязненная», створы № 2 и 3 относятся к 3 «А» классу «загрязненная».

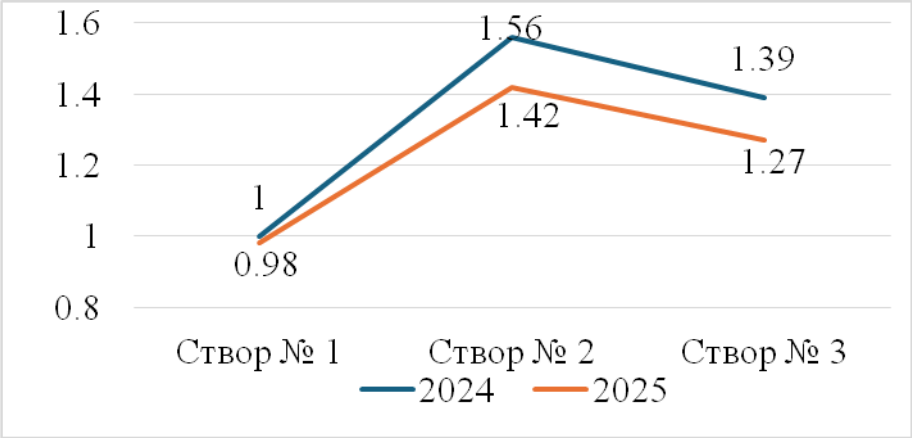


Рисунок 1 – Значение индекса загрязненности воды

Также был произведен гидробиологический анализ бентоса в летний период 2025 года, структурный анализ выявил доминирование стрекоз во всех створах видового состава. Далее был рассчитан индекс сапробности по Пантле-Букку в модификации Складчека [10], он составил в створе № 1-2,47 балла, в № 2-2,73 балла, в № 3-2,53 балла (рисунок 2).

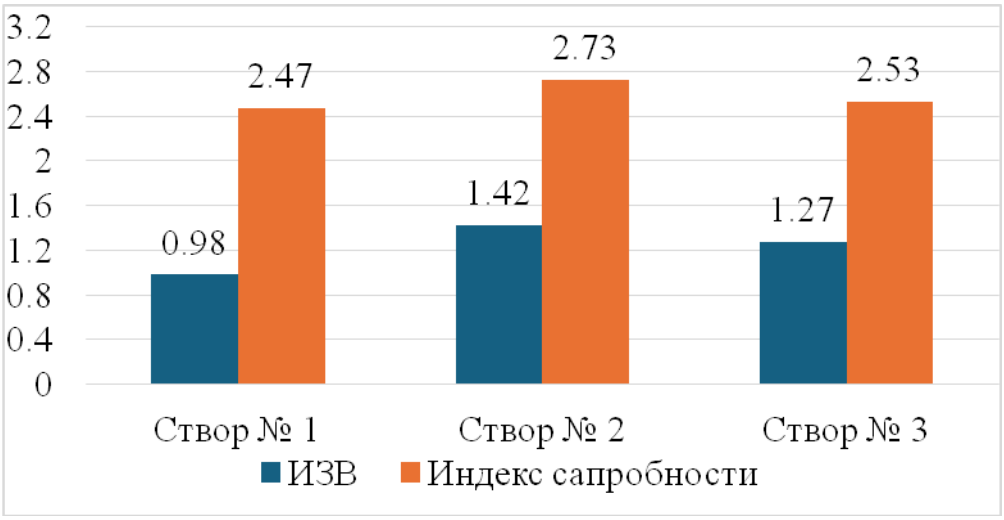


Рисунок 2 – Динамика роста индекса сапробности в зависимости от значений ИЗВ

Увеличение индекса сапробности связано с доминированием видов стрекоз с относительно высокими показателями сапробности и снижением доли чувствительных групп (поденки). Результаты исследования демонстрируют прямую зависимость: чем выше индекс загрязненности воды, тем выше индекс сапробности. Экосистема реки в границах города Оренбурга находится в состоянии техногенного хронического стресса.

Список литературы

1 Aboh EA, Giwa FJ, Giwa A. Microbiological assessment of well waters in Samaru, Zaria, Kaduna, State, Nigeria. Ann Afr Med. 2015 Jan-Mar;14(1):32-8. doi: 10.4103/1596-3519.148732.

2 Dai L, Liu C, Peng L, Song C, Li X, Tao L, Li G.

Different distribution patterns of microorganisms between aquaculture pond sediment and water. J Microbiol. 2021 Apr;59(4):376-388. doi: 10.1007/s12275-021-0635-5.

3 Xie X, Bahnemann J, Wang S, Yang Y, Hoffmann MR. "Nanofiltration" Enabled by Super-Absorbent Polymer Beads for Concentrating Microorganisms in Water Samples. Sci Rep. 2016 Feb 15;6:20516. doi: 10.1038/srep20516.

4 Гагарина, О. В. Оценка и нормирование качества природных вод : критерии, методы, существующие проблемы : учебно-методическое пособие. – Ижевск : Издательство «Удмуртский университет», 2012. – 199 с.

5 Гареев, А. М. Реки и озера Башкортостана. / А. М. Гареев. – Уфа : Китап, 2001 – 260 с.

6 Гидробиология реки Урала / под общ. ред. Б. С. Драбкина. – Челябинск : Южно-Уральское книжное издательство, 1971. – 103 с.

7 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Оренбургской области в 2022 году». Министерство природных ресурсов, экологии и имущественных отношений Оренбургской области.

8 Новиков, Ю. В. Экология, окружающая среда и человек : учебное пособие для вузов, средних школ и колледжей. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : ФАИР-ПРЕСС, 2005. – 736 с.

9 Система менеджмента качества. Технологический регламент очистных сооружений канализации города Оренбурга : ТР 054.012014. – Оренбург, 2014. – 135 с.

10 Чибилёв, А. А. Бассейн Урала : история, география, экология. – Екатеринбург. / А. А. Чибилев : УрО РАН, 2008. – 410 с.

ПРИМЕНЕНИЕ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПОСОБИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ 06.04.01 БИОЛОГИЯ ПРОФИЛЬ «БИОХИМИЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ»

Бибарцева Е.В.,1 канд. мед. наук,
Фомина М.В.,2 канд. мед. наук, доцент
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный медицинский университет»

В настоящее время особенно актуальной стала проблема систематизации увеличившегося объёма сведений по основным дисциплинам в высших учебных заведениях. В настоящее время в ВУЗах используют наряду с традиционными методами обучения, такими как проблемно-модульное, проектное обучение или коммуникативные технологии и методы с использованием информационных технологий (электронное обучение, аудио- и видео-лекции, интерактивные модели). На практике чаще реализуют модель смешанного обучения: часть учебно-профессиональной деятельности студента осуществляется в аудитории под руководством преподавателя, а часть – в дистанционном формате.

Студентам вузов как очной, так и заочной формы обучения доступны электронные библиотечные системы, например, «Университетская библиотека онлайн» (базовая коллекция), где обучающимся доступны учебная литература, научные работы сотрудников и студентов университета, периодические издания и другое; «Лань» (единая профессиональная база знаний для классических вузов) и «Консорциум сетевых электронных библиотек - СЭБ» (издания ведущих вузов страны). Немало важным является и то, что возможен доступ к электронной библиотеке диссертаций Российской государственной библиотеки [3].

Студенты ОГУ имеют возможность освоения части образовательной программы с использованием МООК (массовых открытых онлайн-курсов), размещенных на платформах: «Открытое образование», созданной Ассоциацией «Национальная платформа открытого образования»; «Современная цифровая образовательная среда в РФ»; «Лекториум»; «Универсариум»; Stepik.

Некоторые образовательные платформы Оренбургского государственного университета: Система электронного обучения Moodle, Автоматизированная интерактивная система сетевого тестирования (АИССТ). Интернет-версия инструментальной системы обучения и контроля, позволяет проводить контроль знаний студентов и настраивать предметный материал. а также

личный кабинет, в котором находятся личное электронное портфолио студента, график проведения сессий, результаты успеваемости, учебные материалы для изучения дисциплины, экзаменационные задания и прочее. Студенты при обучении используют электронные ресурсы для поиска литературы – например, eLIBRARY, «КиберЛенинка», Scholar.ru.

В настоящий момент особое значение придаётся интеграции иностранных учащихся в образовательный процесс. Сейчас особенно важно обеспечить иностранным учащимся условия для успешного освоения учебного материала и адаптации в образовательной среде. Одним из эффективных методов достижения этой цели выступает использование метода предметно-языкового интегрированного обучения CLIL (Content and language integrated learning – CLIL), который позволяет приобрести знания по изучаемому предмету посредством языка-посредника, каким выступает, в нашем случае, аглийский язык [1]. Таким образом, можно утверждать, что внедрение CLIL в образовательную практику не только позволяет нивелировать недостатки традиционной системы высшего образования, но и способствует развитию методов и форм аудиторной практики, повышению мотивации и повышение уверенности обучающихся в себе при изучении предмета [2].

Обучение в рамках второй ступени высшего образования - это система подготовки магистров. Обучение в Оренбургском государственном университете в магистратуре по направлению подготовки 06.04.01. Биология профиль «Биохимия и молекулярная биология» подразумевает освоение программы, которая включает планирование и проведение лабораторных биологических, биохимических и молекулярных исследований; использование современной лабораторной аппаратуры; проведение мероприятий по комплексной оценке состояния биологических объектов. В связи с большим объемом учебной, научной информации необходимо обеспечить различными учебными изданиями магистров по всем изучаемым дисциплинам.

Широко используемым изданием считается учебно-методическое пособие, включающее весь необходимый материал для освоения учебной дисциплины студентами. Его особенность заключается в комплексной подаче информации: пособие объединяет теорию предмета, методики самостоятельного изучения и практические задания. Оно полезно не только студентам, но и преподавателям, предлагая полезные рекомендации, наглядные схемы и примеры, способствующие лучшему усвоению и структурированию изучаемого материала.

Учебно-методическое пособие представляет собой специально разработанное учебное издание, предназначенное для поддержки студентов в освоении конкретного курса или направления подготовки. Для специальности «Биохимия и молекулярная биология» подобные издания приобретают особую значимость благодаря своей способности эффективно передавать знания и формировать профессиональные компетенции будущего специалиста.

Основные компоненты учебно-методического пособия включают теоретический раздел, который освещает базовую научную информацию по дисциплинам профиля подготовки. Например, студенты направления «Биохимия и

молекулярная биология» получают доступ к основам клеточной биологии, генетики, метаболизма и другим важным аспектам наук о жизни. Эти основы необходимы для формирования фундаментальных знаний и дальнейшего развития научных представлений студента. Следующий практический раздел, он представлен лабораторными работами, заданиями и упражнениями, направленными на закрепление полученных теоретических знаний. Выполнение практических заданий позволяет студентам приобрести опыт работы с биологическими материалами, освоить методы исследования и анализа. Заключительный методический раздел обеспечивает поддержку самостоятельной работы студентов. Здесь содержатся инструкции по выполнению лабораторных работ, алгоритмы решения типовых задач, рекомендации по работе с литературой и научно-исследовательской деятельностью. Это помогает студентам самостоятельно организовывать свою учебу и развивать навыки самообразования.

Конечно, преподаватель играет важную роль в организации эффективного использования учебно-методических пособий. Именно преподаватель выбирает подходящие издания, адаптирует их содержание под специфику конкретной группы студентов и контролирует выполнение заданий. Таким образом, работа преподавателя дополняет и усиливает эффект от применения учебно-методических пособий.

Применение учебно-методических пособий существенно повышает качество подготовки студентов по направлению «Биохимия и молекулярная биология». Такие пособия позволяют не только передать базовые знания, но и сформировать необходимые компетенции для успешной профессиональной деятельности. Эффективное использование учебно-методических пособий требует активной роли преподавателя, способствующего глубокому пониманию материала и развитию необходимых навыков.

Список литературы

1. Зарипова, Р.Р. Интегрированный предметно-языковый подход (CLIL) в обучении математике / Р.Р. Зарипова, Л.Л. Салехова, М.Н. Тюкарева // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 11-4. – С. 506-509. https://expeducation.ru/ru/article/view?id=8624

2 Бибарцева, Е.В. Образовательные практики предметно-языковых подходов в реализации билингвальных образовательных программ / Е.В. Бибарцева, И.Ф. Каримов, М.В. Фомина // В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. материалы Всероссийской научно-методической конференции, посвященной 70-летию Оренбургского государственного университета. Оренбург, 2025. С. 4628-4630

3 Бибарцева, Е.В. Стратегия поиска информации в библиотеке на примере темы: идентификация Pseudomonas aeruginosa в объектах окружающей среды / Е.В. Бибарцева, Т.С. Ткачева, Э.Ф. Гатауллина // В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции. - Оренбург, 2022. - С. 4184-4186.12

СПЕЦИФИКА НАПИСАНИЯ МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ ДЛЯ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ БИОИНЖЕНЕРИЯ И БИОИНФОРМАТИКА ПО ДИСЦИПЛИНЕ БИОХИМИЯ КРОВИ

Бибарцева Е.В.,[1] канд. мед. наук,
Фомина М.В.,[2] канд. мед. наук, доцент ,
Соколова О.В.,[2] канд. биол. наук, доцент
[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный медицинский университет»

Подготовка грамотных методических указаний необходима для формирования профессиональных компетенций и успешного освоения дисциплины «Биохимия крови» студентами специальностей «Биоинженерия и биоинформатика». Правильно сформулированные указания помогают эффективно организовать обучение, закрепить базовые знания и сформировать необходимые профессиональные компетенции будущих специалистов.

Дисциплина «Биохимия крови» занимает центральное место в образовательной программе студентов-биоинженеров, поскольку формирует фундаментальные представления о структуре и функциях живых организмов на молекулярном уровне. Дисциплина относится к обязательным дисциплинам (модулям) вариативной части блока Д «Дисциплины (модули)»

В связи с возникающими трудностями обучения в современном мире, возникает необходимость изменения, улучшения уже имеющихся методов преподавания, что не исключает также подготовки новых, особых способов обучения, позволяющих усваивать достаточно емкий и сложный учебный материал [1].

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование результатов обучения, закрепленных в компетенциях и индикаторах достижения компетенции. Четко обозначаются ожидаемые результаты обучения, перечисляются знания, умения и навыки, которыми должны овладеть студенты по окончании курса. В рамках этих требований необходимо формировать учебное издание. Правильно составленные методические указания способствуют лучшему пониманию студентами ключевых аспектов курса и облегчают процесс самостоятельного изучения.

Основные элементы методических указаний включают несколько важных компонентов, каждый из которых влияет на достижение поставленных целей обучения. Необходимо введение, где излагаются общие положения о дисциплине, её месте в общей структуре учебного плана, целях и задачах курса. Затем следует описание содержания курса. В учебном плане в рамках дисциплины «Биохимия крови» имеется такой вид работы, как практические

занятия. Именно этот раздел требует подробного изложения в методических указаниях. Входящий вид деятельности как Лабораторные работы должен быть изложен в лабораторном практикуме.

Практические занятия являются неотъемлемой частью учебного процесса по дисциплине «Биохимия крови». Их основная задача заключается в закреплении теоретических знаний, развитии практических навыков анализа состава крови и понимании взаимосвязи между различными компонентами крови и состоянием здоровья пациента.

Цели освоения дисциплины: формирование у студентов системы знаний, умений и навыков по вопросам основных функций и физико-химических свойств крови, овладение методами анализа белкового, углеводного, липидного и минерального обменов.

Согласно цели дисциплины, решаются задачи в рамках каждого практического занятия.

Согласно рабочей программе по дисциплине «Биохимия крови» все практические работы распределены по двум разделам: первый раздел – изучение клеточного состава крови, аудиторная работа составляет 8 часов; второй раздел – рассмотрение биохимических характеристик функций крови, аудиторная работа 10 часов.

Каждое практическое занятие состоит из трех частей. Первая часть - теоретическая подготовка, включающая повторение пройденного материала и обсуждение новых тем. Вторая часть - выполнение заданий, изучение схем, решение ситуационных задач в ходе которых студенты осваивают конкретные методы анализа крови. Задачи варьируются по сложности и тематике, охватывая разные аспекты биохимии крови: метаболизм белков, углеводов, жиров, витаминов, гормонов и минералов. Например, одной из распространенных задач является расчет концентрации глюкозы в плазме крови при диабете, либо вычисление скорости синтеза гемоглобина при анемиях различного происхождения. Решая задачи, студенты применяют алгоритмы расчета концентраций веществ, определяют коэффициенты ферментативной активности, рассчитывают количество эритроцитов и лейкоцитов, оценивают показатели свертывающей системы крови и др [2]. Используются специальные формулы и справочные материалы, предоставляемые преподавателем.

Благодаря этим приемам, совершенствуются умения представлять полученные данные визуально, с использованием рисунков и диаграмм.

Третья часть занятия посвящена отработке навыков микроскопирования и зарисовке кровяных телец, отдельных молекул и соединений, встречающихся в составе крови. Такие упражнения развивают пространственное мышление и зрительную память, позволяя будущим врачам быстрее распознавать аномалии и патологии крови. Освоение базовых методов исследования химического состава крови. Методики излагаются в методических указаниях.

Студенты работают с микроскопом, изучают готовые препараты крови и делают зарисовки увиденных объектов. Преподаватель контролирует

правильность нанесения размеров и пропорций изображённых клеток и молекул, комментирует возможные ошибки и подсказывает пути улучшения изображений.

В конце методических указаний размещается список рекомендованной литературы. Составляется перечень учебников, справочников, научной периодики и электронных ресурсов, позволяющих углубленно изучать предмет.

Итоговая оценка за практическое занятие складывается из оценки правильности решений задач и точности исполнения рисунков. В конце занятия преподаватели проводят разбор ошибок, объясняют причины неверных расчетов и указывают на слабые места в знаниях. Дополнительные баллы начисляются за активность на занятии, инициативность и оригинальность предложенных решений.

Правильно разработанные методические указания обеспечивают качественное изучение дисциплины. Среди важнейших принципов можно выделить:

1 Научность и обоснованность изложенного материала.

2 Доступность и наглядность представленной информации.

3 Ориентация на современные научные достижения и передовые технологии.

4 Последовательность и систематичность подачи материала.

5 Активизация интереса учащихся путем включения инновационных методик обучения.

Таким образом, разработка методических указаний для студентов специальностей «Биоинженерия и биоинформатика» по дисциплине «Биохимия крови» позволяет существенно улучшить организацию учебного процесса, повысить уровень компетентности выпускников и подготовить конкурентоспособных профессионалов в сфере биотехнологий.

Список литературы

1 Бибарцева, Е. В. Некоторые методики преподавания биохимии / Е. В. Бибарцева // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 26–27 января 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 4327-4329. – EDN BTEVMY.

2 Биохимия : Сетевое научное издание. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки (специальностям): 06.05.01 - Биоинженерия и биоинформатика / Е. С. Барышева, А. Н. Сизенцов, Е. В. Бибарцева, О. А. Науменко. – 2-е издание. – Москва : Издательский Дом "Академия Естествознания", 2020. – 90 с. – ISBN 978-5-91327-638-4. – EDN OPHNLX.

ПЕРСПЕКТИВЫ И РИСКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ

Галактионова Л.В., канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Масштабы использования искусственного интеллекта (ИИ) в образовательном процессе увеличиваются год от года и сегодня уже носят лавинообразный характер. Инновационная технология занимает видное место среди важных разработок в сфере образовательных технологий, используемых в учебных заведениях. ИИ технологии предлагают различные способы улучшения образовательных возможностей для учащихся от дошкольного до старшего школьного возраста, от средне профессионального до высшего и дополнительного профессионального образования с помощью научно обоснованных методов [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 1].

Целью исследования стало описание возможностей использования ИИ в научно-исследовательской работе обучающихся по направлениям подготовки «Биология».

Научно-исследовательская работа студентов, обучающихся по направлениям подготовки Биология (06.03.01 (бакалавриат) и 06.04.01 (магистратура)), является не только важным этапом образовательного процесса, но и фактором успешного прохождения итоговой государственной аттестации. Она выступает основополагающим базисом формирования ряда компетенций для решения профессиональных задач в научно-исследовательской и проектной деятельности выпускника, в том числе обработка и анализ полученных данных с помощью современных информационных технологий.

Необходимо отметить, что перечень компетенций, будущих биологов (бакалавров и магистров), связанных именно с формированием научно-исследовательских навыков, охватывает большую часть общего перечня. Так для уровня высшего образования бакалавриат УК-2 и УК-6 определяют формирование компетенций, связанных с планированием исследовательской работы, обоснованным выбором методов, умением самоорганизовываться и распределять этапы исследования. А УК-1, ОПК-6, ОПК-7, ОПК-8 и ПК-2 формируют «базовое ядро» научно-исследовательских навыков, определяя способность критически анализировать информацию, использовать технологии с пониманием и верификацией полученной информации [3, 4].

Для будущих магистров ОПК-7 и ПК-2 описывают формирование самостоятельной исследовательской деятельности: от выбора методов, планирования, организации до проведения исследования; ОПК-2 определяет творческое использование знаний, интеграцию методов и критический анализ решений в профессиональной деятельности.

Компетенции УК-1 ОПК-1 ПК*-3 – это основа исследовательского мышления, которая определяет способность к системному анализу проблем, критической оценке результатов НИР и перспектив их применения работы.

Основным направлением использования ИИ в учебном процессе является поиск и обработка литературных источников. Наиболее известные ИИ сервисы Semantic Scholar, Elicit, Scite, ResearchRabbit и Connected Papers предлагают ускорение поиска научных статей в узкопрофильных областях знаний, могут выявить научные связи и «белые пятна» в исследованиях целых научных школ или направлений, могут провести анализ большого количества статей и предлагают только релевантные статьи по теме. Аналогичный ресурс Consensus AI может предложить прямы ответы на вопросы научного характера с аргументацией из научной литературы.

Для анализа и визуализации полученных результатов можно использовать ChatGPT Advanced Data Analysis (Code Interpreter) и Claude, возможности которых включают проведение статистического анализа, построение графиков на основе данных исследователя. Эти же ИИ используют для осмысления полученных данных и формулирования обоснованных выводов.

В биологических исследованиях наиболее актуальными стали специализированные платформы с набором инструментов для анализа результатов секвенирования (часто со встроенными AI-моделями), обработки микроскопических изображений (например, Ilastik для сегментации клеток; Icy для визуализации и автоматизации через графические протоколы; ориентированный на медицинские изображения (КТ, МРТ) для 3D-сегментации MONAI; QuPath для анализа гистологических срезов и включает инструменты ИИ для классификации тканей и подсчета клеток; Cellpose для сегментации клеток и широкого спектра типов микроскопии.

Важным этапом любой научной работы является планирование эксперимента и выбор методов исследования. На этом этапе работы возможно использование ChatGPT, Claude, Gemini Deep Research и Scite, которые позволяют увидеть контекст и выстроить персонализированный план исследований, сравнивают методологии проводя глубокий поиск по сети и отмечают слабые стороны того или иного метода. Более продвинутые инструменты (ASCEND (by BenchSci), Laila (by BioNTech), ProtoCode, AutoOED) позволяют выбирать реагенты, модельные системы и проектировать эксперименты, снижая риск ошибок, могут подключаться к лабораторному оборудованию для мониторинга процесса и определят минимальное количество тестов для достижения максимального результата.

При выполнении работ в области молекулярной биологии, связанных с дизайном молекул, хорошо проявили себя специализированные ИИ (NVIDIA BioNeMo, ART (Automated Recommendation Tool)), которые предсказывают структуру белков и управляют дизайном в синтетической биологии.

В обоих образовательных программах базовыми являются именно научно-исследовательские компетенции, они фокусируются на анализе, использовании технологий с пониманием и критическом осмыслении

информации. Они определяют тонкую грань между осознанным усилением исследований с помощью ИИ и деградацией исследовательских навыков. Поэтому активное внедрение ИИ инструментов может выступать как фактор развития, так и деградации компетентности будущих специалистов.

Риски, связанные с использованием ИИ в научно-исследовательской деятельности студентов связанны с полным делегированием ряда работ на технологии ИИ и рисками неполного или вообще отсутствия сформированности ряда компетенций. Потому привлечение ресурсов ИИ в научно-исследовательской работе связано с необходимостью сохранения собственного критического взгляда на научные проблемы и анализом результатов, необходимостью перманентной верификации любой полученной от ИИ информации и подтверждением ее несколькими авторитетными научными источниками, понимания уникальности вашей работы над научной проблематикой (авторский взгляд, методологический подход, регионализация и др.) [3].

Одновременно меняется и зона ответственности руководителя с педагогического контроля выполнения различных этапов НИР на педагогическое сопровождение «цифрового» выбора студентов. Преподаватель должен способствовать формированию осознанного взаимодействия с ИИ: обучать особенностям верификации данных, постановки задач на основе критического осмысления научной проблемы. Важна и роль организации итоговой государственной аттестации, условием успешного прохождения которой должен интеллектуальный вклад автора и личная аналитическая работа обучающегося, а не техническая сложность полученного результата [6].

Таким образом, использование технологий искусственного интеллекта в научно-исследовательской работе студентов-биологов представляет собой сложный процесс, сочетающий значительный образовательный потенциал с существенными профессиональными рисками.

Список литературы

1. Luckin R., George K., Cukurova M. AI for School Teachers. – 1st ed. – Boca Raton : CRC Press, 2022. – 136 p. – DOI:10.1201/9781003193173.

2. Zawacki R., et al. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators?// International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2019. – №16 (1). – 39. – DOI:10.1186/s41239-019-0171-0#citeas

3. Приказ Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. № 920 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования — бакалавриат по направлению подготовки 06.03.01 Биология» // Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru). 2020. 20 авг. № 0001202008200020.

4. Приказ Министерства образования и науки РФ от 23 сентября 2015 г. № 1052 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 06.04.01 Биология

(уровень магистратуры)» // // Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru). 2015. 12 окт. N 0001201510120043.

5. Mammides C., Papadopoulos H. The role of large language models in interdisciplinary research: opportunities, challenges and ways forward [Электронный ресурс] // Methods in Ecology and Evolution. – 2024. – P. 1774–1776. – DOI: 10.1111/2041-210X.14398.

6. Kasneci E., Seßler K., Küchemann S. et al .ChatGPT for Good? On Opportunities and Challenges of Large Language Models for Education // Learning and Individual Differences. – 2023. – Vol. 103. – Art. 102274. – DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274.

СОВРЕМЕННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПОДГОТОВКЕ ХИМИКОВ И БИОЛОГОВ

Горшенина Е. Л., канд. тех. наук, доцент, Пасрутдинова А.П., Красницкая У.М.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Современная биология и химия переживают эпоху беспрецедентной трансформации, движимой конвергенцией наук, стремительным развитием биоинформатики, синтетической биологии, нанотехнологий и высокопроизводительных методов анализа. Эти изменения порождают принципиально новые требования к профессиональным компетенциям исследователей, лаборантов, инженеров и специалистов в смежных областях. Однако традиционные образовательные парадигмы в этих дисциплинах, основанные на жестком разделении учебных модулей, преимущественно лекционной передаче знаний, работе по устоявшимся лабораторным протоколам и линейном освоении материала, все чаще демонстрируют свою несостоятельность перед лицом новых вызовов.

Ключевая проблема заключается в растущем разрыве между содержанием многих образовательных программ и реальными задачами, стоящими перед наукой и высокотехнологичной промышленностью. Вузовские курсы зачастую не успевают интегрировать прорывные открытия, а учебные планы не развивают в достаточной мере навыки междисциплинарной работы, критического анализа больших данных, проектного мышления и адаптации к быстро меняющимся технологическим платформам. Это ставит под сомнение способность классических подходов подготовить специалиста, готового не только к воспроизведению известных методов, но и к инновационной деятельности на стыке дисциплин.

Для решения данных проблем в настоящее время вводятся виртуальные и дополнительные реальности в лабораторном практикуме. Развитие виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности открыло новые перспективы для организации практических занятий в рамках дистанционного обучения. Это демонстрируется на примере разработанного виртуального практикума по общей и неорганической химии, который в настоящее время включает шесть лабораторных работ. Работы выполняются независимо, но могут использовать одинаковое оборудование, химические среды и реактивы, что повышает гибкость и эффективность учебного процесса [7].

Все визуальные объекты и модели, созданные для этой виртуальной лаборатории, отличаются универсальностью и простотой применения. Они могут корректно отображаться и функционировать в различных типах виртуальных пространств, не теряя своей целостности и свойств. Этот принцип модульности и адаптивности перекликается с концепцией динамической

системы, где статичная структура уступает место гибкой конфигурации [8]. Так, в отличие от системе с заранее заданной и лишь параметрически настраиваемой архитектурой, предложенный подход позволяет на основе анализа текущих данных в реальном времени автоматически оптимизировать свою конфигурацию. Это обеспечивает эффективное использование доступных ресурсов и поддержание высокой производительности и устойчивости даже в сложных или критических условиях [3].

Для получения точного моделирования и удаления неисправностей сценария влияния на подсистемы был внедрен цифровой двойник – специальная система, предназначенная для управления и оптимизации сложных объектов путем создания их динамических виртуальных моделей. В отличие от традиционного статического моделирования, цифровой двойник обеспечивает непрерывную интеграцию математических моделей физической системы с актуальными данными мониторинга. Это позволяет не только прогнозировать потенциальные отклонения, но и своевременно принимать корректирующие меры для их предотвращения. Реализация подобного подхода имеет практическую ценность, если он способен компенсировать риски при принятии критических решений в условиях ограниченных ресурсов [8].

В образовательной сфере схожий принцип интерактивного моделирования реализуется с помощью технологий виртуальной реальности. Такие решения позволяют создавать детализированные интерактивные симуляции, например, для визуализации клеточных структур и процессов. Студенты получают возможность «погрузиться» внутрь клетки, исследовать ее органеллы в трехмерном пространстве и наблюдать биологические механизмы в режиме, приближенному к реальному времени. Подобный формат не только способствует более глубокому усвоению материала, но и повышает мотивацию и вовлеченность обучающихся, делая образовательный процесс более наглядным и интерактивным [7].

Для предсказания пространственной структуры белков, расшифровки структуры ДНК, хранения и поиска биологической информации стремительно стала развиваться биоинформатика. Современная биоинформатика представляет собой междисциплинарную науку, находящуюся на стыке биологии, математики и компьютерных технологий. Не смотря на то, что в названии дисциплины присутствует термин «информатика» ее методологическая основа глубоко интегрирована с биологическим знанием. Эффективная работа в этой области требует от специалиста не только математической или алгоритмической подготовки, но и существенных познаний в биологии, поскольку именно биологический контекст определяет постановку задач и интерпретацию результатов. В то же время она предлагает необъятное поле для применения современных математических подходов – от методов искусственного интеллекта до сложного статистического моделирования – что делает ее одной из наиболее перспективных и методически богатых научных областей [4].

Ключевым этапом после сбора данных является формирование аналитического отчета. Использование инструментов бизнес-аналитики обеспечивает расширенную аналитическую обработку, интерактивную и наглядную визуализацию, возможность получения аналитических инсайтов, кроссплатформенную доступность. Это позволяет создавать гибкую систему фильтрации и выставлять скрытые взаимосвязи в данных [6].

Эволюция адаптивных образовательных технологий ведет к глубоким изменениям в организации учебного процесса. Интеграция искусственного интеллекта, машинного обучения, мобильных и облачных платформ создает условия для формирования гибких, персонализированных и интерактивных образовательных систем. Исследования подтверждают значительный потенциал этих технологий: они позволяют встраивать индивидуальные учебные траектории, повышая мотивацию и вовлеченность, их внедрение сопровождается вызовами (цифровым неравенством, затратами и вопросами защиты данных) [1]. Особенно перспективным направлением является использование нейросетей для адаптации учебных программ. Такие системы могут анализировать уровень подготовки, интересы и когнитивные особенности каждого студента, автоматически подбирая задания, материалы и методы объяснения сложных тем. Это позволяет релизовать подлинно персонализированное обучение, где каждый студент развивается в своем темпе с оптимальной поддержкой [2].

Современные цифровые инструменты, такие как VR и AR технологии (создают виртуальные лаборатории и симулируют сложные биологические процессы), интерактивные платформы (для проведения виртуальных экспериментов и анализа биологических явлений) повышают наглядность и эффективность обучения биологии. Технология 3D-биопринтинга позволяет создавать живые ткани и органы из биосовместимых материалов. В обучении это открывает возможности изготовления точных моделей органов для изучения их строения и функций, а также использования напечатанных биомоделей в лабораторных работах и для тестирования препаратов, что повышает качество образования и внедряет инновации в учебный процесс [2].

Для проведения экспериментов без прямого взаимодействия с реальной установкой имеются виртуальные лаборатории. Можно выделить два основных типа таких комплексов. Первый типа – дистанционная лаборатория, где используется физическое оборудование с возможностью удаленного управления через интернет. Второй тип – виртуальный симулятор, в котором все процессы и установки полностью моделируются на компьютере. Классификация виртуальных лабораторий может проводиться по нескольким критериям. По способу доставки образовательного контента они делятся на распространяемые на физических носителя, таких как компакт-диски, и на онлайн-версии, размещенные в интернете. По способу визуализации различают варианты с двумерной и трехмерной графикой, а также с использованием анимации или видео. По степени свободы проведения эксперимента выделяют лаборатории с ограниченным набором заранее запрограммированных опытов и

системы, основанные на математических моделях, которые не ограничивают возможные результаты заранее. Виртуальные лаборатории безопасны, позволяют проводить эксперименты, недоступные в обычных условиях, упрощают контроль за подготовкой учащихся, а также поддерживают дифференцированное обучение. Наряду с этим существуют и недостатки. Основными из них являются отсутствие формирования практических навыков работы с реальным оборудованием и ограниченная предметная наглядность по сравнению с физическим экспериментом [5].

Таким образом, статья констатирует несоответствие традиционных методов обучения химии и биологии вызовам современной науки и высокотехнологичных отраслей. Внедрение цифровых инструментов таких, как виртуальные лаборатории, биоинформатика, адаптивные системы – делает обучение более наглядным, персонализированным, что помогает развивать критическое мышление. Ключевой вывод заключается в том, что оптимальный результат достигается за счет разумной интеграции инновационных технологий с классической практической подготовкой, что формирует компетенции будущих специалистов в полном объеме.

Список литературы

1. Айгумов Т. Г., Абдулмуминова Ф. М., Борлакова З. А. Адаптивные образовательные технологии в контексте персонализации обучения // МИР НАУКИ, КУЛЬТУРЫ, ОБРАЗОВАНИЯ. 2025. №2 (111). С. 17-20. ISSN 1991-5497.

2. АсадовА Х. А., Бабаджанова Ш. Инновационные методы преподавания биологии: цифровые технологии и активное обучение // Электронно-научное списание. 2025. №3. Ч. 2. С. 14-18.

3. Ашимова А. Б., Ецжанов Т. Е. Эффективность применения лаборатории VR при изучении клеточной биологии // Вестник науки. 2024. № 12 (81). Т. 5. Ч. 1. С. 359-366.

4. Басканский О. Е. Биоинженерия и биоинформатика: конвергентные технологии // Сенчевский вестник. 2015. № 1 (19). С. 50-55. DOI: 10.34835/issn.2308-1961.2020.

5. Гревцов К. Ю., Кадеева О. Е. Виртуальные лаборатории и интерактивные симуляторы: назначение и возможности на уроках естественнонаучного цикла // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 2020. № 12 (190). С. 45–47.

6. Дмитриева Н. Ю. Power BI как вспомогательный инструмент биостатистика // Реальная клиническая практика: данные и доказательства. 2022. Т. 1, № 2. С. 36–39. DOI: https://cyberleninka.ru/article/n/power-bi-kak-vspomogatelnyy-instrument-biostatistika/viewer

7. Егоркина А. А., Васенский А. М., Филиппова Е. Б. Разработка динамических элементов виртуального лабораторного практикума // Успехи в химии и химической технологии. 2019. Т. XXXIII, № 11. С. 32-34.

8. Куликовских И. М. Цифровой двойник процессов регенерации в системах жизнеобеспечения // Труды МАИ. 2025. № 141. URL: https://trudymai.ru/published.php?ID=184074 (дата обращения: 15.01.2026).

ПРОФИЛАКТИКА НЕЙРОДЕГЕНЕРАТИВНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ КАК ЭЛЕМЕНТ МЕДИЦИНСКОЙ КУЛЬТУРЫ СТУДЕНТОВ

Гуць А.В.
ЧУЗ КБ «РЖД МЕДИЦИНА» город Оренбург

Осознанное отношение человека к своему здоровью является главенствующим фактором формирования здоровья нации. Взаимосвязь общества, семьи и индивидуальности в вопросах здорового образа жизни подчеркивает гармоничность личности.

Индивидуальный пример может стать весьма позитивным для членов семьи, мини коллектива, общества. Безусловно, в вопросах формирования медицинской культуры важна роль государства, которая формирует социально-политическое направление реализации задач формирования здоровья нации.

Разовые индивидуальные позитивные поступки становятся основой выработки позитивных привычек, которые впоследствии могут сформировать стойкие установки, связанные с охраной своего здоровья. Общепринято, что медицинская культура рассматривается как сформированное качество личности, с глубоким знанием основ охраны личностного здоровья, эпидемиологии и устойчивым пониманием здорового образа жизни, тесно связанную с профилактикой различного рода заболеваний, включая нейродегенеративные. Здоровые выпускники образовательных учреждений всегда более конкурентноспособны на рынке труда [1, с.319].

Студенты вуза, получающие профессиональное образование, большое количество времени проводят за освоением учебных программ, приобретая углубленные знания. Между тем, не стоит игнорировать элементарные потребности человеческого организма. Здоровье молодежи весьма важно при освоении образовательных программ [2, с.118].

В современном обществе становится не модным говорить «я работаю24/7», поскольку, как показывает практика, грубое отношение к биологическим человеческим потребностям, быстро выводит организм из строя.

Безусловно, можно работать «24/7», но недолго. Может быть поэтому среди молодежи можно часто встретить депрессивные расстройства, панические атаки.

С целью профилактики нейродегенеративных заболеваний студентам вуза важно грамотно планировать распределение интеллектуальной и физической нагрузки, оставляя время на отдых.

Обращаем внимание, что интеллектуальную нагрузку предпочтительнее реализовывать посредством прочтения учебников, напечатанных на бумажном носителе, поскольку при проработке материала, изложенного на бумажном носителе активнее, работают нейронные связи головного мозга. Обучение при помощи высокотехнологичных средств не дает такого положительного результата [3, с.338].

Рассматривая возможность активизации деятельности головного мозга, находим возможным предложить конспектирование изучаемого материала левой рукой (для правшей и наоборот) для того, чтобы развивать когнитивные функции головного мозга, побуждая к работе оба полушария.

В продолжение этого, можно предложить одновременное массирование стоп, например, стационарным массажным ковриком для ног. Комплексное воздействие на разные части тела при интеллектуальной нагрузке может стать первичной профилактикой нейродегенеративных заболеваний.

Обращаем внимание, что большое внимание студенты должны уделять активной физической нагрузке, поскольку она активизирует кровообращение и насыщение клеток головного мозга кислородом [4, с.9].

В студенческой среде важен социальный статус индивида. Реализация активной жизненной позиции, социальная востребованность снижают депрессивный фон, способствуя саморазвитию личности.

Продолжая анализ первичных профилактических мер, препятствующих развитию нейродегенеративных заболеваний в студенческой среде, следует сказать о правильном питании. Несмотря на распространенность перекусов и увлеченность пиццей и роллами молодежи, обращаем внимание, что клеткам головного мозга, активно работающим над освоением образовательных программ, важно питание, насыщенное антиоксидантами, к которым относится брокколи, темный виноград и другая растительная пища. Обращаем внимание, что в «настоящее время около 65% взрослого населения (25-50 лет) страны употребляют овощи и фрукты значительно ниже рекомендуемой ВОЗ нормы» [5.с,84].

Весьма важны и омега-3 жирные кислоты, содержащиеся в рыбе. Из чего следует, что сосиска в тесте и кофе принесет не так много пользы по сравнению с салатом из свеклы, заправленной лимонным соком и сметаной. Между тем, вкусовые предпочтения молодежи складываются, определенно, не в пользу правильного питания.

По этой причине, важно говорить о формировании медицинской культуры, направленной на профилактику нейродегенеративных заболеваний, с раннего возраста. Воспитав правильные привычки, в юношеском возрасте, студенты будут более осмотрительны.

И сон, конечно же, полноценный, грамотно организованный сон, позволяющий восстановиться нервной системе. Во время сна организму удается полноценно провести биохимические реакции и реализовать самовосстановление [6, с.40].

Формирование медицинской культуры при правильной организации освоения образовательных программ, позволит профилактировать нейродегенеративные заболевания в студенческой среде.

Список литературы

1. Юсупова, Л. Р. Формирование здорового образа жизни студентов башкирского государственного медицинского университета средствами

физической культуры и спорта / Л. Р. Юсупова, И. И. Гумеров, Г. И. Тухватуллина // Стратегия формирования здорового образа жизни средствами физической культуры и спорта. "спорт для всех" и внедрение Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса ГТО: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Тюмень, 12–13 ноября 2016 года. Том Часть 2. – Тюмень: Вектор Бук, 2016. – С. 319-321. – EDN ZHMDRF.

2. Никитина, Г. А. Формирование культуры здоровья и экологической культуры студентов в свердловском областном медицинском колледже / Г. А. Никитина, Н. В. Панова // Сборники конференций НИЦ Социосфера. – 2011. – № 27. – С. 117-121. – EDN ORFQQB.

3. Профессионально-личностное воспитание студентов в процессе занятий физической культурой в медицинском вузе / С. М. Цыдыпова, Е. С. Фалилеева, Б. Б. Балданов, А. Н. Мирошникова // Форум молодых ученых. – 2022. – № 12(76). – С. 336-340. – EDN TTMBDW.

4. Назина, А. И. Влияние регулярной физической активности на когнитивные функции и профилактику нейродегенеративных заболеваний / А. И. Назина // Научная статья года 2025: сборник статей XXII Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 20 июня 2025 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2025. – С. 8-12. – EDN CYAMSV.

5. Роль здорового образа жизни в профилактике нейродегенеративных заболеваний / Н. Н. Чернова, О. П. Балыкова, Д. В. Пузакова, Л. И. Китаева // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2024. – Т. 23, № S6. – С. 84. – EDN ZJXUUA.

6. Гуць А.В. Некоторые вопросы профилактики бессонницы в современном обществе/ А. В. Гуць // Наука и образование: фундаментальные основы, технологии, инновации [Электронный ресурс]: материалы Всероссийской научно-методической конференции; Оренбург. гос. ун-т. – Электрон. дан. – Оренбург: ОГУ, 2025 – С. 39 – 42. – EDN ZJXUUA.

ФОРМИРОВАНИЕ И МОРФОЛОГИЯ БИОПЛЕНОК *PSEUDOMONAS AERUGINOSA* В ПРИСУТСТВИИ ЦЕФТРИАКСОНА

Давыдова О.К., канд. биол. наук, доцент,
Никиян А.Н., канд. физ.-мат. наук, доцент,
Ишемгулов А.Т., канд. физ.-мат. наук,
Мороз М.Д., Абдрахманова В.А.,
Летута С.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Атомно-силовая микроскопия (АСМ) является одним из ключевых и мощных инструментов для изучения бактериальных биопленок *Pseudomonas aeruginosa* [1], что связано с уникальными возможностями метода, позволяющего исследовать мягкие биологические образцы в условиях близких к нативным, что невозможно получить с использованием других методов микроскопии [2].

Использование АСМ позволяет изучать этапы формирования биопленки от адгезии отдельных клеток к поверхности до топографического изображение зрелой биопленки, оценивая механизмы начального прикрепления и устойчивости биопленки, визуализировать в реальном времени изменения в морфологии и структуре биопленки под действием внешних факторов (присутствие других веществ: антибиотиков, антисептиков или варьирование влажности, количества питательных веществ) [3-4].

Цель данной работы – АСМ-визуализация динамики формирования биопленок *P. aeruginosa* и их изменений под действием антибиотика цефтриаксона.

Для получения гомогенных мономикробных биоплёнок *P. aeruginosa* использовали пигментообразующий почвенный изолят данного микроорганизма, из чистой культуры которого готовили суспензию клеток по стандарту мутности МакФарланда 0,5, которую в объеме 1 мл смешивали в стерильной чашке Петри с 25 мл ЦПХ-агара, приготовленного в концентрации 0,6 % в пересчёте на агарозу, и инкубировали 24 часа при температуре 37 °С. При таком культивировании биопленка нарастала на поверхности жидкой среды. После извлечения чашек из термостата в условия комнатной температуры (около 20 °С) агар затвердевал, образуя твёрдую подложку. Формирование биопленок *P. aeruginosa* контролировали с помощью сканирующего зондового мультимикроскопа СММ-2000 (ЗАО «КПД», г. Зеленоград), работающего в контактном режиме в воздушной среде с наименьшим коэффициентом жесткости кантилевера 0,01 Н/м и радиусом кривизны не более 20 нм. Образцы для сканирования (рисунок 1) представляли собой «отпечатки» бактерий на поверхности свежесколотой слюды,

полученные с поверхности биопленки на разных этапах их формирования в чашках Петри [5].

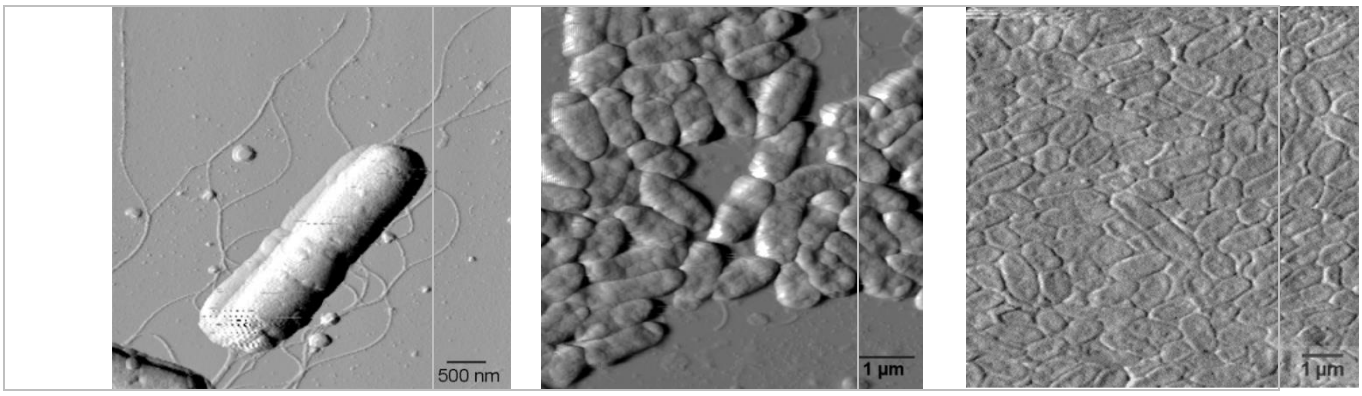


Рисунок 1 – АСМ-изображения бактерий *P. aeruginosa* на разных этапах формирования биопленки: начальный момент (слева), спустя несколько часов (по центру) и через сутки (справа)

Также оценивались морфологические изменения бактерий *P. aeruginosa*, выращенных на ЦПХ-агаре в присутствии антибиотика цефтриаксона в концентрации 5 и 50 мкг/мл при 37°С в течении суток. Результаты АСМ «отпечатков» клеток на слюде получены в контактном режиме сканирования и показаны на рисунке 2.

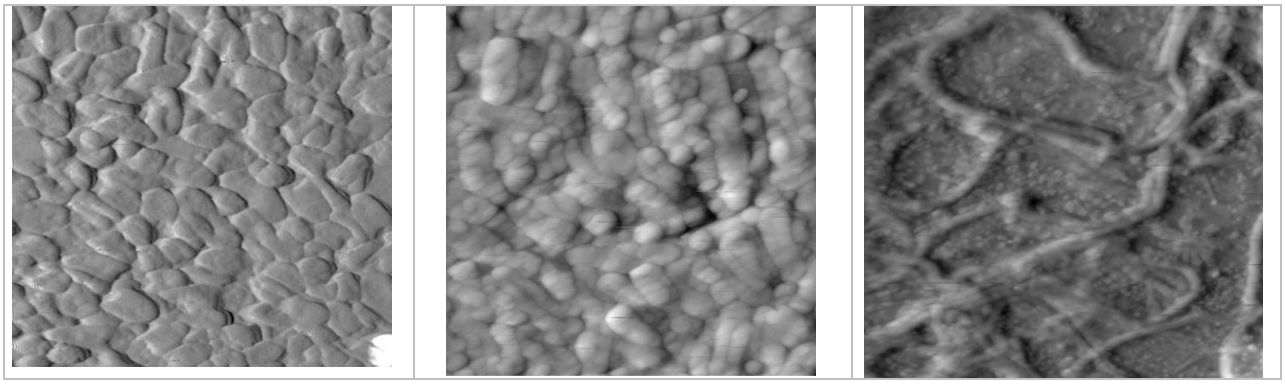


Рисунок 2 – АСМ-изображения биопленок *P. aeruginosa:* контрольные клетки (слева), в присутствии цефтриаксона 5 мкг/мл (по центру) и 50 мкг/мл (справа).

АСМ-визуализация контрольных клеток выявила их палочковидную форму с гладкой поверхностью. При этом в биопленках под действием цефтриаксона в меньшей концентрации регистрировалось появление сферизированных клеток, поверхность становилась более бугристой и неоднородной, а при большей – наблюдалось массовое образование длинных нитевидных структур (филаментация), свидетельствующее о нарушении процессов клеточного деления. Эти изменения согласуются с наиболее характерным и хорошо документированным морфологическим эффектом бета-лактамных антибиотиков на *E. coli*, ингибирующих пенициллин-связывающие белки, участвующие в синтезе пептидогликана и делении клетки [6]. По-

видимому, у *P. aeruginosa* в присутствии антибиотика данного класса также происходят подобные изменения, несмотря на более сложную организацию клеточной стенки [7].

В результате исследования было установлено, что бета-лактамный антибиотик цефтриаксон индуцирует у *P. aeruginosa* в условиях биопленки морфологические аномалии (филаментацию и сферизацию), что подчеркивает важность прямого визуального анализа эффектов антибиотиков на сложные бактериальные сообщества.

Таким образом АСМ можно рассматривать как конечный аналитический инструмент для детального описания итоговой морфологии бактериальных клеток, предоставляя уникальные количественные данные о морфологии, адгезии и механике биопленок в условиях, максимально приближенных к реальным, что затруднительно для большинства других методов. Полученные данные критически важны для понимания патогенеза инфекций, связанных с биопленками, и разработки новых стратегий борьбы с ними.

Список литературы

1. Давыдова, О. К. Механизмы биопленкообразования у *Pseudomonas aeruginosa* / О. К. Давыдова, А. Н. Никиян, М. Д. Мороз // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : Материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 01–03 февраля 2024 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2024. – С. 4811-4814.

2. Никиян, А. Н. Успехи и перспективы развития атомно-силовой микроскопии в микробиологии / А. Н. Никиян, Е. Б. Татлыбаева // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 6(167). – С. 112-119.

3. Дерябин, Д. Г. Исследование воздействия ампициллина на морфологические и механические свойства клеток *Escherichia coli* и *Bacillus cereus* с использованием метода атомно-силовой микроскопии / Д. Г. Дерябин, А. С. Васильченко, А. Н. Никиян // Антибиотики и химиотерапия. – 2011. – Т. 56, № 7-8. – С. 7-12.

4. Nikiyan, H. Humidity-dependent bacterial cells functional morphometry investigations using atomic force microscope / H. Nikiyan, A. Vasilchenko, D. Deryabin // International Journal of Microbiology. – 2010. – Vol. 2010. – P. 704170.

5. Letuta, S., A. Ishemgulov, O. Davydova. Photodynamic Inactivation of Pigmented and Non-Pigmented *Pseudomonas Aeruginosa* in Biofilms // Journal of Biomedical Photonics & Engineering. – 2025. – 11.4. – P. 040305.

6. Braga, P. C., & Ricci, D. (1998). Detection of drug-induced alterations on *Escherichia coli* morphology by atomic force microscopy // *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*. – 1998. – 42(1). – P. 18-22.

7. Formosa, C., Grare, M., Jauvert, E., Coutable, A., Regnouf-de-Vains, J. B., Mourer, M., Dague, E. Nanoscale analysis of the effects of antibiotics and CX1 on a *Pseudomonas aeruginosa* multidrug-resistant strain // *Scientific Reports. –2015.* –5(1). – P. 1-11.

ПРЕИМУЩЕСТВА И ОСОБЕННОСТИ МИКРОБНЫХ БИОРЕМЕДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Дубинин Д.И., Дроздова Е.А. канд. биол. наук, доцент,
Алешина Е.С. канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Современная цивилизация столкнулась с одной из самых серьезных проблем – повсеместным загрязнением окружающей среды. Нефтепродукты, тяжелые металлы, пестициды, промышленные отходы и пластик создают долговременную угрозу для экосистем и здоровья человека. Традиционные методы очистки (механические, химические, термические) зачастую дороги, энергоемки и, что критично, могут порождать вторичное загрязнение. В этой ситуации взгляд ученых все чаще обращается к силам природы, а точнее, к самым древним и жизнестойким ее обитателям – микроорганизмам. Бактерии, археи и микроскопические грибы, невидимые невооруженным глазом, обладают удивительной способностью превращать опасные загрязнители в безвредные или даже полезные вещества.

Микробная биоремедиация представляет собой технологию очистки окружающей среды, основанную на активации метаболического потенциала аутохтонных или интродуцированных микроорганизмов с целью деструкции токсичных органических ксенобиотиков до нетоксичных соединений в таких субстратах, как почва, грунты, подземные и поверхностные воды, донные отложения и различные типы отходов.

Ключевой механизм процесса заключается в способности микроорганизмов утилизировать поллютанты в качестве источников энергии и углерода. Это достигается за счёт ферментативных систем, катализирующих трансформацию молекулярной структуры загрязнителей. Преобладающим путем является деструкция сложных органических молекул (например, полициклических ароматических углеводородов, хлорированных соединений) посредством реакций катаболизма с образованием более простых и менее токсичных промежуточных продуктов.

В идеальных условиях конечными продуктами микробной деградации становятся углекислый газ, вода и биомасса. Таким образом, данный процесс не только обеспечивает детоксикацию, но и может приводить к полной минерализации загрязняющих веществ, что соответствует принципам экологической безопасности и устойчивого развития.

Например, метан получают путем бактериального разложения сульфитного раствора, отходов бумажного производства.

При наличии достаточного количества питательных веществ и конечного акцептора электронов для метаболизма почти все природные органические вещества в определенной степени биоразлагаемы, однако даже более простые

органические соединения не способствуют какой-либо микробной активности из-за неблагоприятных условий, таких как экстремальные температуры или pH, наличие токсичных веществ или антимикробных агентов, недостаток воды, дефицит питательных веществ, отсутствие акцептора электронов и т. д.

Таким образом, конечная цель биоремедиации – преобразование нежелательных органических соединений в безвредные вещества, обычно углекислый газ, воду, неорганические соли и биомассу [1].

Разнообразие микроорганизмов, участвующих в биоремедиации, огромно. Преимущество биоремедиационных технологий связано с возможностями живых организмов, особенно микроорганизмов, метаболизировать в той или иной степени огромное число различных органических веществ, а также с их безопасностью для экосистем и отсутствием в результате их деятельности вторичных отходов и загрязнителей.

Нефтедеструкторы, пожалуй, самые известные биоремедиаторы, способные утилизировать углеводороды в процессе своей жизнедеятельности. Это свойство связывают с наличием у них ферментной системы оксигеназ, позволяющей им включать молекулярный кислород непосредственно в углеводород, образуя при этом окисленные соединения. В результате углерод из нефти и нефтепродуктов частично преобразуется в углекислый газ, метан, частично переходит в биомассу клеток, частично трансформируется в гумус и закрепляется в почве [3]. К ним относятся бактерии родов *Pseudomonas aeruginosa, Pseudo monas putida, Bacillus subtilis, Bacillus cereus, Bacil lus licheniformis и Bacillus laterospors, Acinetobacter, Rhodococcus, Alcanivorax* (последний активируется при разливах нефти в океане, являясь настоящим "морским чистильщиком") [9].

Бактерии рода *Pseudomonas* обладают комплексом адаптационных механизмов, детерминирующих их высокую эффективность в деструкции углеводородов и их использовании в качестве единственного источника углерода и энергии. К числу ключевых адаптаций относятся: наличие специализированных ферментных систем, преимущественно оксидаз, катализирующих начальные этапы окисления углеводородов; способность к биосинтезу поверхностно-активных веществ (биоПАВ), повышающих биодоступность гидрофобных компонентов нефти; регуляция гидрофобности клеточной поверхности в ответ на наличие углеводородного субстрата; а также наличие внехромосомных генетических элементов (плазмид биодеградации), кодирующих гены катаболических путей разложения углеводородов и гетероциклических соединений.

Указанные свойства обусловливают значительный потенциал представителей данного рода для применения в биоремедиации нефтезагрязненных почв и водных систем. Экспериментально подтверждена способность выделенных штаммов псевдомонад деградировать широкий спектр нефтепродуктов, включая бензин, керосин, дизельное топливо и моторные масла. В частности, штамм *P. panipatensis* C71 продемонстрировал высокую деструктивную активность в водной среде: при 8 °C степень деградации

составила 79,6 % для нефти и 40,0 % для дизельного топлива; при 20 °С – 94,5 % и 48,5 %; при 30 °С – 96,4 % и 67,7 % соответственно. В полевых условиях интродукция микробного консорциума, включающего данный штамм, в мерзлотную почву, загрязненную арктическим дизельным топливом, привела к деструкции 91,7 % нефтепродуктов в течение одного вегетационного периода (2 месяца). На основе иммобилизованной биомассы *P. panipatensis* С71 разработан опытный образец биопрепарата для очистки окружающей среды от углеводородных загрязнений.

Штаммы родов *Acinetobacter* (*A. calcoaceticus*, *A. radioresistens*) также проявляют значительную катаболическую активность в отношении ароматических и алифатических углеводородов. Особую экологическую значимость представляет их способность к росту на трудноокисляемых ароматических соединениях, таких как толуол, бензол и ксилол, отличающихся высокой устойчивостью к деградации в естественных условиях. Лабораторные исследования показали, что степень деградации нефтепродуктов различными штаммами ацинетобактеров варьировала от 40,3 % до 99,7 % (рисунок 1). Результаты микрополевого эксперимента продолжительностью 60 дней подтвердили эффективность биопрепарата на их основе: на контрольном участке (за счет активности аутохтонной микрофлоры) деструкция составила 8,83 %, в то время как на опытном участке с внесением биопрепарата данный показатель достиг 48,37 % [5,6,7].

Рисунок 1 – Деятельность нефтедеструкторов (слева – опытная колба со штаммами бактерий *Acinetobacter;* справа – контрольная колба без бактерий).

Также в биоремедиации используют деструкторы хлорорганических соединений. Пестициды (ДДТ), диоксины, полихлорированные бифенилы (ПХБ) – одни из самых стойких загрязнителей. С ними справляются специализированные бактерии, способные отщеплять атомы хлора, например,

Dehalococcoides, Sphingomonas и *Bacillus***.** Штамм *Pseudomonas putida* П2 – разлагает пестицид прометрин в загрязнённой почве. Бактерия *Bacillus aryabhattai* МоВ09 – разлагает гербицид паракват из загрязнённой сельскохозяйственной почвы. Микроорганизмы задействуют различные биохимические механизмы для разложения пестицидов, такие как реакции окисления и восстановления [8].

Однако широкое применение бактерий для биоремедиации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, имеет ограничения: необходимо обеспечить оптимальные условия для жизнедеятельности бактерий, а многие штаммы устойчивы только к определённым загрязнителям. Контролируют содержание азотных соединений (нитратов, аммония) в почве и воде, предотвращая эвтрофикацию водоемов. Роды *Nitrosomonas, Nitrobacter, Pseudomonas*. Относительно новое, но крайне перспективное направление – использование пластик – разрушающих бактерий. Обнаружены грибы (*Aspergillus, Penicillium*) и бактерии (*Ideonella sakaiensis*), выделяющие ферменты (кутиназы, липазы, PET-гидролазы), способные разрушать полиэтилен, полиуретан и даже ПЭТ-пластик. Некоторые микроорганизмы устойчивы к радиоактивности и могут обезвреживать токсическое воздействие радиоактивных отходов. Например, бактерии рода *Desulfosporosinus* способны преобразовывать легко растворимый в воде шестивалентный уран в почти нерастворимый четырехвалентный. За неделю бактерии превратили около 40 % растворённого вещества в более безопасную форму. Ещё один пример – бактерия *Deinococcus radiodurans*, которая устойчива к высоким концентрациям радиоактивности благодаря мощным антиоксидантам и усиленному механизму восстановления ДНК. С помощью генной инженерии учёные получили штамм этой бактерии, который способен обезвреживать ионы ртути, переводя их в инертную форму металла. Использование таких микроорганизмов может помочь повысить надёжность хранилищ радиоактивных отходов, а также создать новые методы очистки [2].

Таким образом, микроорганизмы-биоремедиаторы – это мощный, возобновляемый и экологичный инструмент для решения глобальных проблем загрязнения. Они не являются абсолютной панацеей, но представляют собой основу для устойчивого подхода к восстановлению окружающей среды. В конечном счете, биоремедиация учит нас не бороться с природой, а сотрудничать с ней, используя миллиарды лет эволюционного опыта, закодированного в ДНК микроскопических, но невероятно могущественных союзников – микроорганизмов-биоремедиаторов.

Список литературы

1 Анил, К. Биоремедиация – экотехнология нового столетия / К. Анил, М. Гупта, К. Прамод [Электронный ресурс] // Портал магистров ДонНТУ Режим доступа: https://masters.donntu.ru/2010/feht/povolotskaya/library/translate.htm

2 Иваненко Н.В. Экологическая токсикология / Н.В. Иваненко. Учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, – 2006. – 108 с.

3 Коршунова, Т.Ю. Микроорганизмы в ликвидации последствий нефтяного загрязнения / Т. Ю. Коршунова, С. П. Четвериков, М. Д. Бакаева, Е. В. Кузина, Г. Ф. Рафикова, Д. В. Четверикова, О. Н. Логинов [Электронный ресурс] // Прикладная биохимия и микробиология, 2019. – Т. 55, – № 4, – стр. 338-349. Режим доступа: https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=prikbio&year=2019&vol=55&iss=4&file=PrikBio1904009Korshunova.pdf

4 Коршунова, Т.Ю. Роль бактерий рода *Pseudomonas* в устойчивом развитии агросистем и защите окружающей среды / Т. Ю. Коршунова, М. Д. Бакаева, Е. В. Кузина, Г. Ф. Рафикова, С. П. Четвериков, Д. В. Четверикова, О. Н. Логинов [Электронный ресурс] // Прикладная биохимия и микробиология, 2021, – Т. 57, – № 3, – стр. 211-227. Режим доступа: Прикладная биохимия и микробиология. Т. 57, Номер 3, - 2021

5 Логинова О.О., Перспективы использования штаммов В-3780, В-2838, В-5064 бактерий рода *Acinetobacter* для деградации почвенных нефтяных загрязнений / О.О. Логинова, Т.Т. Данг, Е.В. Белоусова, М.Ю. Шевченко, М.Ю. Грабович *// Проблемы региональной экологии, 2011. – № 4. – с. 202-208.*

6 Логинова О.О., Биодеградация нефтепродуктов в почве штаммами микроорганизмов рода *Acinetobacter /* О.О. Логинова, Т.Т. Данг, Е.В. Белоусова, С.С. Шалимова, М.Ю. Шевченко, М.Ю. Грабович // Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов: межрегиональный сборник научных работ. – Воронеж, 2010. – стр. 129-136.

7 Логинова О.О., Использование штаммов рода *Acinetobacter* для биоремедиации нефтезагрязненных почв на территории Воронежской области / О.О. Логинова, Т.Т. Данг, Е.В. Белоусова, М.Ю. Грабович [Электронный ресурс]. // Вестник ВГУ, серия: химия. Биология. Фармация, 2011, № 2. – 2011 – стр. 127-133. Режим доступа: 2011-02-21.pdf

8 Мамедова, П. Ш., Биоремедиация почв, загрязненных пестицидами / Мамедова Парвин Шамхал гызы, Бабаев Эльбей Расим оглу, Гахраманова Кенуль Рамиз гызы, Муштагова Фидан Галиб гызы. // Вестник КНИИ РАН. Серия «Естественные и технические науки». – № 3 (22), – 2025г. – стр. 109-141.

9 Cybulski Z., The influence of emulsifiers on hy drocarbon biodegradation by Pseudomonadacea and Bacillacea strains / Z. Cybulski, E. Dzuirla, E. Ka czorek, A. Olszanowski // Spill Science and Technol ogy Bulletin. – 2003. – 8 (5). – pp.503-507.

ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ *BACILLUS SPP.* В КАЧЕСТВЕ БИОРЕМЕДИАТОРОВ (ОБЗОР)

Жальских К. А., Здорова А. А., Сизенцов А. Н. канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Антропогенная деятельность приводит к масштабному загрязнению почв и водных ресурсов токсичными соединениями, среди которых наиболее опасными являются тяжелые металлы и нефтяные углеводороды. Их устойчивость, способность к биоаккумуляции в пищевых цепях и негативное воздействие на здоровье человека и экосистемы делают их приоритетными объектами для очистки [1]. Традиционные физико-химические методы ремедиации зачастую являются дорогими, энергоемкими и могут приводить к вторичному загрязнению. В отличие от них, биоремедиация представляет собой экономичную, эффективную и экологически безопасную альтернативу [1, 2].

Среди микроорганизмов-биоремедиаторов бактерии рода *Bacillus* занимают особое место. Это грамположительные, спорообразующие палочки, широко распространенные в различных средах, особенно в почвах. Способность к образованию эндоспор придает им исключительную устойчивость к экстремальным условиям, что критически важно для применения в нестабильных загрязненных средах [1]. Метаболическое разнообразие бацилл, включая способность продуцировать внеклеточные ферменты, биоповерхностно-активные вещества (биоПАВ), сидерофоры и другие биологически активные соединения, лежит в основе их мощного биоремедиационного потенциала.

Бактерии рода *Bacillus* обладают комплексом стратегий для иммобилизации, трансформации или удаления ионов металлов, такими как свинец, кадмий, ртуть, хром, мышьяк и никель и другие, из окружающей среды [1]:

1) Биосорбция – пассивный, не зависящий от метаболизма процесс адсорбции ионов металлов на клеточную стенку за счет функциональных групп (карбоксильной, гидроксильной, амино-, фосфатной). Например, штамм *B. thuringiensis* OSM29 показал эффективность биосорбции никеля до 94 %, а кадмия – 87 % [1]. Биоаккумуляция – активный, энергозависимый процесс транспорта металлов внутрь клетки и их компартментализации. Исследования штамма *B. cereus* RC-1 продемонстрировали его способность к активному накоплению кадмия [2, 6].

2)Внеклеточные полимерные вещества (EPS), выделяемые бациллами, представляют собой гелеобразный матрикс полисахаридов, белков и нуклеиновых кислот, богатый отрицательно заряженными группами. Этот матрикс эффективно хелатирует катионы металлов, предотвращая их проникновение в клетку и снижая общую токсичность среды [1].

3)Некоторые штаммы *Bacillus* способны трансформировать высокотоксичные растворимые формы металлов в менее токсичные и менее подвижные нерастворимые соединения путем осаждения (например, в виде сульфидов, фосфатов или карбонатов) или изменения валентного состояния [1, 2, 7].

Наряду с металлами представители рода *Bacillus* демонстрируют способность к деградации сложных органических загрязнителей, таких как алифатических и ароматических углеводородов нефти, благодаря процессу основанному на действии специализированных ферментных систем [3, 4]. При этом ключевую роль играют оксидоредуктазы, такие как лакказы, пероксидазы и диоксигеназы. Лакказы, обнаруженные у некоторых видов *Bacillus*, способны окислять широкий спектр полифенолов и ароматических аминов, участвуя в разложении сложных ароматических структур. Пероксидазы также вовлечены в деградацию ароматических соединений, включая толуол [3, 4].

Многие гидрофобные углеводороды плохо доступны для микробных клеток. Штаммы *Bacillus* (например, *B. methylotrophicus* USTBa, *B. subtilis* AS2) продуцируют биоПАВ (сурфактин, итурин, фенгицин), которые эмульгируют нефтепродукты, увеличивая площадь поверхности и биодоступность субстрата для ферментативной атаки [3, 4].

Геномный анализ штаммов-деструкторов выявил наличие генов, кодирующих ключевые ферменты путей деградации углеводородов (например, алкангидроксилазы, катехол-диоксигеназы). Это позволяет бациллам использовать углеводороды в качестве единственного источника углерода и энергии. Исследования показывают, что даже такие устойчивые фракции, как асфальтены, могут подвергаться биодеградации специализированными штаммами *Bacillus* [3, 4].

Потенциал практического использования *Bacillus* spp. выходит за рамки прямой очистки и эффективно реализуется в комбинированных и сельскохозяйственных технологиях.

Bacillus spp. являются одними из наиболее эффективных ризобактерий, стимулирующих рост растений (PGPR). Они способствуют росту растений в условиях загрязнения за счет фиксации атмосферного азота, солюбилизации фосфатов и калия, синтеза фитогормонов (ауксины, цитокинины) [5]. Более того, они повышают устойчивость растений к патогенам, индуцируя системную резистентность (ISR) [5, 9, 10]. В контексте фиторемедиации бациллы, колонизируя корневую зону, не только стимулируют биомассу растения-гипераккумулятора, но и мобилизуют металлы, делая их более доступными для поглощения корнями, что в целом повышает эффективность очистки [1, 2, 8].

Bacillus spp. являются основой для создания биоудобрений и биопестицидов. Они подавляют фитопатогенные грибы и бактерии за счет продукции антибиотиков, лизисных ферментов (хитиназ, глюканаз) и сидерофоров [5]. *Bacillus thuringiensis* (Bt) – всемирно признанный и коммерчески успешный биопестицид против насекомых-вредителей. Использование таких препаратов позволяет снизить нагрузку химических

пестицидов и удобрений, восстанавливая здоровье почв и способствуя устойчивому агропроизводству [5].

Понимание геномного потенциала открывает пути для направленного усиления ремедиационных свойств. Методами генетической инженерии можно повысить экспрессию ключевых ферментов (лакказ, пероксидаз), увеличить продукцию биоПАВ или придать штаммам устойчивость к еще более высоким концентрациям поллютантов [3]. Также перспективным направлением является биосинтез наночастиц металлов (например, селена, серебра) с использованием *Bacillus spp*., которые могут применяться в катализе и биосенсорике [5, 9].

Обобщая результаты литературного поиска следует отметить, что бактерии рода *Bacillus* относятся к высокоэффективным и универсальным агентам с выраженными биоремедиационными характеристиками. Их ключевое преимущество заключается в уникальном сочетании биологических свойств: физиологической устойчивости, обеспечиваемой способностью к спорообразованию, и широкого метаболического потенциала.

В отношении тяжелых металлов бациллы используют комплекс механизмов, включая пассивную биосорбцию на клеточную стенку, активную биоаккумуляцию, иммобилизацию металлов с помощью внеклеточных полимерных веществ (EPS) и их биотрансформацию в менее токсичные формы. Для деградации стойких органических загрязнителей, особенно нефтяных углеводородов, они задействуют ферментные системы (лакказы, пероксидазы) и производят биоповерхностно-активные вещества, увеличивающие доступность субстрата.

Важнейшей практической характеристикой *Bacillus spp*. является их способность к синергии с растениями в рамках фиторемедиации. Выступая как ризобактерии, стимулирующие рост растений (PGPR), они не только повышают эффективность очистки, но и способствуют восстановлению почвенного плодородия. Это напрямую связывает их применение в биоремедиации с задачами устойчивого сельского хозяйства, где они также используются в качестве основы для экологичных биопестицидов и биоудобрений.

Таким образом, бактерии рода *Bacillus* представляют собой высокоэффективный природный инструмент, который предлагает научно обоснованное, технологичное и экономически целесообразное решение для комплексного восстановления загрязненных экосистем и перехода к более безопасным и устойчивым агроэкологическим практикам.

Список литературы

1 Islam, M. T. *Bacillus*: As Bioremediator Agent of Major Environmental Pollutants / M. T. Islam et al. // *Bacilli* and Agrobiotechnology. – 2016. – No.2 – P. 1-21.

2 Szewczyk, R. Bioremediation of Heavy Metals by the Genus *Bacillus* / R. Szewczyk et al. // Int. J. Environ. Res. Public Health – 2023. – No.20 – P. 4964.

3 Кадир, А. Раскрытие потенциала *Bacillus sp*. в биоремедиации и биоконтроле [Электронный ресурс] / А. Кадир, М. М. Хуссейн, М. С. Б. Зафар,

М. А. Хамед, З. У. Р. Фаруки // Бациллы в агробиотехнологии. Бациллы в устойчивом к изменению климата сельском хозяйстве и биопоиске // *Bacilli* in Agrobiotechnology. Bacilli in Climate Resilient Agriculture and Bioprospecting / под ред. М. Т. Ислама, М. Рахмана, П. Пандея. – Cham : Springer, 2022. – Гл. 22. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Режим доступа: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85465-2_22. – Загл. с экрана.

4 Das, S. Exploring the Bioremediation Potential of *Bacillus spp*. for Sustainable Mitigation of Hydrocarbon Contaminants / S. Das et al. // Environmental Sustainability – 2024. – No.7. – P. 135-156.

5 Khan, A. R. *Bacillus spp*. as Bioagents: Uses and Application for Sustainable Agriculture / A. R. Khan et al. // Biology. – 2022. – No.11. – P. 1763.

6 Wang, L. A review of green remediation strategies for heavy metal contaminated soil / L. Wang, J. Rinklebe, F. M. Tack, D. Hou // Soil Use and Management. – 2021. – No.37. – P. 936-963.

7 Alotaibi, B. S. Unraveling the underlying heavy metal detoxification mechanisms of *Bacillus species* / B. S. Alotaibi, M. Khan, S. Shamim // Microorganisms. – 2021. – No.9. – P. 1628.

8 Zabochnicka-Świątek, M. Potentials of biosorption and bioaccumulation processes for heavy metal removal / M. Zabochnicka-Świątek, M. Krzywonos // Polish Journal of Environmental Studies. – 2014. – No.23. – P. 551-561.

9 Shafi, J. *Bacillus species* as versatile weapons for plant pathogens: A review / J. Shafi, H. Tian, M. Ji // Biotechnology & Biotechnological Equipment. – 2017. – No.31. – P. 446-459.

10 Rajmohan, K. S. A Review on Occurrence of Pesticides in Environment and Current Technologies for Their Remediation and Management / K.S. Rajmohan, R. Chandrasekaran, S. Varjani // Indian Journal of Microbiology. – 2020. – No.60. – P. 125-138.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ В ОТНОШЕНИИ ПАТОГЕННЫХ ПОЧВЕННЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ (ОБЗОР)

Здорова А.А., Жальских К.А., Сизенцов А.Н., канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

К патогенным почвенных микроорганизмам относят бактериальные клетки способные проникать в организм растения или животного, размножаться в нём, нарушать нормальные физиологические функции и вызывать заболевание. Следует отметить, что данные бактерии являются естественными, но часто скрытыми компонентами почвенной экосистемы, а их патогенетическое действие проявляется при создании определенных условий.

Использование наночастиц потенциально можно использовать в качестве методов борьбы с патогенными микроорганизмами. Механизм их биологического действия обусловлен влиянием на передачу сигналов бактериями, разрушении мембран клеток и снижении уровня внутриклеточного аденозинтрифосфата В последнее время возрастает интерес в области направленного бактериального синтеза, так как данный методический подход является не только экологически безопасным и имеет различные стратегии применения, позволяющий сдерживать рост и размножение патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. Изучение механизмов биологического воздействия металлических наночастиц на микроорганизмы может открыть новые пути к эффективному использованию наночастиц и тактике смягчения последствий [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Наночастицы обычно используются в качестве мощных антибактериальных средств, поскольку они обладают выраженным ингибирующим эффектом в минимальных концентрациях.

На сегодняшний день имеется множество данных о влиянии наночастиц Ag_2O более чем на 50 видов бактерий, включая грамположительные бактерии *Staphylococcus aureus* и грамотрицательные бактерии *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Так, основными преимуществами использования наночастиц серебра вместо традиционных антибиотиков являются отсутствие резистентности у бактерий и минимальные побочные эффекты наночастиц серебра по сравнению с антибиотиками.

Медленное растворение наночастиц серебра влияет на экологию микроорганизмов из-за их более высокого электростатического притяжения и сродства к биомолекулам, таким как серосодержащие белки, что позволяет ионам серебра проникать через клеточные стенки и цитоплазматические мембраны микроорганизмов. У грамотрицательных бактерий клеточная стенка тоньше, чем у грамположительных, поэтому наночастицы серебра представляют большую опасность для грамотрицательных бактерий. В случае с

грамположительными бактериями из-за толстой клеточной стенки наночастицы могут проникать в клетки и накапливаться в цитоплазме.

Наночастицы Ag_2O могут прикрепляться к поверхности бактерий за счёт нескольких типов взаимодействий, включая электростатические, гидрофобные, ван-дер-ваальсовы взаимодействия, а также взаимодействия между рецепторами и лигандами, или проникать через бактериальную мембрану и накапливаться внутри бактерий. Наночастицы могут механически убивать бактерии, растягивая бактериальную мембрану до предела. После прикрепления к поверхности бактерии они могут разрушать мембрану и/или нарушать транспорт элементов, баланс электронов, ионов и питательных веществ, дыхательную функцию и работу насоса для выведения веществ. Попадая внутрь бактерии, наночастицы могут вызывать окислительный (нитрозативный) стресс и генерировать активные формы кислорода, активные формы азота, повреждать ДНК и влиять на экспрессию генов, а также инактивировать важнейшие белки и ферменты, участвующие в различных сигнальных путях. Несмотря на то, что наночастицы обладают высоким потенциалом для уничтожения патогенных бактерий, таких как *Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa, Escherichia coli* и патогенов растений, таких как *Agrobacterium tumefaciens, Erwinia amylovora, Alternaria alternata* и *Botrytis cinerea,* они также могут нанести вред симбиотной микрофлоре, если случайно попадут в окружающую среду.

Филсером выдвинута гипотеза, что доза, которая делает наночастицы эффективным антибактериальным средством, также губительна для других микроорганизмов, таких как грибки, почвенные насекомые и другая почвенная микрофлора. Например, наночастицы серебра, обладающие потенциальной антибактериальной активностью, подавляют размножение почвенных микроорганизмов при более низкой концентрации, чем другие тяжёлые металлы [**Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.,Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Известно, что наночастицы железа могут эффективно уничтожать патогенные бактерии, а также поглощать загрязняющие вещества в почве. Carnathan B. J. с коллегами изучали влияние различных наночастиц железа (FeNP) на патогенные бактерии и в результате определили их чувствительность по отношению к FeNP. Были получены следующие результаты ингибирования бактерий, ранжированные от наиболее чувствительных к наименее чувствительным, следующие: *Bacillus nealsoni*> *Escherichia coli* > *Staphylococcus aureus* > *Delftia acidovorans* > *Chryseobacterium* sp. > *Sphingobacterium multivorum*.

B. nealsonii оказался наиболее чувствительным видом ко всем обработкам наночастицами железа, был единственной бактерией, которая реагировала на PVP-, что указывает на то, что её чувствительность превышала предложенный порог для всех покрытий [6].

Также проводилось исследование, в котором сравнивалась токсичность наночастиц оксида алюминия (Al_2O_3), оксида кремния (SiO_2), оксида титана

(TiO_2) и оксида цинка (ZnO) и их объёмных (микроскопических) аналогов в отношении бактерий (*Escherichia coli*), показало, что все наночастицы, кроме TiO_2, были более токсичными, чем их объёмные формы. Наночастицы ZnO продемонстрировали самую высокую токсичность, вызвав 100-процентную гибель всех бактериальных штаммов. Наночастицы Al_2O_3 показали разную степень токсичности: 36 % для *E. coli*. Наночастицы SiO_2 продемонстрировали разные степени токсичности, вызвав 40 %, 58 % и 70 % гибели соответственно.

Наночастицы оксида цинка (ZnO NPs) могут улучшать метаболическую активность некоторых почвенных бактерий, являясь источником цинка, важного микроэлемента. Аналогичным образом, было показано, что наночастицы оксида железа (Fe_3O_4 NPs) усиливают рост и ферментативную активность определённых штаммов микроорганизмов, участвующих в круговороте азота. Эти двойственные эффекты наночастиц указывают на сложность их взаимодействия с почвенными микроорганизмами и подчёркивают необходимость детального изучения нанотоксичности в сельском хозяйстве [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Однако бактерии обладают способностью формировать комплексные системы поддержания внутреннего равновесия (гомеостаза), применяя разнообразные стратегии для противодействия токсичному влиянию наночастиц. Иногда эти адаптационные процессы могут затрагивать факторы патогенности. Например, отдельные штаммы *Staphylococcus aureus* имеют специальные генетические детерминанты, регулирующие баланс меди в клетке, что является важным условием для их способности вызывать заболевание. У *Pseudomonas aeruginosa* резистентность к меди даёт конкурентные преимущества для заселения и выживания в окружающей среде.

Учёные проанализировали противомикробную эффективность наночастиц селена (Se) и теллура (Te) в отношении *Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus aureus*. Эксперименты показали, что наночастицы теллура обладают более выраженной активностью по сравнению с селенитом. При этом высвобождение селена из наночастиц селена, допированных серебром демонстрировало значительную токсичность для *S. aureus* при контакте с покрытием, в которое были интегрированы такие наночастицы.

Оценить воздействие наночастиц на межклеточную коммуникацию патогенных микроорганизмов можно путём изучения микробных пигментов. Так, жёлтый пигмент стафилофлавин у *S. aureus* и сине-зелёный пиоцианин у *Pseudomonas*. Стафилофлавин способен нейтрализовывать активные формы кислорода, что усиливает внутриклеточную выживаемость и вирулентность *S. aureus*. В ходе исследований было установлено, что наночастицы селена ингибируют продукцию данных пигментов у *P. aeruginosa* и *S. aureus* [8].

Почвенные патогены растений могут колонизировать почву и накапливаться в ней благодаря синергетическим симбиотическим отношениям, представляя серьёзную угрозу для корневых и стеблевых тканей растений и нанося огромный экономический ущерб сельскому хозяйству. *Ralstonia*

solanacearum – второй по опасности фитопатоген в мире среди почвенных патогенов растений. Это грамотрицательная бактерия, вызывающая бактериальное увядание. Результаты исследований показали, что наночастицы Cu-Ag оказывают значительное профилактическое и сдерживающее воздействие на бактериальное увядание томатов, за счет подавления роста *Ralstonia solanacearum* [9].

Мирзаджани с соавторами изучали фитотоксическое воздействие наночастиц серебра (Ag-NPs) на *Oryza sativa* и некоторые бактерии из его ризосферы. В ходе этих исследований были выделены, идентифицированы и использованы девять изолятов рода *Bacillus*. Обработка наночастицами серебра изменила популяцию бактерий: *Bacillus thuringiensis* SBURR1 была полностью уничтожена, а *Bacillus amyloliquefaciens* SBURR5 стала наиболее распространённой. Это показало, что наночастицы серебра могут повреждать клеточную стенку бактерий и превращать их в протопласты, что приводит к утечке сахаров и белков через бактериальную мембрану.

Сюй и др. сообщили о негативном воздействии наночастиц TiO_2 и CuO на почвенное сообщество, подчеркнув, что высокая биодоступность наночастиц CuO является основным источником токсичности для микроорганизмов. Наночастицы ZnO эффективно нарушают клеточную сигнализацию у *Pseudomonas chlororaphis* O6, ризосферной бактерии [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Выполнено при поддержке гранта министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2024-550

Список литературы

1. Abishagu, A., Kannan, P., Sivakumar, U. *et al.* Metal nanoparticles and their toxicity impacts on microorganisms // Biologia. – 2024. – V. 79. – C. 2843-2862.
2. Gudkov S. V. et al. Ag_2O nanoparticles as a candidate for antimicrobial compounds of the new generation // Pharmaceuticals. – 2022. – V. 15. – №. 8. – C. 968.
3. Rawat, J., Kumar, V., Ahlawat, P. *et al.* Current Trends on the Effects of Metal-Based Nanoparticles on Microbial Ecology // Appl Biochem Biotechnol. – 2023. – V. 195. – C. 6168-6182.
4. Tortella, G., Navas, M., Parada, M. et al. Synthesis of Silver Nanoparticles Using Extract of Weeds and Optimized by Response Surface Methodology to the Control of Soil Pathogenic Bacteria *Ralstonia solanacearum* // J Soil Sci Plant Nutr. – 2019. – V. 19. – C. 148–156.
5. Hajipour M. J. et al. Nanotechnology for targeted detection and removal of bacteria: opportunities and challenges // Advanced Science. – 2021. – V. 8. – №. 21. – C. 2100556.
6. Carnathan B. J. et al. Assessing the Effects of Surface-Stabilized Zero-Valent Iron Nanoparticles on Diverse Bacteria Species Using Complementary

Statistical Models //Journal of Functional Biomaterials. – 2025. – V. 16. – №. 3. – C. 113.

7. Das, D., Ingti, B., Paul, P. et al. Soil microbial dynamics in response to the impact of nanoparticles on agricultural implications // Discov. Soil. – 2025. – 2025. – V. 2. – № 58.

8. Beleneva I. A., Kharchenko U. V. Ecological and biological aspects of effect of nanoparticles and toxic forms of metals on marine and opportunistic bacteria //Russian Journal of Marine Biology. – 2024. – V. 50. – №. 3. – C. 135-145.

9. Ning W, Jiang L, Yang M, Lei T, Liu C, Zhao F, Shu P, Liu Y. Metabolomic Profiling Reveals the Effects of Cu-Ag Nanoparticles on Tomato Bacterial Wilt // Metabolites. – 2025. – V. 15. – № 8. – P. 548.

10. Raffi, M.M., Husen, A. Impact of Fabricated Nanoparticles on the Rhizospheric Microorganisms and Soil Environment // Nanomaterials and Plant Potential. Springer, Cham. – 2019. – P. 529–551.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМУЛЬСИЙ ПОЛИМЕТИЛСИЛОКСАНОВ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Иванова Е.В., Пономарева П.А., Юдин А.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Эмульсии относятся к классу гетерогенных дисперсных систем, в которых одна несмешивающаяся жидкость диспергирована в другой в форме капель, стабилизированных на межфазной границе [1]. Такие системы широко распространены и используются в различных отраслях промышленности – от пищевой и косметической до нефтехимической [2].

Полиметилсилоксаны (ПМС), обладающие уникальным сочетанием свойств, представляют значительный интерес в качестве дисперсной фазы для создания эмульсий. Стабилизация эмульсий ПМС в полярных средах, в частности в воде, сопряжена со значительными трудностями. Выраженная гидрофобность ПМС затрудняет их диспергирование в водных средах, а высокая вязкость замедляет процессы межфазного взаимодействия [4]. Ключевую роль в преодолении этих ограничений выполняют стабилизаторы – поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые за счет адсорбции на границе раздела фаз не только существенно снижают поверхностное натяжение, но и формируют защитные слои на поверхности капель [3].

В ходе работы эмульсии готовили путем энергичного встряхивания смеси 5 мл воды, 1 мл ПМС и небольшого количества стабилизатора. Устойчивость оценивалась по времени расслоения. Тип эмульсии определяли методом электропроводности и микроскопии. Для изучения тиксотропии пробирки с эмульсиями выдерживали в покое до образования геля, после чего подвергали механическому воздействию.

На рисунке 1 представлена грубодисперсная система с крупными маслянистыми включениями ПМС-1000, склонными к быстрому слиянию из-за отсутствия достаточного количества стабилизатора, либо большой разности полярности ПМС и водой.

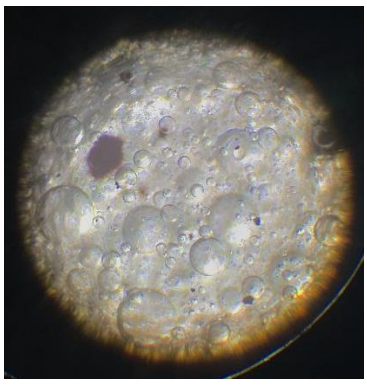


Рисунок 1 – Эмульсия ПМС-1000 в воде

Рисунок 2 представляет собой более однородную систему с меньшим размером капель, чем ПМС-1000.

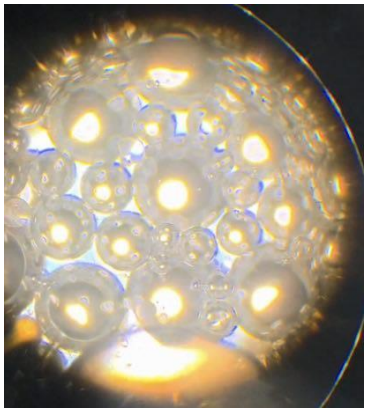


Рисунок 2 – Эмульсия ПМС-200

Эмульсия ПМС-5 в воде имеет наиболее однородную систему с мелкодисперсными каплями без видимых расслоений (рисунок 3).

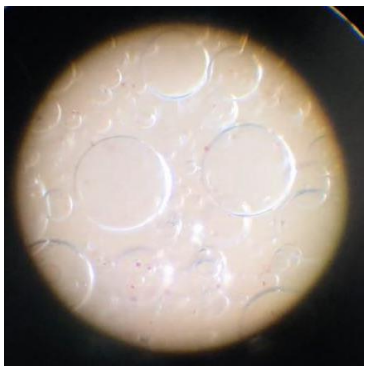


Рисунок 3 – ПМС-5 в воде

Результаты агрегативной устойчивости показаны в таблице 1. Полученные данные объясняются различиями в эффективности диспергирования. Высокая вязкость ПМС-1000 способствует формированию крупных капель, которые быстро коалесцируют. В случаем ПМС-5 и ПМС-200 низкая и умеренная вязкость, соответственно, обеспечивает более полное дробление фазы и образование устойчивых эмульсий с мелкими каплями [5].

Таблица 1 – Время расслоения эмульсий

Образец	Объем воды, мл.	Объем ПМС, мл.	Наличие стабилизатора	Время, мин.
ПМС-5	5	1	+	Не расслоился
ПМС-200	5	1	+	97
ПМС-1000	5	1	+	20

Таким образом, установлено влияние вязкости ПМС на устойчивость эмульсий в воде. Исследование тиксотропии показало, что при охлаждении эмульсия теряет текучесть, превращаясь в гель. Механическое встряхивание обратимо разрушает эту структуру, восстанавливая исходную консистенцию [5].

Список литературы

1 Щукин, Е.Д. Коллоидная химия / Е.Д. Щукин – М.: Высш. шк., 2004. – 445 с.

2 Воюцкий, С.С. Курс коллоидной химии / С.С. Воюцкий – М.: Химия, 1975. – 512 с.

3 Егорова, Е.В. Поверхностные явления и дисперсные системы: учеб. пособие / Е.В. Егорова, Ю.В. Поленов – Иваново: Иван. гос. Хим.-технол. ун-т., 2008. – 84 с.

4 Бажат, В. Силиконы. Кремнийорганические соединения. Их получение, свойства и применение / В. Бажат, В. Хваловски, И. Ратоуски – М.: Госхимиздат, 1960. – 696 с.

5 Сумм, Б.Д. Основы коллоидной химии / Б.Д. Сумм – М.: Академия, 2007. – 240 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ И КОНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕТИЛСИЛОКСАНОВ МЕТОДОМ КАПИЛЛЯРНОЙ ВИСКОЗИМЕТРИИ

Иванова Е.В., Пономарева П.А., Юдин А.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Полиметилсилоксаны (ПМС) относятся к классу кремнийорганических полимеров, получивших широкое использование в различных областях. Их практическая значимость выражена комплексом физико-химических характеристик. К ним относятся высокая термическая стабильность, низкая температура стеклования и низкое поверхностное натяжение, а также выраженная химическая и биологическая инертность [1]. Данный набор свойств непосредственно связан с особенностями молекулярной структуры, включающей гибкую неорганическую силоксановую основу с метильными заместителями, которые обеспечивают свободное вращение вокруг связей и слабое межмолекулярное взаимодействие [2].

Молекулярная масса является фундаментальным структурным параметром, напрямую определяющим совокупность физико-химических и реологических свойств ПМС [3]. От ее величины зависят вязкость, растворимость, размеры макромолекулярных клубков. В связи с этим важная задача в химии и физике полимеров – это разработка и применение надежных способов определения молекулярной массы и структурных параметров.

Среди ряда методов, таких как осмометрия, светорассеяние, гельпроникающая хроматография, вискозиметрия сохраняет актуальность благодаря своей доступности и экспрессной оценке средневязкостной молекулярной массе [2].

Основу составляет эмпирическая зависимость между характеристической вязкостью и молекулярной массой полимера, описываемая уравнением (1) Марка-Куна-Хуавинка:

$$[\eta] = K \cdot M^{\alpha}, \quad (1)$$

где K и α – константы, определяемые природой полимера, свойствами растворителя и температурой.

В ходе работы были использованы силиконовые масла: ПМС-5, ПМС-200, ПМС-1000. Измерение кинематической вязкости (ν) проводили на вискозиметре с соответствующим диаметром капилляра (0,61 мм или 1,77 мм) для оптимального времени истечения при 20 °C.

Плотность (ρ) образцов определяли пикнометрическим методом при той же температуре. Динамическую вязкость (η) рассчитывали, как произведение кинематической вязкости на плотность.

По логарифмической зависимости нашли молекулярную массу (M), далее вычисляли степень полимеризации (n), контурную длину (L), среднеквадратичное расстояние между концами цепи (h) и гидродинамический радиус (R_h) [5].

В таблице 1 представлены результаты измерений для трех марок ПМС.

Таблица 1 – Расчетные параметры ПМС

Марка ПМС	ν, мм^2/с	ρ, г/мл	M, г/моль	n	L, нм	h, нм	R_h, нм
ПМС-5	5, 90	0,9170	1112	14	3,50	2,44	1,22
ПМС-200	198,82	0,9978	10964	147	36,75	7,70	3,85
ПМС-1000	1512,42	1,1550	41686	562	140,50	15,11	7,56

Как видно из таблицы, с увеличением вязкости происходит рост структурных параметров. Молекулярная масса изменяется в широком диапазоне от $1{,}1 \cdot 10^3$ г/моль до $4{,}2 \cdot 10^4$ г/моль. Степень полимеризации возрастает от 14 до 562 звеньев, что непосредственно отражается на увеличении линейных размеров макромолекулы.

Соотношение между контурной длиной и среднеквадратичным расстоянием отражает степень свернутости цепи. Для всех исследуемых образцов выполняется условие $h < L$, что свидетельствует о клубкообразной конформации. Гидродинамический радиус возрастает с ростом молекулярной массы, что подтверждает увеличение объема, занимаемого макромолекулой в растворе [5].

На основе полученных данных были построены графики в логарифмических и линейных координатах. На рисунке 1 наблюдается линейная зависимость, что соответствует эмпирическому уравнению, использованного в расчетах.

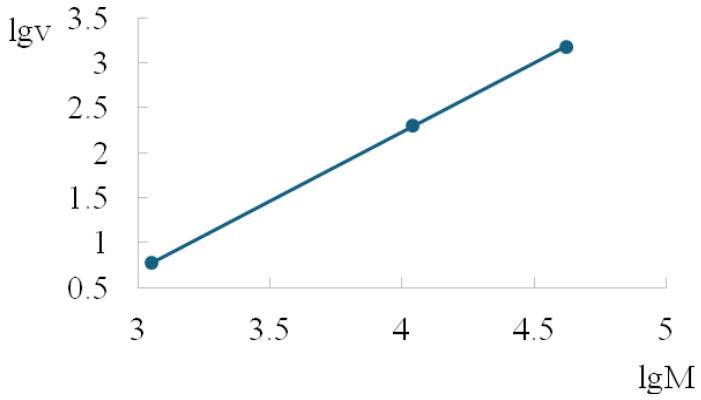


Рисунок 1 – График зависимости lg M от lg ν

Рисунок 2 демонстрирует резкое возрастание вязкости с ростом молекулярной массы в виде восходящей кривой, крутизна которой увеличивается.

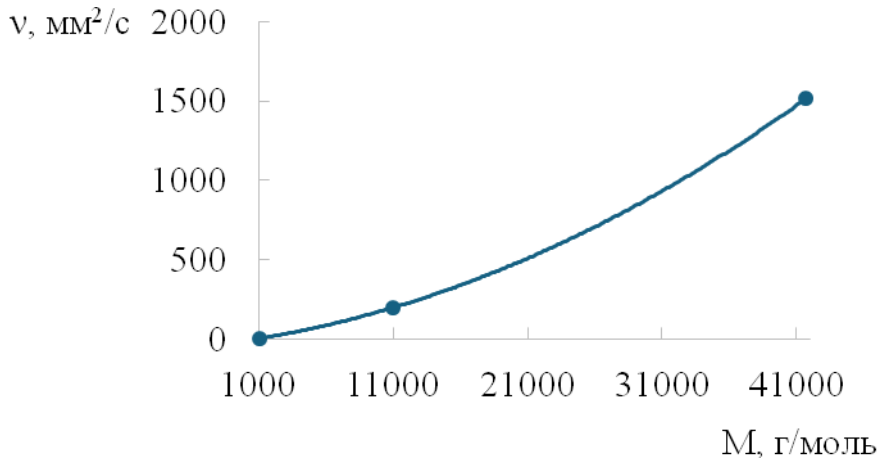


Рисунок 2 – Зависимость молекулярной массы от кинематической вязкости

Также была получена графическая зависимость контурной длины макромолекулы от молекулярной массы (рисунок 3). Абсолютная линейность графика подтверждает корректность расчета степени полимеризации.

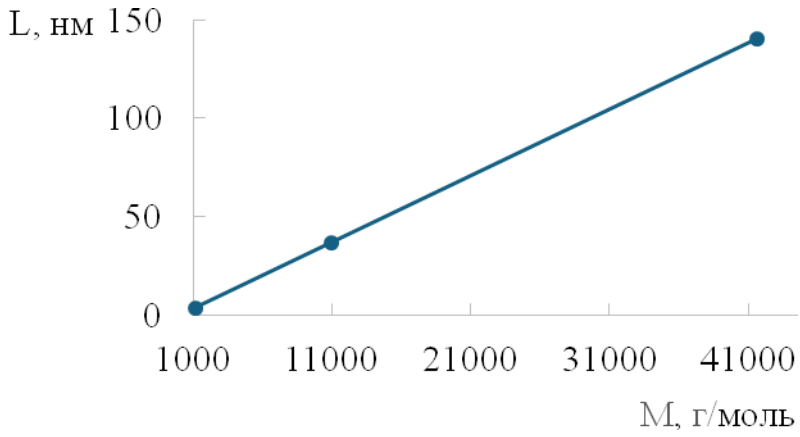
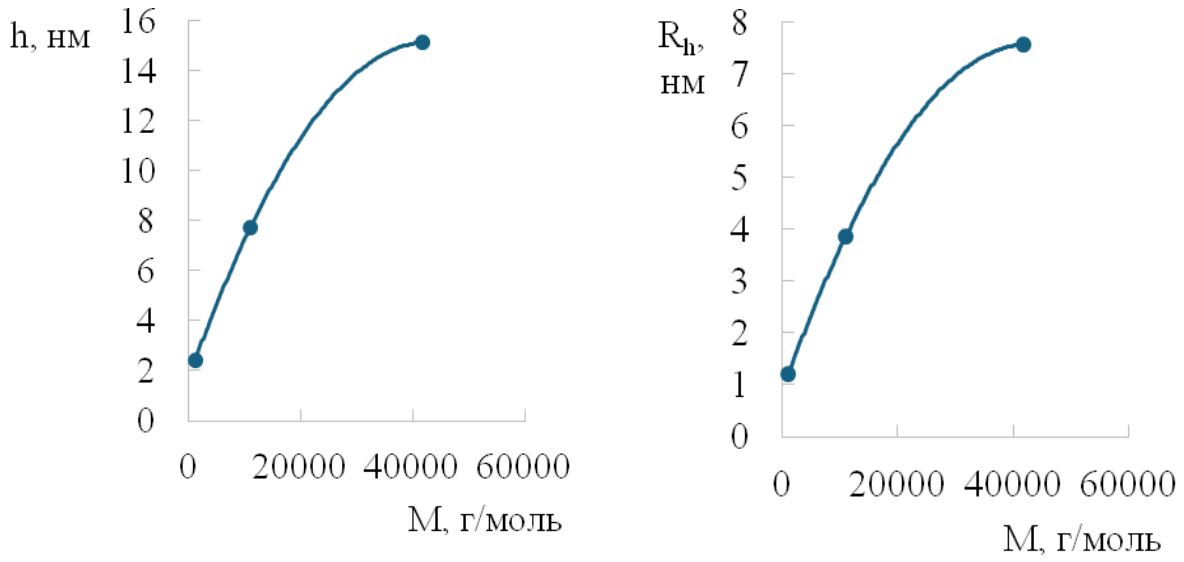


Рисунок 3 – Прямая молекулярной массы от контурной длины

На рисунке 4 замечается нелинейный рост h и R_h с увеличением молекулярной массы. Данный вид графиков свидетельствует о том, что гибкие цепи ПМС сворачиваются в соответствии с моделью статистического клубка. Это проявляется в пропорциональности их линейных размеров квадратному корню от степени полимеризации [6].



а б

Рисунок 4 – Расчетные зависимости структурных параметров ПМС от молекулярной массы (а – среднеквадратичное расстояние макромолекулы, б – гидродинамический радиус)

Проведенное исследование с использованием метода капиллярной вискозиметрии позволило оценить взаимосвязь между реологическими и структурными параметрами полидиметилсилоксанов. Установлен рост молекулярной массы от $1{,}1 \cdot 10^3$ г/моль до $4{,}2 \cdot 10^4$ г/моль в исследуемом диапазоне вязкостей, сопровождающийся пропорциональным увеличением всех геометрических характеристик макромолекул. Экспериментальные данные хорошо описываются уравнением Марка-Куна-Хуавинка с показателем $\alpha = 0{,}65$, что характерно для гибкого клубка в условиях хорошего растворителя [6]. Сделан вывод о перспективности вискозиметрического метода для экспресс-анализа, позволяющего определять как молекулярную массу, так и конформационные параметры ПМС.

Список литературы

1. Воронков, М.Г., Милешкевич, В.П., Южелевский, Ю.А. Силоксановая связь / М.Г. Воронков, В.П. Милешкевич, Ю.А. Южелевский – Н.: Наука, 1976. – 413 с.

2. Бажат, В. Силиконы. Кремнийорганические соединения. Их получение, свойства и применение / В. Бажат, В. Хваловски, И. Ратоуски – М.: Госхимиздат, 1960. – 696 с.

3. Оудиан, Дж. Основы химии полимеров / Дж. Оудиан – М.: Мир, 1974. – 612 с.

4. Малкин, А.Я., Чалых, А.Е. Диффузия и вязкость полимеров. Методы измерения / А.Я. Малкин, А.Е. Чалых – М.: Химия, 1979. – 304 с.

5. Таггер, А.А. Физикохимия полимеров / А.А. Таггер – М.: Научный мир, 2007. – 576 с.

6. Кабанов, В.А. Энциклопедия полимеров т.2 / В.А. Кабанов – М.: Советская энциклопедия, 1977. – 514 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CHLORELLA VULGARIS В КАЧЕСТВЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Киржаева О.И., Алешина Е.С., канд. биол. наук, доцент,
Дроздова Е.А., канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Chlorella vulgaris (отдел *Chlorophyta*, класс – *Trebouxiophyceae*, порядок – *Chlorellales*, семейство – *Chlorellaceae*) – это одноклеточная, зеленая микроводоросль. Её отличительными особенностями, представляющими интерес для животноводства, являются высокое содержание белка (45 % в сухом виде), богатое содержание аминокислот, превышающее их количество в растительных кормовых добавках, а также высокая скорость размножения и нетребовательность к условиям обитания. Помимо белка, хлорелла содержит бета-каротин, витамин Е, витамины группы В, витамин С и микроэлементы (медь, кобальт, марганец, железо, молибден, цинк, йод), что делает её выгодной заменой для витаминно-минеральных комплексов и профилактическим средством против инфекционных заболеваний [1].

Для достижения высоких продуктивных показателей в животноводстве требуются значительные расходы на кормовые добавки. Одним из перспективных направлений является совершенствование кормовой базы за счёт включения в рационы добавок и комплексов, не требующих сложных технологических процессов для своего изготовления. Применение таких препаратов направлено на оптимизацию обменных процессов в организме животных, что позволяет увеличить продуктивность при неизменном объёме кормовых ресурсов.

Открытие российским учёным Н. И. Богдановым нового планктонного штамма хлореллы (ИФР №С-111) стало ключевым условием для разработки её концентрированной формы. Свойства штамма удобны для его производства в промышленных масштабах: в процессе культивирования не требуется перемешивание суспензии, поскольку клетки свободно распределяются в среде; возможно поддерживать монокультуру в нестерильных условиях благодаря выраженным бактерицидным свойствам штамма; культура нетоксична, что подтверждает безопасность и практическую применимость биотехнологии в условиях животноводства; высокая биологическая активность штамма позволяет снижать нормы скармливания суспензии животным; процесс не требует дополнительной подачи углекислого газа из баллонов. Производство хлореллы исключает загрязнение окружающей среды – получаемая биомасса является продуктом безотходного цикла, поскольку полностью используется в качестве кормовой добавки. Кроме того, варьирование условий культивирования позволяет целенаправленно регулировать содержание в биомассе белков, липидов, углеводов и витаминов [2].

Птицеводство является ведущей отраслью агропромышленного комплекса. Корректировка рациона сельскохозяйственной птицы требует включения дорогостоящих компонентов – новых ферментов, адсорбентов, антиоксидантов, синтетических аминокислот и каротиноидов, а их краткосрочное хранение напрямую влияет на увеличение себестоимости конечной продукции, поэтому практический интерес представляет изучение эффективности применения кормовой добавки на основе водорослей из рода *Chlorella*.

Так, эксперимент, проведенный в условиях крестьянско-фермерского хозяйства в Ленинском районе Московской области, в ходе которого контрольная группа кур получала стандартный рацион хозяйства, а две опытные – дополнительно кормовую добавку на основе хлореллы в дозах 2 мл и 4 мл на голову в сутки в течение 60 дней, показал, что употребление хлореллы положительно сказалось на яичной продуктивности. Хотя разница в приросте живой массы составила всего 1 %, за 60 дней опытные группы превзошли контрольную по количеству снесённых яиц на 30 и 69 штук соответственно [3].

Опыт, проведенный на трех группах цыплят-бройлеров кросса «КОББ 500», показал, что применение кормовой добавки не вызвало негативных отклонений в состоянии здоровья цыплят, а, напротив, оказало положительное влияние. Было отмечено более качественное переваривание компонентов корма и усвоение питательных веществ, стимулирующее влияние на иммунитет, и как следствие, увеличение роста и снижение затрат корма на 1 кг прироста живой массы в опытных группах в сравнении с контролем. В группах, получавших суспензию *Chlorella vulgaris*, отмечено улучшение гематологических и иммунобиологических показателей. По сравнению с контролем содержание гемоглобина и количество эритроцитов были выше, фагоцитарная активность клеток крови увеличилась на 32 %, бактерицидная активность сыворотки на 10 %, а уровень лизоцима на 4 %. В группе с дозой 2 мл/кг живой массы также зафиксирован рост показателя белкового обмена на 32 %, тогда как при дозе 1 мл/кг изменения были незначительными. В обеих опытных группах повысилось содержание в сыворотке крови железа, кальция и фосфора [4].

Мясо бройлеров, которых кормили *Chlorella vulgaris*, отличается и улучшенными пищевыми качествами: липидный профиль стал более здоровым, повысилось содержание полиненасыщенных жирных кислот. Минеральный состав мяса грудки улучшился: повысилось содержание калия, фосфора и магния и снизилось содержание натрия [5].

Исследования в СПК колхоз Кубань, СПК колхоз Казьминский, КФХ Мордонян Р.Х. демонстрируют, что применение кормовой добавки с хлореллой в расчёте 1,0-1,2 литра на голову в сутки оказало комплексное положительное влияние на молочную продуктивность коров. В результате среднесуточный удой увеличился на 1,9 кг (или 7,4 %), а питательная ценность молока повысилась. Кроме того, затраты кормов на производство 1 кг молока снизились с 1,35 кормовых единиц в контроле до 1,18 кормовых единиц в

опыте. Значимым результатом стало полное отсутствие желудочно-кишечных заболеваний за весь период опыта, что подтверждает эффективность хлореллы в качестве пребиотической кормовой добавки. Гематологические исследования подтвердили положительное влияние кормовой добавки на физиологическое состояние опытного поголовья: наблюдалось повышение количества эритроцитов на 7,7 %, уровня общего белка на 9,5 %, а концентрации кальция – на 6,7 % [6].

Исследования в Ярославской области также выявили положительную динамику: потребление суспензии хлореллы привело к значительному повышению продуктивности коров. Среднесуточный удой молока с поправкой на 4-х процентную жирность увеличился на 20 %, а массовая доля белка в молоке возросла на 10 %. В опытной группе сохранялось преимущество по гематологическим показателям и параметрам белкового и минерального обмена. Разница в среднесуточном удое достигла 26 %, а содержание белка в молоке оставалось выше на 11 % по сравнению с контролем. В исследовании, где изучалось влияние хлореллы на продуктивные показатели телочек, её скармливание обеспечило увеличение среднесуточного прироста живой массы в среднем на 15 %. В течение последующих 30 дней у животных опытной группы отмечались более высокая частота сокращений рубца, улучшенные гематологические показатели, активизация белкового и минерального обмена. Преимущество в суточных приростах к концу периода наблюдения составило 13 % относительно контрольной группы [7, 8].

Применение кормовой добавки на основе хлореллы в свиноводстве демонстрирует положительную динамику продуктивных и физиологических показателей. В ходе эксперимента на свинокомплексе ООО «СХП «Живая природа» изначальная живая масса поросят в контрольной группе была в среднем на 4,3 % выше, чем в опытной. Однако применение кормовой добавки обеспечило компенсацию этого отставания и привело к достоверному повышению живой массы поросят на 6,9 % и среднесуточных привесов на 9,9 % относительно контроля. Добавка также стимулировала белковый синтез, что позволило снизить затраты корма, сырого протеина и обменной энергии на единицу продукции на 9,1 %, 9,6 % и 8,9 % соответственно. Включение добавки в рацион растущих поросят не вызвало негативных изменений гематологических и биохимических показателей крови. При этом отмечено положительное влияние на микробиоту кишечника: увеличение популяции бифидобактерий и лактобактерий [9].

Использование кормовых добавок, содержащих *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis* стало многообещающей стратегией для решения проблемы дефицита питательных веществ в пчелиных семьях (*Apis mellifera*), которая помогает укрепить иммунную систему пчёл и снизить уровень стресса. У пчёл наблюдалась значительно более высокая экспрессия нескольких генов антимикробных пептидов по сравнению с базовой диетой, а также более высокая способность к уничтожению бактерий после инъекции живых клеток кишечной палочки. Результаты показывают, что протестированные

микроводоросли могут увеличить продолжительность жизни медоносных пчёл и укрепить их иммунитет без значительных последствий для здоровья по сравнению с широко используемым искусственным рационом [10].

На основании проведённых исследований можно сделать вывод о том, что использование кормовой добавки на основе хлореллы в животноводстве является высокоэффективным и научно обоснованным решением. Её применение демонстрирует стабильное положительное влияние на ключевые производственные показатели: повышение продуктивности, улучшение качества продукции и значительное увеличение экономической эффективности за счёт снижения затрат корма. Хлорелла оказывает комплексное полезное воздействие на физиологическое состояние животных: улучшает гематологические и иммунобиологические параметры, оптимизирует обмен веществ и способствует формированию здоровой кишечной микрофлоры. Внедрение хлореллы в кормовые рационы представляет собой перспективное направление для повышения конкурентоспособности и устойчивости агропромышленного производства.

Список литературы

1. Олейникова Д. В. *Chlorella vulgaris* / Д. В. Олейникова, В. Ю. Горбунова // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. – 2020. – № 3 (56). – С. 21-28.

2. Мельников С. Использование хлореллы в кормлении сельскохозяйственных животных / С. Мельников, Е. Мананкина // Наука и инновации. – 2010. – № 8 (90). – С. 40-43.

3. Рязанов И. Г. Оценка влияния применения кормовой добавки на основе хлореллы (*Chlorella vulgaris* Beijer) на продуктивность кур кросса Ломан Браун / И. Г. Рязанов, А. П. Коновалов, И. И. Цепилова // Тимирязевский биологический журнал. – 2023. – № 4. – С. 81-86.

4. Петраков Е. С. Применение добавки на основе микроводорослей Chlorella vulgaris в кормлении цыплят-бройлеров / Е. С. Петраков, В. А. Лукьянов, М. М. Наумов, А. Н. Овчарова, О. В. Софронова, Л. Л. Полякова, Н. С. Петракова // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2016. – № 1. – С. 96-104.

5. High dietary inclusion of *Chlorella vulgaris* with extrusion or enzyme superdosing: Effects on broiler performance, welfare, and meat quality / A. R. Mendes, O. Madacussengua, J. M. Pestana [et al.] // Poultry Science. – 2025. – № 104:105372.

6. Стребкова К. А. Использование кормовой добавки «Хлорелла» в рационах дойных коров и телят-молочников / К. А. Стребкова, Б. Т. Абилов, В. С. Артамонов // Сельскохозяйственный журнал. – 2020. – № 5 (13). – С. 64-72.

7. Богданова А. А. Влияние добавки хлореллы на физиолого-биохимические и продуктивные показатели у лактирующих коров / А. А. Богданова, Е. А. Флёрова // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2016. – № 1. – С. 84-95.

8. Богданова А. А. Влияние добавки хлореллы на физиолого-биохимические и продуктивные показатели у телочек / А. А. Богданова, Е. А. Флёрова // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2016. – № 2. – С. 66-75.

9. Лукьянов В. А. Эффективность кормовой добавки «АльгаВет» и ее роль в инновационном развитии свиноводства / В. А. Лукьянов, М. М. Наумов, Н. М. Наумов, Г. С. Калачева, И. В. Грибовская, Н. С.-А. Ниязов // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – № 2. – С. 48-51.

10. Ewert A. M. Microalgae functional feed additives strengthen immunity and increase longevity in honey bees / A. M. Ewert, A. McMenamin, D. Adjaye, V. Rainey, V. Ricigliano // Journal of Invertebrate Pathology. – 2025. – № 211:108352.

ПРЕИМУЩЕСТВО МЕТОДА СПЕКТРОМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Колисниченко Т.М., Колисниченко В.Н.
Бузулукский колледж промышленности и транспорта ОГУ

Атмосферный воздух оказывает важное значение на все живые организмы. Быстрые темпы развития производства, урбанизация городов, воздействия человека на окружающую среду требуют повышенного внимания к охране атмосферного воздуха [1].

Основными источниками загрязнения атмосферы являются выбросы промышленных предприятий, процессы испарения и сжигания топлива, такие как теплоэлектростанции, двигатели внутреннего сгорания и т.д.

Химические методы анализа не всегда соответствуют требованиям современной науки. В связи с этим внедряются физико-химические и физические методы исследования, которые являются наиболее более точными.

На сегодняшний день наиболее распространенными способами исследования качественного и количественного состава веществ является спектральный анализ, который имеет множество преимуществ.

Спектральный анализ – это физический метод исследования состава вещества, основанный на изучении спектров испускания, поглощения, отражения и люминесценции. Атомы каждого элемента испускают излучение определенных длин волн, это и позволяет определить, какие элементы входят в состав данного вещества [2].

Когда используют методы спектрального анализа, то необходимо учитывать в какой последовательности следует проводить анализы, чувствительность анализа, также иметь ввиду, что некоторые методы ведут к уничтожению вещественных доказательств, погрешности, в результате чего, дальнейшее исследование вещества невозможно.

Чувствительность спектрального анализа, как правило, очень высока. Минимальная концентрация определяемого вещества, которая может быть обнаружена и измерена спектральными методами, колеблется в широких пределах в зависимости от свойств этого вещества и состава анализируемой пробы.

Точность спектрального анализа зависит, главным образом, от состава и структуры анализируемых объектов. При анализе образцов, схожих по своей структуре и составу, можно легко получить более точный результат. Погрешность в данном случае не превышает ± 1-3% по отношению к определяемой величине [3].

Скорость такого анализа значительно превышает скорость выполнения анализа другими методами, соответственно экономит время. Объясняется это тем, что при спектральном анализе не требуется предварительной подготовки пробы и ее разделения на отдельные компоненты. Хочется отметить, что анализ выполняется очень быстро. При применении современных методов

спектрального анализа точное количественное определение нескольких компонентов в сложном образце занимает всего несколько минут с момента доставки пробы в лабораторию до получения результатов анализа. Продолжительность анализа, значительно возрастает, если проводить предварительную пробоподготовку для более точного результата.

Основу спектрального анализа составляет разложение света на составные части. Если пучок света пустить на грань трехгранной призмы, то, преломляясь в стекле, составляющие белый свет лучи дадут на экране радужную полоску, называемую спектром. В спектре все цвета идут в строгом порядке. Каждому цвету соответствует определенная длина этой волны или частоты. Длина волны в спектре уменьшается от красных лучей к фиолетовым от 0,7 до 0,4 мкм, а частота увеличивается, от 390 ТГц до 750 ТГц [4].

На рисунке 1 представлен спектр поглощения.

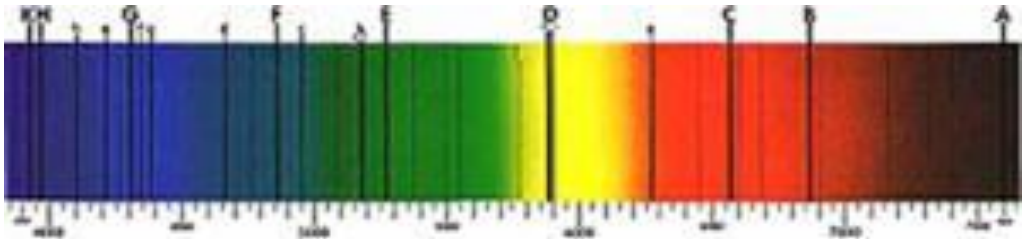


Рисунок 1 - Спектр поглощения

Атомы каждого химического элемента имеют определённые резонансные частоты, в результате чего именно на этих частотах они излучают или поглощают свет. Это приводит к тому, что в спектроскопе на спектрах видны линии (тёмные или светлые) в определённых местах, характерных для каждого вещества. Интенсивность линий зависит от количества вещества и его состояния. В количественном спектральном анализе определяют содержание исследуемого вещества по относительной или абсолютной интенсивностям линий или полос в спектрах [5].

Анализ загрязнения атмосферного воздуха, можно отнести к наиболее трудным в аналитической химии. Это прежде всего связано с тем, что одна проба одновременно может содержать десятки и даже сотни органических и неорганических соединений, концентрация токсичных веществ в атмосфере может быть ничтожно малой (до 10^{-4} – 10^{-7} % и ниже), а воздух представляет собой неустойчивую систему с постоянно меняющимся составом (наличие влаги, кислорода, фотохимические реакции, изменение метеорологических условий) [6].

Для исследования атмосферного воздуха наибольшее распространение получил метод колориметрии, так как данный метод доступен и обладает более высокой чувствительностью. Определяемое вещество переводят в окрашиваемое соединение при помощи химической реакции, затем проводят определение интенсивности окраски раствора. Если исследуемое вещество поглощает в видимой области спектра, то отпадает необходимость получения окрашенного раствора. Используемые в колориметрии приборы либо проводят

визуальное сравнение окрасок рабочего и стандартного растворов, либо определяют абсолютные или относительные интенсивности световых потоков, прошедших через раствор.

В последнее время известное распространение получили и ленточные фотоколориметрические газоанализаторы, в которых взаимодействие определяемого вещества и реагента происходит на бумажных, тканевых или полимерных лентах. Ленточные анализаторы имеют преимущества перед жидкостными: они более чувствительны, проще в работе, не требуют затрат времени на предварительное приготовление растворов.

На сегодняшний день данный анализ применяется во всех сферах антропогенной деятельности, таких как экология, химия, медицина, промышленность, других отраслях и является важнейшим аспектом развития научного прогресса, уровня и качества жизни человека.

В заключении хочется отметить:

1.Спектральный метод анализа является одним из самых широко используемых, универсальный и точный для определения состава веществ.

2.Стоимость анализа ниже стоимости химического метода.

3.Минимальные затраты на химические реактивы.

4.В зависимости от поставленных задач можно выбрать экономически выгодное оборудование.

5.Большой ассортимент лабораторного оборудования позволяет укомплектовать лабораторию всем необходимым, что позволит получать более точные результаты и приведет к более эффективной работе.

Список литературы

1. Экологическая экспертиза: оценка воздействия на окружающую среду. Автор: Л.М. Симонян, А.А. Алпатова, Н.В. Демидова.2018г.

2. Природные ресурсы и окружающая среда. Автор: И.И. Лиштван. 2016г.

3. Аналитическая химия. Хроматографические методы анализа. Автор: А.И. Жебентяев.2017г.

4. Пробоподготовка в экологическом анализе. Автор: Ю.С. Другов, А.А. Родин. 2020г.

5. Физико-химические методы анализа. Практическое руководство. Автор: В.Б. Алясковский, В.В. Бардин, М.И. Булатов. 1988г.

6. Физическая химия. Автор: Д.Г. Кнорре, Л.Ф. Крылова, В.С. Музыкантов. 1990г.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЧВ Г. ОРЕНБУРГА МЕТОДАМИ ФИТОТЕСТИРОВАНИЯ В СООТВЕТСТВИИ С ДЕЙСТВУЮЩИМИ СТАНДАРТАМИ

Комарова Д.С., Верхошенцева Ю.П., канд. биол. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Вопросы нормирования и стандартизации методов экологического контроля являются фундаментальными для получения достоверных и сопоставимых данных о состоянии окружающей среды. При оценке качества почв, наряду с химическим анализом, ключевую роль играют биологические методы, в частности фитотестирование, регламентированное соответствующими национальными и межгосударственными стандартами. Базовым документом, устанавливающим требования к первичному этапу исследований, является ГОСТ 17.4.4.02–2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» [1]. Данный стандарт определяет методологию проведения точечного, объединенного и профильного отбора почвенных проб, требования к оборудованию, упаковке, транспортировке и подготовке проб к последующему анализу. Особое внимание уделяется обеспечению репрезентативности выборки, что является критически важным условием для любой последующей оценки, включая биотестирование.

Непосредственно методику биодиагностики хронической фитотоксичности почв устанавливает ГОСТ Р ИСО 22030–2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений» [2]. Стандарт описывает процедуру лабораторного тестирования, основанную на оценке влияния пробы почвы или водной вытяжки из нее на рост и развитие высших растений в контролируемых условиях в течение определенного периода, обычно охватывающего основные фазы вегетации от прорастания до раннего роста. В качестве тест-объектов, как правило, используются стандартизированные, чувствительные виды, такие как пшеница мягкая (*Triticum aestivum* L.), овес посевной (*Avena sativa* L.), редис посевной (*Raphanus sativus* L.) или горчица белая (*Sinapis alba* L.). Оценка фитотоксического эффекта проводится путем сравнения показателей всхожести семян, длины побегов и корней, а также биомассы растений, выращенных на исследуемой пробе, с контрольными образцами (стандартная почва или среда). На основе этих данных рассчитываются интегральные показатели, такие как индекс всхожести, фитотоксичность (в процентах ингибирования), индекс толерантности и индекс массы, количественно характеризующие степень угнетения тест-культуры.

Объектом исследования послужили образцы почв, отобранные на трех участках города Оренбурга с различным уровнем антропогенной нагрузки. Ул.

Театральная, 29 – селитебная зона; ул. Орджоникидзе, 111 – зона промышленно-транспортного влияния; ул. Донгузская, 17 – периферийная зона частной застройки. В качестве условного контроля был выбран участок на улице Театральной. Для оценки фитотоксичности почв в качестве тест растений были выбраны – горчица белая сорт Радуга (*Sinapis alba*) и пшеница озимая сорт Таня (*Triticum aestivum*).

Практическое применение указанных стандартов иллюстрируют данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты определения токсичности почв исследуемых участков

№ участка	№ контейнера	Всхожесть, %	Фитотоксич-ность, %	ИТ, %	ИМ, %
Участок 1 ул. Театральная (контроль)	0 –10 см пшеница	90	10	-	-
	0 – 10 см горчица	93	7	-	-
	10 – 20 см пшеница	93	7	-	-
	10 – 20 см горчица	100	0	-	-
Участок 2 ул.Орджоникидзе	0 – 10 см пшеница	70	30	88,3	83,3
	0 – 10 см горчица	60	40	90,4	88,8
	10 – 20 см пшеница	83	17	86,6	86,1
	10 – 20 см горчица	66	34	91,1	88,5
Участок 3 ул.Донгузская	0 – 10 см пшеница	50	50	74,1	66,8
	0 – 10 см горчица	33	67	52,2	60,4
	10 – 20 см пшеница	60	40	76,4	70,9
	10 – 20 см горчица	46	54	58,5	58,5

Таблица содержит результаты оценки фитотоксичности почвенных образцов, отобранных на различных участках и глубинах (0–10 см, 10–20 см). Для каждой комбинации «образец – культура», в процессе исследований, были приведены первичные данные: показатель всхожести в долях единицы, длина растения и корня (см), сухая масса растения (г) [3, 4]. На основе первичных данных рассчитаны среднеарифметические значения всхожести, а также интегральные индексы – фитотоксичности (процент ингибирования относительно контроля), толерантности и массы, выраженные в процентах.

Результаты исследования выявили четкий градиент фитотоксического эффекта. На контрольном участке показатели всхожести тест-культур были высокими, а фитотоксичность – минимальной, что свидетельствует об удовлетворительном состоянии почвенной среды, характерной для зон с минимальным техногенным воздействием [5].

В зоне промышленно-транспортного влияния зафиксировано умеренное, но статистически значимое угнетение растений. Всхожесть снизилась до 60–83 %, а фитотоксичность возросла до 17–40 % в зависимости от культуры и глубины отбора. Наиболее выраженные негативные эффекты наблюдались в поверхностном горизонте (0–10 см). Данная картина соответствует процессу аккумуляции в почве поллютантов промышленного и транспортного происхождения, таких как тяжелые металлы и органические соединения,

которые оказывают хроническое стрессовое воздействие на растительные организмы.

Наиболее критическая ситуация выявлена на ул. Донгузская, где показатели фитотоксичности достигли максимальных значений – от 40 % до 67 %. Всхожесть семян здесь была самой низкой, а интегральные индексы толерантности и массы существенно снижены. Высокая степень угнетения растений, особенно в поверхностном слое, может быть обусловлена комплексным влиянием локальных источников загрязнения: интенсивного движения автотранспорта, несанкционированного размещения отходов, а также возможного применения агрохимикатов в личных хозяйствах. Во всех случаях поверхностный слой почвы (0–10 см) проявлял большую фитотоксичность по сравнению с горизонтом 10–20 см, что подтверждает гипотезу о преимущественно атмосферном и поверхностном пути поступления загрязняющих веществ. Сравнительный анализ чувствительности биоиндикаторов показал, что белая горчица (*Sinapis alba*) является более чувствительным тест-объектом к исследуемым загрязнителям по сравнению с озимой пшеницей (*Triticum aestivum*), что выразилось в более низких показателях всхожести и более высоких значениях фитотоксичности для данного вида на всех загрязнённых участках.

Таким образом, применение стандартизированных методов фитотестирования позволило количественно оценить и дифференцировать степень хронического фитотоксического воздействия почв городской среды, что является основой для мониторинга экологических рисков и планирования восстановительных мероприятий. Основными причинами выявленной токсичности почв являются техногенное загрязнение, связанное с промышленной и транспортной деятельностью, а также локальное антропогенное воздействие в жилой застройке.

Использование стандартизированных методов, таких как ГОСТ 17.4.4.02–2017 и ГОСТ Р ИСО 22030–2009, обеспечивает единство методических принципов на всех этапах работы — от полевого отбора проб до интерпретации биологических тестов. Это создает надежную основу для мониторинга загрязнения почв, оценки экологических рисков и эффективности проводимых рекультивационных или природоохранных мероприятий [6].

Список литературы

1 ГОСТ 17.4.4.02.-2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовка проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа». – Введ. 2019–01–01. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 10 с.

2 ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений». – Введ. 2011—01-01. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 20 с.

3 Онищенко, Г. Г. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г. Г. Онищенко. – Москва : НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. – 143 с.

4 Лозановская, И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении : учебное пособие / И. Н. Лозановская. – Москва : Высш. шк., 1998. – 286 с.

5 Волошин, Е. В. Зерноведение с основами растениеводства : учеб. пособие / Е. В. Волошин. – Оренбург : ОГУ, 2019. – 97 с.

6 Лихачев, С. В. Биотестирование в экологическом мониторинге : учебно-методическое пособие / С. В. Лихачев, Е. В. Пименова, С. Н. Жакова. – Пермь : Прокростъ, 2020. – 89 с.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЧАСТИЦ ОКСИДОВ САМАРИЯ И ГАДОЛИНИЯ МЕТОДОМ ПЕЧИНИ

Крушенова А.С., Юдин А.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ) — особый класс функциональных материалов, обладающих уникальными оптическими, магнитными и каталитическими свойствами. Среди них особое место занимают оксиды самария (Sm_2O_3) и гадолиния (Gd_2O_3). Sm_2O_3 применяется в люминофорах, термобарьерных покрытиях и как нейтронный поглотитель в ядерной энергетике. Gd_2O_3, благодаря высокому сечению захвата тепловых нейтронов и способности к активации ионами Eu^{3+} или Tb^{3+} , используется в детекторах излучения, биомедицинской визуализации и в качестве матрицы для фосфоров. Для реализации этих функций особенно важны наноразмерные формы оксидов, обеспечивающие высокую удельную поверхность, однородность состава и управляемые оптические характеристики [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Одним из наиболее перспективных химических методов получения таких материалов является метод Печини, предложенный М. Печини в 1967 году. Этот подход относится к классу полимеризационных методов и основан на образовании хелатных комплексов между ионами металлов и лимонной кислотой с последующей поликонденсацией в присутствии многоатомного спирта (обычно этиленгликоля). Преимуществами метода являются: возможность получения высокодисперсных порошков при относительно низких температурах, хорошая воспроизводимость, химическая однородность продуктов даже при многокомпонентном составе, а также масштабируемость процесса без необходимости в дорогостоящем оборудовании. Однако эффективность метода сильно зависит от природы металла, условий синтеза и режимов термообработки [1].

Ключевые слова: оксид самария,оксид гадолиния, метод Печини, нанопорошки.

Целью данной работы является сравнительный анализ эффективности метода Печини при получении наночастиц Sm_2O_3 и Gd_2O_3. Особое внимание уделено влиянию разных соотношений линной кислоты

Синтез проводили по стандартной методике Печини. В качестве исходных солей использовали нитраты $Sm(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ и $Gd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$. Их растворяли, после чего добавляли лимонную кислоту в мольном соотношении металл : лимонная кислота. Раствор нагревали до 80 °C при постоянном перемешивании до полного растворения и образования прозрачного жёлтого (для Sm) или бесцветного (для Gd) раствора хелатного комплекса. Затем вводили этиленгликоль в соотношении лимонная кислота : этиленгликоль = 1 :

2. Смесь постепенно нагревали до 130–150 °C, где происходила поликонденсация с образованием вязкой смолы. Дальнейшая сушка при 700 °C в муфельной печи на протяжении 2 часов приводила к формированию пористого пенообразного прекурсора [1].

Ниже в таблице 1 и 2 приведены результаты.

Таблица 1 – Экспериментальные данные синтеза нанооксида Sm_2O_3

Содержание к-ты, %	50%	60 %	70%	80%	90%	100 %	110 %	120 %	130 %	140 %	150 %
Выход оксида самария,г	0,1938	0,1721	0,1734	0,1805	0,2038	0,8945	0,1955	0,1789	0,1830	0,1776	0,1825

Таблица 2 – Экспериментальные данные синтеза нанооксида Gd_2O_3

Содержание лимонной кислоты, %	50%	60%	70%	80%	90%	100 %	110 %	120 %	130 %	140 %	150 %
Выход оксида гадолиния,г	0,1899	0,1709	0,1833	0,1787	0,1962	0,7997	0,2876	0,1865	0,1743	0,1845	0,1799

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что метод Печини эффективен для синтеза как Sm_2O_3, так и Gd_2O_3 в виде нанокристаллических порошков и оптимальное содержание кислоты 100% .

Этот метод остаётся высокоэффективным для обоих систем благодаря своей простоте, воспроизводимости и возможности получения химически однородных материалов. Он позволяет избежать таких недостатков, как загрязнение продукта при механическом измельчении или использование токсичных растворителей, характерных для других методов (соосаждение, золь-гель с алкоксидами и др.)[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Таким образом, метод Печини рекомендуется для лабораторного и потенциально промышленного получения нанопорошков оксидов самария и гадолиния. Для достижения наилучших результатов необходимо учитывать индивидуальные особенности каждого РЗЭ и подбирать оптимальные соотношения реагентов. Перспективным направлением дальнейших исследований является модификация метода Печини (например, микроволновая или ультразвуковая активация) для дополнительного снижения температуры кристаллизации и улучшения морфологических характеристик получаемых наночастиц[3].

Список литературы

1. Гимаздинова, М. М. Получение нанокристаллов $GdFeO_3$ методом глицин-нитратного горения / М. М. Гимаздинова, Е. А. Тугова, М. В.

Томкович, В. И. Попков // Конденсированные среды и межфазные границы. — 2016. — Т. 18, № 3. — С. 422–431.

2. Доу, С. Преобразование металлоорганических каркасных структур в наночастицы оксидов редкоземельных металлов под воздействием лазера / С. Доу, Ц. Лю, С. Гун, Х. Цзян, Х. Дэн // APL Materials. — 2022. — Т. 10

3. Медков, М. А., Стеблевская, Н. И., Волкова, Л. М., Добридень, С. П. Способ получения нанодисперсных ферритов редкоземельных металлов : пат. РФ № 2400427 / М. А. Медков [и др.] ; заявитель и патентообладатель Институт химии ДВО РАН. — № 2008146240/15 ; заявл. 25.11.2008 ; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 27. — 8 с.

4. Методы получения наноразмерных материалов : курс лекций / Уральский гос. ун-т им. А. М. Горького ; сост. [и др.]. — Екатеринбург, 2007. — 79 с.

5. Митюшкин, Е. О. Гидротермальный синтез апконверсионных наночастиц $NaYF_4$:Yb,Er и модификация их поверхности для использования в роли биосенсоров / Е. О. Митюшкин, Д. К. Жарков, А. В. Леонтьев [и др.] // Известия РАН. Серия физическая. — 2023. — Т. 87, № 12. — С. 1724–1729.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОСТРАНСТВЕ УЧЕБНОГО ПЛАНА ХИМИКА-МАГИСТРАНТА

Кудряшова А.А., Абубакирова Р.Р.,
Каныгина О.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор,
Сальникова Е.В., д-р биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Я думаю, что химики – это те,
кто на самом деле понимает мир.
Этот огромный мир – удел химиков
Л.К. Полинг
Можно не любить химию, но прожить
без нее сегодня и завтра нельзя
О.М. Нефедов, академик АНСССР, РАН

Динамика научного прогресса и возрастающая социальная ответственность науки требуют формирования целостного профессионального сознания. Речь идет о воспитании исследователя, который не только умеет ставить эксперименты, но и глубоко понимает логику научного поиска, способен организовать свою работу как комплексный проект и осмыслить ее значение в широком контексте. Согласно современной парадигме, синергетика объединения познавательных способностей: ощущений, восприятий, памяти, представлений, мышлений и воображение, определяется интеллектом. Развитие интеллектуальных возможностей студентов – это первейшая задача качественной подготовки будущего компетентного специалиста. При этом, совершенствование обучения химии невозможно без организации целостного процесса развития интеллектуальных возможностей, позволяющего студентам проникнуть в сущность изучаемого материала, накапливать опыт мыслительной деятельности и использовать полученные знания как средство дальнейшего развития [1-5].

Учебный план магистратуры по химии представляет собой не просто набор дисциплин и практик, а сложноорганизованное интеллектуальное пространство, предназначенное для формирования сознания и профессиональных компетенций обучающегося. Профессиональная компетенция – это набор знаний, навыков, способностей и личностных качеств, необходимых профессионалу для выполнения работы и достижения целей в конкретной профессиональной области.

Учебный план делится на два блока: обязательный и элективный. В обязательную часть входят следующие дисциплины: методология научных исследований, теория и практика управления проектами, деловой иностранный язык, деловая коммуникация в научной и профессиональной деятельности,

философия, компьютерные технологии, современные методы физико-химического анализа, электрохимические методы анализа, спектроскопические методы анализа, методы исследования структуры твердых тел, теоретические основы переработки нефти, химия координационных соединений, физикохимия и технология материалов, физико-химические основы функциональных материалов.

Блок элективных дисциплин: методы концентрирования и разделения, физико-химические основы экстракционных процессов, физико-химические методы в криминалистике, физическая химия твердого тела, основы квантово-химического расчета молекул, современная химия и химическая безопасность.

На рисунке 1 представлена модель формирования интеллектуального пространства магистранта-химика

Рисунок 1 – Модель формирования интеллектуального пространства магистранта – химика

Модель представляет собой четыре неразрывно связанных уровня, каждый из которых отвечает на ключевой вопрос исследовательской деятельности. Внешний, самый широкий круг – это мировоззренческий слой, который формирует фундамент и отвечает на вопрос «Зачем?». Именно здесь формируется ценностно-смысловой каркас работы через изучение философии и истории науки, осмысление этических норм и социальной роли химии в решении глобальных проблем, будь то поиск новых источников энергии, создание биоразлагаемых материалов или разработка лекарств. Этот слой задает общее направление и придает значимость конкретным изысканиям, превращая их из технического задания в часть большого научного и социального процесса.

Следующий слой, обрамляющий смысловое ядро, – организационно-управленческий. Он отвечает на вопрос «Как организовать?» и служит мостом между высокой идеей и ее практической реализацией. На этом уровне формируются компетенции, необходимые для воплощения исследования в жизнь: управление проектами, включая планирование ресурсов и сроков, навыки работы с научной информацией и оформления результатов, знание основ патентного права и принципов научной коммуникации. Этот слой обеспечивает эффективность и легитимность исследовательского процесса, превращая идею в структурированный, управляемый и презентуемый проект.

Третий слой, еще ближе к центру, – методологический. Его ключевой вопрос – «Каким методом?». Теоретическим фундаментом и системным стержнем этого слоя выступает дисциплина «Методология научных исследований». Именно она формирует каркас научного мышления, обеспечивая понимание общих принципов познания, логики построения гипотез, стратегии планирования эксперимента и критериев научной доказательности. Здесь сосредоточено инструментальное ядро профессии: арсенал конкретных способов познания. Это глубокое понимание методологии научного эксперимента, владение современными физико-химическими методами анализа, такими как спектроскопия, хроматография или дифракция, а также математическими и вычислительными инструментами для обработки данных и моделирования. Этот слой гарантирует достоверность и воспроизводимость получаемых данных, являясь техническим обеспечением всего исследовательского замысла.

Наконец, центральный слой – объектный. Он является фокусом всей системы и отвечает на простой, но фундаментальный вопрос: «Что изучаем?». Это конкретный материальный объект или процесс – новая молекула, механизм каталитической реакции, композитный материал или аналитическая методика. Глубокие предметные знания для этого слоя дают фундаментальные и специальные химические дисциплины, от квантовой химии до химии полимеров, которые и составляют традиционное ядро магистерской программы [6, 7].

Умение не только поставить научную задачу и найти рациональные пути решения, но и определить, каковы будут последствия претворения этих разработок в жизнь, вырабатывается лишь при всестороннем фундаментальном образовании. Оно базируется на широкой естественной и гуманитарной эрудиции, позволяющей взглянуть на проблему с различных сторон, на знании истории развития науки, дающей прекрасные примеры как перспективного, так и тупикового путей развития модельных концепций и технологических схем, а также на развитом логическом мышлении.

Динамика взаимодействия этих слоев и составляет суть исследовательского мышления. В фазе постановки задачи движение идет извне внутрь: от осознания глобальной проблемы или научного вызова (мировоззренческий слой) через планирование возможного проекта для ее решения (организационный слой) и выбор адекватных методов исследования

(методологический слой) к формулировке конкретного объекта изучения (объектный слой). В фазе осмысления и интерпретации результатов движение обратное: полученные данные о конкретном объекте осмысливаются через призму использованных методов, оцениваются с точки зрения успешности реализации проекта и, в конечном счете, встраиваются в более широкую научную картину мира, подтверждая, опровергая или расширяя исходные мировоззренческие установки [8, 9].

Предложенная модель позволяет магистранту осознанно строить свою траекторию, преподавателю – выполнять роль наставника, соединяющего разрозненные знания в целостную картину, а разработчикам программ – создавать учебные планы как логичные маршруты становления исследователя.

Для ее реализации необходимы конкретные шаги: знакомство студентов с моделью на старте обучения, внедрение сквозных междисциплинарных заданий, проведение рефлексивных семинаров и ведение портфолио, фиксирующего рост на всех уровнях. Целенаправленная работа по такому принципу способна превратить подготовку магистра-химика из процесса передачи информации в искусство формирования мыслящего, рефлексирующего и ответственного профессионала, готового не только реагировать на вызовы современности, но и самостоятельно их формулировать.

Список литературы

1. Актуальные проблемы реформирования химического и химико-педагогического образования : материалы XIV Герценовских чтений / Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена. – Санкт-Петербург : РГПУ им. А. И. Герцена, 1998. – 158 с.

2. Разу, М. Л. Управление проектом. Основы проектного управления / М. Л. Разу ; под ред. М. Л. Разу ; рец.: В. И. Воропаев, З. М. Гальперина. – 4-е изд. – Москва : Кнорус, 2018. – 756 с.

3. Алексеев, Н. А. Педагогические основы проектирования личностно-ориентированного обучения : автореф. дисс. … д-ра пед. наук / Н. А. Алексеев. – Екатеринбург, 1997. – С. 18-27.

4. Батоцыренова, К. Г. Новые информационные технологии как условие интеллектуального развития личности // Качество образования: концепции, проблемы оценки, управление. Ч. 1. – Новосибирск, 1998. – С. 20-28.

5. Канке, В. А. Философия математики, физики, химии, биологии : учебное пособие / В. А. Канке. – Москва : КНОРУС, 2011. – 368 с.

6. Золотухин, В. М. Философские вопросы химии: проблемы и методологические основания / В. М. Золотухин, Н. А. Золотухина // Вестник Кузбасского государственного университета. – 2007. – № 2. – С. 115-118.

7. Каныгина, О. Н. Основы теории и практики управления проектами : методические указания / О. Н. Каныгина, Е. В. Сальникова ; Оренбургский государственный университет. – Оренбург : ОГУ, 2021. – 35 с.

8. Зефиров, Н. С. Химическая энциклопедия / Н. С. Зефиров. – Москва : Большая Российская энциклопедия, 1995. – Т. 4. – С. 596–597.

9. Бельская Е.Ю. История и философия науки (Философия науки) [Электронный ресурс] / Бельская Е.Ю., Волкова Н.П., Иванов М.А. − Альфа-М, 2011. − Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=254523

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В ПРЕПОДАВАНИИ ХИМИИ

Кушнарева О.П.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Химия, являясь базовой дисциплиной в современном естественно-научном и техническом образовании, играет ключевую роль в подготовке специалистов самых разнообразных направлений – ученых-исследователей, технологов, инженеров промышленных производств, энергетики, транспорта, пищевой индустрии. Быстро изменяющаяся технологическая реальность предполагает наличие у выпускников не только специализированных навыков, но и развитого научного мировоззрения, умения проводить комплексный анализ различных ситуаций и решать задачи, лежащие на стыке различных дисциплин [1].

Благодаря химическому образованию у студентов происходит формирование научного мировоззрения, в основе которого лежат экспериментальные доказательства, развивается логическое мышление, умение выстраивать причинно-следственные связи и делать обоснованные выводы. Химические знания помогают в понимании других естественных наук, таких как биология и физика и геология, и это обеспечивает целостное и взаимосвязанное восприятие окружающего мира.

В условиях увеличивающейся нагрузки промышленности и транспорта на окружающую среду, загрязнения почв, водной и воздушной среды производственными отходами химическое образование является основой для формирования экологической культуры, гражданской ответственности за сохранность планеты для будущих поколений и необходимости рационального использования природных ресурсов.

Химическая грамотность важна для каждого современного человека – понимание химических процессов позволяет ориентироваться в гигантском потоке информации о новых материалах, лекарствах, пищевых добавках, средствах бытовой химии и многом другом [2].

Химическое подготовка, которую студенты получают в ВУЗах, выполняет важнейшие взаимосвязанные функции:

- *мировоззренческая* – формирование единой химической естественнонаучной картины мира. У студентов происходит осознание и более глубокое понимание материального единства окружающего мира. Занятия химией способствуют осознанию фундаментальной роли химических процессов на всех уровнях существования материального мира, начиная от атомно-молекулярного уровня до глобальных биогеохимических циклов; осмыслению значения этих явлений в эволюции природы, развитии общества и технологий.

- *развивающая* – содействие развитию мышления - теоретического, абстрактно-логического и аналитического, а также творческих способностей. При изучении химии формируются навыки работы с информацией, совершенствуются такие приемы, как анализ и синтез, выявление причинно-следственных связей, построение моделей и гипотез, что, безусловно, составляет основу критического мышления и исследовательской культуры.

- *практико-ориентированная* – эта функция представляет собой соединение теоретических знаний с практическими конкретными умениями и навыками, необходимыми в профессиональной деятельности. У студентов создаются условия для активного участия в учебной деятельности и развития способностей решения практических задач. На занятиях по химии (практических, лабораторных) используются такие виды деятельности, которые максимально приближены к реальным условиям работы и позволяют обучающимся применять полученные знания в практической работе после окончания учебы.

- *профориентационная* – при этом предполагается кроме передачи массива знаний и умений формирование четких представлений о востребованных профессиях, связанных с химией и родственными науками. У студентов возникает понимание того, как полученные знания могут быть использованы в практической деятельности и какие перспективы открываются перед специалистами, имеющими химическую подготовку.

Достижение перечисленных целей возможно с помощью применения различных педагогических подходов и методик, активно привлекающих студентов в образовательный процесс. Такие формы работы как эксперимент, проектная деятельность, научно-исследовательские проекты, использование информационных технологий – все это давно и прочно вошло в арсенал преподавателей химии.

Освоение курса химии направлено на формирование следующих компетенций:

- понимание роли химии в познании явлений природы и формировании экологически обоснованного отношения к окружающей среде;

- владение системой химических знаний, включающей основополагающие понятия, теории и законы;

- умение применять химические знания для описания свойств веществ и их превращений;

- освоение методов научного познания (наблюдение, измерение, эксперимент, моделирование);

- формирование практических навыков безопасного проведения химического эксперимента;

- развитие умения анализировать химическую информацию из различных источников;

- понимание места химии в решении глобальных проблем (экологическая безопасность, энергетика, медицина).

Для того, чтобы обеспечить эффективное формирование перечисленных компетенций требуется выполнение следующих ключевых методологических принципов:

- во-первых, интеграция теоретического и экспериментального компонентов. Достижение этого возможно с помощью сбалансированного сочетания лекционных занятий с практическими и лабораторными занятиями, на которых осуществляется практическое знакомство и подтверждение теоретических понятий и законов.

- во-вторых, демонстрирование тесной междисциплинарной связи химии со смежными науками – физикой, биологией, экологией, материаловедением. При этом укрепляется и развивается целостное естественнонаучное мировоззрение, позволяющее использовать его при решении решать комплексный задач.

- в-третьих, использование современных информационных образовательных технологий на всех этапах обучения и контроля знаний. Несомненную пользу в этом направлении несут технологии с использованием искусственного интеллекта, позволяющие визуализировать сложные процессы, моделировать строение молекул, планировать и осуществлять эксперименты в виртуальных лабораториях [3].

- в- четвертых, формирование исследовательских навыков – от постановки проблемы и выдвижения гипотезы до планирования эксперимента, анализа и обработки полученных данных и формулирования выводов [4].

- в-пятых, необходимость развития критического мышления. Это реализуется за счет развития навыков аналитического мышления, оценки достоверности полученной информации, готовности рассматривать новые аргументы и идеи, способности выявлять проблемы, генерировать и оценивать альтернативные решения [5].

Главным участником образовательно процесса в университете остается преподаватель. Именно он со своим профессионализмом и личностными качествами сможет обеспечить высокий уровень и эффективность вузовского образования.

Список литературы

1 Турк, Д. А. Особенности изучения химии в техническом вузе / Д. А. Турк, М. А. Тлехусеж // Филологические и социокультурные вопросы науки и образования : Сборник материалов VII Международной научно-практической очно-заочной конференции, Краснодар, 20 октября 2022 года. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2022. – С. 736-742. – EDN QJRLGG.

2 Развитие практических навыков работы с информационными технологиями при изучении химии и экологии / Е. А. Джалмухамбетова, П. М. Элькин, А. Н. Цыгута, А. В. Можарова // Актуальные решения проблем водного транспорта : Сборник материалов IV Международной научно-практической конференции, Астрахань-Керчь-Актау, 29–30 мая 2025 года. – Астрахань:

Волжский государственный университет водного транспорта, 2025. – С. 276-279. – EDN BIBEYG.

3 Верех-Белоусова, Е. И. Профессиональная направленность курса общей химии для студентов инженерных специальностей / Е. И. Верех-Белоусова // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства : Сборник материалов VI Международной научно-практической конференции, Феодосия, 11–14 мая 2025 года. – Керчь: Керченский государственный морской технологический университет, 2025. – С. 689-692. – EDN VUZHGB

4 Григорьева, М. В. Направления совершенствования химической подготовки специалистов АПК / М. В. Григорьева, П. А. Оржековский // Международный научный журнал. – 2025. – № 3(103). – С. 138-147. – DOI 10.34286/1995-4638-2025-103-3-138-147. – EDN FGMPCD.

5 Тихонова, М. В. Современный подход к преподаванию химии для студентов технического вуза: интеграция интерактивных методов и цифровых технологий / М. В. Тихонова, С. П. Задорожных // Современное образование: интеграция образования, науки, бизнеса и власти. Технологический суверенитет: новые модели инженерного образования, развитие и повышение конкурентоспособности университетов : материалы международной научно-методической конференции, Томск, 30–31 января 2025 года. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2025. – С. 555-559. – EDN AFIGOQ.

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ ОРЕНБУРГСКОГО РЕГИОНА НА ВНЕШНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Кушнарева О.П.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Морфологические характеристики глинистых частиц, охватывающие форму, размер частиц, макроструктуру и состояние поверхности оказывают огромное влияние на их физико-химические свойства. Пластичность, набухаемость, водопроницаемость, гидрофильные и адсорбционные свойства во многом зависят от макросвойств частиц. Информация об особенностях морфологии важна при решении многочисленных производственных задач в геологии, строительстве, материаловедении, нефтегазовой промышленности, экологии [1].

Сопоставить информацию о морфологических характеристиках с макроскопическими свойствами глин можно на основе данных, полученных методами сканирующей электронной микроскопии (информация о форме и размере частиц, размере пор, степени агрегированности), рентгенофазового анализа (степень упорядоченности и размер кристаллитов, изменения фаз при обжиге), термогравиметрического анализа (фазовые превращения, тепловые эффекты, температуру выделения адсорбционной и структурной воды), ИК-спектроскопии (степень кристалличности, присутствие органических соединений). Несмотря на то, что каждый из методов по отдельности расширяет знания о глинистых частицах, получение полной картины возможно только при их сочетании. И эффективным дополняющим инструментом может служить обработка оптических изображений [5]. Этот неразрушающий метод сочетает наглядность, скорость и высокую информативность, позволяя фиксировать структурные изменения частиц под различными воздействиями. В ходе обработки определяются эффективные диаметры, фрактальные размерности, координаты RGB-профиля (R – красный, G – зеленый, B – синий) и коэффициенты отражения. Комплексный анализ этих данных даёт возможность оценить процессы, протекающие в дисперсных системах под влиянием внешних факторов.

Одним из перспективных физических методов воздействия на структуру и свойства глинистых минералов является СВЧ-обработка. В работе [6] показано, что в дисперсных системах, состоящих из глинистых частиц, происходят структурные изменения под влиянием СВЧ. Авторы [9] в своей работе сообщают об уменьшении размеров частиц в результате воздействия электромагнитного поля высокой частоты и объясняют это происходящей диспергацией.

Происходящая внутри дисперсной системы совокупность процессов приводит к появлению макроскопических эффектов, способствует

формированию иерархичной структуры, удовлетворяющей свойству самоподобия [6], вызывает фазовые и полиморфные превращения [10].

Целью данной работы является исследование изменений морфологии частиц природных глин при их обработке в СВЧ-поле. Объектами исследования выступили порошки монтмориллонитовой и полиминеральной глины Оренбургского месторождения и частицы полиминерального комплекса Халиловского месторождения (ЮУГК). Химический и фазовый состав исследуемых образцов ранее был представлен и охарактеризован в работе [8].

Образцы подвергались воздействию СВЧ-поля в воздушной среде. Параметры обработки: продолжительность — 10 минут, мощность установки — 800 Вт. Исследование изменений морфологии частиц проводилось методом оптической микроскопии с последующей обработкой полученных изображений с использованием свободно распространяемого программного пакета ImageJ [4].

Обработанные данные, полученные для исходных образцов и образцов, подвергшихся СВЧ-обработке приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Морфологические параметры образцов

Образец	Коэффициент отражения, отн.ед.	Фрактальная размерность, D_s ср	Средний диаметр частицы, мкм.
Монтмориллонитовая глина			
Исходный	0,51	1,8142±0,0210	197,5
После обработки микроволновым излучением	0,62	1,8056±0,0240	249,2
Полиминеральная глина			
Исходный	0,23	1,600 ± 0,024	199,5
После обработки микроволновым излучением	0,28	1,627 ± 0,024	345,6
Полиминеральный комплекс ЮУГК			
Исходный	0,52	1,7317±0,0126	197,5
После обработки микроволновым излучением	0,51	1,8403±0,0247	344,4

Полученные данные свидетельствуют о заметных изменениях в характеристиках частиц глинистых материалов после СВЧ-обработки.

Коэффициент отражения, являющийся косвенным индикатором состояния поверхности частиц, претерпевает изменения. После СВЧ-обработки наблюдается его увеличение для всех образцов, за исключением частиц полиминерального комплекса Халиловского месторождения. Данный факт может указывать на изменение структуры или состава поверхностного слоя.

Фрактальная размерность, характеризующая сложность формы частиц, демонстрирует неоднозначные изменения. Для образцов монтмориллонитовой глины наблюдается незначительное уменьшение этого параметра, что может свидетельствовать об упрощении структуры. В то же время, у полиминеральной глины и образца полиминерального комплекса Халиловского

месторождения отмечается увеличение фрактальной размерности, что, вероятно, связано с агломерацией и уплотнением частиц.

Во всех исследованных образцах отмечается увеличение диаметра частиц. Наиболее выраженный рост наблюдается для частиц, отобранных в Халиловском месторождении (ЮУГК), где этот показатель увеличился на 74,4%, а также для частиц полиминеральной глины (73%).

Таким образом, изменения морфологических свойств частиц глины, вызванные СВЧ-воздействием, могут быть охарактеризованы с помощью обработки оптических изображений, и эта информация может быть использована для оценки физико-химических свойств и прогнозирования технологического использования глин.

Список литературы

1. Касмамытов, Н. К. Морфологические исследования состава и структуры ультрадисперсной керамической массы / Н. К. Касмамытов, Э. М. Кыдыралиев, А. Н. Айтимбетова // Наука и инновационные технологии. – 2019. – № 2(11). – С. 91-95.

2. Каныгина, О. Н. Высокотемпературные фазовые превращения в железосодержащих глинах Оренбуржья / О. Н. Каныгина, А. Г. Четверикова, Д.А. Лазарев, Е. В. Сальникова // Вестник Оренбургского государственного университета, 2010. – № 6. – С. 113 – 118.

3. Заришняк, А.В. Влияние способов модифицирования на морфологию частиц / А. В. Заришняк, В. Л. Роговая, К. М. Хусаинова [и др.] // Теория и практика инновационных исследований в области естественных наук : Сборник материалов конференции, Оренбург, 24–25 апреля 2024 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2024. – С. 69-72

4. О. Н. Каныгина, М. М. Филяк, А. Г. Четверикова. Математическое описание мезоструктуры дисперсных глинистых порошков / // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 01–03 февраля 2017 года / Оренбургский государственный университет. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. – С. 1742-1746.

5. Каныгина, О. Н. О возможности применения цветовых параметров в качестве меток при анализе структурных изменений в глинах / О. Н. Каныгина, О. П. Кушнарева // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием), Оренбург, ОГУ,2022. - . - С. 4156-4163.

6. Филяк, М. М. Фрактальный формализм в применении к анализу СВЧ-модификации нативной глины / М. М. Филяк, А. Г. Четверикова, О. Н. Каныгина, Л. С. Багдасарян // Конденсированные среды и межфазные границы. – Т. 18. – № 4. – С. 578-585

7. О. Н. Каныгина, А. Г. Четверикова, А. Х. Кулеева /Моделирование эволюции мезоструктуры глин Оренбуржья при тепловых процессах /

Современные информационные технологии в науке, образовании и практике, Оренбург, 30 - 31 января 2009 года / Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Оренбургский государственный университет. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2009. – С. 264-269.

8 Кушнарева, О. П. Изменения морфологических характеристик частиц природных полиминеральных комплексов в СВЧ-поле / О. П. Кушнарева // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно-методической конференции, посвященной 70-летию Оренбургского государственного университета, Оренбург, 30 января – 01 2025 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2025. – С. 4720-4724. – EDN CGWVNY.

9 Прохина А.В., Шаповалов Н.А., Латыпова М.М. Модификация поверхности глинистых минералов с высоким содержанием монтмориллонита в электромагнитном поле высокой частоты// Современные наукоемкие технологии. 2011. № 1. С. 135-136.

10 Инфракрасная спектроскопия как метод определения структурных откликов природных глин на СВЧ-воздействие [Электронный ресурс] / А. Г. Четверикова, О. Н. Каныгина, Г. Ж. Алпысбаева, А. А. Юдин, С. С. Сокабаева // Конденсированные среды и межфазные границы,2019. - Т. 21, № 3. - С. 446-454.

СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ СОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИНАХ: АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Леонов В.С.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Полиминеральные глины, представляющие собой сложные природные ассоциации слоистых алюмосиликатов (смектиты, каолинит, иллит), оксидов/гидроксидов железа и алюминия, кварца и карбонатов, являются широко распространёнными и доступными природными сорбентами. Их применение для очистки водных сред от ионов тяжёлых металлов, радионуклидов, органических ксенобиотиков и красителей представляет значительный научный и практический интерес в контексте развития «зелёных» технологий [1]. Ключевой задачей, определяющей эффективность их использования, является разработка адекватных математических моделей, описывающих кинетику и равновесие сорбционных процессов. Целью данного аналитического обзора является систематизация современных (за последнее десятилетие) теоретических и эмпирических подходов к моделированию сорбции на полиминеральных глинах, оценка их возможностей и ограничений.

Классические изотермические модели, будучи феноменологическими, остаются основным инструментом первичной обработки экспериментальных данных.

Модель Ленгмюра предполагает гомогенную поверхность с локализованной мономолекулярной сорбцией. Несмотря на явное упрощение для гетерогенных глин, она эффективна для описания сорбции на доминирующем минерале (например, монтмориллоните) в узком интервале концентраций и позволяет оценить максимальную сорбционную ёмкость [2, 3]. Однако её параметры зачастую носят усреднённый характер и слабо отражают реальную полиминеральность системы.

Модель Фрейндлиха, как эмпирическая модель для гетерогенных поверхностей, демонстрирует лучшую сходимость с экспериментальными данными для сложных сорбентов. Показатель *1/n* служит индикатором неоднородности поверхности и интенсивности сорбции. Работы последних лет показывают её эффективность для описания сорбции Pb(II), Cd(II) и Cu(II) на бентонитовых и каолинитовых глинах [4, 5].

Модель Темкина учитывает линейное снижение теплоты адсорбции с увеличением покрытия поверхности за счёт взаимодействия адсорбат-адсорбат. Она находит применение при моделировании сорбции катионов на глинах, где такие взаимодействия значимы [6].

Модель Дубинина–Радушкевича (Д-Р) и её модификации, изначально разработанные для микропористых углей, успешно применяются для описания

сорбции на смектитовых глинах, учитывая вклад адсорбционного заполнения порового пространства, особенно для органических молекул [7].

Описание временной динамики процесса необходимо для проектирования сорбционных установок.

Модели псевдопервого (ППП) и псевдовторого (ПВП) порядка являются наиболее распространёнными. Хотя ПВП часто лучше описывает данные по сорбции металлов, интерпретация его константы скорости как индикатора исключительно хемосорбции критикуется в литературе. Современные исследования подчёркивают, что соответствие ПВП может быть связано с лимитирующей стадией, отличной от химической реакции [8, 9].

Модели внутридиффузионного переноса (Вебера–Морриса, Бойда) позволяют идентифицировать лимитирующую стадию: диффузию через граничную плёнку жидкости или диффузию внутри частицы сорбента. Для плотных, слабонабухающих глин (каолинит) часто лимитирующей является внутридиффузионная стадия, в то время как для набухающих смектитов доминирует внешнедиффузионный контроль или смешанный режим [10, 11].

Многостадийные и многоэкспоненциальные модели (например, двух- или трёхпараметрические) используются для описания сложной кинетики, когда процесс протекает одновременно в легко- и труднодоступных порах или на разных типах активных центров [12].

Реальные условия применения сорбентов требуют учёта совместной сорбции и влияния параметров среды.

Мультикомпонентные модели сорбционного равновесия (расширенная модель Ленгмюра, модель неидеального адсорбированного раствора – NIAST) являются стандартом для описания конкуренции ионов (напр., Cu(II), Zn(II), Ni(II)) за активные центры. Их параметризация, однако, требует значительного объёма экспериментальных данных для бинарных и тройных систем [13, 14].

Модели, учитывающие влияние pH и ионной силы. Поскольку заряд поверхности глинистых минералов и форма нахождения ионов в растворе зависят от pH, современные исследования часто включают построение поверхностей отклика или использование полуэмпирических уравнений, связывающих константы моделей Ленгмюра/Фрейндлиха с pH раствора [15]. Учёт ионной силы важен для прогнозирования сорбции в условиях, близких к природным или промышленным водам [16].

Модели на основе искусственных нейронных сетей (ИНС) и машинного обучения представляют собой прорывное направление. Они позволяют интегрировать влияние множества факторов (минеральный состав, концентрации сорбатов, pH, температура, время) без предварительного задания явного вида уравнения. ИНС успешно применяются для прогнозирования сорбционной ёмкости глин по отношению к различным загрязнителям [17, 18].

Современное моделирование стремится к связи макроскопических свойств с микроскопическими механизмами.

Совмещение спектроскопических данных и моделирования. Данные РФЭС, ИК-спектроскопии, ЯМР и EXAFS используются для идентификации

конкретных механизмов сорбции (внешне-/внутрисферный комплекс, ионообмен), что затем служит основой для физически обоснованных моделей [19, 20].

Молекулярно-динамическое моделирование (МД) и метод функционала плотности (DFT) позволяют на атомарном уровне изучать взаимодействие ионов и молекул с поверхностями глинистых минералов, рассчитывать энергии связывания и предсказывать наиболее стабильные конфигурации. Это обеспечивает фундаментальную основу для параметризации макроскопических моделей [21, 22].

Геохимическое моделирование с использованием программных комплексов (PHREEQC, Geochemist's Workbench) позволяет описывать сорбцию в рамках поверхностного комплексообразования, учитывая сложный химический состав раствора и конкуренцию различных процессов (растворение, осаждение) [23].

Проведённый обзор демонстрирует эволюцию подходов к моделированию сорбции на полиминеральных глинах: от применения упрощённых одно- и двухпараметрических изотерм к разработке комплексных мультифакторных и мультикомпонентных моделей. Наиболее адекватное описание требует каскадного подхода: первичная обработка данных классическими моделями для оценки ёмкости и характера поверхности; применение кинетических моделей для выявления лимитирующих стадий; использование мультикомпонентных моделей и моделей с учётом pH для реалистичных условий; верификация механизмов с помощью спектроскопических методов и молекулярного моделирования.

Перспективными представляются исследования, направленные на создание гибридных моделей, сочетающих детерминированные уравнения материального баланса с методами машинного обучения для учёта неопределённости, связанной с природной изменчивостью состава глин. Разработка таких моделей будет способствовать переходу от эмпирического подбора сорбентов к целенаправленному проектированию сорбционных материалов и технологий на их основе.

Список литературы

1. Zhou C., Keeling J. Fundamental and applied research on clay minerals: from climate and environment to nanotechnology // Applied Clay Science. 2013. Vol. 74. P. 3-9.

2. Васильев А.А., Коробова Н.В. Моделирование совместной сорбции меди и цинка на монтмориллонитовой глине // Вестник Томского государственного университета. Химия. 2020. № 15. С. 78–89.

3. Al-Essa K., Khalili F. Activation of Jordanian bentonite by hydrochloric acid and its potential for olive mill wastewater enhanced treatment // Journal of Water Process Engineering. 2018. Vol. 24. P. 247-255.

4. Bhattacharyya K.G., Gupta S.S. Adsorption of a few heavy metals on natural and modified kaolinite and montmorillonite: a review // Advances in Colloid and Interface Science. 2008. Vol. 140, № 2. P. 114-131.

5. Уразова А.А., Копылова А.В. Сорбция ионов меди(II) и цинка(II) природной глиной Оренбургского месторождения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2019. № 3. С. 34–40.

6. Tran H.N., You S.-J., Hosseini-Bandegharaei A., Chao H.-P. Mistakes and inconsistencies regarding adsorption of contaminants from aqueous solutions: a critical review // Water Research. 2017. Vol. 120. P. 88–116.

7. De Oliveira T.F., De Souza N.C., De Oliveira M.M. et al. Adsorption of methylene blue on raw and modified clays: a Dubinin–Radushkevich analysis // Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27. P. 21231–21243.

8. Simonin J.-P. On the comparison of pseudo-first order and pseudo-second order rate laws in the modeling of adsorption kinetics // Chemical Engineering Journal. 2016. Vol. 300. P. 254–263.

9. Борисенко С.А., Петрова И.М. Диффузионные ограничения в процессе сорбции никеля каолинитовой глиной // Коллоидный журнал. 2018. Т. 80, № 6. С. 745–752.

10. Zhang Z., Wang T., Zhang H. et al. Adsorption of Pb(II) and Cd(II) by magnetic bentonite and its mechanisms // Separation and Purification Technology. 2020. Vol. 251. P. 117407.

11. Глухов Л.Л., Сергеева Е.В. Сорбционные свойства природных глин Южного Урала по отношению к ионам свинца и кадмия // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 6. С. 50–55.

12. Plazinski W., Rudzinski W., Plazinska A. Theoretical models of sorption kinetics including a surface reaction mechanism: a review // Advances in Colloid and Interface Science. 2009. Vol. 152, № 1-2. P. 2-13.

13. Keranen A., Leiviska T., Gao B. et al. Removal of Ni(II), Cu(II), and Cd(II) from aqueous solutions by modified sodium bentonite // Environmental Science and Pollution Research. 2019. Vol. 26. P. 14028-14039.

14. Sposito G. The chemistry of soils. 3rd ed. New York : Oxford University Press, 2016. 330 p.

15. He J., Hong S., Zhang L. et al. A pH-dependent langmuir model for heavy metal adsorption onto bentonite // Clay Minerals. 2016. Vol. 51, № 3. P. 469–477.

16. Bradbury M.H., Baeyens B. Modelling the sorption of Mn(II), Co(II), Ni(II), Zn(II), Cd(II), Eu(III), Am(III), Sn(IV), Th(IV), Np(V) and U(VI) on montmorillonite: linear free energy relationships and estimates of surface binding constants for some selected heavy metals and actinides // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2005. Vol. 69, № 4. P. 875–892.

17. Yetilmezsoy K., Demirel S., Vanderbei R.J. Response surface modeling of Pb(II) removal from aqueous solution by pistachio hull waste: a Box–Behnken experimental design approach // Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 171, № 1-3. P. 551-562.

18. Ayawei N., Ebelegi A.N., Wankasi D. Modelling and interpretation of adsorption isotherms // Journal of Chemistry. 2017. Vol. 2017. P. 3039817.

19. Stietiya M.H., Wang J.J., Roy A. Zinc sorption mechanism on montmorillonite as affected by calcium and phosphate: EXAFS study // Soil Science Society of America Journal. 2014. Vol. 78, № 5. P. 1597–1605.

20. Li Z., Chang P.H., Jiang W.T. et al. Mechanisms of Pb(II) and Cr(VI) removal from aqueous solutions by raw and modified clays: a combined spectroscopic and batch technique study // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2018. Vol. 6, № 2. P. 2518–2525.

21. Greathouse J.A., Cygan R.T. Molecular dynamics simulation of uranyl(VI) adsorption equilibria onto an external montmorillonite surface // Physical Chemistry Chemical Physics. 2005. Vol. 7, № 20. P. 3580–3586.

22. Rotenberg B., Marry V., Malikova N., Turq P. Molecular simulation of aqueous solutions at clay surfaces // Journal of Physics: Condensed Matter. 2010. Vol. 22, № 28. P. 284114.

23. Appelo C.A.J., Postma D. Geochemistry, groundwater and pollution. 2nd ed. Leiden : A.A. Balkema, 2005. 683 p.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИМИТИРУЮЩЕЙ СТАДИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОДА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В СИСТЕМЕ ИОД–ВОДА–КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ

Леонтьев И.С., Пономарева П.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Механизм экстракционных процессов выявляется через исследование их кинетики. На границе раздела двух жидких фаз возможны три характерных режима массопередачи, различающиеся по определяющим факторам скорости процесса:

1) Кинетический режим. В этом случае скорость экстракции полностью определяется скоростью протекания химических реакций. Процесс массопереноса при этом происходит существенно быстрее, поэтому не влияет на общую кинетику;

2) Диффузионный режим. Здесь лимитирующим фактором выступает именно скорость массопередачи. Химические реакции протекают настолько быстро, что их кинетика не оказывает заметного влияния на общую скорость процесса;

3) Смешанный (промежуточный) режим. Скорость экстракции в этом случае формируется под совместным влиянием двух факторов – и кинетики химических реакций, и интенсивности массопереноса. При этом скорости обоих процессов оказываются сопоставимыми по величине.

Особого внимания заслуживают системы с постоянным коэффициентом распределения, в которых изменениями коэффициентов активности можно пренебречь. В таких системах при отсутствии химической реакции процесс массопередачи всегда протекает исключительно в диффузионном режиме. Для подобных условий (постоянных коэффициентов распределения и массопередачи) применимо уравнение (1):

$$\ln\left(\frac{C_1 - C_{1p}}{C_0^1 - C_{1p}}\right) = -a_1 t \qquad (1)$$

Согласно выражению (1), в диффузионном режиме на скорость экстракции оказывают влияние два существенных параметра: интенсивность перемешивания и площадь поверхности раздела фаз. Именно эта двойная зависимость выступает основным индикатором того, что процесс протекает в диффузионном режиме.

В смешанном режиме скорость процесса определяется совокупным влиянием двух факторов: кинетики химической реакции и интенсивности массопереноса. В случае кинетического режима, когда реакция протекает в

объёме фаз, скорость экстракции остаётся неизменной независимо от интенсивности перемешивания и величины поверхности раздела фаз [1].

Для понимания механизма экстракции принципиально важно определить лимитирующую стадию – ту, которая регулирует общую скорость всего многостадийного процесса.

Существует два основных способа выявления лимитирующей стадии:

1) Исследование того, как константа скорости изменяется в зависимости от температуры;

2) Анализ воздействия перемешивания на протекание процесса.

Характер процесса можно установить по связи константы скорости с гидродинамическими параметрами (такими как скорость потока или вращения):

1) Если наблюдается зависимость – процесс имеет диффузионную природу;

2) Если константа скорости остаётся неизменной вне зависимости от гидродинамических условий – процесс протекает в кинетическом режиме [2].

Для изучения скоростей массопередачи и экстракции применяется специальное устройство – ячейка Льюиса. Её ключевая конструктивная деталь – горизонтальная перегородка с кольцевым отверстием. Благодаря этой особенности удаётся поддерживать стабильный уровень раздела фаз, а значит – сохранять постоянной поверхность их контакта. При необходимости можно варьировать площадь контакта фаз: для этого достаточно изменить ширину кольцевого отверстия [1].

В ходе эксперимента использовались модельные растворы иода, не содержащие фоновых электролитов. Чтобы определить содержание элементарного иода в водной фазе (как до, так и после экстракции), применяли метод титрования с использованием тиосульфата натрия [4].

Эксперимент предусматривал различные периоды контакта фаз – от 10 до 300 минут. Исследования проводились при двух фиксированных значениях площади поверхности раздела (7,07 см² и 19,63 см²), а также при двух скоростях перемешивания (150 и 200 об/мин).

В результате изучения процесса экстракции иода из водных растворов с помощью кремнийорганической жидкости были получены данные, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Изменение фактора извлечения R в зависимости от интенсивности перемешивания и площади поверхности раздела фаз

Скорость перемешивания, об./мин.		150		200	
Площадь поверхности контакта, $см^2$		7,07	19,63	7,07	19,63
Время перемешивания, мин.	10	17,7	11,1	18,2	15,9
	20	20,7	18,3	20,5	22,4
	30	23,8	25,5	25,0	31,0
	45	26,8	30,3	29,5	37,5
	60	29,9	37,5	34,1	46,1
	90	36,0	44,7	38,6	52,6
	120	45.1	51,9	43,2	61,2

	180	54,3	59,1	50,0	67,7
	240		66,3	59,1	72,0
	300		71,2	68,2	78,4

Фактор извлечения R – отношение количества G' экстрагированного вещества A к общему (начальному) количеству G этого вещества:

$$R = \frac{G'}{G} = \frac{[A]_0 V_0}{[A]_0 V_0 + [A]_B V_B} \quad (2)$$

где V_o и V_B – объемы органической и водной фаз, мл [3].

Для этого были построены зависимости от времени в полулогарифмических координатах ($\ln\frac{(C_1 - C_{1p})}{(C_0^1 - C_{1p})} \sim \tau$), представленные на рисунках 1-2.

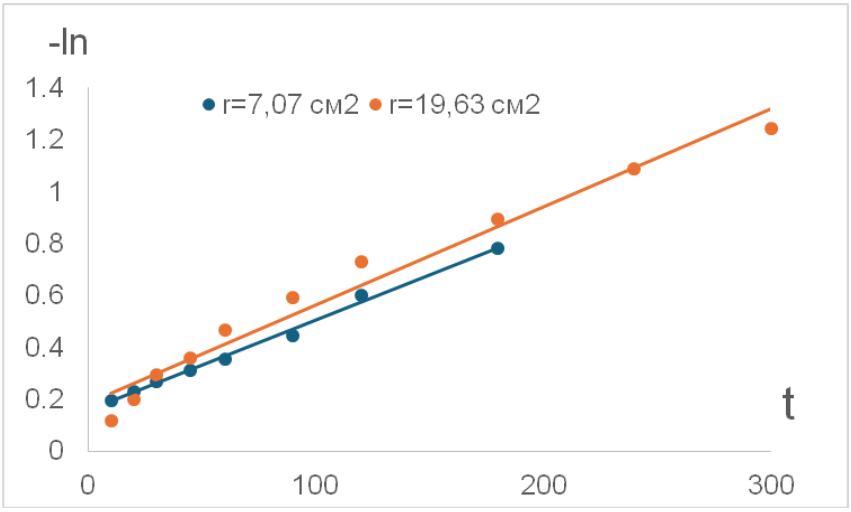


Рисунок 1 – Влияние площади поверхности контакта фаз на скорость экстракции при скорости перемешивания 150 об/мин.

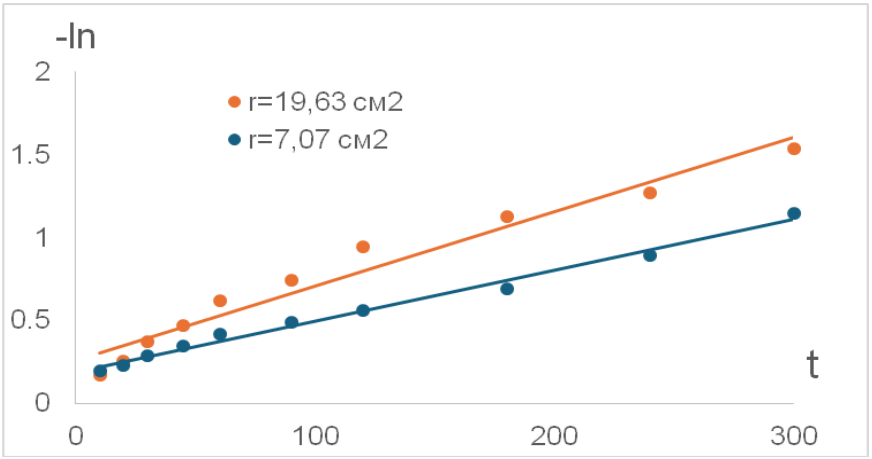


Рисунок 2 – Влияние площади поверхности контакта фаз на скорость экстракции при скорости перемешивания 200 об/мин.

Результаты исследования выявляют устойчивую связь между скоростью экстракции и интенсивностью перемешивания – эта закономерность сохраняется при любых значениях площади контакта фаз. Объяснение данного явления основано на том, что толщина диффузионного слоя уменьшается с ростом интенсивности перемешивания (между этими величинами существует обратная зависимость): чем активнее перемешивание, тем меньше толщина слоя, а значит, тем больше вещества достигает границы раздела.

Анализ результатов позволяет утверждать: скорость экстракции иода контролируется двумя параметрами – скоростью перемешивания и площадью межфазной поверхности. Такая зависимость является характерным признаком диффузионного режима, где скорость диффузии выступает определяющим фактором [4]. В итоге, в системе «иод–вода–кремнийорганическая жидкость» именно внешний массоперенос (перенос молекул иода от объёма водной фазы к межфазной границе) становится лимитирующей стадией процесса экстракции.

Список литературы

1. Фомин, В.В. Кинетика экстракции / В.В. Фомин. - Москва: Атомиздат, 1978. – 120с.

2. Коренман, И.М. Экстракция в анализе органических веществ / И.М. Коренман. - Москва: Химия, 1977. – 200с.

3. Васильев, В.П. Аналитическая химия В 2 ч. Ч. 2. Физико-химические методы анализа / В.П. Васильев. - Москва: Высшая школа, 1989. – 384с.

4. Попкова, Д. В. Определение режима экстракции йода композицией ТБФ – изооктан из бессолевых водных растворов / Д. В. Попкова, П. А. Пономарева // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всероссийской научно‑методической конференции (с международным участием) (Оренбург, 04–06 февраля 2015 года). — Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2015. — С. 1284–1287

МЕХАНИЗМЫ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ *SALMONELLA* SPP. (ОБЗОР)

Лопатина О.Ю., Сизенцов А.Н. канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Представители рода *Salmonella* представляют серьезную угрозу для общественного здравоохранения и социально-экономического развития во всем мире из-за своей патогенности, передающейся через пищу, и устойчивости к антимикробным препаратам. Биопленочно-планктонный образ жизни позволяет *Salmonella* spp. взаимодействовать с организмом хозяина и приобретать устойчивость к лекарствам, обеспечивая врожденную толерантность к антибиотикам. Сложная структура биопленки делает бактерии устойчивыми к суровым условиям благодаря разнообразию физиологических, биохимических, экологических и молекулярных факторов, составляющих механизмы резистентности [1].

Бактериальные популяции различаются по своей устойчивости к стрессам и популяционной структуре в зависимости от того, происходит ли рост в хорошо перемешанной или структурированной среде. Планктонные популяции подвергаются селективному отбору мутаций, включая основные мишени топоизомеразы, тогда как популяции, адаптированные к биопленкам, приобретают мутации в регуляторах эффлюксных насосах. Santos-Lopez A с соавторами выявлен компромисс между приспособленностью и уровнем устойчивости, при котором клоны, адаптированные к биопленкам, являются менее устойчивы, чем планктонные, но более приспособлены в отсутствие антибактериального препарата. Мутации в генах, кодирующих мишени антибиотиков, обычно обнаруживаются в планктонных популяциях, эволюционировавших в присутствии антибиотиков, тогда как мутации в генах эффлюкса и метаболизма часто наблюдаются в эволюционировавших биопленочных популяциях [2].

Развитие биопленки можно разделить на пять стадий: первоначальное обратимое прикрепление (1), необратимое прикрепление (2), созревание (3) и дисперсия (4). Процесс начинается с первоначального контакта планктонных бактерий с поверхностью, который еще обратим. Затем бактерии образуют монослой и продуцируют защитный внеклеточный матрикс, состоящий из внеклеточных полисахаридов, структурных белков, клеточного мусора и нуклеиновых кислот, которые в совокупности называются внеклеточными полимерными веществами (ВПВ). На начальных стадиях формирования матрикса преобладает внеклеточная ДНК (вДНК), за которой следуют полисахариды и структурные белки. Биопленка растет в трехмерном пространстве, и прикрепление становится необратимым. На заключительной стадии некоторые клетки зрелой биопленки отделяются и рассеиваются в

окружающую среду в виде планктонных клеток, потенциально инициируя новый цикл образования биопленки (рисунок 1) [3].

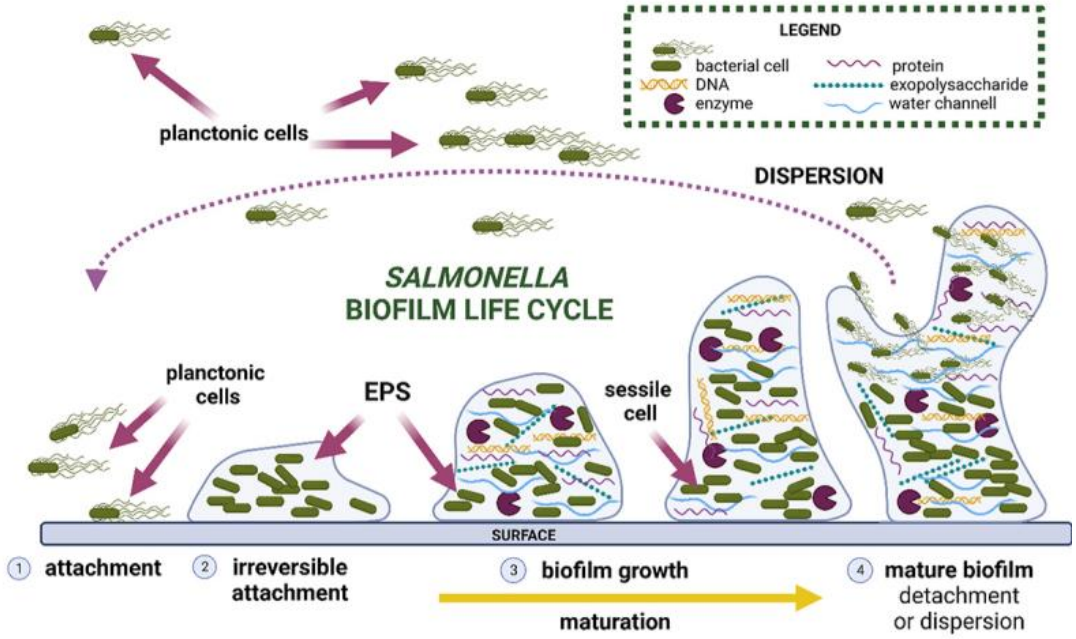


Рисунок 1 - Формирование и жизненный цикл биопленки у представителей *Salmonella* spp. (Landini P. et al. 2010)

Экспериментальная эволюция может помочь прояснить взаимодействие устойчивости, толерантности и персистенции, лежащее в основе сниженной антимикробной чувствительности биопленок. Однако для выявления сложных закономерностей мутаций, экспрессии генов и метаболизма потребуется междисциплинарный и целостный подход. В этом исследовании мы использовали недавно опубликованные данные для изучения профиля экспрессии генов, связанных с лекарственными препаратами, у *S. enterica*, образующей биопленки. Мы сосредоточились на выявлении генов, экспрессия которых повышается в многоклеточных агрегатах по сравнению с планктонными клетками (рисунок 2) [1].

Неэффективность лечения из-за увеличения устойчивости к фторхинолонам привела к использованию антибиотиков третьего поколения, таких как цефалоспорины (цефиксим и цефтриаксон) и азитромицин, при лечении штаммов *S. enterica* серовара *Typhi* с множественной лекарственной устойчивостью (XDR) [4, 5]. Неправильное и нецелесообразное использование данных препаратов потенциально может спровоцировать появление резистентности к ним. Так было установлено, что резистентность к цефалоспоринам третьего поколения преимущественно связана с генами β-лактамазы AmpC, такими как bla CMY-2, bla ACC-1 и геномом β-лактамазы расширенного спектра действия (ESBL) bla SHV-12, в то время как устойчивость к азитромицину связана с геном acrB [4, 6, 7, 8].

Из-за различий в антибиотическом резистоме, характеризующегося совокупностью всех генов резистентности, в штаммах одного и того же вида

бактерий, довольно сложно отслеживать важные (или летальные) изменения. Данные изменения включают либо мутационные изменения, либо профиль генов устойчивости к антибиотикам, опосредованных плазмидами. В настоящее время, несколько онлайн-баз данных, таких как CARD (Comprehensive Antibiotic Research Database), начали свою работу, чтобы ускорить идентификацию вариантов устойчивости к антимикробным препаратам (AMR) на основе доступных геномных данных. Актуальные данные о мишенях антибиотиков и их генах устойчивости хорошо подкреплены соответствующей информацией из литературы, что делает эту платформу предпочтительной для скрининга таких вариантов в различных видах бактерий [9, 10].

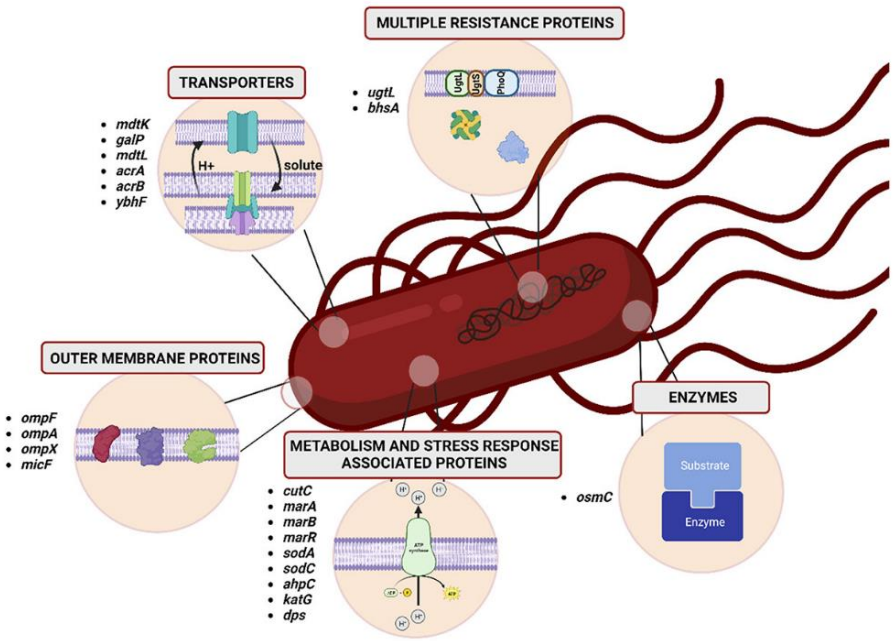


Рисунок 1 - Группы генов с дифференциальной активацией внеклеточной биопленки/агрегата *Salmonella* spp. (Aleksandrowicz A. et al. 2023)

Коллективом авторов Hooda Y и другие в период с 2009 по 2016 год проводился эпидемиологический надзор за брюшным тифом в двух крупнейших детских больницах Бангладеш. Все штаммы *Salmonella* spp., вызывающих брюшной тиф, проверялись на устойчивость к азитромицину методом дисковой диффузии и Е-тестов. В общей сложности авторы идентифицировали 1082 штамма *Salmonella Typhi* и *Paratyphi* A, среди которых выраженную резистентность к азитромицину проявили 12 штаммов Typhi и 1 Paratyphi A с диапазоном устойчивого роста в концентрациях антибиотика до 32-64 мкг/мл. Методом секвенирования устойчивых штаммов установлена несинонимичная одноточечная мутация, встречающуюся исключительно в этих 12 штаммах, в гене, кодирующем AcrB, эффлюксный насос, удаляющий малые молекулы из бактериальных клеток. Мутация изменила консервативную аминокислоту аргинин (R) в позиции 717 на глутамин (Q). Для проверки гипотезы о роли мутации R717Q, присутствующей в азитромицин-резистентных штаммах, авторами был клонирован ген acrB из азитромицин-

резистентных и чувствительных штаммов, с его экспрессированием в штаммы *E. coli*, *Typhi* и *Paratyphi* A, с последующей их проверкой чувствительности к азитромицину. Экспрессия AcrB-R717Q в штаммах *E. coli* и *Typhi* увеличила минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) азитромицина в 11 и 3 раза соответственно. Устойчивый к азитромицину штамм *Paratyphi* A также содержал мутацию в положении R717 (R717L), введение которой в штаммы *E. coli* и *Paratyphi* A увеличило МИК в 7 и 3 раза соответственно, что подтверждает роль мутаций R717 в обеспечении устойчивости к азитромицину [11].

Исследования проводимые Hsu P-C с соавторами направленными на исследование устойчивости к карбапенемам бактерий рода *Salmonella* spp., возникающей в результате потери поринов (регистрируется у штаммов некоторых родов *Enterobacteriaceae*, продуцирующих β-лактамазы расширенного спектра действия (ESBL) и β-лактамазы класса C (AmpC), включая *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa*), установлено, что потеря двух специфических поринов (OmpC_378 и OmpD) имеет решающее значение для развития устойчивости к карбапенемам у штаммов *Salmonella*, продуцирующих ESBL и AmpC. Наряду с этим авторами установлено, что большинство серологических вариантов *Salmonella* spp. содержат семь паратологов поринов, ключевыми из которых являются OmpC_378 и OmpD, участвующие в развитии устойчивости к карбапенемам [12].

Chiou CS с соавторами проведены масштабные исследования направленные на определение устойчивости клинических изолятов нетифоидных сальмонелл (NTS), выделенных от людей на Тайване в период с 2017 по 2018 год, с использованием теста на чувствительность к антимикробным препаратам. Детерминанты устойчивости к азитромицину были обнаружены у 175 выбранных изолятов с помощью ПЦР и подтверждены у 81 выбранного изолята с помощью полногеномного секвенирования. Множественная лекарственная устойчивость была обнаружена у 47,3 % от общего числа изолятов, а также у 96,2 % изолятов *Salmonella enterica* серовара *Anatum* и у 81,7 % изолятов *S. enterica* серовара *Typhimurium*. Устойчивость к традиционным препаратам первой линии (ампициллин, хлорамфеникол и котримоксазол), цефотаксиму и цефтазидиму, а также ципрофлоксацину была обнаружена у 32,5 % – 49,0 %, 20,3 % – 20,4 % и 3,2 % изолятов, соответственно. В общей сложности 76 (3,1 %) изолятов были устойчивы к азитромицину, что было связано с mph (A), erm (42), erm (B), а также возможно, с усиленной экспрессией эффлюксных насосов из-за ramAp или дефектного ramR. Ген mph (A) был обнаружен у 53 % из 76 устойчивых к азитромицину изолятов из 11 сероваров и локализован в единице IS 26 - mph (A) -mrx (A) - mphR (A)-IS 6100 в различных плазмидах несовместимости и хромосомах. Ген erm (42) у *S. enterica* серовара *Albany* переносился интегративным и конъюгативным элементом ICE_erm42, а у *S. enterica* серовара *Enteritidis* и *S. typhimurium* данный ген локализовался в составных транспозонах IS 26 в

хромосомах. Ген erm (B) переносился плазмидами IncI1-I(α) у *S. enteritidis* и *S. typhimurium*. Ген ramAp представлял собой плазмидный ген ramA, регуляторный активатор эффлюксного насоса(ов), обнаруженный только у *S. enterica* серовара Goldcoast. Поскольку детерминанты устойчивости к азитромицину в основном переносятся на мобильных генетических элементах, они могут легко распространяться среди патогенных для человека бактерий. Таким образом, можно ожидать, что детерминанты устойчивости к азитромицину будут распространены среди различных бактериальных патогенов [13].

Несмотря на колоссальные достижения в антибиотикотерапии за последние десятилетия, лекарственно-устойчивые патогенны остаются одной из ведущих причин смертности и экономических потерь во всем мире. Широкомасштабное и неэффективное лечение сальмонеллезных инфекций привело к переходу от множественной лекарственной устойчивости (МЛУ) к обширной лекарственной устойчивости (ОЛУ). Синергия между системами эффлюкса и белками внешней мембраны (БВМ) может способствовать развитию МЛУ у представителей *Salmonella* spp. Понимание механизма инфлюкса и эффлюкса антибиотиков может помочь в разработке структурно стабильной молекулы, способной эффективно обходить механизмы резистентности *Salmonella* spp. Понимание стратегической ответственности и разработка политики для решения проблемы роста лекарственной устойчивости на национальном, региональном и глобальном уровнях являются насущной необходимостью. Интеграция данных о дифференциальной экспрессии основных белков внешней мембраны и системы эффлюкса, а также позиционных мутациях у *Salmonella* spp. может дать представление о разработке стратегических методов лечения [14].

Обобщая результаты литературного поиска направленного на исследование механизмов формирования резистентности представителей *Salmonella* spp. к антибактериальным препаратам различных химических групп, свидетельствует о нарастающей проблеме формирования полирезистентных штаммов к химиотерапевтическим препаратам как узкого, так и широкого спектров действия. Изучение механизмов резистентности в перспективе позволит разработать эффективные методы лечения, позволяющие обойти защитные механизмы устойчивости как на планктонные (изолированные) клетки, так и на популяцию клеток объеденных в биопленку.

Список литературы

1. Aleksandrowicz A, Carolak E, Dutkiewicz A, Błachut A, Waszczuk W, Grzymajlo K. Better together-Salmonella biofilm-associated antibiotic resistance. Gut Microbes. 2023 Jan-Dec;15(1):2229937. doi: 10.1080/19490976.2023.2229937.

2. Santos-Lopez A, Marshall CW, Scribner MR, Snyder DJ, Cooper VS. Evolutionary pathways to antibiotic resistance are dependent upon environmental structure and bacterial lifestyle. Elife. 2019 Sep 13;8:e47612. doi: 10.7554/eLife.47612.

3. Landini P, Antoniani D, Burgess JG, Nijland R. Molecular mechanisms of compounds affecting bacterial biofilm formation and dispersal. Appl Microbiol Biotechnol. 2010 Apr;86(3):813-23. doi: 10.1007/s00253-010-2468-8.

4. Argimón S. et al. Circulation of third-generation cephalosporin resistant Salmonella Typhi in Mumbai, India //Clinical Infectious Diseases. – 2022. – Т. 74. – №. 12. – С. 2234-2237. doi: 10.1093/cid/ciab897

5. Klemm E. J. et al. Emergence of an extensively drug-resistant Salmonella enterica serovar Typhi clone harboring a promiscuous plasmid encoding resistance to fluoroquinolones and third-generation cephalosporins //MBio. – 2018. – Т. 9. – №. 1. – С. 10.1128/mbio. 00105-18. doi: 10.1128/mBio.00105-18

6. Burke L. et al. Resistance to third-generation cephalosporins in human non-typhoidal Salmonella enterica isolates from England and Wales, 2010–12 //Journal of Antimicrobial Chemotherapy. – 2014. – Т. 69. – №. 4. – С. 977-981. doi: 10.1093/jac/dkt469.

7. Carey M. E. et al. Spontaneous emergence of azithromycin resistance in independent lineages of Salmonella Typhi in Northern India //Clinical Infectious Diseases. – 2021. – Т. 72. – №. 5. – С. e120-e127. doi: 10.1093/cid/ciaa1773.

8. Hooda Y. et al. Molecular mechanism of azithromycin resistance among typhoidal Salmonella strains in Bangladesh identified through passive pediatric surveillance //PLoS neglected tropical diseases. – 2019. – Т. 13. – №. 11. – С. e0007868. doi: 10.1371/journal.pntd.0007868.

9. McArthur A. G. et al. The comprehensive antibiotic resistance database //Antimicrobial agents and chemotherapy. – 2013. – Т. 57. – №. 7. – С. 3348-3357. doi: 10.1128/AAC.00419-13.

10. Wright G. D. The antibiotic resistome: the nexus of chemical and genetic diversity //Nature reviews microbiology. – 2007. – Т. 5. – №. 3. – С. 175-186. doi: 10.1038/nrmicro1614.

11. Hooda Y, Sajib MSI, Rahman H, Luby SP, Bondy-Denomy J, Santosham M, Andrews JR, Saha SK, Saha S. Molecular mechanism of azithromycin resistance among typhoidal Salmonella strains in Bangladesh identified through passive pediatric surveillance. PLoS Negl Trop Dis. 2019 Nov 15;13(11):e0007868. doi: 10.1371/journal.pntd.0007868.

12. Hsu P-C, Wang Y-W, Chen B-H, Hong Y-P, Teng R-H, Liu P-Y, Chiou C-S. Carbapenem resistance in extensively drug-resistant *Salmonella enterica* serovar Agona and AmpC β-lactamase-producing S. Infantis. Microbiol Spectr. 2023 Dec 12;11(6):e0292223. doi: 10.1128/spectrum.02922-23.

13. Chiou CS, Hong YP, Wang YW, Chen BH, Teng RH, Song HY, Liao YS. Antimicrobial Resistance and Mechanisms of Azithromycin Resistance in Nontyphoidal Salmonella Isolates in Taiwan, 2017 to 2018. Microbiol Spectr. 2023 Feb 14;11(1):e0336422. doi: 10.1128/spectrum.03364-22.

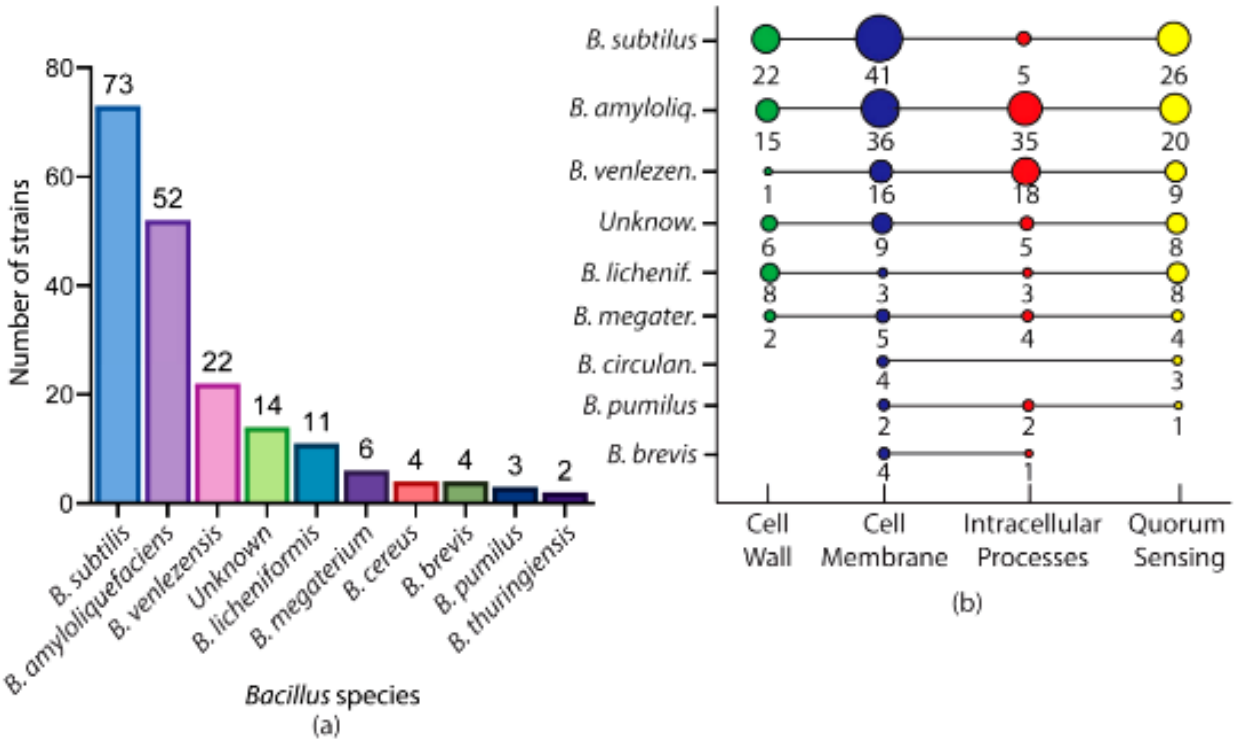
14. Akshay SD, Deekshit VK, Mohan Raj J, Maiti B. Outer Membrane Proteins and Efflux Pumps Mediated Multi-Drug Resistance in *Salmonella*: Rising Threat to Antimicrobial Therapy. ACS Infect Dis. 2023 Nov 10;9(11):2072-2092. doi: 10.1021/acsinfecdis.3c00408.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНТАГОНИСТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ *BACILLUS* SPP. В КАЧЕСТВЕ АНТИМИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ (ОБЗОР)

Лопатина О.Ю., Сизенцов А.Н. канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Использование антибактериальных препаратов в качестве стимуляторы роста сельскохозяйственных животных, согласно данным Всемирной организации здравоохранения является одним из факторов нарастающего распространения устойчивости к антибиотикам среди населения, что в конечном итоге привело к их последующему запрету в ряде стран, особенно на территории Европейского союза. Однако данные ограничения привели к увеличению числа вспышек патогенных заболеваний в сельском хозяйстве, подчеркивая необходимость экономически жизнеспособной, нетоксичной и возобновляемой альтернативы антибиотикам в животноводстве. Пробиотики подавляют рост патогенов, способствуют формированию полезной микробиоты, регулируют иммунный ответ хозяина, улучшают конверсию корма в питательные вещества и образуют биопленки, которые блокируют дальнейшее инфицирование. Широко используемые пробиотики на основе молочнокислых бактерий уязвимы к суровым условиям верхних отделов желудочно-кишечного тракта, что привело к новым исследованиям с использованием спорообразующих бактерий *Bacillus* spp [1].

В современной научной литературе описана антимикробная активность у 1389 штаммов Bacillus spp. [1], относящихся к 27 различным видам (рисунок 1a). При этом распределение данных на уровне виде в порядке убывания составляет *B. subtilis* (n= 348), *B. amyloliquefaciens* (n = 214), *B. licheniformis* (n = 114), *B. circulans* (n = 89), *B. thuringiensis* (n = 73), *B. pumilus* (n = 61), *B. velezensis* (n = 60), *B. megaterium* (n = 17) и *B. mojavensis* (n = 17). Анализ механизма антибактериального действия (рисунок 1b) свидетельствует, что наиболее распространенной мишенью действия для большинства представителей рода *Bacillus* spp. и их вторичных метаболитов является клеточная мембрана (n = 122), за ней следуют quorum sensing (n = 79), внутриклеточные процессы (n = 73) и клеточная стенка (n = 57). Чувство-кворума представляет собой наиболее перспективную мишень, поскольку все больше видов и метаболитов (n = 79) препятствуют этому процессу и, следовательно, ингибируют межклеточную коммуникацию, тем самым снижая уровень преодаления антибиотикоресистентности. Так же следует отметить, что многие представители рода *Bacillus* spp. и их метаболиты проявляют свою антимикробную активность не только посредством одного, но и нескольких механизмов.



a - количество анализируемых видов и количество штаммов каждого из них;

b - механизм антибактериального действия выявленный у исследуемых штаммов

Рисунок 1 - Метаанализ литературных данных антибактериальной активности штаммов *Bacillus* spp. (Tran C. et al. 2022).

Антибиотикорезистентность – является остро нарастающей проблемой современной медицины, поэтому важно найти новые альтернативы для лечения инфекций, вызванных полирезистентными патогенными микроорганизмами. Небольшие антимикробные пептиды (АМП), известные как бактериоцины (небольшие пептиды с большим разнообразием структур и функций), могут стать альтернативой антибиотикам, поскольку они показали свою эффективность против большого числа мультирезистентных бактерий. Помимо высокой специфичности в отношении микробных патогенов и низкой цитотоксичности по отношению к клеткам человека, большинство бактериоцинов обладают устойчивостью к ферментативной деградации и стабильностью к изменениям температуры и pH [2]. Следует отметить, что данные пептиды имеют высокий потенциал практического применения не только в фармацевтической промышленности, но и в пищевой и сельскохозяйственной отраслях [3].

Антимикробные пептиды – это белки, которые образуются в результате жизнедеятельности микроорганизмов в качестве вторичных метаболитов. Представители рода *Bacillus* продуцируют множество типов АМП с помощью

рибосомных (бактериоцины) и нерибосомных (полимиксины и итурины) механизмов. Бактериоцины — это рибосомно синтезируемые пептиды, которые ингибируют рост близкородственных штаммов бактерий [4]. Однако несмотря на их высокий биологический потенциал, низкий выход АМП, производимых в обычных лабораторных условиях, остается проблемой для крупномасштабного производства [5]. Бактериоцины используют антимикробные механизмы, отличные от механизмов действия антибиотиков, и могут ингибировать антибиотикорезистентные бактерии, но количество бактериоцинов с очень широким антимикробным спектром очень мало [6].

В исследованиях проводимых Budhwani Z. с соавторами идентифицирован и охарактеризован новый безлидерный бактериоцин, бауцин, первый бактериоцин, выделенный из вида *Bacillus wiedmannii*. Установлено, что химически синтезированный и очищенный бауцин активен против широкого спектра грамположительных бактерий в том числе *Staphylococcus aureus, Bacillus cereus* и *Listeria monocytogenes*. Скрининг стабильности показал, что бауцин стабилен в широком диапазоне pH (2,0–10,0), температурных условий (от 25 °C до 100 °C) и устойчив к протеазам папаину и пепсину. Моделирование трехмерной структуры по гомологии предполагает, что бауцин содержит сапосиновую складку с амфипатическими спиралями и сильно катионной поверхностью, которая может иметь решающее значение для взаимодействия с мембраной и последующей гибели клеток-мишеней [7].

Исследование штамма *Bacillus thuringiensis* P86 с антимикробной активностью в отношении нескольких патогенов, проводимых Zhang X. с соавторами, выделено три новых беслидерных бактериоцина, включая туцин A1, туцин A2 и туцин A3, выделенные, очищенные и идентифицированы из культуральной жидкости *B. thuringiensis* P86, с молекулярной массой 5552,02 Да, 5578,07 Да и 5609,06 Да, соответственно. Туцин A1 продемонстрировал выраженную ингибирующую активность против грамположительных тест-бактерий. Следует отметить, что туцин A1 продемонстрировал высокую кислотно-щелочную адаптивность (pH 2-11), высокую термостойкость, хорошую устойчивость к трипсину и пепсину, а также отсутствие гемолитической активности и цитотоксичности [8].

Tamehiro N. с соавторами при исследовании штамма *Bacillus subtilis* 168 выделен новый фосфолипидный антибиотик (названный бацилизоцином), который накапливается внутри (или связывается с) клетками *B. subtilis* 168, и определили его структуру с помощью анализа ядерного магнитного резонанса и масс-спектрометрии. Установленная структура бацилизоцина представляет собой 1-(12-метилтетрадеканоил)-3-фосфоглицероглицерол. Бацилизоцин продемонстрировал антимикробную активность, особенно против некоторых грибов [9, 10].

Экспериментальные исследования проводимые Erega A. с соавторами, свидетельствует о выраженном антагонистическом действии *Bacillus subtilis* в отношении *Campylobacter jejuni*, характеризующееся не только снижением выживаемости патогена, но и влиянии на образование биопленки за счет

секреции антибиотика бациллаена. При этом помимо бациллаена, антагонистический эффект *B. subtilis* включает нерибосомальный пептид бацилизин, и что полностью функциональный антагонизм зависит от транскрипционного регулятора ComA, участвующего в механизме кворум-сенсинга. Использование конфокальной лазерной сканирующей микроскопии, позволило установить, что секретируемые антибиотики влияют на распределение клеток *C. jejuni* и *B. subtilis* в погруженной биопленке и уменьшают толщину биопленки патогена. Кроме того, установлено, что гены, кодирующие структурные или регуляторные белки системы эффлюксного аппарата (cmeF и cmeR соответственно), способствуют выживанию *C. jejuni* во время взаимодействия с *B. subtilis* PS-216. Проведенное авторами исследование свидетельствует, что в биопленках обоих видов *B. subtilis* продуцирует два антибиотика, бациллаен и бацилизин, которые ингибируют рост *C. jejuni*. Кроме того, доказано, что специфические эффлюксные насосы патогенов способствуют защите от атаки *B. subtilis*. В частности, насос CmeDEF действует во время защиты от бацилизина, в то время как зависимая от CmeR сверхэкспрессия CmeABC нейтрализует атаку бациллаена.

В исследовании проводимом Leistikow K.R. с соавторами, демонстрирован потенциал изучения разнообразия микробных штаммов для открытия новых антибиопленочных агентов, которые могут помочь в борьбе с инфекциями, вызванными устойчивыми к большинству химиотерапевтических антибактериальных препаратов штаммов *S. aureus*. В частности авторами установлено, что изолированный из окружающей среды штамм *B. subtilis* 6D1, обладает высокой способностью ингибировать рост биопленок, разрушать зрелые биопленки и повышать чувствительность биопленок *S. aureus* к антибиотикам посредством механизма интерференции кворум-сенсинга Agr. Биохимический и молекулярный сетевой анализ активной органической фракции выявил множественные изоформы сурфактина, и не характеризованный пептид определял эту антибиопленочную активность. По сравнению с коммерческим сурфактином эти пептиды *B. subtilis* 6D1 значительно лучше ингибируют образование биопленок тест-штаммов *S. aureus* Agr, а также предотвращают цитотоксичность, вызванную S. aureus, в исследованиях на клетках кишечника человека HT29. Так совокупность пептидов улучшила антибиотическое действие и защитила клетки эпителия кишечника человека от токсичности, вызванной *S. aureus*, путем стимуляции адаптивного цитокинового ответа [12].

Липопептиды бактерий рода *Bacillus* представляют собой небольшие метаболиты, содержащие циклическую структуру, образованную 7-10 аминокислотами (включая 2-4 D-аминокислоты) и бета-гидроксижирной кислотой с 13-19 атомами углерода. Эти липопептиды проявляют разнообразную биологическую активность, включая взаимодействие с биопленками, а также противогрибковые, противовоспалительные, противоопухолевые, противовирусные и антитромбоцитарные свойства. Многообразие активности липопептидов вызвало значительный интерес к их

использованию в качестве антибиотиков, кормовых добавок, противоопухолевых средств, препаратов для экстренной тромболитической терапии и систем доставки лекарств [13].

Бактериальный энтерит, является распространенным клиническим заболеванием, и его заболеваемость во всем мире возрастает. Для скрининга функциональных штаммов *Bacillus* с противовоспалительными свойствами, устойчивостью к кислотам и желчным солям, а также антагонизмом по отношению к *Salmonella* spp, в данном исследовании проводимом Xiong D. с соавторами в качестве препаратов кандидатов использовались 22 штамма *Bacillus*. Для идентификации противовоспалительных штаммов Bacillus была создана модель воспалительных клеток с использованием макрофагов J774-Dual NF-κB/IRF-репортера. Кандидатные штаммы *Bacillus* оценивались по устойчивости к кислотам и желчным солям, а также по антибактериальным свойствам, и исследовалось их ингибирующее действие на воспалительные реакции, вызванные инфекцией *S. enteritidis*. Установлено, что *B. licheniformis* B410 обладает значительным противовоспалительным эффектом за счет подавления сигнальных путей NF-κB и IRF. B410 продемонстрировал отличную устойчивость к кислотам и желчным солям и показал благоприятный антибактериальный эффект в отношении *S. enteritidis*. Совместная инкубация B410 с макрофагами RAW264.7 не влияла на жизнеспособность клеток. *B. licheniformis* B410 значительно ингибировал экспрессию провоспалительных цитокинов IL-1β и TNF-α, индуцированную ЛПС, и способствовать экспрессии противовоспалительного цитокина IL-10. B410 значительно ингибировал активацию NF-κB и продукцию воспалительных цитокинов, вызванных инфекцией *S. enteritidis* в макрофагах [14].

Bacillus velezensis широко изучаемый микроорганизм благодаря своей антимикробной активности широкого спектра действия. В исследовании Wang L. с соавторами установлено, что *B. velezensis* HBXN2020, выделенный из организма здоровых черных свиней, обладает выраженной антистрессовой и антибактериальной активностью широкого спектра действия. *B. velezensis* HBXN2020 не оказывает негативного влияния на организм мышей при введении в различных доз (1×10^7, 1×10^8 и 1×10^9 КОЕ/мл) в течение 14 дней. Добавление спор *B. velezensis* HBXN2020 в качестве как лечебной, так и профилактической меры значительно снижает уровень *S. typhimurium* ATCC14028 в фекалиях, подвздошной кишке, слепой кишке и толстой кишке мышей, а также индекс активности заболевания (DAI) в модели инфекции, вызванной этим патогеном. Наряду с этим *B. velezensis* HBXN2020 значительно регулировало уровни цитокинов (Tnfa, Il1b, Il6 и Il10) и поддерживало экспрессию белков плотных соединений и муцинового белка. Установлено, что добавление спор *B. velezensis* HBXN2020 к микробиоте толстой кишки улучшило ее стабильность и увеличило количество автохтонных микроорганизмов (*Lactobacillus* spp. и *Akkermansia* spp) [15].

Bacillus pumilus является одной из микробных кормовых добавок, одобренных Министерством сельского хозяйства Китая для использования в

животноводстве, которая, помимо прочего, улучшает показатели роста и иммунитет животных. В исследованиях проводимых Ran L. с соавторами направленных на оценку противоинфекционного действия *B. pumilus* в отношении *Salmonella enteritidis* на модели лабораторных мышей установлено, что введение в организм животных *B. pumilus* SMU5927 значительно усиливает механический барьер кишечника и снижает количество *S. enteritidis* в исследуемых органах. *B pumilus* SMU5927 снижает степень повреждения кишечной ткани и ослабляет воспалительные реакции в кишечнике у мышей. Наряду с этим регистрируется увеличение соотношения *Firmicutes* / *Bacteroidetes* в кишечной флоре, а также увеличивается численность *Lactobacillus* spp. на фоне снижения патогенных микроорганизмов [16].

В исследовании проводимом Podnar E. с соавторами изучался пробиотический потенциал *Bacillus subtilis* PS-216 и выяснились механизмы, лежащие в основе его взаимодействия с модельным патогенным штаммом *S. typhimurium* SL1344. Установлено, что *B. subtilis* PS-216 ингибирует рост и образование биопленки *S. typhimurium* за счет продукции поликетидного бациллаена, зависящего от кластера pks. Присутствие *S. typhimurium* усиливало активность промотора P pksC, контролирующего продукцию бациллаена, что предполагает, что *B. subtilis* распознает сальмонеллу и реагирует на ее присутствие. Уровень ингибирования сальмонеллы, общая активность P pksC и индукция P pksC сальмонеллой были выше в условиях с высоким содержанием питательных веществ, чем в условиях с их недостатком. Устранение продукции внеклеточного полисахарида *B. subtilis* путем делеции оперона epsA-O не оказало существенного влияния на ингибирующую активность против *S. typhimurium* в условиях высокой питательной ценности, данный мутант с делецией продемонстрировал усиленный антагонизм против сальмонеллы в условиях дефицита питательных веществ, что указывает на сложную взаимосвязь между продукцией экзополисахаридов, доступностью питательных веществ и синтезом бациллаена (продукция бациллаена является крайне динамичным признаком, зависящим от факторов окружающей среды, таких как доступность питательных веществ и наличие конкурентов). Авторами получены доказательства регуляторной роли доступности питательных веществ, распознавания конкурента и полисахарида EpsA-O в социальном исходе бациллаен-зависимой конкуренции между *B. subtilis* и *S. typhimurium* [17].

Обобщая результаты литературного поиска направленного на изучение перспективы использования антагонистического потенциала представителей *Bacillus* spp. в качестве антимикробных препаратов, следует отметить неуклонный рост интереса мировой научной общественности в данном направлении. Представленные данные свидетельствуют о перспективности использования микроорганизмов *Bacillus* spp. не только в качестве пробиотических штаммов с выраженной антагонистической активностью, но и в качестве потенциальных продуцентов антибактериальных препаратов.

Список литературы

1 Tran C, Cock IE, Chen X, Feng Y. Antimicrobial *Bacillus*: Metabolites and Their Mode of Action. Antibiotics (Basel). 2022 Jan 12;11(1):88. doi: 10.3390/antibiotics11010088.

2 Mercado V, Olmos J. Bacteriocin Production by *Bacillus* Species: Isolation, Characterization, and Application. Probiotics Antimicrob Proteins. 2022 Dec;14(6):1151-1169. doi: 10.1007/s12602-022-09966-w.

3 Vaca J, Ortiz A, Sansinenea E. *Bacillus* sp. Bacteriocins: Natural Weapons against Bacterial Enemies. Curr Med Chem. 2022;29(12):2093-2108. doi: 10.2174/0929867328666210527093041.

4 Basi-Chipalu S, Sthapit P, Dhital S. A review on characterization, applications and structure-activity relationships of *Bacillus* species-produced bacteriocins. Drug Discov Ther. 2022 May 17;16(2):55-62. doi: 10.5582/ddt.2021.01087.

5 Puan SL, Erriah P, Baharudin MMA, Yahaya NM, Kamil WNIWA, Ali MSM, Ahmad SA, Oslan SN, Lim S, Sabri S. Antimicrobial peptides from *Bacillus* spp. and strategies to enhance their yield. Appl Microbiol Biotechnol. 2023 Sep;107(18):5569-5593. doi: 10.1007/s00253-023-12651-9.

6 Ovchinnikov KV, Chi H, Mehmeti I, Holo H, Nes IF, Diep DB. Novel Group of Leaderless Multipeptide Bacteriocins from Gram-Positive Bacteria. Appl Environ Microbiol. 2016 Aug 15;82(17):5216-24. doi: 10.1128/AEM.01094-16.

7 Budhwani Z, Buragina JT, Lang J, Acedo JZ. Characterization of the Novel Leaderless Bacteriocin, Bawcin, from *Bacillus wiedmannii*. Int J Mol Sci. 2023 Nov 30;24(23):16965. doi: 10.3390/ijms242316965.

8 Zhang X, Xin N, Zhu Z, Li X, Dai D, Pan C, Peng D, Sun M. Three novel leaderless bacteriocins have antimicrobial activity against gram-positive bacteria to serve as promising food biopreservative. Microb Cell Fact. 2022 Sep 19;21(1):194. doi: 10.1186/s12934-022-01912-3.

9 Tamehiro N, Okamoto-Hosoya Y, Okamoto S, Ubukata M, Hamada M, Naganawa H, Ochi K. Bacilysocin, a novel phospholipid antibiotic produced by *Bacillus subtilis* 168. Antimicrob Agents Chemother. 2002 Feb;46(2):315-20. doi: 10.1128/AAC.46.2.315-320.2002.

10Willdigg JR, Patel Y, Arquilevich BE, Subramanian C, Frank MW, Rock CO, Helmann JD. The *Bacillus subtilis* cell envelope stress-inducible ytpAB operon modulates membrane properties and contributes to bacitracin resistance. J Bacteriol. 2024 Mar 21;206(3):e0001524. doi: 10.1128/jb.00015-24.

11Erega A, Stefanic P, Danevčič T, Smole Možina S, Mandic Mulec I. Impact of *Bacillus subtilis* Antibiotic Bacilysin and *Campylobacter jejuni* Efflux Pumps on Pathogen Survival in Mixed Biofilms. Microbiol Spectr. 2022 Aug 31;10(4):e0215622. doi: 10.1128/spectrum.02156-22.

12Leistikow KR, May DS, Suh WS, Vargas Asensio G, Schaenzer AJ, Currie CR, Hristova KR. *Bacillus subtilis*-derived peptides disrupt quorum sensing and biofilm assembly in multidrug-resistant *Staphylococcus aureus*. mSystems. 2024 Aug 20;9(8):e0071224. doi: 10.1128/msystems.00712-24.

13Zhao H, Shao D, Jiang C, Shi J, Li Q, Huang Q, Rajoka MSR, Yang H, Jin M. Biological activity of lipopeptides from *Bacillus*. Appl Microbiol Biotechnol. 2017 Aug;101(15):5951-5960. doi: 10.1007/s00253-017-8396-0.

14Xiong D, Sun T, Liu M, Wang B, Guan T, Song L, Jiao X, Yang Z. *Bacillus licheniformis* B410 Alleviates Inflammation Induced by Lipopolysaccharide and *Salmonella* by Inhibiting NF-κB and IRF Signaling Pathways in Macrophages. Probiotics Antimicrob Proteins. 2025 Dec;17(6):4930-4944. doi: 10.1007/s12602-024-10440-y.

15Wang L, Wang H, Li X, Zhu M, Gao D, Hu D, Xiong Z, Li X, Qian P. *Bacillus velezensis* HBXN2020 alleviates *Salmonella Typhimurium* infection in mice by improving intestinal barrier integrity and reducing inflammation. Elife. 2024 Nov 19;13:RP93423. doi: 10.7554/eLife.93423.

16Ran L, Lei J, Liu H, Wang D, Liu J, Yang F, Chen D. *Bacillus pumilus* SMU5927 protect mice from damage caused by *Salmonella Enteritidis* colonization. Life Sci. 2025 Jan 15;361:123291. doi: 10.1016/j.lfs.2024.123291.

17Podnar E, Erega A, Danevčič T, Kovačec E, Lories B, Steenackers H, Mandic-Mulec I. Nutrient Availability and Biofilm Polysaccharide Shape the Bacillaene-Dependent Antagonism of Bacillus subtilis against Salmonella Typhimurium. Microbiol Spectr. 2022 Dec 21;10(6):e0183622. doi: 10.1128/spectrum.01836-22.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Лукьянова А. В., Верхошенцева Ю. П., канд. биол. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Антропогенная деятельность в настоящее время рассматривается как основной фактор поступления потенциально токсичных элементов в окружающую среду. Особую опасность среди них представляют тяжелые металлы, отличающиеся химической устойчивостью, способностью к аккумуляции и выраженным токсическим действием даже при низких концентрациях. В связи с этим загрязнение тяжелыми металлами относится к числу наиболее актуальных и масштабных экологических проблем.

Термин «тяжелые металлы» широко используется в научных исследованиях. К данной группе относят около 40 химических элементов периодической системы. Наиболее распространенными и значимыми среди них являются железо, свинец, цинк, медь, хром, никель, кобальт, титан, марганец, ванадий и мышьяк. Эти элементы имеют специфическую геохимическую миграцию и выраженное воздействие на компоненты окружающей среды [5].

Почва является одной из ключевых сред аккумуляции тяжелых металлов. Значительная их часть сорбируется и длительное время остается в почвенном слое, в то время как оставшаяся часть способна мигрировать с поверхностными и подземными водами, формируя вторичные очаги загрязнения. В результате почвы выступают как депо токсичных элементов, оказывая длительное воздействие на экосистемы [6].

Источники поступления тяжелых металлов в почвы делятся на естественные и антропогенные. Основным природным источником является почвообразующая горная порода, где тяжелые металлы находятся в виде полевых шпатов, биотитов, пироксенов и амфиболов. Также естественным источников выступает вулканическая деятельность, космическая пыль, процессы эрозии, испарение с поверхности морей и океанов, биогенное выделение металлов растительностью [4].

Антропогенное поступление тяжелых металлов связано преимущественно с деятельностью угледобывающей, металлургической, химической промышленности и энергетического комплекса. Существенный вклад в загрязнение также вносит транспорт, так как является основным источником поступления свинца при сгорании топлива [9]. Значительную роль играют и агротехнические мероприятия, например, применение минеральных удобрений и пестицидов, содержащих тяжелые металлы [1, 7].

Характер распределения тяжелых металлов по почвенному профилю определяется источником загрязнения. При их высоком содержании, обусловленном природными явлениями, наблюдается постепенное увеличение

концентрации вниз по профилю при относительно слабом накоплении в гумусовом горизонте. В условиях техногенного загрязнения, напротив, тяжелые металлы преимущественно концентрируются в верхнем слое почвы [11]. Отличаются и формы нахождения данных элементов. В естественных аномалиях они чаще всего представлены сульфидами, сульфатами и карбонатами, тогда как при техногенном загрязнении преобладают оксидные формы и свободные ионы.

Так как почва является высоко емким акцептором тяжелых металлов, то попадая в нее, они взаимодействуют с гумусовыми веществами, глинистой фракцией и другими компонентами почвенного раствора. В результате образуются труднорастворимые соединения и сорбционные комплексы, а интенсивность их накопления определяется типом почвы и условиями почвообразования.

Аккумуляция тяжелых металлов осуществляется за счет ионного обмена, изоморфных замещений, комплексообразующей и осадочной сорбции. Также играет роль связывание с оксидами железа, марганца, алюминия, серы и поглощение почвенной биотой. Уровень накопления тяжелых металлов зависит от химического состава материнских пород, содержания гумуса, поглотительной способности почвы и других её свойств [3].

Несмотря на прочную сорбцию, тяжелые металлы способны к миграции в составе подвижных органических комплексов. Такие формы концентрируются в основном в верхних почвенных горизонтах, где много органического вещества и интенсивны биохимические процессы [10]. Вблизи промышленных источников загрязнения максимальные концентрации металлов обычно фиксируются на расстоянии 1-3 км, при этом их основная масса аккумулируется в поверхностном слое почвы [2].

Из почвы тяжелые металлы поступают также в растения через корневую систему. Корневое поглощение включает как пассивное поступление ионов по градиенту концентрации, так и активный транспорт против градиента концентрации. При низких концентрациях металлов преобладает роль активного транспорта, а при высоких – пассивный. Стоит отметить, что поглощение металлов является элементспецифичным. Кадмий, бром, цезий – легко усваиваются растениями, тогда как барий, титан, селен характеризуются низкой степенью поглощения.

В растении тяжелые металлы могут находиться в ионной форме или в виде комплексов с аминокислотами и органическими кислотами [7]. Скорость их поглощения и миграции будет зависеть от видовой принадлежности растения и химической природы самого элемента.

Тяжелые металлы способны угнетать рост и развитие растений, что проявляется в их фитотоксичности. Токсичным считается такой уровень загрязнения, при котором наблюдается снижение роста, изменение морфологических признаков и уменьшения биомассы растений не менее чем на 10 % по сравнению с фоновыми значениями [7]. Ключевыми показателями при оценке фитотоксичности субстрата служат энергия прорастания, всхожесть

семян и длина корней, последняя из которых отличается наибольшей чувствительностью к повышенному содержанию тяжелых металлов [8].

Так, высокие концентрации свинца ингибируют прорастание семян, замедляют рост корней и формирование корневых волосков, вызывают хлороз межжилковых участков листьев, особенно у молодых растений. При содержании кадмия в почве 30 мг/кг и выше нередко наблюдается гибель растений [2]. Также отмечают изменение морфологических характеристик растений, например, скручивание и асимметрия листовых пластинок, их преждевременное опадение. Наблюдается снижение активности ферментов и, следовательно, уменьшение продуктивности [12].

Повышенные концентрации тяжелых металлов негативно влияют на процессы клеточного деления, особенно в апикальных меристемах корней и побегов. Проявляется это в замедлении митоза, сокращении числа клеток на различных его стадиях, а также увеличении продолжительности отдельных фаз и всего митотического цикла [7].

По характеру токсичности тяжелые металлы относятся к протоплазматическим ядам, причем степень их токсического воздействия возрастает с увеличением относительной атомной массы. К высокотоксичным элементам, вызывающим угнетение тест-организмов при концентрации до 1 мг/л, относятся серебро, бериллий, ртуть, олово, кобальт, никель и свинец. Умеренно токсичными считаются металлы, ингибирующие рост при концентрациях 1-100 мг/л, включая бораты, молибдаты, селенаты, а также ионы мышьяка, кадмия, алюминия, марганца и цинка. Слаботоксичные элементы, такие как кальций, магний, хлор и бром, редко проявляют отрицательное действие.

Механизмы проявления токсичности тяжелых металлов разнообразны. Многие из них, в частности медь и ртуть, ингибируют активность ферментов и образуют комплексы с органическими веществами, проникающие через клеточные мембраны. Ртуть, свинец, медь, кадмий, бериллий и серебро подавляют активность щелочной фосфатазы, каталазы, оксидазы и рибонуклеаз. Отдельно кадмий и медь способны нарушать целостность клеточных мембран, а также конкурировать с биогенными элементами, замещая их в метаболических процессах, например, кадмий – цинк [1].

Загрязнение почв тяжелыми металлами связано с как с природными, так и с антропогенными источниками и носит многофакторный характер. Их высокая устойчивость, способность к накоплению и токсичность приводит к нарушению функционирования почвенно-растительных систем, деградации почв, снижению продуктивности сельскохозяйственных угодий. В связи с этим возникает необходимость комплексного решения проблемы, включающая в себя меры по ведению непрерывного мониторинга за состоянием почв, проведению рекультивационных мероприятий загрязненных почв и усилению контроля за промышленными выбросами.

Список литературы

1 Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. – Ленинград : Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1987. – 142 с.

2 Байсеитова, Н. М. Фитотоксичное действие тяжелых металлов при техногенном загрязнении окружающей среды [Электронный ресурс]. / Н. М. Байсеитова, Х. М. Сартаева // Молодой ученый. – 2014. – № 2(61). – С. 382-384. – Режим доступа : https://moluch.ru/archive/61/8882/ – 20.01.2026.

3 Васильев, А. А. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения [Электронный ресурс].: монография / А. А. Васильев, А. Н. Чащин, А. А. Васильев. – Пермь : ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. – 188 с. – Режим доступа : https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19517008 – 20.01.2026.

4 Глекнер, А. А. Оценка воздействия загрязнения почв медью и цинком на растения (на примере Sinapsis alba, Trifolium repens, Festuca arundinacea, Labularia maritima) : курсовая работа / А. А. Глекнер. – Красноярск, 2016. – 57 с.

5 Журавлева, М. А. Экологическая оценка распределения тяжёлых металлов в полосе отвода железных дорог [Электронный ресурс].: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / М. А. Журавлева. – Москва : МГУПС (МИИТ), 2015. – 209 с. – Режим доступа : https://www.miit.ru/content/Диссертация.pdf?id_wm=733272 – 20.01.26.

6 Казанцев, И. В. Железнодорожный транспорт как источник загрязнения агроландшафтов тяжелыми металлами [Электронный ресурс]. / И. В. Казанцев // Самарский научный вестник. – 2014. – № 2(7). – С. 41-43. – Режим доступа : https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22137788 – 20.01.26.

7 Кайгородов, Р. В. Устойчивость растений к химическому загрязнению [Электронный ресурс].: учеб. пособие / Р. В. Кайгородов. – Пермь : ПГУ, 2010. – 151 с. – Режим доступа : http://www.psu.ru/files/docs/fakultety/bio/ustojchivost-rastenij-k-himicheskomu-zagryazneniyu.pdf – 20.01.2026.

8 Лукьянова, А. В. Фитотестирование как метод экологической оценки почв, загрязнённых железнодорожным транспортом [Электронный ресурс]. / А. В. Лукьянова, Ю. П. Верхошенцева // Проблемы экологии Южного Урала : сб. материалов XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 70-летию образования ОГУ, Оренбург, 6-7 ноя. 2025 г. – Оренбург : ОГУ, 2025. – 4 с.

9 Лукьянова, А. В. Экологические последствия загрязнения почв железнодорожным транспортом [Электронный ресурс]. / А. В. Лукьянова, Ю. П. Верхошенцева // Наука и образование: фундаментальные основы, технологии, инновации : материалы Всерос. науч.-метод. конф, Оренбург, 17-20 сен. 2025 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. П. А. Болдырев. – Оренбург : ОГУ, 2025. С. 104-108. – 5 с.

10 Тарасова, Т. Ф. Исследование процессов накопления и распределения тяжелых металлов в растениях придорожной территории [Электронный ресурс].

/ Т. Ф. Тарасова, М. Ю. Гарицкая // Вестник ОГУ. – 2004. – № 4(29). – С. 88-89. – Режим доступа : https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19025134 – 20.01.2026.

11 Титов, А. Ф. Тяжелые металлы и растения [Электронный ресурс]. / А. Ф. Титов, Н. М. Казнина, В. В. Таланова. – Петрозаводск : Институт биологии Карельского научного центра, 2014. – 194 с. – Режим доступа : https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23779831 – 20.01.2026.

12 Фитотоксичность тяжёлых металлов в дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности [Электронный ресурс]. / В. А. Терехова [и др.] // Почвоведение. – 2021. – № 6. – С. 757-768. – Режим доступа : https://clck.ru/3RN5xM – 20.01.2026.

МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ГРИБЫ-КСИЛОТРОФЫ АРХИВНЫХ КОЛЛЕКЦИЙ: ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ

Маслова А. В., Алешина Е.С., канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Бумажные архивные коллекции, хранящие уникальное историческое и культурное наследие, повсеместно подвергаются необратимому процессу биоповреждения, определяемому как нежелательное изменение свойств материалов под действием живых организмов.

Среди агентов деструкции ведущая роль принадлежит микроскопическим грибам, способным использовать целлюлозу, лигнин и другие органические компоненты документов в качестве источника питания. Эти грибы-ксилотрофы представляют собой постоянную и серьезную угрозу, приводящую к механическому ослаблению, химической деградации и необратимому эстетическому ущербу, что влечет за собой невосполнимые культурные потери. Их деятельность усугубляется тем, что многие виды одновременно являются потенциальными патогенами и аллергенами для персонала архивов, библиотек и исследователей, создавая комплексную и актуальную проблему на стыке консервации культурного наследия и охраны труда [1, 2].

Ключевым условием, инициирующим и поддерживающим микологическое поражение, является комплекс взаимосвязанных экологических параметров архивной среды, которые можно разделить на абиотические и биотические. Абсолютно доминирующим абиотическим фактором выступает влажность. Хотя активный вегетативный рост большинства мезофильных видов начинается при относительной влажности воздуха выше 70 %, существуют ксеротолерантные, или так называемые «бумажные», грибы, такие как представители рода *Eurotium* (например, *Eurotium halophilicum*), способные развиваться при значительно более низких значениях, примерно 60 % [3].

Критичным является не столько влажность воздуха в помещении в целом, сколько равновесная влажность самого субстрата – бумаги, пергамента, клея или переплетного материала, которая определяет доступность свободной воды для прорастания спор и последующего вегетативного роста гиф [4]. Именно содержание влаги в материале, а не в окружающем воздухе, является лимитирующим фактором, что объясняет локальные вспышки плесени в, казалось бы, стабильных условиях. Температурный оптимум для большинства архивных видов лежит в диапазоне от 10 до 40 °C, с пиком активности при от 15 до 30 °C. Некоторые грибы проявляют термотолерантность, выживая при температурах до 50 °C и относясь к группе термофилов, однако экстремальные колебания, характерные для неконтролируемых помещений (зимние понижения

и летние перегревы), сами по себе вызывают физическое старение бумаги, делая ее более уязвимой [4, 5].

Кислотность среды (pH) также играет фундаментальную роль не только как фактор роста, но и как следствие и причина биоповреждения. Многие грибы, такие как *Aspergillus niger* и различные виды рода *Penicillium*, не только предпочитают кислую среду с pH от 5,5 до 6,0, но и сами активно подкисляют субстрат в процессе метаболизма, создавая самоподдерживающийся цикл деградации [4].

Существенными катализирующими факторами являются внешние абиотические агенты: промышленные атмосферные загрязнители, такие как диоксид серы (SO_2) и диоксид азота (NO_2), которые, реагируя с атмосферной влагой, образуют агрессивные серную и азотную кислоты. Эти кислоты ослабляют целлюлозные волокна, вызывая их хрупкость и появление характерных коричневых кромок у книг, а также создают благоприятную кислую среду для последующей колонизации грибами [4].

Аналогичным разрушительным эффектом обладает ультрафиолетовая составляющая солнечного и искусственного освещения, вызывающая фотохимическое окисление целлюлозы до оксицеллюлозы, что приводит к пожелтению и потере механической прочности бумаги [4]. Эти физико-химические процессы не только напрямую повреждают материал, но и делают его полимерную структуру более доступной для последующего ферментативного воздействия микроорганизмов.

Среди биотических факторов особое значение имеет пыль, выступающая в роли универсального вектора и инкубатора. Воздушная пыль представляет собой гетерогенную смесь частиц минерального и органического происхождения, включающую споры грибов, пыльцу растений, фрагменты насекомых, клетки бактерий и продукты их метаболизма. Исходя из этого, пыль выполняет тройную разрушительную функцию: она служит постоянным источником инокулюма (спор и клеток), привносит дополнительные органические питательные вещества для начального роста микроорганизмов и, благодаря своей гигроскопичности, становится локальным ядром конденсации влаги [4, 5]. Это приводит к формированию благоприятных микрозон с повышенной влажностью непосредственно на поверхности книг и документов даже в относительно сухом макроклимате помещения.

К биотическим факторам также относятся насекомые (книжная вошь, чешуйницы, термиты) и грызуны, которые не только напрямую повреждают материалы, но и переносят споры грибов на своих покровах, а их экскременты служат дополнительным субстратом для роста [5].

Наконец, значимым антропогенным фактором является само обращение с коллекциями: неправильное хранение (тесное размещение, препятствующее циркуляции воздуха), использование неподходящих упаковочных материалов, нарушение температурно-влажностного режима, а также пренебрежение правилами гигиены при работе [5].

Деструктивный потенциал ксилотрофных грибов реализуется через сложный и многоуровневый арсенал биохимических инструментов, который можно условно разделить на три взаимосвязанных направления: ферментативное расщепление, кислотное воздействие и пигментообразование [1, 6].

Ферментативная активность направлена на специфическое расщепление основных полимерных компонентов бумаги и сопутствующих материалов. Продукция целлюлазного комплекса, включающего эндоглюканазы (разрушающие внутренние связи в целлюлозной цепи), экзоглюканазы (отщепляющие целлобиозу с концов цепи) и β-глюкозидазы (гидролизующие целлобиозу до глюкозы), обеспечивает прямой и эффективный гидролиз β-1,4-гликозидных связей в целлюлозе [6].

Это приводит к постепенному укорочению полимерных цепей, резкой потере степени полимеризации и, как следствие, к катастрофическому снижению механической прочности бумаги, она становится рыхлой, рассыпается при касании. Особенно мощными продуцентами этих ферментов являются представители родов *Trichoderma, Chaetomium* и *Aspergillus* [6, 7].

Параллельно многие виды секретируют гемицеллюлазы, атакующие гемицеллюлозы – другой ключевой компонент древесных волокон. Отдельные виды обладают протеолитической активностью, разлагая белковые компоненты переплетов, клеев (желатин, казеин) и пергамента, что является ключевым механизмом деградации этих исторических материалов, на что указывают наблюдения за структурными изменениями объектов культурного наследия [6, 7].

Не менее разрушительным является непрямой, кислотный механизм повреждения. Грибы в процессе первичного и вторичного метаболизма продуцируют ряд низкомолекулярных органических кислот: щавелевую, лимонную, глюконовую, уксусную, фумаровую, янтарную. Эти кислоты, накапливаясь в непосредственной близости от гиф в микроколонии, вызывают кислотный гидролиз целлюлозы, который протекает даже при отсутствии активного ферментативного расщепления [8, 9].

Кроме того, кислоты способствуют деминерализации бумаги, выщелачивая карбонаты кальция, которые часто используются в качестве наполнителя, что также ведет к повышению хрупкости. Ярким примером является способность *Aspergillus niger* в лабораторных условиях снижать pH среды с начальных 8 до 1,7, что демонстрирует огромный потенциал подкисления. Долгосрочные исследования показывают, что даже после элиминации самого гриба, оставшиеся в бумаге кислотные метаболиты продолжают медленную, но неуклонную деструкцию, приводя к серьезной потере сопротивления излому [10].

Третий аспект биохимического воздействия – продукция окрашенных вторичных метаболитов (меланинов, каротиноидов, антрахинонов и других пигментов), которые образуют устойчивые цветные пятна, известные как «лисьи пятна» или просто грибковые окрашивания. Эти пигменты,

продуцируемые грибами родов *Alternaria* (коричневые и черные пятна), *Epicoccum* (желтые, оранжевые), *Chaetomium* (оливково-зеленые, черные), *Aspergillus* (различные оттенки) и *Penicillium* (зеленые, сине-зеленые), не только обезображивают документ, маскируя текст и изображения, но и могут проникать глубоко в структуру бумаги, образуя прочные химические связи с волокнами, что делает пятна практически невыводимыми традиционными методами реставрации [11].

Некоторые из этих пигментов, например, меланины, дополнительно защищают гифы гриба от неблагоприятных условий, повышая его выживаемость. Отдельные виды, такие как *Stachybotrys chartarum*, в условиях избыточной влажности продуцируют микотоксины и летучие органические соединения с сильным запахом, представляя дополнительную химическую угрозу как материалу, так и здоровью человека [4].

Выявление и точное определение видового состава микробиоты архивных коллекций – фундаментальная задача, от корректности решения которой напрямую зависит выбор адекватных и целевых мер контроля и лечения. Традиционные методы, основанные на культивировании образцов (смывов с поверхностей, фрагментов бумаги, проб воздуха) на селективных питательных средах (картофельно-декстрозный агар, агар Чапека, солодовый агар) с последующим морфологическим микроскопическим анализом, долгое время оставались золотым стандартом и легли в основу первых масштабных обзоров микробиоты библиотек [4, 12].

Они позволяют идентифицировать доминирующие культивируемые виды по макропризнакам (цвет, скорость и характер роста колонии) и микропризнакам (строение конидиеносцев, форма, размер и структура спор) и оценить количественную обсемененность. Однако эти методы имеют принципиальные и неустранимые ограничения: они выявляют лишь ту небольшую часть микробного сообщества, которая способна расти на искусственных средах в заданных лабораторных условиях, игнорируя некультивируемые, находящиеся в покое (диасхизные) или медленнорастущие формы микроорганизмов. Кроме того, они дают лишь фрагментарную картину сложных микробных консорциумов, где взаимодействие между видами может быть ключевым фактором деструкции [12].

Прорывом в диагностике стало широкое внедрение молекулярно-генетических подходов, которые позволили перейти от культивирования к прямому анализу генетического материала, извлеченного из образца. Наиболее распространенным методом является ПЦР-амплификация и последующее секвенирование консервативных геномных локусов, прежде всего внутренних транскрибируемых спейсеров (Internal Transcribed Spacer, ITS) рибосомальной ДНК, которые обладают видовой специфичностью у грибов. Этот подход позволил идентифицировать грибы напрямую из крошечных фрагментов поврежденной бумаги, минуя стадию культивирования, что критически важно для работы с уникальными и хрупкими документами, где забор материала должен быть минимальным. Как показывает исследование, применение ITS-

секвенирования выявило высокое видовое разнообразие, включая виды, редко обнаруживаемые классическими методами [13, 14].

Следующим эволюционным шагом стали современные метагеномные подходы, такие как высокопроизводительное секвенирование следующего поколения (Next Generation Sequencing, NGS). Эти технологии открывают возможность полного и беспристрастного описания всего микробного сообщества поврежденного документа, включая не только грибы, но и бактерии, археи и протисты, а также анализ их метаболического потенциала [14, 15].

Однако порождаемый этими методами огромный массив данных требует разработки стандартизированных протоколов отбора проб, выделения ДНК, биоинформатического анализа и, что наиболее важно, создания и поддержки специализированных, курируемых баз данных микроорганизмов-биодеструкторов культурного наследия. Так можно обеспечить корректную таксономическую интерпретацию результатов и совершить переход от простого описательного каталогизирования к пониманию экологических взаимодействий, сукцессий и синергизма внутри микробного сообщества, ответственного за биоповреждение. Несмотря на мощность молекулярных методов, оптимальной стратегией сегодня считается их интеграция с классическими культурологическими подходами, так как только выделение чистых культур позволяет изучить физиологию, биохимический потенциал и провести испытания биоцидов на конкретном изоляте [14, 15].

С учетом проанализированных данных можно сделать вывод о том, что проблема биоповреждения архивных коллекций микроскопическими грибами-ксилотрофами носит комплексный междисциплинарный характер, находясь на стыке экологии, биохимии, молекулярной биологии, материаловедения и практики превентивной консервации. Современные методы идентификации, комбинирующие классическую микологию и молекулярную генетику, дают специалистов точный диагностический инструмент для оценки угрозы, мониторинга эффективности принимаемых мер и ретроспективного анализа причин повреждений. Дальнейшие исследования должны быть направлены на стандартизацию методов микробиологического анализа в консервации, углубленное изучение синергизма и антагонизма внутри микробных консорциумов на поверхности исторических материалов, а также на разработку безопасных, целевых и обратимых методов защиты, которые обеспечат долговременную сохранность бесценного документального наследия для будущих поколений, одновременно гарантируя безопасные условия труда.

Список литературы

1 Sterflinger, K. Fungi: Their role in deterioration of cultural heritage / K. Sterflinger // Fungal Biology Reviews. – 2010. – Vol. 24. – № 1. – С. 47-55. – DOI: 10.1016/j.fbr.2010.03.003.

2 Sterflinger, K. Microbial deterioration of cultural heritage and works of art - tilting at windmills? / K. Sterflinger, G. Piñar // Appl Microbiol Biotechnol. – 2013. – Vol. 97. – № 22. С. 9637-9646. – DOI:10.1007/s00253-013-5283-1.

3 Zyska, B. Fungi isolated from library materials: a review of the literature / B. Zyska // International Biodeterioration & Biodegradation. – 1997. – Vol. 40. – № 1. – С. 43–51. – DOI: https://doi.org/10.1016/S0964-8305(97)00061-9.

4 Valentin, N. Microbial contamination in museum collections: Organic materials / N. Valentin // Molecular biology and cultural heritage / ed. by C. Saiz-Jimenez. – Lisse : Balkema. – 2010. – С. 3-18. – DOI: 10.1201/9780203746578-11.

5 Pinheiro, A. C. Fungi in archives, libraries, and museums: a review on paper conservation and human health / A. C. Pinheiro, S. O. Sequeira, M. F. Macedo // Critical Reviews in Microbiology. – 2019. – Vol. 45. – №. 5-6. – С. 686-700. – DOI: 10.1080/1040841X.2019.1690420.

6 Montanari, M. Fungal biodeterioration of historical library materials stored in compactus movable shelves / M. Montanari, V. Melloni, F. Pinzari, G. Innocenti // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2012. – Vol. 75. – С. 83-88. – DOI: 10.1016/j.ibiod.2012.03.011.

7 Стшельчик, А. Б. Наблюдения за эстетическими и структурными изменениями, вызванными микроорганизмами в польских исторических объектах / А. Б. Стшельчик // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2004. – № 3. – С. 151-156. – DOI: 10.1016/S0964-8305(03)00088-X.

8 Sterflinger, K. Fungi as geologic agents / K. Sterflinger // Geomicrobiology Journal. – 2000. – Vol. 17. – № 2. – С. 97-124. – DOI: 10.1080/01490450050023791.

9 Sequeira, S. O. Antifungal treatment of paper with calcium propionate and parabens: short-term and long-term effects / S. O. Sequeira, A. J. L. Phillips,

E. J. Cabrita, M. F. Macedo // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2017. – Vol. 120. – С. 203-215. – DOI: 10.1016/j.ibiod.2017.03.005.

10 Florian, M. L. E. SEM analysis of irregular fungal fox spots in an 1854 book: population dynamics and species identification / M. L. E. Florian, L. Manning // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2000. – Vol. 46. – № 3. – С. 205-220. – DOI: 10.1016/S0964-8305(00)00062-7.

11 Nittérus, M. Fungi in archives and libraries. A literary survey / M. Nittérus // Restaurator. – 2000. – Vol. 21. – № 1. – С. 25-40. – DOI: 10.1515/REST.2000.25.

13 Pangallo, D. Analysis of microbial communities and their metabolic activity in archival documents / D. Pangallo, M. Bučková, L. Kraková, A. Puškárová,

N. Šaková, T. Grivalský [et al.] // Environmental microbiology. – 2015. – Vol. 17. – № 2. – С. 462-479. – DOI: https://doi.org/10.1007/s11274-012-1004-7.

14 Liu, Z. Metagenomic analysis of the microbial community on a deteriorated Chinese painting / Z. Liu, Y. Zhang, F. Zhang, C. Hu, G. Liu, J. Pan // Journal of Cultural Heritage. – 2018. – Vol. 33. – С. 189-197. – DOI: 10.1186/s12866-023-02887-w.

15 Nittérus, M. Fungi in archives and libraries. A literary survey / M. Nittérus // Restaurator. – 2000. – Vol. 21. – № 1. – С. 25-40. – DOI: 10.1515/REST.2000.25.

ВОЗМОЖНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОДУКТОВ ОТЖИГА НЕФТЕШЛАМОВ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТОВ ШИРОКОГО СПЕКТРА ДЕЙСТВИЯ

Мирзамахсутова Д.М., Осипова Е.А. канд. хим. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

На всех этапах нефтяного цикла от скважины до резервуара формируются стойкие эмульсионные отходы. По сути, это очень стойкие эмульсии, где нефть и вода смешаны в присутствии глины, песка и продуктов коррозии.

В статье исследуется потенциал зольного остатка от термической переработки нефтешламов (при различных температурах) в качестве сорбционного материала. Актуальность работы обусловлена экологической опасностью нефтешламов – сложных многокомпонентных отходов, которые при традиционном хранении угрожают окружающей среде из-за риска утечек и загрязнения природных объектов.

Экспериментально подтверждено, что сжигание эффективно разрушает органическую составляющую нефтешламов. В полученном зольном остатке обнаружены следовые концентрации тяжёлых металлов (никеля и мышьяка), однако их содержание удаётся снизить до безопасных значений за счёт введения инертных добавок. Это открывает возможности для практического применения золы в качестве сорбента.

В ходе исследования выявлена ключевая закономерность: функциональные свойства полученного материала напрямую обусловлены его структурными характеристиками. Продукт отжига характеризуется развитой пористой структурой и наличием активных поверхностных групп, что обеспечивает его универсальную сорбционную способность. Экспериментально подтверждено эффективное поглощение как органических загрязнителей (нефтепродуктов, полициклических ароматических углеводородов), так и неорганических (ионов тяжёлых металлов) [2].

Россия, занимая лидирующие позиции в мировой добыче нефти и газа, сталкивается с масштабной проблемой образования нефтесодержащих отходов. Особую экологическую угрозу представляют нефтешламы, формирующиеся на всех этапах нефтегазового комплекса – от добычи до переработки углеводородов. Согласно данным Росгидромета, в 2010 году объём образованных нефтешламов в России превысил 2,2 млн тонн, при этом в нефтедобывающих регионах ежегодно накапливаются десятки тысяч тонн таких отходов.

Наиболее распространённым способом обращения с нефтешламами является их хранение в специальных резервуарах. Однако нефтешламы не любят ждать: чем дольше они лежат в амбарах, шламонакопителях и картах, тем больше напоминают химическую капсулу времени - меняются фракции

углеводородов, растет доля стойких соединений, усиливается запах, повышается риск миграции в грунтовые воды [3].

Поэтому необходимо предпринимать меры по переработке данных отходов. Существуют различные методы их переработки, которые сводятся обычно к деструкции углеводородов и последующему захоронению. Это приводит к большим финансовым затратам, при этом не решается проблема утилизации отходов, которая сводится к уменьшению объемов и снижению класса опасности.

Необходимо найти недорогой и эффективный способ переработки нефтешламов.

Пиролиз представляет собой термический метод переработки сырья в бескислородной среде, при котором под воздействием высокой температуры происходит его химическое разложение. В ходе процесса органические компоненты нефтешламов полностью распадаются, а минеральная часть преобразуется в зольный остаток. Примечательно, что полученный зольный продукт обладает выраженными сорбционными свойствами, что открывает перспективы его дальнейшего применения [5].

Для получения образцов отжига использовалась навеска сырого нефтешлама, подвергнутая пиролизу в муфельной печи. В рамках исследования сорбционных характеристик был выбран температурный диапазон 450–1000 °C при времени выдержки 60 минут после достижения заданной температуры. По завершении термической обработки полученные твёрдые остатки измельчали и просеивали для подготовки к последующим испытаниям.

Полученный в результате термической обработки зольный остаток представляет собой мелкодисперсный материал с развитой пористой структурой. Наличие на поверхности частиц функциональных групп обеспечивает эффективное связывание загрязняющих веществ, как органических (нефтепродукты, полициклические ароматические углеводороды), так и неорганических (ионы тяжёлых металлов). Благодаря этим свойствам зольный остаток может выступать в роли универсального сорбента для очистки сточных вод, атмосферного воздуха и загрязнённых почв [1].

Использование такого сорбента обладает существенными преимуществами: во-первых, решается проблема утилизации нефтешламов, что снижает экологическую нагрузку; во-вторых, из отходов получается экономически ценный продукт с широким спектром применения; в-третьих, реализуется принцип циклической экономики – отходы трансформируются в ресурс, пригодный для практического использования.

Высокотемпературная обработка нефтешламов представляет собой перспективное направление, позволяющее одновременно решать экологические проблемы (сокращение объёмов опасных отходов) и создавать экономическую ценность – получать сорбционный материал с практическим применением. Такой подход соответствует принципам циклической экономики, трансформируя отходы в полезный ресурс.

Для дальнейшего развития технологии требуется целенаправленное изучение ключевых параметров процесса: температуры, длительности обработки и состава газовой среды. Эти факторы определяют характеристики получаемого сорбента. Кроме того, важно исследовать возможности модификации поверхности зольного остатка – это позволит повысить его сорбционную способность и добиться селективности по отношению к конкретным загрязняющим веществам.

Важным направлением дальнейших исследований является разработка методов регенерации отработанного сорбента. Это позволит существенно увеличить срок его службы и снизить затраты на утилизацию. Среди возможных способов регенерации: термическая обработка, экстракция растворителями и иные технологии, обеспечивающие удаление поглощённых загрязнителей и восстановление сорбционных характеристик материала.

Реализация данных подходов позволит максимально эффективно использовать потенциал высокотемпературной переработки нефтешламов для получения сорбционных материалов. Это не только способствует решению актуальных экологических проблем, но и открывает новые экономические перспективы в рамках концепции устойчивого развития. Полученные сорбенты обладают значительным прикладным потенциалом: их можно применять в различных отраслях промышленности для экологически безопасной и эффективной очистки объектов окружающей среды.

Перспективным направлением исследований является комбинирование зольного остатка от переработки нефтешламов с традиционными сорбционными материалами (активированным углём, цеолитами, природными глинами и гуминовыми кислотами). Разработка композитных сорбентов позволит синергически объединить преимущества отдельных компонентов, обеспечив тем самым: повышение общей сорбционной ёмкости, улучшение селективности по целевым загрязнителям и увеличение химической стабильности материала. Такой подход особенно актуален для очистки сложных многокомпонентных загрязнений, где требуется одновременное удаление различных типов поллютантов [4].

Реализация комплексного подхода к созданию и применению сорбентов на основе зольного остатка способствует решению ряда взаимосвязанных задач: во-первых, обеспечивается экологически безопасная утилизация нефтесодержащих отходов; во-вторых, формируются предпосылки для развития ресурсосберегающих технологий; в-третьих, создаётся экономическая база для производства конкурентоспособных сорбционных материалов. В конечном счёте это ведёт к снижению экологической нагрузки на окружающую среду и способствует повышению качества жизни населения за счёт внедрения эффективных методов очистки природных объектов.

Список литературы

1. Бахонина, Е. И. Современные технологии переработки и утилизации углеводородсодержащих отходов. Термические методы утилизации

и обезвреживания / Е. И. Бахонина // Башкирский химический журнал. 2015. Т. 22. № 1. С. 20-29.

2. Дернович, А. В. Переработка нефтешламов. Комплексный подход к проблеме / А. В. Дернович, И. В. Войтов, К. В. Вишневский // Нефтехимия-2021: материалы IV Международного научно-технического форума. – Минск: БГТУ, 2021. - С. 136-145.

3. Коршунова, Т. Ю. Нефтешламы: состояние проблемы в Российской Федерации и методы снижения их отрицательного воздействия на окружающую среду / Т. Ю. Коршунова, О. Н. Логинов // Экобиотех. 2019. Т. 2. № 1. С. 75–85.

4. Сафронов, А. Е. Технологии утилизации нефтешлама / А. Е. Сафронов // Нефтегазовый терминал: сборник научных статей памяти профессора Н. А. Малюшина. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2015. С. 223–226.

5. Якушева, А. М. Методы обезвреживания нефтешламов. Обезвреживание нефтешламов методом сжигания / А. М. Якушева // Отходы и ресурсы. 2022. Т. 9. № 2. С. 1–15.

РОЛЬ МИКРООРГАНИЗМОВ РОДА *BACILLUS* SPP. В ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ (ОБЗОР)

Морозова С.А. Пластамак А. П., Григорьева М. В.,
Сизенцов А. Н., канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Одной из главных задач сельского хозяйства является увеличение количества урожая. В пагоне за этой целью люди использовали множество удобрений как полностью состоящих из химикатов, так имеющих в своем составе микроорганизмов. И действительно, в природе большую роль для подержания жизни растений играют бактерии, которые вступают с ними в симбиоз, тем самым помогая им расти и развиваться.

Симбиозы растений с микроорганизмами разделены на две группы: трофические (образуемые с микоризными грибами или с азотфиксирующими бактериями) и защитные (с эндо- и эпифитными микробами, подавляющими развитие фитопатогенов или фитофагов) [1].

Эндофитные бактерии – это полезные для растений бактерии, которые хорошо растут внутри растений, а также улучшать их рост в нормальных и стрессовых условиях. Уровень симбиотического взаимодействия может проявляться как напрямую, улучшая усвоение питательных веществ и регулируя рост и стрессовые фитогормоны, так и косвенно улучшать здоровье растений, воздействуя на вредителей и патогенов антибиотиками, гидролитическими ферментами, ограничивая питательные вещества и укрепляя защиту растений. Чтобы получить эти преимущества, бактерии должны колонизировать эндосферу растения после колонизации ризосферы. Колонизация достигается с помощью множества признаков, включающих подвижность, прикрепление, разрушение растений-полимеров и уклонение от защитных систем растений. Разнообразие эндофитных колонизаторов зависит от нескольких факторов, специфичных для бактерий, растений и окружающей среды. Некоторые эндофитные бактерии могут иметь широкий спектр хозяев и использоваться в качестве биоинокулянтов для создания безопасной и устойчивой сельскохозяйственной системы [2].

У растений есть два способа защиты [3]:

– индуцированная системная устойчивость (ISR). ISR служит важным системным защитным механизмом против патогенных инфекций у растений, обычно активируясь при взаимодействии с определёнными полезными микроорганизмами через взаимодействие с корнями. Этот вид защиты обеспечивает широкий спектр защиты от различных патогенов;

– приобретённая системная устойчивость (SAR). SAR – это сложный системный защитный механизм растений, обеспечивающий устойчивую защиту от широкого спектра патогенов за счёт активации первичных инфекций

патогенов и химических индукторов. Активируемый сигнальными молекулами, такими как салициловая кислота (SA), SAR осуществляется системной передачей защитных сигналов по всему организму. Помимо салициловой кислоты, механизм координируется сложной сетью различных путей, таких как пути жирных кислот, липидов и аминокислот, что подчёркивает его многогранность [4, 5, 6].

В отличие от фитопатогенов эндофитные бактерии способны обходить реакцию системной защиты растений. Но при этом они по разному влияют на продуктивность разнообразных видов и даже разных сортов растений [7].

Из различных тканей растений было выделено 297 изолятов, из них отобрано 36, различающихся по RAPD профилю (12%). Наибольшая заселенность бактериями наблюдалась в тех растениях и частях растений, которые находятся в почве, наименьшая – в листьях и стеблях [8].

Эндофитные микроорганизмы рода *Bacillus* – одни из самых перспективных исследованных на сегодняшний день [9]. Несколько видов этого рода были классифицированы как стимуляторы роста растений и биологические агенты контроля, среди которых выделяется *Bacillus subtilis, Bacillus velezensis, Bacillus megaterium, Bacillus amyloliquefaciens.*

Многие штаммы *Bacillus* способствуют росту растений и производят широкий спектр антибиотиков; поэтому штаммы *Bacillus* часто используются для биоконтроля болезней растений. Виды *Bacillus* производят известные вещества, такие как бацитрацин, бактериоцины и антимикробные липопептиды. Штаммы *B. subtilis* также производят летучие органические соединения, некоторые из которых способствуют росту растений и активируют их защитные механизмы, вызывая системную устойчивость [10].

Bacillus velezensis – важная ризобактерия, стимулирующая рост растений, обладающая огромным потенциалом в развитии сельского хозяйства [11]. *B. velezensis* обладает высокой генетической способностью синтезировать циклические липопептиды (то есть сурфактин, бацилломицин-D, фенгицин и бациллибактин) и поликетидов (макролактин, бациллен и диффицидин). Вторичные метаболиты, вырабатываемые *B. velezensis*, также могут вызывать индуцированную системную устойчивость у растений.

Bacillus megaterium особенно известен своим обилием почвы и стимулированием роста растений, особенно у чайных [12]. Бурая гниль корней, вызванная *Fomes lamaoensis*, была значительно уменьшается за счёт внесения бактерии в почву. Колонизация корней *B. megaterium* и последующая инокуляция *F. Lamaoensis* также привели к увеличению количества полифеноликов и защитных ферментов – пероксидазы, хитиназы, β-1,3-глюканазы и лиазы фенилааланин аммиака. Определение механизма действия этой бактерии показало, что она способна растворять фосфат, производить ИАА, сидерофор и противогрибковый метаболит. Стимулирование роста растений и снижение интенсивности болезни обусловлены сочетанием нескольких механизмов.

В результате этого *B. megaterium* уже был коммерциализирован для сельскохозяйственных применений [13]. Однако до сих пор описано мало *метаболитов B. megaterium* (фитогормоны [14], антибиотики липопептиды [15], витамин B12 [16], сидерофоры, каротиноиды [17], биополимеры [18], экзополисахариды [19]) и оценены через их прямое использование в сельскохозяйственной промышленности [20].

Штамм *Bacillus amyloliquefaciens* GD4a, полезная бактерия, выделенная из свитчграсса, демонстрирует большой потенциал в управлении GMD у растений. Например, инокуляция GD4a значительно ускоряет рост роста сеянцев у растений *Arabidopsis* Col-0 WT, что указывает на потенциал GD4a для улучшения роста сельскохозяйственных культур через обработку семян. При обработке GD4a уменьшается длина первичного корня и значительно увеличивается вес саженцев. Растения, обработанные GD4a, демонстрируют как крупный, так и быстрый рост побегов. Биомасса надземных растений увеличивается примерно на 110%. В результате растения *Arabidopsis* Col-0, обработанные GD4a, дают примерно на 20% больше силлик и примерно на 40% больше семян по сравнению с водным контролем [3].

Обобщая изложенное, следует отметить, что представленные в научной литературе эмпирические данные свидетельствуют о том, что бактерии *Bacillus* spp. (*B. subtilis*, *B. velezensis*, *B. megaterium* и *B. amyloliquefaciens*) являются одними из ключевых симбионтов растений, обеспечивающих прямое и косвенное симбиотическое взаимодействие характеризующегося стимуляцией роста и активацией защитных систем сельскохозяйственных культур, что в конечном итоге обеспечивает увеличение их продуктивности.

Список литературы

1. Тихонович, И. А. Кооперация растений и микроорганизмов: новые подходы к конструированию экологически устойчивых агросистем / И. А. Тихонович, Н. А. Проворов // Успехи современной биологии. – 2007. – Т. 127. – № 4. – С. 339–357.

2. Afzal, I. Plant beneficial endophytic bacteria: Mechanisms, diversity, host range and genetic determinants / I. Afzal, Z. K. Shinwari, S. Sikandar, S. Shahzad // Microbiological research. – 2019. – Vol. 221. – P. 36–49.

3. Yang, P. Plant Growth Promotion and Plant Disease Suppression Induced by Bacillus amyloliquefaciens Strain GD4a / P. Yang, P. Yuan, W. Liu, Z. Zhao, M. C. Bernier, C. Zhang, A. Adhikari, S. O. Opiyo, L. Zhao, F. Banks et al. // Plants. – 2024. – Vol. 13, № 5. – P. 672.

4. Conrath, U. Systemic acquired resistance // Plant signaling & behavior. – 2006. – Т. 1. – № 4. – С. 179–184.

5. Durrant, W. E. Systemic acquired resistance / W. E. Durrant, X. Dong // Annu. Rev. Phytopathol. – 2004. – Т. 42. – № 1. – С. 185–209.

6. Gao, Q. M. Signal regulators of systemic acquired resistance / Q. M. Gao et al. // Frontiers in plant science. – 2015. – Т. 6. – С. 228.

7. Чистоедова, А. В. Оценка эффективности симбиоза эндофитных *Bacillus subtilis* с разными сортами фасоли по активности фитоиммунных реакций растений / А. В. Чистоедова [и др.] // 26-я Пущинская школа-конференция молодых ученых с международным участием «Биология-наука XXI века» : материалы конференции. – Пущино, 09–13 апреля 2023 года. – С. 37.

8. Сарварова, Е. Р. Симбиоз растений с эндофитными бактериями / Е. Р. Сарварова, Р. М. Хайруллин // Экспериментальная биология растений: фундаментальные и прикладные аспекты. – 2017. – С. 62.

9. Bolivar-Anillo, H. J. Endophytic bacteria *Bacillus subtilis*, isolated from *Zea mays*, as potential biocontrol agent against *Botrytis cinerea* / H. J. Bolivar-Anillo et al. // Biology. – 2021. – Т. 10. – № 6. – С. 492.

10. Xu, Jin-Xin. Isolation and characterization of *Bacillus subtilis* strain 1-L-29, an endophytic bacteria from *Camellia oleifera* with antimicrobial activity and efficient plant-root colonization / Jin-Xin Xu et al. // PLoS one. – 2020. – Vol. 15, № 4. – P. 230889.

11. Khan, M. S. The Endophytic Bacteria *Bacillus velezensis* Lle-9, Isolated from *Lilium leucanthum*, Harbors Antifungal Activity and Plant Growth-Promoting Effects / M. S. Khan, J. Gao, X. Chen, M. Zhang, F. Yang, Y. Du, T. S. Moe, I. Munir, J. Xue, & X. Zhang // Journal of microbiology and biotechnology. – 2020. – Vol. 30, № 5. – P. 668–680.

12. Chakraborty, U. Plant growth promotion and induction of resistance in *Camellia sinensis* by *Bacillus megaterium* / U. Chakraborty, B. Chakraborty, M. Basnet // Journal of basic microbiology. – 2006. – Т. 46. – № 3. – С. 186–195.

13. Zasada, A. A. Detection and identification of *Bacillus anthracis*: From conventional to molecular microbiology methods // Microorganisms. – 2020. – Т. 8. – № 1. – С. 125.

14. Poveda, J. *Bacillus* as a source of phytohormones for use in agriculture / J. Poveda, F. González-Andrés // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2021. – Т. 105. – № 23. – С. 8629–8645.

15. Penha, R. O. *Bacillus* lipopeptides as powerful pest control agents for a more sustainable and healthy agriculture: recent studies and innovations / R. O. Penha et al. // Planta. – 2020. – Т. 251. – № 3. – С. 70.

16. Kumar, R. Vitamin B12: Strategies for enhanced production, fortified functional food products and health benefits / R. Kumar et al. // Process Biochemistry. – 2023. – Т. 127. – С. 44–55.

17. Pishchik, V. N. Epiphytic PGPB *Bacillus megaterium* AFI1 and *Paenibacillus nicotianae* AFI2 improve wheat growth and antioxidant status under Ni stress / V. N. Pishchik et al. // Plants. – 2021. – Т. 10. – № 11. – С. 2334.

18. Harirchi, S. Bacillales: from taxonomy to biotechnological and industrial perspectives / S. Harirchi et al. // Microorganisms. – 2022. – Т. 10. – № 12. – С. 2355.

19. Marimuthu, S. Structural and functional characterization of exopolysaccharide produced by a novel isolate *Bacillus sp*. EPS003 / S. Marimuthu,

K. Rajendran // Applied Biochemistry and Biotechnology. – 2023. – Т. 195. – № 7. – С. 4583–4601.

20. Hur, A. *Bacillus megaterium*: Evaluation of Chemical Nature of Metabolites and Their Antioxidant and Agronomics Properties / A. Hur, M. M. Saoudi, H. Ferhout, L. Mzali, P. Taillandier, & J. Bouajila // International journal of molecular sciences. – 2024. – Vol. 25, № 6. – P. 3235.

«ЗЕЛЕНЫЙ» СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ЦИНКА (ОБЗОР)

Назарикова А.И., Сизенцов А.Н., канд. биол. наук, доцент,
Сальникова Е.В. д-р биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Быстрое развитие нанотехнологий, особенно в области фармацевтических наук, значительно расширило возможности лечения опасных для жизни заболеваний. Ключевым аспектом этой эволюции является появление «зеленых нанотехнологий», которые делают акцент на экологически устойчивом синтезе сырья посредством биологических процессов. Так в работе Al-Tameemi A.I. с соавторами представлен расширенный анализ биологического синтеза и применение наночастиц оксида цинка (ZnO) продуцентом которых выступили пробиотических бактерий, выделенные из сточных вод [1]. Преимуществом данных микроорганизмы является их относительная толерантность к вредным элементам за счет ферментативного преобразования токсичных тяжелых металлов в экологически чистые материалы. Данные прокариотические организмы выполняют важную роль в синтезе наночастиц ZnO с выраженными антимикробными свойствами, которые находят практическое применение в различных промышленных отраслях. Так, например, значительно нарастающее обострение проблемы развития резистентности патогенных микроорганизмов к химиотерапевтическим антибактериальным препаратам, требует формирование новых инновационных стратегических подходов для борьбы с ними. Взаимосвязь интенсивно развивающейся нанотехнологии, микробиологии и антибактериальной резистентности, подчеркивается важность отбора продуцентов из числа пробиотических микроорганизмов для синтеза наночастиц, в том числе ZnO с выраженной антибактериальной активностью.

Микроорганизмы, включая бактерии, грибы, актиномицеты и дрожжи, служат природными биофабриками, позволяя контролируемо производить наночастицы ZnO с заданными размерами и морфологией. Среди них бактерии обладают явными преимуществами перед растительными системами благодаря быстрому росту, простоте культивирования, генетической управляемости и способности функционировать в качестве воспроизводимых нанофабрик в контролируемых условиях, выделяя широкий спектр биомолекул, которые облегчают синтез наночастиц. Биогенно синтезированные наночастицы ZnO демонстрируют превосходную биосовместимость и биоразлагаемость, что делает их перспективными кандидатами для таких применений, как доставка лекарств, антибактериальная терапия, биовизуализация, биосенсорика и нано-удобрения в устойчивом сельском хозяйстве. Несмотря на их потенциал, всесторонняя токсикологическая оценка остается необходимой для обеспечения их безопасной интеграции в биомедицинские и экологические приложения [2].

Потенциал практического применения наночастиц полученных методом направленного бактериального синтеза обладает широким спектром за счет их высоких биофункциональных характеристик в таких направлениях как ремедиация окружающей среды и различных терапевтических инновациях. Экологически чистый синтез наночастиц основан на выявлении подходящих бактериальных штаммах, способных выступить в качестве микробных «нанофабрик», с высоким выходом биологически активных частиц. Целенаправленное использование пробиотических бактерий выделенных из окружающей среды позволяет разработать новые методические подходы и возможности микробного синтеза наночастиц эссенциально значимых элементов, что в свою очередь способствует развитию экологически чистых методов производства НЧ (таблица 1) [1].

Таблица 1 – Использование пробиотических штаммов микроорганизмов для синтеза наночастиц ZnO (Al-Tameemi A.I. et al. 2025).

Пробиотические бактерии / ссылка	Синтез	Размер (нм)	Морфология	Спектр применения
L. sporogens [3]	Внутриклеточный	146	Шестиугольный	Антибактериальный
L. paracasei LB3 [4]	Внутриклеточный	1197	-	-
L. gasseri [5]	Внеклеточный	282	Шестиугольный	Антимикробный
L. plantarum ZDY2013 [6]	Внеклеточный	41	Сферический	Антибактериальный
L. plantarum TA4 [7]	Внеклеточный и внутриклеточный	349-351	Цветок	Антибактериальный
L. johnsonii [8]	Внутриклеточный	4–9	Сферический	-
L. lactis NCDO1281(T) *Bacillus* sp. PTCC 1538 [9]	Внутриклеточный	99 55–61	Наностержни и сферы	Электрохимическое определение бисфенола А
B. subtilis ZBP4 [10]	Внеклеточный	22–59	Неправильная сферическая форма	Антибактериальный
B. licheniformis MTCC9555 [11]	Внутриклеточный	250-1000	Цветок	Фотокаталитический
B. haynesii MG822851 [12]	Внеклеточный	50	-	Антибактериальный
W. confusa UPM22MT04 [13]	Внеклеточный	2–8	Сферический	Антибактериальный
W. cibaria UPM22MT06 [14]	Внеклеточный	2–8	Сферический	Антибактериальный

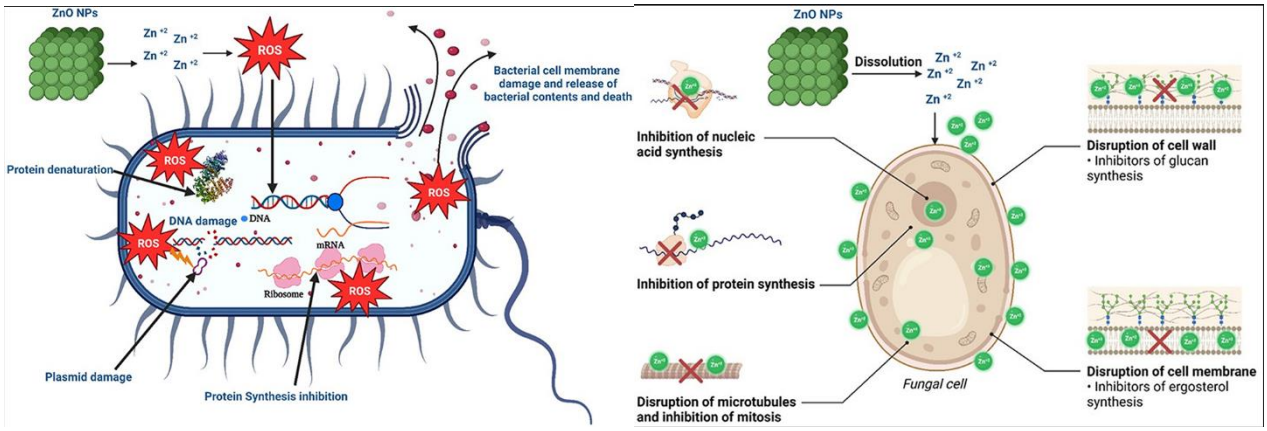
Интенсивность развития экологически чистых биологических подходов «зеленого» синтеза [15, 16] с использованием растений и микроорганизмов характеризуется их способностью генерировать наночастицы, которые являются безопасными, экологически устойчивыми и экономически эффективными [17, 18]. Биологические агенты, такие как водоросли, бактерии, грибы и растения, могут служить растворителями и стабилизаторами, создавая экологически чистый путь синтеза наночастиц и снижая токсичность конечного продукта [19]. Данная способность не только снижает загрязнение окружающей среды, но и потенциально может быть использована для преобразования тяжелых металлов из промышленных отходов в относительно безопасные соединения. Отличительные биохимические механизмы этих агентов открывают новые и неиспользованные ранее на практике пути преобразования неорганических металлических ионов в металлические наночастицы [17, 20, 21].

Биологические методы представляют собой многообещающую альтернативу синтезу наночастиц, демонстрируя явные преимущества перед другими подходами благодаря своей безопасности, простоте, нетоксичности, экологичности, биосовместимости и экономической эффективности [22]. Процессинг использует биологически активные материалы из микроорганизмов или растительных экстрактов для создания наночастиц ZnO. При этом биологические материалы выполняют двойную роль в синтезе наночастиц, выступая как восстанавливающие, так и стабилизирующие агенты. Как правило, биосинтез наночастиц ZnO включает добавление прекурсора металла, такого как растворимые соли, в подготовленные биологические экстракты. Реакция приводит к изменению цвета, в результате чего образуется порошок наночастиц ZnO [22]. Бактериальный метод получения наночастиц ZnO можно разделить на внутриклеточный и внеклеточный синтез. При внутриклеточном синтезе молекулы-предшественники Zn поглощаются микробными клетками, восстанавливаются, а затем выводятся в виде наночастиц ZnO [23]. Например, *Lactobacillus paracasei* из молочных продуктов может производить сферические наночастицы ZnO внутриклеточно, тогда как *Bacillus licheniformis* и *Bacillus subtilis* могут синтезировать их внеклеточно [23-30].

Большинство методических подход синтеза НЧ цинка начинаются с выделения и получения чистых культур микроорганизмов на агаризованных субстратах с использованием метода серийных разведений, с последующей инкубацией при 35 °C – 37 °C в течение 24 часов [24]. Чистые колонии культивируются для получения наночастиц ZnO. Каждый штамм бактерий находится в питательном бульоне (35 °C – 37 °C в течение 24 часов) в условиях постоянного перемешивания. Отделяемый супернатант используется для синтеза наночастиц ZnO, где сульфат цинка ($ZnSO_4$) и гидроксид натрия смешиваются с культуральным фильтратом, после чего проводится нагревание, обработка в микроволновой печи и охлаждение для облегчения образования наночастиц [24]. Полученный белый осадок затем промывают, центрифугируют и высушивают в сушильном шкафу при 40°C в течение 8 часов для получения

порошкообразных наночастиц ZnO. Наночастицы хранятся для дальнейших исследований, и определяется наиболее эффективный штамм бактерий [23, 25].

Наночастицы оксидов металлов известны своим широким спектром медицинского применения, включая антибактериальное, противораковое действие, биосенсорику, визуализацию клеток и доставку лекарств/генов. Среди них наночастицы оксида цинка (ZnO) выделяются своей универсальностью и эффективностью. В последнее время наночастицы ZnO стали основным материалом в различных секторах, таких как фармацевтическая, косметическая, антимикробная, строительная, текстильная и автомобильная промышленность. Наночастицы ZnO могут генерировать активные формы кислорода и индуцировать апоптоз клеток, что обуславливает их мощные противораковые, антибактериальные (рисунок 1А) и противогрибковые (рисунок 1В) свойства. Для удовлетворения растущего спроса было разработано множество методов синтеза наночастиц ZnO. Однако традиционные производственные процессы часто сопряжены со значительными экономическими и экологическими затратами, что побуждает к поиску более устойчивых альтернатив. Примечательно, что методы биологического синтеза с использованием растений, растительных экстрактов или микроорганизмов стали идеальным способом получения наночастиц ZnO [30].



A B

A – антибактериальная активность наночастиц ZnO; B – Противогрибковая активность наночастиц ZnO; ZnO NPs – наночастицы оксида цинка; ROS – активные формы кислорода

Рисунок 1 – Механизмы биологической активности наночастиц цинка (El-Saadony M.T. et al. 2024)

Обобщая результаты литературного поиска эмпирических данных использования направленного бактериального синтеза наночастиц цинка, свидетельствует о растущем интересе мировой научной общественности в данном вопросе. Потенциал зеленого синтеза обусловлен не только экологической безопасностью, но и широким спектром их применения в медицинской, фармацевтической сельскохозяйственной и других отраслях деятельности человека.

Выполнено при поддержке гранта министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2024-550

Список литературы

1 Al-Tameemi A.I., Masarudin M.J., Rahim R.A., Mizzi R., Timms V.J., Isa N.M., Neilan B.A. Eco-friendly zinc oxide nanoparticle biosynthesis powered by probiotic bacteria. Appl Microbiol Biotechnol. 2025 Jan 29;109(1):32. doi: 10.1007/s00253-024-13355-4.

2 Asokan, S., Jacob, T., Atiyah, M.M. et al. Bacteria Mediated Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles: A Sustainable Nanotechnology Approach for Biomedical Applications. Biomedical Materials & Devices. 2026. doi: 10.1007/s44174-025-00578-w.

3 Mishra M., Paliwal J.S., Singh S.K., Selvarajan E., Subathradevi C., Mohanasrinivasan V. Studies on the inhibitory activity of biologically synthesized and characterized zinc oxide nanoparticles using *Lactobacillus sporogens* against Staphylococcus aureus. J Pure Appl Microbiol. 2013. 7(2):1263–1268

4 Król A., Railean-Plugaru V., Pomastowski P., Złoch M., Buszewski B. Mechanism study of intracellular zinc oxide nanocomposites formation. Colloids Surf A Physicochem Eng Asp. 2018. 553:349–358. doi: 10.1016/j.colsurfa.2018.05.069

5 El-Sayed H.S., El-Sayed S.M., Youssef A.M. Novel approach for biosynthesizing of zinc oxide nanoparticles using *Lactobacillus gasseri* and their influence on microbiological, chemical, sensory properties of integrated yogurt. Food Chem. 2021. 365:130513. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130513

6 Li W., Chen Y., Wang T. Cadmium biosorption by lactic acid bacteria *Weissella viridescens* ZY-6. Food Control. 2021. 123:107747. doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107747

7 Mohd Yusof H., Mohamad R., Zaidan U.H., Rahman N.A.A. Sustainable microbial cell nanofactory for zinc oxide nanoparticles production by zinc-tolerant probiotic *Lactobacillus plantarum* strain TA4. Microb Cell Fact. 2020. 19:1–17. doi: 10.1186/s12934-020-1279-6

8 Al-Zahrani H., El-Waseif A., El-Ghwas D. Biosynthesis and evaluation of TiO2 and ZnO nanoparticles from *in vitro* stimulation of *Lactobacillus johnsonii*. J Innov Pharm Biol Sci. 2018. 5(1):16–20

9 Mahdi Z.S., Talebnia Roshan F., Nikzad M., Ezoji H. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using bacteria: a study on the characterization and application for electrochemical determination of bisphenol A. Inorg Nano-Met Chem. 2021. 51(9):1249–1257. doi: 10.1080/24701556.2020.1835962

10 Hamk M., Akçay F.A., Avcı A. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Bacillus subtilis* ZBP4 and their antibacterial potential against foodborne pathogens. Prep Biochem Biotechnol. 2023 53(3):255–264. doi: 10.1080/10826068.2022.2076243

11 Tripathi R., Bhadwal A.S., Gupta R.K., Singh P., Shrivastav A., Shrivastav B. ZnO nanoflowers: novel biogenic synthesis and enhanced

photocatalytic activity. J Photochem Photobiol B. 2014. 141:288–295. doi: 10.1016/j.jphotobiol.2014.10.001

12 Rehman S., Jermy B.R., Akhtar S., Borgio J.F., Abdul Azeez S., Ravinayagam V., Al Jindan R., Alsalem Z.H., Buhameid A., Gani A. Isolation and characterization of a novel thermophile; Bacillus haynesii, applied for the green synthesis of ZnO nanoparticles. Artif Cells Nanomed Biotechnol. 2019. 47(1):2072–2082. doi: 10.1080/21691401.2019.162025

13 Al-Tameemi A., Masarudin M., Rahim R., Timms V., Neilan B., Isa N. Antibacterial properties of zinc oxide nanoparticles synthesized by the supernatant of *Weissella confusa* UPM22MT04. Iraqi J Agric Sci. 2023. 54(5):1209–1222. doi: 10.36103/ijas.v54i5.1816

14 Al-Tameemi A.I., Masarudin M.J., Abdul Rahim R., Mills T., Timms V.J., Neilan B.A., Mat Isa N. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using the supernatant of *Weissella cibaria* UPM22MT06 and its antibacterial and cytotoxicity properties. Biologia. 2023. 78(11):3315–3328. doi: 10.1007/s11756-023-01506-3.

15 Mohd Yusof H, Mohamad R, Zaidan UH, Abdul Rahman NA. Microbial synthesis of zinc oxide nanoparticles and their potential application as an antimicrobial agent and a feed supplement in animal industry: a review. J Anim Sci Biotechnol. 2019;10:57. doi:10.1186/s40104-019-0368-z.

16 Salih AM, Al-Qurainy F, Khan S, Tarroum M, Nadeem M, Shaikhaldein HO, Gaafar AZ, Alfarraj NS. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using Phoenix dactylifera and their effect on biomass and phytochemical compounds in Juniperus procera. Sci Rep. 2021;11(1):19136. doi:10.1038/s41598-021-98607-3.

17 El-Sheekh MM, AlKafaas SS, Rady HA, Abdelmoaty BE, Bedair HM, Ahmed AA, El-Saadony MT, AbuQamar SF, El-Tarabily KA. How synthesis of algal nanoparticles affects cancer therapy?–A complete review of the literature. Int J Nanomed. 2023;18:6601–6638. doi:10.2147/IJN.S423171

18 Palaniyandi T, Baskar G, Viswanathan S, Abdul Wahab MR, Govindaraj MK, Sivaji A, Rajendran BK, Kaliamoorthy S. Biosynthesis of iron nanoparticles using brown algae *Spatoglossum asperum* and its antioxidant and anticancer activities through *in vitro* and *in silico* studies. Part Sci Technol. 2023;41(7):916–929. doi:10.1080/02726351.2022.2159900.

19 Jha S, Rani R, Singh S. Biogenic zinc oxide nanoparticles and their biomedical applications: a review. J Inorg Organomet Polym Mater. 2023;33(6):1437–1452. doi:10.1007/s10904-023-02550-x.

20 El-Saadony MT, Sitohy MZ, Ramadan MF, Saad AM. Green nanotechnology for preserving and enriching yogurt with biologically available iron (II). Innovative Food Sci Emerg Technol. 2021;69:102645. doi:10.1016/j.ifset.2021.102645.

21 Saad AM, Sitohy MZ, Sultan-Alolama MI, El-Tarabily KA, El-Saadony MT. Green nanotechnology for controlling bacterial load and heavy metal accumulation in Nile tilapia fish using biological selenium nanoparticles biosynthesized by *Bacillus subtilis* AS12. Front Microbiol. 2022;13:1015613. doi:10.3389/fmicb.2022.1015613.

22 Gahlawat G, Choudhury AR. A review on the biosynthesis of metal and metal salt nanoparticles by microbes. RSC Adv. 2019;9(23):12944–12967. doi:10.1039/C8RA10483B

23 Chandran SP, Chaudhary M, Pasricha R, Ahmad A, Sastry M. Synthesis of gold nanotriangles and silver nanoparticles using *Aloe vera* plant extract. Biotechnol Prog. 2006;22(2):577–583. doi:10.1021/bp0501423.

24 Gomaa EZ. Microbial mediated synthesis of zinc oxide nanoparticles, characterization and multifaceted applications. J Inorg Organomet Polym Mater. 2022;32(11):4114–4132. doi:10.1007/s10904-022-02406-w.

25 Chan YY, Pang YL, Lim S, Chong WC. Facile green synthesis of ZnO nanoparticles using natural-based materials: properties, mechanism, surface modification and application. J Environ Chem Eng. 2021;9(4):105417. doi:10.1016/j.jece.2021.105417.

26 Ganesan V, Hariram M, Vivekanandhan S, Muthuramkumar S. *Periconium* sp. (endophytic fungi) extract mediated sol-gel synthesis of ZnO nanoparticles for antimicrobial and antioxidant applications. Mater Sci Semicond Process. 2020;105:104739. doi:10.1016/j.mssp.2019.104739.

27 Abdelhakim HK, El-Sayed ER, Rashidi FB. Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles with antimicrobial, anticancer, antioxidant and photocatalytic activities by the endophytic Alternaria tenuissima. J Appl Microbiol. 2020;128(6):1634–1646. doi:10.1111/jam.14581.

28 Hefny ME, El-Zamek FI, El-Fattah A, Mahgoub SA. Biosynthesis of zinc nanoparticles using culture filtrates of *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* fungal species and their antibacterial properties against gram-positive and gram-negative bacteria. Agric Microbiol Dept Fac Agric Zagazig Univ Egypt. 2019;46(6):2009–2021. doi:10.21608/zjar.2019.51920.

29 Morgan RN, Aboshanab KM. Green biologically synthesized metal nanoparticles: biological applications, optimizations and future prospects. Future Sci OA. 2024;10(1):FSO935. doi:10.2144/fsoa-2023-0196.

30 El-Saadony MT, Fang G, Yan S, Alkafaas SS, El Nasharty MA, Khedr SA, Hussien AM, Ghosh S, Dladla M, Elkafas SS, Ibrahim EH, Salem HM, Mosa WFA, Ahmed AE, Mohammed DM, Korma SA, El-Tarabily MK, Saad AM, El-Tarabily KA, AbuQamar SF. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles: Preparation, Characterization, and Biomedical Applications - A Review. Int J Nanomedicine. 2024 Dec 3;19:12889-12937. doi: 10.2147/IJN.S487188.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ФЛАВОНОИДОВ В РАСТЕНИЯХ *PORTULACA OLERACEA* И *THLASPI ARVENSE*

Науменко О.А., канд. мед. наук, доцент, Смирнова С.С.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Оренбургский государственный университет

Флавоноиды – группа природных биологически активных полифенолов растительного происхождения. Данные соединения характеризуются наличием пятнадцати атомов углерода в их скелете, расположенном в форме C_6-C_3-C_6, что соответствует двум ароматическим кольцам А и В, связанным единицей из трех атомов углерода. Основными классами флавоноидов являются: флавоны, изофлавоны, флавонолы, антоцианидины, флаваноны, флаванолы, халконы и ауроны. Флавоноиды встречаются в виде агликонов, гликозидов и метилированных производных. Они широко распространены в природе либо в свободном состоянии, либо связаны с сахарами, которые чаще встречаются у высших растений и в молодых тканях [1].

При рассмотрении физико-химических свойств флавоноидов, можно заключить, что это кристаллические вещества с определенной температурой плавления и, в зависимости от класса соединений, имеющие различную окраску.

Методы количественной оценки содержания флавоноидов основаны не только на особенностях их химической структуры, но и химической природы экстрагента. Чтобы оценить количественное содержание флавоноидов в растительном материале, предварительно необходимо провести экстракцию подходящим растворителем [1]. Менее полярные флавоноиды экстрагируют низкополярными растворителями, такими как хлороформ, дихлорметан, диэтиловый эфир или этилацетат, а полярные флавоноиды и флавоноидные гликозиды экстрагируют спиртом или водно-спиртовой смесью. Этиловый спирт является наиболее часто применяемым экстрагентом.

В данной работе исследовалось количественное содержание флавоноидов следующих двух групп: флавонолов, флавонов. Данные группы являются полярными соединениями, поэтому в качестве экстрагента был выбран этиловый спирт. Экстракция проводилась в три этапа с использованием кипящего 95% этилового спирта.

Для проведения количественного определения флавоноидов в экстрактах *Portulaca oleracea* и *Thlaspi arvense* использовали свойство флавоноидов образовывать комплексное соединение с хлоридом алюминия. Химизм этой реакции заключается в том, что хлорид алюминия взаимодействует с четвертым атомом углерода и ОН-группами при третьем и пятом атоме углерода с образованием комплексного соединения по кето-группе. Оптическую плотность данного комплекса определяли на спектрофотометре при длине волны 430 нм [2].

Для построения калибровочной кривой использовали стандартный раствор кверцетина. Из стандартного раствора кверцетина (100 мг/мл), приготовили четыре раствора с концентрациями: 2, 4, 6 и 8 мг/мл с определением оптической плотности. По величине оптической плотности строили калибровочный график для кверцетина (рисунок 1).

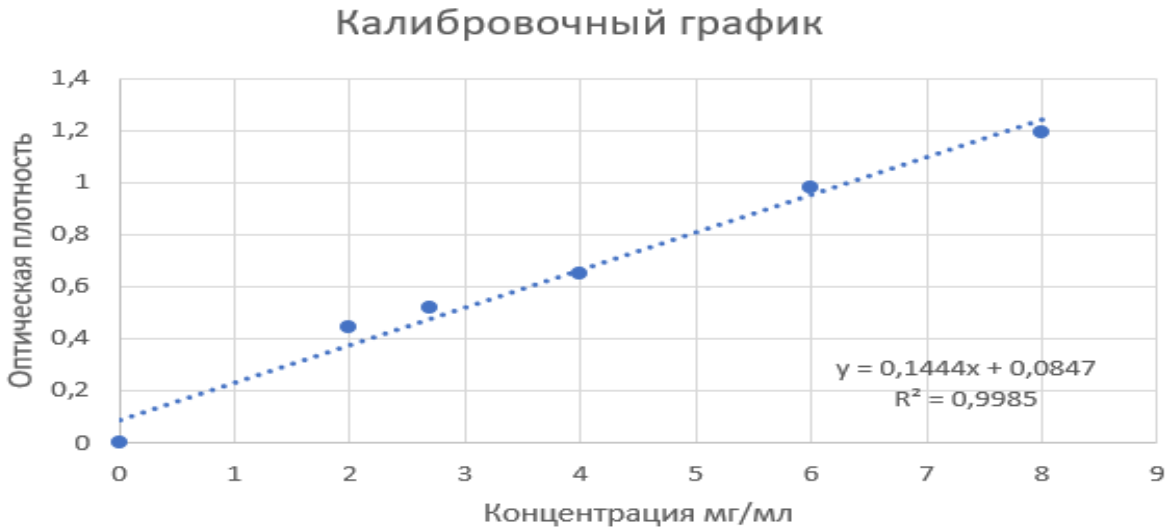


Рисунок 1 − Калибровочный график содержания флавоноидов по кверцетину.

После определения содержания флавоноидов и его производных по калибровочному графику для кверцетина в мг/мл, по формуле (1) определяли массовую долю суммы флавонолов и флавонов (Сф, мг %) в анализируемой пробе растений [2].

$$C_{\Phi} = \frac{C_K \times V_1}{m \times V_2} / 100$$

где, Сф – массовая доля суммы флавонолов и флавонов;

Ск – концентрация суммы флавонолов и флавонов, найденная по калибровочному графику для кверцетина;

V1 – общий объем экстракта;

V2 – объем экстракта, взятый на проведение цветной реакции;

100 – коэффициент пересчета в мг %;

m – масса навески исследуемого материала.

На основании калибровочного графика по кверцетину были получены следующие значения массовой доли флавонолов и флавонов в образцах исследуемых растений: в *Portulaca oleracea* - 23,5 мг/100 г сухого сырья; в *Thlaspi arvense* -18,2 мг/100 г сухого сырья. Результат выражен в эквивалентах стандарта – кверцетина. Содержание флавоноидов соответствуют среднему уровню для растительного сырья. Проведенный анализ показал, что эти растения можно использовать, как антиоксиданты, обладающие антибактериальными свойствами.

Таким образом, выбор экстрагента и условий экстракции является ключевым этапом, определяющим полноту извлечения целевых флавоноидов из растительного сырья. Он напрямую зависит от их химического состава и полярности.

Список литературы

1. Ипокова, А. М. Экстракция флавоноидов из альфердии поникшей в условиях микроволнового воздействия [Электронный ресурс] : бакалаврская работа / А. М. Ипокова ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Инженерная школа природных ресурсов ; науч. рук. Г. Я. Губа. – Томск, 2019. – 28 с. – Режим доступа : https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/53449/1/TPU697627.pdf − 28.12.2025.

2. Еркин, А. А. Использование микроэлементов в методах количественного и качественного определения флавоноидов в растительном сырье [Электронный ресурс] / А. А. Еркин, О. А. Науменко // Микроэлементы в медицине,2024. - Т. 25, № 3. - С. 31-33. . - 3 с. – Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=67914089

«КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ БЕЛКАМИ И ЛИГАНДАМИ: ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПОДХОД В СОЗДАНИИ НОВЫХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ»

Плотникова Ю.А., Барышева Е.С. д-р мед. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Разработка антибиотиков традиционным путем, предполагающим случайный скрининг и модификацию уже существующих молекул, является трудоемким и дорогостоящим процессом. Компьютерное моделирование, в свою очередь, дает возможность предсказывать взаимодействие перспективных лекарственных соединений с бактериальными целями на уровне молекул. Это позволяет отбирать наиболее «promising» соединения, которые подлежат дальнейшему изучению *in vitro* и *in vivo*, что в итоге сокращает число дорогих и часто неэффективных экспериментов.

Современные подходы молекулярного моделирования, включающие в себя молекулярную динамику, докинг и квантово-химические симуляции, предоставляют возможность исследовать структурную организацию бактериальных ферментов, белков клеточной стенки и других ключевых объектов, являющихся мишенями для антибиотиков. С помощью полученных данных можно формировать виртуальные библиотеки соединений и предсказывать их способность оказывать терапевтическое действие. Кроме того, компьютерное моделирование позволяет оптимизировать структуру лекарственных молекул, чтобы повысить их фармакокинетические характеристики, включая абсорбцию, распределение, метаболизм и выведение.

Для моделирования процессов белок-лигандных взаимодействий используются комплексы на кристаллических структурах, загруженных из баз данных. Также химические структуры соединений могут быть созданы с помощью инструмента ChemOffice (Chem Draw) с правильной двухмерной ориентацией, с минимизацией энергии молекулы с помощью ChemBio3D. Молекулы лиганда, с минимизированной энергией, затем используются в качестве входных данных для AutoDock Vina для проведения симуляции стыковки. Перед процессом стыковки белки структурируются и обрабатываются с помощью графического интерфейса AutoDockTools программного обеспечения AutoDock. Перед моделированием из белков удаляется вода, некоторые кофакторы, кокристализованный лиганд, восстанавливаются неполярные водородные атомы, устанавливается заряд. Размер сетки включает белок и лиганд целиком. Существует возможность выбрать количество запусков, размер популяции, максимальное количество оценок энергии [1].

Оценка вероятности взаимодействия может проводиться с учетом различных критериев, таких как:

1. Энергия свободного образования (*ΔG*). Отрицательный знак указывает на спонтанность процесса формирования комплекса. Чем больше по абсолютной величине значение ΔG у данного комплекса по сравнению с другими, тем прочнее взаимодействие и выше его термодинамическая выгодность.

2. Эффективность лиганда (*LE*). Значение *LE*, близкое к высокому уровню, указывает на интенсивное и устойчивое взаимодействие лиганда с мишенью.

3. Постоянная ингибирования (*Ki*). Определяет расчетную концентрацию лиганда, необходимую для его связывания с белком. Чем меньше величина *Ki*, тем выше эффективность взаимодействия [2].

4. Количество водородных связей. Рост числа таких связей в пределах одного взаимодействия увеличивает вероятность прочного удержания лиганда на поверхности белка и способствует более стабильному присоединению к соответствующему участку (рисунок 1).

5. Окружение аминокислотами каталитической триады. Это комплекс, обычно состоящий из трёх остатков, строго упорядоченных в активном центре фермента. Действие этой системы основано на чередующемся применении свойств кислоты, основания и нуклеофила, что позволяет осуществлять перенос электронов и реализовать ковалентную катализацию, в ходе которой может происходить полное, либо частичное разрушение субстрата. Благодаря именно такому механизмам проявляется ингибирующая активность (рисунок 2).

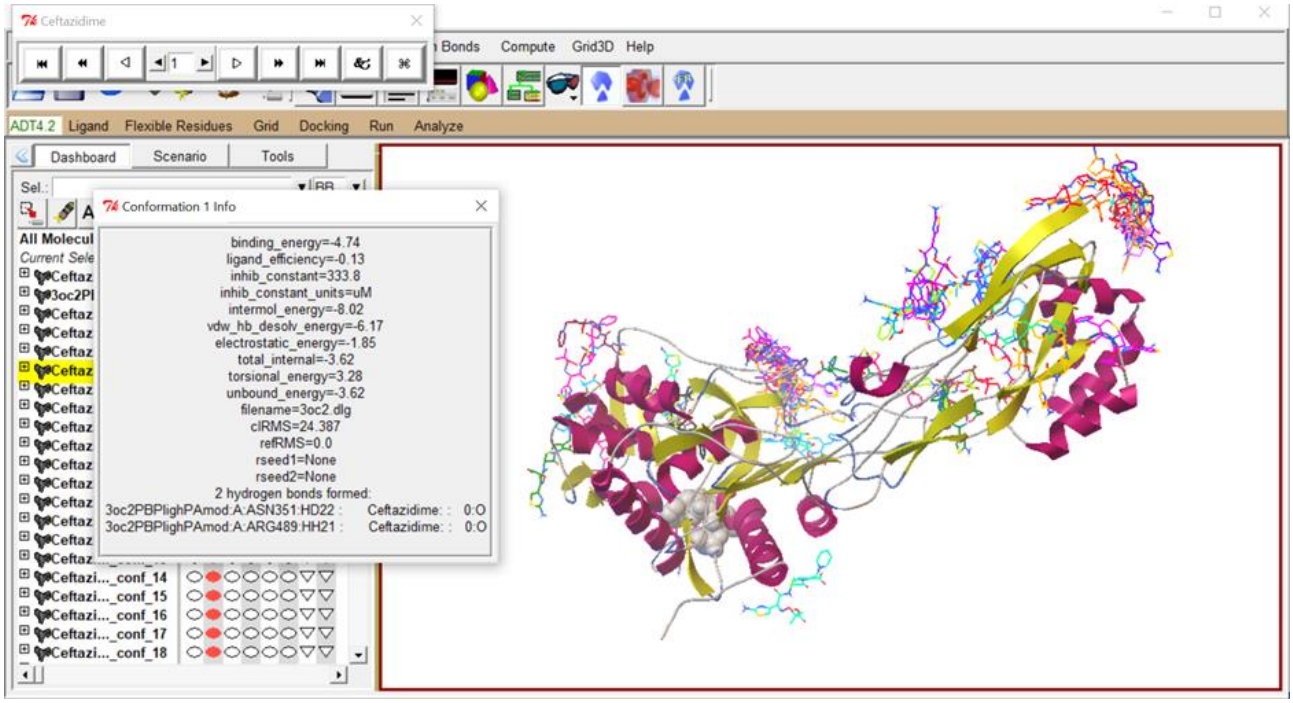


Рисунок 1 – Получение данных стыковки в программе Auto Dock на примере взаимодействия антибиотика цефтазидима с PBP (пенициллин-связывающим белком 3OC2)

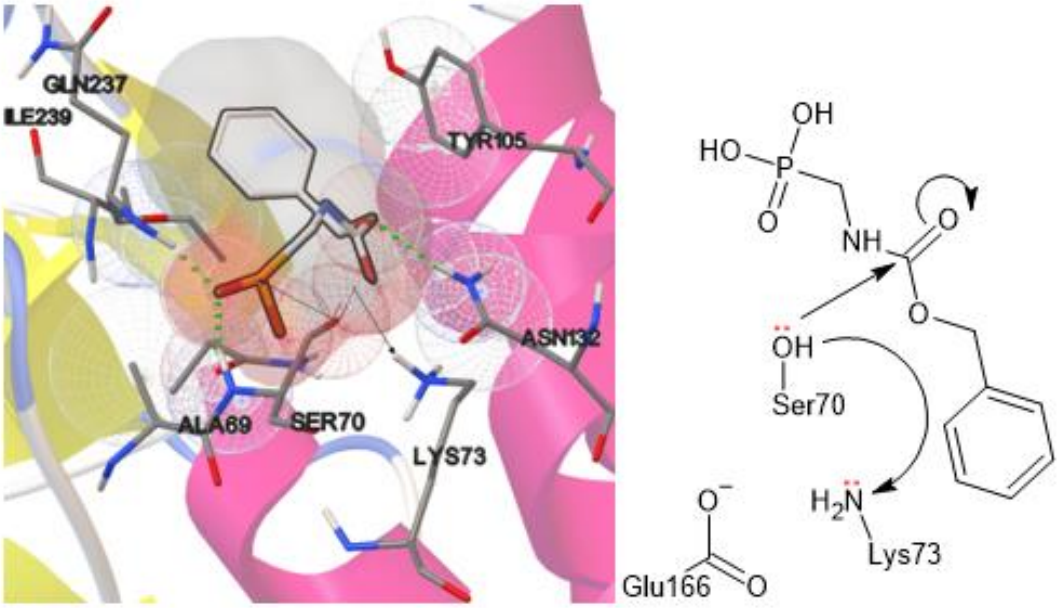


Рисунок 2 – Пример механизма действия каталитической триады, полученной с помощью компьютерного моделирования

Таким образом, компьютерное моделирование, например, взаимодействия белок–лиганд, представляет собой ключевой этап оптимизации при создании новых противобактериальных средств, обеспечивая более точный и рациональный поиск активных веществ, способных преодолеть растущую устойчивость бактерий к антибиотикам, тем самым снижая риск нерациональных трат времени, средств и ресурсов.

Список литературы

1. Aliye M, Dekebo A, Tesso H, Abdo T, Eswaramoorthy R, Melaku Y. Molecular docking analysis and evaluation of the antibacterial and antioxidant activities of the constituents of Ocimum cufodontii. Sci Rep. 2021 May 12;11(1):10101. doi: 10.1038/s41598-021-89557-x. PMID: 33980935; PMCID: PMC8115310.

2. Гендугов, Т. А., Глушко, А. А., Чиряпкин, А. С., Чиряпкин, В. С. Прогнозирование анксиолитического действия, опосредованного ГАМК А рецептором, методом молекулярного докинга //Бюллетень науки и прак-тики. – 2020. – Т. 6. – №. 5. – С. 38-45.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО МАРШРУТА: ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВНЕУРОЧНОЙ РАБОТЫ

Посягина Е.В.
Федеральное государственное казенное общеобразовательное учреждение «Оренбургское президентское кадетское училище»

В последние десятилетия образовательные системы всего мира сталкиваются с необходимостью адаптации к быстро меняющимся условиям и требованиям современного общества. В условиях глобализации, технологических изменений и разнообразия культурных контекстов становится очевидным, что традиционные методы обучения, основанные на универсальных подходах, не могут удовлетворить потребности всех обучающихся. В этом контексте индивидуальные образовательные траектории (ИОТ) становятся важным инструментом, позволяющим учитывать интересы, способности и потребности каждого обучающегося.

Создание индивидуальных образовательных траекторий (ИОТ) требует оптимального сочетания различных подходов, ориентированных на особенности и потребности каждого обучающегося.

Индивидуальный образовательный маршрут (ИОМ) – это структурированная программа обучения, разработанная индивидуально для каждого обучающегося, учитывающая его образовательные потребности, интересы, способности и возможности.

Персонализация обучения формирует пространство, где каждый может реализовать свой потенциал, опираясь на свои интересы и способности. В этом контексте важно использовать целый ряд методов и стратегий, которые позволят эффективно строить индивидуальные маршруты.

Рассмотрим, прежде всего, конструктивистский подход. В его основе лежит идея активного участия обучающихся в процессе обучения через практическую деятельность, проектирование и исследование. Такой подход позволяет не только воспринимать информацию, но и создавать её, организуя свой собственный опыт обучения. Важным элементом конструктивизма является возможность выбора – обучающиеся могут выбирать направления, в которых им интересно развиваться. При этом преподаватель выполняет роль наставника, помогающего организовать этот процесс, подсказывая, какие ресурсы или методики могут оказаться полезными.

Другая мощная стратегия – подход, основанный на формировании компетенций. Этот метод акцентирует внимание на том, какие навыки и знания необходимы для достижения конкретных целей. Образовательная программа разрабатывается с акцентом на важные для него компетенции, позволяя ему углубляться в темы, которые его действительно интересуют.

Важным аспектом является внедрение междисциплинарного подхода, который становится ключевым в решении актуальных задач современности.

Современные задачи часто требуют системного подхода, в котором знания из разных областей объединяются для достижения целей. Обучение через межпредметные проекты открывает возможность осмыслить взаимосвязи между различными областями знаний, что способствует практичному их применению в реальной жизни. Такой подход не только углубляет понимание учебного материала, но и стимулирует развитие критического мышления и творческого потенциала, что особенно важно в условиях динамично меняющегося мира. Также следует упомянуть о подходе, ориентированном на сотрудничество и взаимодействие. Совместная работа над проектами, обмен мнениями и идеями могут вдохновить обучающихся и помочь им увидеть, как их личные сильные стороны могут быть полезны в команде.

Важно учитывать роль обратной связи в системе индивидуализированного обучения. Регулярный процесс оценки и самооценки создает пространство для роста и самосовершенствования. Таким образом, обратная связь должна быть не только оценочной, но и конструктивной, ориентированной на развитие, что мотивирует обучающихся продолжать обучение и стремиться к новым достижениям.

Проектное обучение, проблемные методы и другие инновационные подходы могут изменить отношение к обучению, а также пробудить интерес к изучаемым предметам. Применение междисциплинарного подхода может помочь увидеть взаимосвязи между разными областями знания, что, в свою очередь, способствует расширению интересов обучающихся.

Мотивация к обучению – один из важных аспектов, имеющий множество составляющих. Внутренняя мотивация, которая проистекает от самого интереса к учебному процессу, и внешняя мотивация, основанная на оценках, наградах и одобрении, могут сильно влиять на уровень вовлечённости обучающегося. Программы, ориентированные на практическое применение знаний и на решение конкретных задач, способны повысить уровень вовлеченности в процесс обучения и пробудить интерес к новым знаниям.

Не стоит забывать и о роли технологий. В условиях цифровизации, использование планшетов, интерактивных досок и других средств может создать новый формат обучения, который будет более привлекательным для современного обучающегося.

Методы визуализации, такие как карты ума и инфографика, помогут обучающимся структурировать и упрощать процесс усвоения информации. Эти инструменты позволяют создавать наглядные представления о темах и разделах курса, что способствует лучшему пониманию и запоминанию учебного материала.

Установление личных целей является одним из существенным элементом, способствующим повышению мотивации. Когда обучающиеся ставят перед собой четкие, достижимые и при этом амбициозные цели, они становятся более вовлеченными в процесс обучения. Педагоги могут поддерживать этот процесс, своевременно предоставляя обратную связь и

помогая формулировать цели, которые будут соответствовать всем заявленным интересам и способностям.

Рассмотрим опыт реализации ИОМ для кадета, увлеченного химией, с акцентом на развитии его интереса к предмету через проектную деятельность.

Кадет проявлял устойчивый интерес к химии, что выражалось в углубленном изучении материала, самостоятельном поиске дополнительной информации и стремлении к участию в олимпиадах и конкурсах. В связи с объявлением Года педагога и наставника, было принято решение о разработке ИОМ, направленного на углубленное изучение химии и расширение кругозора кадета посредством проектной деятельности.

Цель ИОМ: Развитие познавательной активности и исследовательских навыков кадета в области химии посредством реализации проектной деятельности, посвященной педагогам ученым-химикам.

Задачи ИОМ:

- Организация индивидуальных консультаций с педагогом-наставником для углубленного изучения теоретического материала по истории химии.
- Самостоятельный поиск и анализ информации о педагогах ученых-химиках, внесших значительный вклад в развитие науки и образования.
- Вовлечение других кадет в проектную деятельность посредством организации докладов и презентаций.
- Разработка и оформление проектной работы в виде инфографики, отражающей биографии и научные достижения педагогов ученых-химиков.
- Представление результатов проектной работы на конференции.

Разработка и реализация ИОМ базировалась на следующих принципах:

- Индивидуализации: учет индивидуальных особенностей и образовательных потребностей кадета.
- Добровольности: активное участие кадета в планировании и реализации ИОМ.
- Гибкости: возможность корректировки ИОМ в процессе обучения в соответствии с изменяющимися интересами и потребностями.
- Мотивации: создание условий для поддержания и развития мотивации к обучению.
- Результативности: достижение четко определенных образовательных результатов.

Методы и формы работы:

- Индивидуальные консультации с педагогом-наставником.
- Самостоятельная работа с научной литературой и интернет-ресурсами.
- Организация и проведение докладов и презентаций для других кадет.
- Работа в команде (подготовка совместных докладов).
- Создание инфографики.

В результате реализации ИОМ кадет продемонстрировал:

- Углубленное знание теоретического материала по химии.
- Развитие навыков самостоятельного поиска и анализа информации.
- Формирование исследовательских навыков (планирование, выполнение, анализ результатов).
- Развитие коммуникативных навыков (подготовка и презентация докладов, работа в команде).
- Создание оригинальной инфографики, посвященной педагогам-ученым-химикам.
- Успешное представление результатов проектной работы на школьной конференции.

Данный опыт подтверждает эффективность использования ИОМ как инструмента развития познавательной активности и формирования исследовательских навыков у обучающихся, проявляющих повышенный интерес к определенному предмету. Проектная деятельность, интегрированная в ИОМ, позволяет не только углубить знания по предмету, но и развить творческое мышление, коммуникативные навыки и способность к самостоятельной работе. Успешная реализация ИОМ во многом зависит от активной роли педагога-наставника, который обеспечивает поддержку, мотивацию и направление деятельности обучающегося.

Реализация индивидуального образовательного маршрута, ориентированного на проектную деятельность, является эффективным способом развития познавательной активности и формирования исследовательских навыков у кадет, проявляющих интерес к химии. Данный опыт может быть использован другими педагогами и образовательными учреждениями для создания и реализации ИОМ по другим предметам и направлениям.

Таким образом, индивидуальные образовательные траектории представляют собой не просто инструмент для организации внеурочной работы, но и важный шаг к созданию более эффективной образовательной системы, где каждый учащийся сможет найти свой путь к успеху.

В заключение, современные подходы к индивидуализации образовательных траекторий вносят значительные изменения в систему образования. Четкое понимание методик и их адаптация под уникальные потребности каждого обучающегося позволяет создать образовательное пространство, где каждый может развиваться наилучшим образом.

Список литературы

1. Беляева Т.А. Роль учителя в формировании индивидуальных образовательных траекторий // Образовательные стратегии. – 2022. – № 1. – С. 19–25.

2. Захарова О.Ю. Методы создания индивидуальных траекторий в образовательном процессе // Актуальные проблемы образования. – 2017. – № 10. – С. 73–80.

3. Иванова Н.В. Индивидуализация образовательного процесса как фактор успешного обучения // Вестник образования. – 2018. – № 3. – С. 12–18.

4. Морозова К.П. Инновационные подходы к внеурочной работе в контексте индивидуализации обучения // Образовательные технологии и общество. – 2020. – № 8. – С. 30–37.

5. Петрова А.С. Внеурочная работа как средство формирования индивидуальных образовательных траекторий // Педагогические технологии. – 2020. – № 7. – С. 45–52.

6. Сидорова Л.М. Принципы разработки индивидуальных образовательных траекторий // Современные педагогические исследования. – 2019. – № 2. – С. 34–41.

7. Тихонова Н.Б. Индивидуальные образовательные траектории как средство повышения качества образования // Педагогическое наследие. – 2021. – № 6. – С. 15–22.

СТРАТЕГИИ ПРЕОДОЛЕНИЯ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ В БИОПЛЁНКАХ: КОМБИНИРОВАННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТОВ, ДЕЗИНФЕКТАНТОВ И КЛАССИЧЕСКИХ АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ЛИЗИСА УЛЬТРАСТРУКТУРЫ БИОПЛЁНОК

Рогонов Д. Е., Алешина Е. С., канд. биол. наук, доцент,
Дроздова Е. А., канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Формирование биоплёнок, представляющих собой организованные в пространстве микробные сообщества, заключённые во внеклеточный полимерный матрикс (ВПМ), рассматривается как ключевой фактор феноменальной резистентности к антимикробным агентам. Для разработки стратегий деструкции биоплёнок, таких как ферментативный лизис матрикса с последующей антимикробной обработкой, критически важным является понимание их сложной архитектуры и состава [1].

Атомно-силовая микроскопия даёт возможность количественно оценить силы адгезии и вязкоупругие свойства биоплёнок, которые напрямую влияют на диффузионный барьер для антибиотиков. Сканирующая просвечивающая рентгеновская микроскопия позволяет идентифицировать и картировать пространственное распределение основных компонентов ВПМ – белков, полисахаридов, липидов и внеклеточной ДНК – без введения флуоресцентных зондов, что ценно для оценки избирательного действия ферментов, например, ДНКаз. Инфракрасная микроспектроскопия с преобразованием Фурье и конфокальная рамановская микроскопия предоставляют информацию о химических связях и молекулярном составе матрикса. Для мониторинга динамики изменения биоплёнки in situ применяется оптическая когерентная томография.

В формировании биоплёнки задействовано до 40 % бактериального генома. Для оценки эффективности воздействия антибиофильных агентов, включая ферменты и их комбинации с антибиотиками, в обзоре рекомендовано применение количественной ПЦР в реальном времени для измерения экспрессии генов, ассоциированных с биоплёнкообразованием [1, 2].

Для обоснования актуальности и методологии исследования эффективности комбинированной терапии (ферменты + антибиотики) против биоплёнок можно использовать данные о кинетике их формирования. Экспериментальное исследование на клинических изолятах *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* и *Serratia marcescens* показало, что эти клинически значимые условно-патогенные бактерии, относящиеся к проблемной группе ESKAPE (*Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Enterobacter spp*.), характеризуются быстрым ростом и способностью

формировать плотные многослойные биоплёнки на абиотических поверхностях уже в течение 20 часов инкубации [3]. Критически важным выводом работы является определение временного окна для тестирования антимикробных агентов: к 24 часам в биоплёнке начинается процесс сукцессии (частичное отслоение), поэтому для оценки воздействия на зрелую, сформированную структуру, а не на её распад, эксперименты необходимо проводить на 20-24-часовых культурах. Эти данные имеют фундаментальное значение для планирования исследований по оценке эффективности любых средств, направленных на терминацию биоплёнок, включая стратегии с применением матрикс-разрушающих ферментов в комбинации с антибиотиками [4].

Антибиотикорезистентность микроорганизмов в биоплёнках представляет собой серьёзную проблему современной микробиологии, медицины и санитарной микробиологии, особенно в контексте инфекций эпидемического характера. Биоплёнки, формируемые, в частности, полирезистентными штаммами *Pseudomonas aeruginosa*, характеризуются повышенной устойчивостью не только к антибактериальным препаратам, но и к дезинфицирующим средствам. Эта устойчивость во многом обусловлена сложной структурой внеклеточного матрикса, который ограничивает проникновение антимикробных агентов и создаёт защитную среду для бактериальных клеток.

Одним из перспективных направлений преодоления резистентности является комбинированная терапия, сочетающая классические антибактериальные препараты с ферментами, целенаправленно разрушающими компоненты матрикса биоплёнок. Стрессовые воздействия, такие как обработка перекисью водорода, существенно влияют на экспрессию генов, ответственных за адгезию, формирование матрикса и общую устойчивость у *P. aeruginosa*. Наибольшая активация этих генов наблюдалась на стадии зрелой биоплёнки (48 часов), что указывает на адаптационный ответ бактерий и усиление защитных механизмов в условиях внешнего давления [5].

Этот факт подтверждает необходимость применения энзимов (например, ДНКазы, протеазы, расщепляющие специфические полисахариды), способных деструктурировать матрикс до или одновременно с введением антибиотика. Разрушение внеклеточного полимерного каркаса делает бактериальные клетки более уязвимыми, повышает проницаемость для антимикробных препаратов и может снижать экспрессию генов резистентности, индуцированную стрессом. Использование одновременно энзимотерапии и антибиотикотерапии позволит внедрять всё более действенные и быстрые методы по лечению заболеваний, вызванных патогенами группы ESKAPE, которые в основном существуют в виде микробных или полимикробных биоплёнок.

Исследование эффективности различных классов дезинфицирующих веществ против зрелых биоплёнок *P. aeruginosa* и *S. aureus* установило, что матрикс биоплёнки служит серьёзным барьером: он ограничивает диффузию действующих веществ, нейтрализует часть биоцидов и связывает заряженные молекулы, например, катионные поверхностные активные вещества (ПАВ) [6].

Критически важным является вывод о том, что добавление анионного ПАВ (сульфонола, 0,5 %) к растворам хлорактивных соединений и перекиси водорода повышало их антимикробную эффективность на 40–52 %, что прямо пропорционально увеличению проницаемости матрикса и улучшению смачивания поверхности [6, 7]. Результат данного исследования служит прямым экспериментальным доказательством того, что деструкция или модификация матрикса является ключевым условием для повышения эффективности любого внешнего агента, будь то дезинфектант или антибиотик. Кроме того, отмечается, что такие распространённые средства, как глутаровый альдегид и этиловый спирт, оказались неэффективны против биоплёнок, а применение четвертичных аммониевых соединений (ЧАС) в качестве индивидуального агента малоэффективно, однако есть потенциальные возможности усиления их действия синергистами или ферментами [7].

Установлено, что биопленочные формы *Staphylococcus aureus, Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa* обладают значительно более высокой минимальной ингибирующей концентрации (МИК) к тетрациклину, гентамицину и амоксициллину по сравнению с планктонными клетками, что коррелирует с гиперэкспрессией генов устойчивости (efflux-помп) и образованием плотного внеклеточного матрикса [7, 8]. Методы деструкции биопленок (ультразвук, УФ, ингибиторы кворум-сенсинга) повышают эффективность последующей антибиотикотерапии, обосновывая стратегию комбинированного воздействия [8].

Также было изучено взаимное влияние *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus spp*. (*S. aureus, S. epidermidis*) в модельных ассоциациях in vitro. Совместное культивирование приводит к синергическому усилению вирулентных свойств обоих видов микроорганизмов. Количественный анализ выявил увеличение биопленкообразующей способности микроорганизмов на порядок, а тестирование антибиотикочувствительности – повышение уровня резистентности, в частности к азалидам и левомицетину [9]. Масс-спектрометрический анализ белковых профилей продемонстрировал изменение экспрессии протеинов у ассоциантов, в том числе усиление отдельных пиков, потенциально связанных с факторами патогенности. В полимикробных биопленках за счет межвидовых взаимодействий формируется сообщество с повышенной устойчивостью и выраженной биопленкообразующей активностью. Это обусловливает необходимость разработки комбинированных терапевтических стратегий, нацеленных на разрушение структурной целостности и преодоление сочетанной резистентности в таких мультивидовых консорциумах.

Экспериментальные исследования демонстрируют, что модификация матрикса (например, анионными ПАВ) увеличивает проницаемость для антимикробных агентов на 40-52 %, а в полимикробных ассоциациях (например, *Pseudomonas aeruginosa* и *Staphylococcus spp*.) наблюдается синергическое усиление резистентности и вирулентности, требующее комплексных методов воздействия.

Список литературы

1. Кропотов, В. С. Современные методы исследования ультраструктуры бактериальных биопленок / В. С. Кропотов, М. И. Заславская, Н. И. Игнатова, Д. В. Кряжев // Проблемы медицинской микологии. – 2022. – Т. 24, № 4. – С. 10–19.

2. Ситникова, К. О. Динамика образования биоплёнок клинически значимыми штаммами условно-патогенных бактерий / К. О. Ситникова, У. М. Немченко, Н. М. Воропаева [и др.] // ФГБУН Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН. – 2022. – Т. 7, № 5-1. – С. 119–128.

3. Небогина, Л. Р. Исследование антимикробной резистентности модельных штаммов возбудителей острых зоонозных инфекций / Л. Р. Небогина, А. В. Паточникова, А. М. Ворнавская [и др.] // Зыкинские чтения: Саратов,2025 г. – Саратов: Вавиловский университет, 2025. – С. 167–171.

4. Смирнова, С. В. Определение чувствительности к антибиотикам: суть методов / С. В. Смирнова // Наука молодых: вызовы и перспективы: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции, г. Великий Новгород / Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Новгородский филиал. – Великий Новгород: РАНХиГС, 2026. – С. 64–71.

5. Кузин, В. В. Влияние перекиси водорода на экспрессию генов биоплёнкообразования *Pseudomonas aeruginosa* / В. В. Кузин, Н. В. Колупаева, О. А. Щербакова, Л. В. Колупаева // Контроль и профилактика инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи (ИСМП-2023): сборник тезисов XI конгресса с международным участием, Москва, 2023. – С. 49–50.

6. Федорова, Л. С. Сравнительная оценка эффективности воздействия дезинфицирующих веществ на микроорганизмы в биоплёнке / Л. С. Федорова, А. В. Ильякова // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2023. – Т. 100, № 5. – С. 303–311.

7. Ангелова, С. В. Устойчивость возбудителей *Pseudomonas aeruginosa* к антибиотикам / С. В. Ангелова // Студенческая наука – взгляд в будущее: материалы XX Всероссийской студенческой научной конференции. - Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2025. – С. 11–13.

8. Блюмская, С. Н. Роль биопленок в устойчивости бактериальных патогенов к антибиотикам в ветеринарии / С. Н. Блюмская // Инновационные средства и способы профилактики и лечения болезней животных, перспективные направления развития ветеринарной медицины и биотехнологии: материалы Всероссийской научно-практической конференции, Курск: Курский государственный аграрный университет им. И. И. Иванова, 2025. – С. 167–172.

9. Мартюшева, И. Б. Усиление патогенности бактерий-представителей рода *Staphylococcus* в биоплёнках при ассоциациях с *Pseudomonas aeruginosa*: тезисы доклада / И. Б. Мартюшева, И. С. Алешукина, В. В. Денисенко, А. В. Алешукина // Ростовский научно-исследовательский институт микробиологии и паразитологии. – Ростов-на-Дону, 2021. – С. 38–40.

ТЕРМИНОЛОГИЯ ДИСЦИПЛИН «ИММУНОЛОГИЯ» И «ИММУНОХИМИЯ»: КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ

Романенко Н.А., канд. биол. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Иммунология и иммунохимия являются одними из достаточно сложных для освоения дисциплин студентами, обучающимися по направлениям 06.00.00 Биология. В большей степени это связано с тем, что данные науки оперируют сложной терминологией, которая отражает многоуровневость и многогранность изучаемых процессов. Современная иммунология всё больше углубляется в изучение процессов на молекулярном и субмолекулярном уровнях. Это требует использования терминов, связанных с биохимией, молекулярной биологией и генетикой. Кроме того, иммунная система включает множество клеток, молекул, а также их взаимодействий. Каждый компонент имеет свою терминологию, которая часто включает аббревиатуры и специфические обозначения. При этом иммунология и иммунохимия постоянно пополняются новыми методами исследования, ряд из которых являются специфическими для данной области знаний, и также нуждаются в необходимости поиска терминов, их обозначающих.

Цель исследования: выявить ключевые аспекты трудностей освоения терминологии в иммунологии и иммунохимии и предложить подходы к её изучению. Задачи:

- проанализировать структуру и особенности терминологии;
- выделить основные трудности при освоении терминов;
- перечислить эффективные методы и приёмы изучения;
- показать практическую значимость терминологической грамотности.

Термины в иммунологии и иммунохимии можно разделить на базовые понятия, узкоспециальные термины и названия методов. К базовым понятиям можно отнести такие как антиген, антитело, иммунный ответ, эпитоп, паратоп и др., к узкоспециальным – цитокины, HLA-система, комплемент, рецепторы иммунных клеток и др. Естественно, что данное деление будет весьма условным.

Термины можно также классифицировать по их происхождению. Большое количество терминов в иммунологии и иммунохимии имеет греко-латинские корни. Например, *immunis* (лат.) – «свободный от чего-либо» – «иммунитет», antigenum (греч. *anti* «против» + *genos* «род») – «антиген», *antibody* (лат. *anti* + *corpus* «тело») – «антитело», *cytokin* (греч. *kytos* «клетка» + *kinos* «движущий») – «цитокин».

Также встречаются заимствования из других языков. Сюда можно отнести англицизмы, появление которых связано с бурным развитием иммунологии с 1950-1960-х годов XX века и утверждением английского языка

в качестве общемирового языка научной коммуникации. Например, H-цепь и L-цепь, V-домен и C-домен. H означает *heavy* – «тяжелая», L – *light* – «легкая», V – *variable* – «переменный, изменчивый», C – *constant* – «постоянный» [1]. Впрочем, в русскоязычных источниках данные термины встречаются в варианте транслитерации – «вариабельный» и «константный».

Отдельную группу составляют аббревиатуры, служащие для упрощения записи [1]. Например, HLA (Human Leukocyte Antigen), TCR (T-cell Receptor), BCR (B-cell Receptor), PRR (Pattern Recognition Receptor), Fc (Fragment crystallizable), MHC (Major Histocompatibility Complex), ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) и др. Некоторые из них имеют дословный перевод на русский язык, например MHC (Major Histocompatibility Complex) – ГКГС (главный комплекс гистосовместимости), TCR (T-cell Receptor) – ТКР (Т-клеточный рецептор), другие используются в неизменном виде или транслитерируются, например, IL (Interleukin) – IL (интерлейкин).

Признаком для классификации терминов может служить их общность с другими биологическими науками. Например, общими в биохимией являются термины «рецептор», «лиганд», «фермент», «конформация белка», с молекулярной биологией – «ген», «сплайсинг», «экспрессия гена», «рекомбинация», с генетикой – «полиморфизм», «галлотип», «мутация», с клеточной биологией – «цитоплазма», «мембрана», «экзо- и эндоцитоз», «пролиферация», «дифференцировка» и т. д.

Подводя итог вышесказанному, можно выделить следующие трудности при освоении терминологии дисциплин «Иммунология» и «Иммунохимия»:

- сложность понятийного аппарата, абстрактность многих процессов, отсутствие аналогов в других биологических дисциплинах;
- длинные и сложные названия;
- большое количество аббревиатур и сокращений;
- различия в терминологии между русскоязычными и англоязычными источниками;
- быстрое обновление терминологии из-за развития науки.

В настоящее время студентам можно предложить богатый выбор методов и приемов эффективного изучения терминологии. В частности, полезной может быть систематизация терминов по тематическим группам, например, клетки иммунной системы, молекулы иммунитета, методы диагностики, или согласно классификациям, предложенным выше.

Для запоминания можно использовать мнемонику – совокупность приемов и способов, облегчающих запоминание и увеличивающих объем памяти путем образования искусственных ассоциаций [2]. Например, это могут быть ассоциации и аббревиатуры. Для запоминания гранулоцитов студентам можно предложить следующую фразу: «БЭН любит деньги», где Б – это базофилы, Э – эозинофилы, Н – нейтрофилы. Для запоминания основных классов иммуноглобулинов достаточно вспомнить аббревиатуру GAMED. Достаточно наглядными для студентов могут быть схемы и ментальные карты, составленные самостоятельно или с помощью преподавателя. Например, на

практическом занятии можно предложить для выполнения задание с частично заполненной схемой, в которую необходимо внести недостающие термины.

На просторах интернета были найдены стихотворения, отражающие функции основных клеток крови и их количество в лейкоцитарной формуле. Например,

Лимфоцит поможет всем в трудные моменты!

19-37 – вот его проценты.

Такие стихотворные «запоминалки» (мнемонические рифмовки) – проверенный приём для освоения объёмных и сухих данных (норм анализов, функций клеток, классификаций). Их сила – в сочетании ритма, рифмы и смысловой привязки: информация легче запоминается и дольше удерживается в памяти.

Еще одним приемом запоминания терминов может стать контекстное изучение: работа с научными статьями, ролевые игры, разбор клинических случаев, проведение дискуссий и конференций. Часть из этих методик может быть интегрирована в процесс изучения иностранного языка в рамках реализации образовательной программы вуза [3-5]

Сегодня доступно множество удобных цифровых помощников для изучения терминологии. По своей сути они воплощают классический метод карточек: на «лицевой» стороне отображается термин, а на «обратной» – его значение, перевод или краткое пояснение. Среди популярных бесплатных решений выделяются:

- Quizlet – позволяет не только создавать карточки, но и тренироваться в разных режимах (тест, подбор пар, игры), а также делиться наборами с другими пользователями;
- AnkiDroid – ориентирован на интервальное повторение, поддерживает мультимедиа (изображения, аудио) и синхронизацию между устройствами.

В заключение важно отметить, что терминологическая грамотность в иммунологии и иммунохимии – это не просто условие успешного освоения отдельных дисциплин или образовательной программы в целом. Она формирует фундамент профессиональной компетенции: помогает глубже понимать научные тексты и лекции, уверенно готовить статьи и выпускные квалификационные работы, а в дальнейшем – эффективно решать задачи в профессиональной деятельности. Преодолеть трудности помогают систематизация терминов, мнемотехники, визуализация и цифровые инструменты. Комплексное применение этих методов превращает изучение терминологии из рутинной задачи в системный процесс построения научной картины мира.

Список литературы

1 English terminology in molecular biology / P. Y. Andreev, E. Y. Kaverina, E. A. Andreeva, V. I. Akimov // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2019. – No. 6-3. – P. 36-43. – DOI 10.24411/2500-1000-2019-11290. – EDN MEUVAA.

2 Батыршина, Ф. Р. Использование мнемонических приемов как одно из средств мотивации студентов к запоминанию латинских медицинских терминов / Ф. Р. Батыршина, С. И. Кочконбаева // Вестник Бишкекского гуманитарного университета. – 2015. – № 3-4(33-34). – С. 289-291. – EDN JMQOPE.

3 Абдукадырова, Т. Т. Разработка и апробация междисциплинарных методов обучения иностранным языкам в вузах / Т. Т. Абдукадырова, Э. Х. Арсалиева // Управление образованием: теория и практика. – 2023. – № 12-1(72). – С. 19-26. – DOI 10.25726/n9307-4603-4822-w. – EDN XUIGKI.

4 Апушкина, М. А. Трудности и особенности перевода научной терминологии и текстов в биологии / М. А. Апушкина, А. В. Шахбазова, А. З. Насиханова // Язык и межкультурная коммуникация : Сборник статей XV Международной научно-практической конференции, Астрахань, 12 октября 2022 года. – Астрахань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Астраханский государственный университет", 2022. – С. 27-33. – EDN RDNBED.

5 Тарамжина, Л. В. Изучение терминологии и специальной лексики студентами неязыковых направлений: активный или пассивный запас слов? / Л. В. Тарамжина, И. Г. Василькова // Письма в Эмиссия.Оффлайн. – 2022. – № 3. – С. 3048. – EDN AXZTWC.

ТЕРМОДИНАМИКА ИОННОГО ОБМЕНА ПРИ РЕГЕНЕРАЦИИ ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ НА ПРИМЕРЕ АНИОНИТОВ, СЕЛЕКТИВНЫХ К ИОДИД-ИОНУ

Саблина В.А., Пономарева П.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Ионообменные процессы широко применяются в химической технологии, аналитической химии, радиохимии и экологических технологиях очистки водных сред, поскольку позволяют избирательно извлекать ионы различной природы из растворов [1, 2]. Особый интерес представляют анионообменные смолы, обладающие повышенной селективностью к иодид-ионам, которые могут присутствовать в природных и техногенных водах в виде микро- и ультрамикрокомпонентов. Подобными свойствами обладают сильноосновные аниониты, применяемые в практике водоподготовки и аналитического концентрирования [3]. Эффективность эксплуатации ионообменных смол во многом определяется стадией регенерации, направленной на восстановление их обменной ёмкости и селективных характеристик. Традиционные подходы к регенерации основаны на использовании концентрированных растворов электролитов или щелочей, однако такие методы не всегда являются термодинамически оптимальными и сопровождаются ускоренной деградацией полимерной матрицы и увеличением экологической нагрузки [4].

С физико-химической точки зрения ионный обмен представляет собой гетерогенное равновесие между ионами, связанными с фиксированными ионогенными группами полимерной матрицы, и ионами, находящимися в растворе [1]. Для сильноосновного анионита в хлоридной форме процесс сорбции иодид-иона может быть представлен следующим уравнением:

$$R\text{-}N^{+}(CH_3)_3Cl^{-} + I^{-} \leftrightarrow R\text{–}N^{+}(CH_3)_3I^{-} + Cl^{-}$$

где $R\text{-}N^{+}(CH_3)_3$ обозначает четвертичную аммониевую группу, ковалентно связанную с полимерной матрицей смолы. Равновесие данного процесса характеризуется константой селективности, отражающей предпочтительность связывания иодид-ионов по сравнению с другими анионами [2, 5]. Стадия регенерации представляет собой обратный процесс, при котором происходит десорбция иодид-ионов и восстановление исходной формы смолы.

Критерием термодинамической самопроизвольности ионного обмена является изменение свободной энергии Гиббса, которое в общем виде описывается выражением:

$$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT\ln Q$$

$$Q = \frac{a\,(I-),см}{a\,(I-),р-ра}$$

где Q — реакционный коэффициент, записанный через активности ионов в фазе раствора и фазе смолы. Стандартное изменение свободной энергии связано с константой равновесия соотношением:

$$\Delta G^\circ = -RT\ln K$$

Из данных уравнений следует, что положение равновесия ионного обмена определяется не только природой смолы и ионов, но и реальными условиями системы, прежде всего активностями ионов [6].

В реальных растворах активность иона связана с его концентрацией через коэффициент активности:

$$a_i = \gamma_i c_i$$

где γ_i – коэффициент активности.

Значение коэффициента активности определяется ионной силой раствора, которая рассчитывается по формуле:

$$I = \frac{1}{2}\Sigma c_i z_i^2$$

где c – молярная концентрация i-го иона;

z – заряд иона

Согласно теории Дебая–Хюккеля, увеличение ионной силы приводит к снижению коэффициентов активности ионов, причём данный эффект особенно выражен для крупных и поляризуемых анионов, к которым относится иодид-ион [7]. Следовательно, при регенерации анионитов снижение активности I^- в растворе может существенно повлиять на термодинамику десорбции.

Изменение свободной энергии при десорбции иодид-ионов может быть записано в виде:

$$\Delta G_{дес} = RT\ln \frac{a\,(I-),см}{a\,(I-),р-ра}$$

где $a\,(I-)$, см – активность иодид-ионов в полимерной матрице анионита;

$a\,(I-)$, р-ра – активность иодид-ионов в водном р-ре.

Уменьшение активности иодид-ионов в растворе приводит к снижению величины $\Delta G_{дес}$, что делает процесс регенерации термодинамически более выгодным даже в относительно мягких условиях. Таким образом, смещение равновесия возможно без применения высококонцентрированных регенерантов, исключительно за счёт управления термодинамическими параметрами системы.

Дополнительным фактором, влияющим на равновесие, является комплексообразование. Иодид-ион способен образовывать устойчивые комплексы с ионами некоторых металлов, например с ионами серебра:

$$Ag_{+} + 2I^{-} \leftrightarrow [AgI_2]^{-}$$

Образование комплексных частиц снижает концентрацию и активность свободного иодид-иона в растворе, тем самым смещая равновесие ионного обмена в сторону десорбции [8].

С термодинамической точки зрения данный эффект эквивалентен снижению химического потенциала иодид-иона:

$$\mu_{I^-} = \mu^{\circ}_{I^-} + RT\ln a_{I^-}$$

Равновесие между фазой смолы и раствора может быть также охарактеризовано селективным коэффициентом обмена:

$$K_{I^-/Cl^-} = \frac{a\,(I-),\text{см} \cdot a\,(Cl-),\text{р-ра}}{a\,(I-),\text{р-ра} \cdot a\,(Cl-),\text{см}}$$

При мягкой регенерации величина данного коэффициента остаётся постоянной, однако за счёт изменения активностей ионов в растворе достигается смещение равновесия без изменения химической природы системы [5].

Многократные циклы сорбции и регенерации приводят к проявлению гистерезиса, обусловленного неполной обратимостью структурных и гидратационных изменений полимерной матрицы ионообменных смол [9]. Это проявляется в том, что изменение свободной энергии при сорбции и десорбции не является строго симметричным:

$$\Delta G_{\text{сорб}} \neq \Delta G_{\text{десорб}}$$

Жёсткие регенерационные режимы усиливают данный эффект, тогда как щадящие условия, основанные на управлении активностью ионов и ионной силой раствора, способствуют снижению энергетических потерь и сохранению структуры смолы.

Таким образом, термодинамический анализ ионного обмена на примере анионообменных смол, селективных к иодид-иону и аналогичных по свойствам ионитам типа АВ-17 и Purolite C100E, показывает, что агрессивные вещества для регенерации не всегда являются термодинамически оправданными. Смещение равновесия может быть достигнуто за счёт изменения активности ионов, ионной силы раствора и процессов комплексообразования, что позволяет снизить свободную энергию десорбции и одновременно уменьшить деградацию ионообменных материалов.

Список литературы

1 Гельферих Ф. Иониты. Основы ионного обмена / Ф. Гельферих - Москва: Издательство иностранной литературы, 1962 - 490 с.

2 Кокотов, Ю.А. Теоретические основы ионного обмена : Слож. ионообмен. системы / Ю. А. Кокотов, П. П. Золотарев, Г. Э. Елькин. - Ленинград : Химия : Ленингр. отд-ние, 1986. - 280

3 ГОСТ 20301-2022. Смолы ионообменные. Аниониты. Технические условия

4 Clifford D.A. Ion Exchange and Inorganic Adsorption / D.A. Clifford // Water Quality and Treatment: A Handbook of Community Water Supplies. - New York:McGraw-Hill, Inc., 1999. - С. 85-96.

5 Harland C. E. Ion Exchange: Theory and Practice / C. E. Harland - 2-е издание. - Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1994 - 285 с.

6 Эткинс П. Физическая химия / П. Эткинс - Москва: Издательство "МИР", 1980 - 293 с.

7 Робинсон Р., Стокс Р. Растворы электролитов / Р. Робинсон, Р. Стокс - Москва: Издательство иностранной литературы, 1963 - 648 с.

8 Schwarzenbach G., Flaschka H. Complexometric Titrations / G. Schwarzenbach, H. Flaschka - Москва: Химия, 1970 - 490 с.

9 Фролов Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Фролов Ю. Г. - Москва: Химия, 1989 - 464 с.

МОДЕЛЬ СЕДИМЕНТАЦИИ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ ПОЛИМИНЕРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ МОНТМОРИЛЛОНИТА

Савинов В.В., Каныгина О.Н., д-р физ.-мат.наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Седиментация является одним из фундаментальных методов разделения и концентрирования дисперсных систем. Эффективность процесса определяется дисперсным и фазовым составом системы, плотностями частиц и дисперсионной среды, а также геометрией седиментационного сосуда [1]. Особую сложность для описания и моделирования представляют полидисперсные полиминеральные системы, в которых частицы разного размера, плотности и химической природы осаждаются с различными скоростями и могут взаимодействовать между собой [2, 3].

Классический закон Стокса неприменим для описания седиментации наночастиц размерами менее 1 мкм из-за установления седиментационно-диффузионного равновесия [1]. Кроме того, в полифазных системах, таких как природные глины, осаждение более крупных и плотных частиц создает микротурбулентности, замедляющие процесс и затрудняющие концентрирование нанофракций [3].

Монтмориллонит – слоистый алюмосиликат, наночастицы которого обладают высокой удельной поверхностью, катионообменной способностью и широко применяются в нанотехнологиях, катализе и сорбции [4, 5]. Целью настоящей работы является разработка математической модели седиментации полидисперсной полифазной системы для прогнозирования выхода наночастиц монтмориллонита из природной глины.

Целью настоящей работы является разработка математической модели седиментации полидисперсной полифазной системы на примере концентрирования наночастиц монтмориллонита из монтмориллонит-содержащей глины, позволяющей прогнозировать выход наночастиц.

Объекты и методы исследования.

Объектом исследования служила монтмориллонит-содержащая глина Южно-Оренбургского месторождения. Минералогический состав определяли комплексно методами рентгенофазового (XRD) и монокристальной дифрактометрии. Результаты представлены в таблице 1.

Для изучения кинетики седиментации использовали торсионные электронные весы с непрерывной регистрацией массы осадка в течение 96 часов. Исходную суспензию готовили из фракции <40 мкм (концентрация 7,25 г/л) с последующим ультразвуковым диспергированием (30 и 50 кГц, 300 с). Концентрацию коллоидного раствора после седиментации определяли гравиметрически.

Таблица 1 – Минеральный состав исследуемой глины

№	Минеральная фаза	Содержание, об. %
1	Монтмориллонит (Na/Ca)	30-35
2	Смешаннослойный иллит-монтмориллонит	10-15
3	Хлориты (Клинохлор, Шамозит)	12-14
4	Кварц / Тридимит	10-15
5	Корунд	7-8
6	Иллит	5-7

Характеризацию выделенных частиц проводили методами динамического светорассеяния (ДРС) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Чистоту концентрата оценивали сравнительным термогравиметрическим анализом (ТГА) и XRD.

Обсуждение результатов.

На основе модифицированного закона Стокса предложена модель, учитывающая параллельную седиментацию каждой минеральной фазы с учетом ее плотности и массовой доли. Общий вид модели для системы из j фаз представлен формулой (1):

$$m(t)_{\text{частиц}} = m_{\text{навески}} - m_{\text{навески}} \cdot \frac{S_{\text{сосуда}}}{0{,}00126}(22126\ln(t) + 185900)\left(\frac{18\mu h}{g}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{\pi}{6}\sum_{i=1}^{t}\sum_{j}\sqrt[3]{(\rho_j - \rho_0)^2} \cdot \frac{\omega_j}{t_i} \quad (1)$$

где

$m_{\text{частиц}}(t)$ – масса частиц в коллоидном растворе в момент времени t;

$m_{\text{навески}}$ – масса навески глины;

$S_{\text{сосуда}}$ – площадь дна сосуда;

η – динамическая вязкость среды;

h – высота столба суспензии;

g – ускорение свободного падения;

ρ_0, ρ_j – плотности среды и j-й минеральной фазы;

ωj – массовая доля j-й фазы.

Экспериментальная зависимость массы осадка от времени, полученная на торсионных весах, и теоретическая кривая, рассчитанная по модели (1), представлены на Рисунке 1.

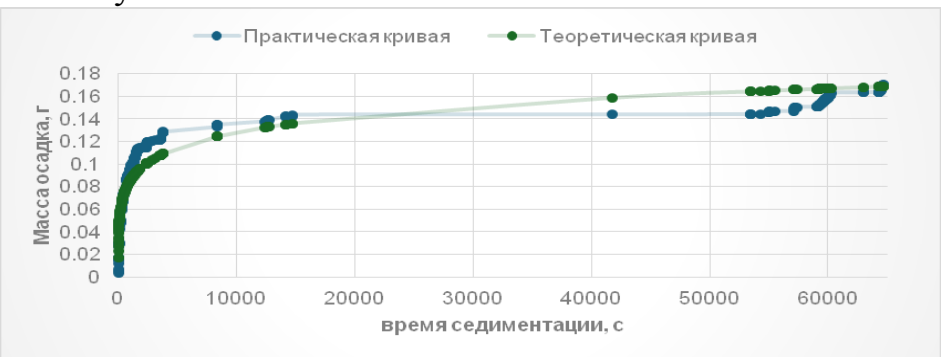


Рисунок 1 – Кинетические кривые седиментации: теоретическая (1) и экспериментальная (2)

Для приготовленной суспензии продолжительность седиментации до установления седиментационно-диффузионного равновесия составила 14 суток. Методом ДРС установлено, что выделенные наночастицы монтмориллонита образуют две фракции: с средним размером 3,97±2,085 нм (5,8%) и 10,31±5,534 нм (94,2%).

Данные ТГА (Рисунок 2) показали, что кривая для концентрата наночастиц характеризуется более интенсивным и низкотемпературным пиком удаления адсорбированной воды (50-80°C) по сравнению с исходной глиной, что свидетельствует о значительном увеличении удельной поверхности. Пик дегидроксиляции (~500-600°C) для концентрата более четкий, что указывает на его высокую чистоту.

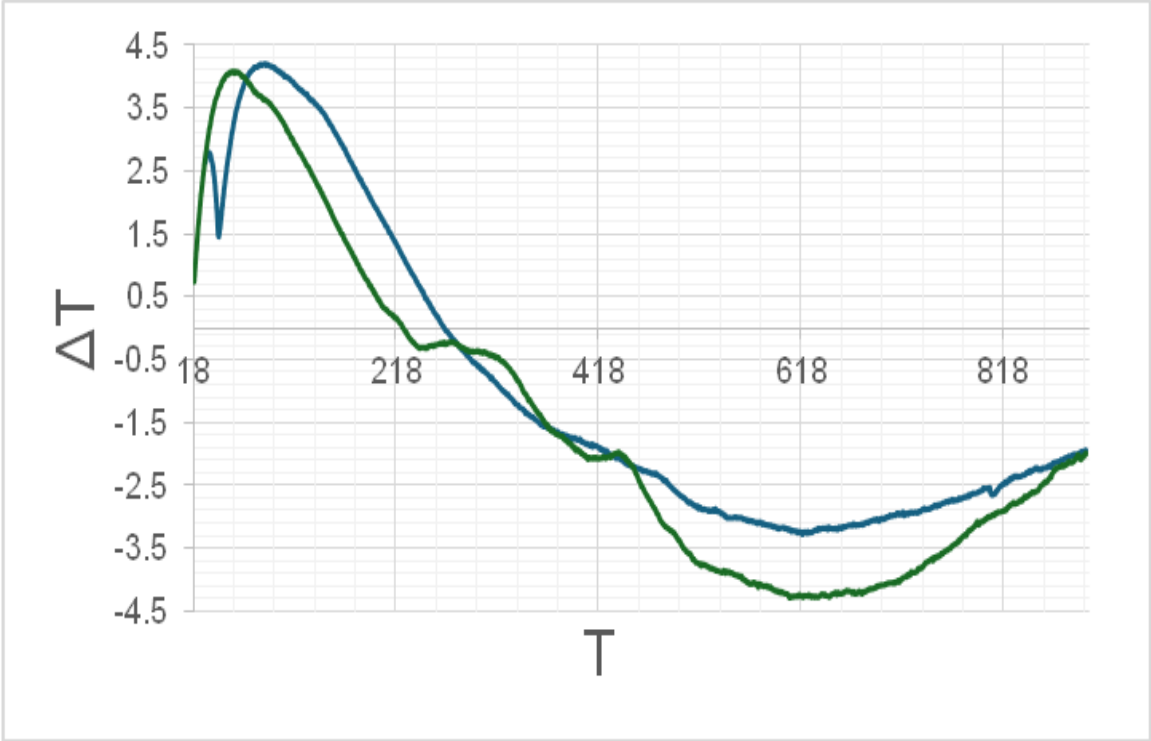


Рисунок 2 – Кривые ТГА: исходная глина (1) и концентрат наночастиц монтмориллонита (2)

Рентгенофазовый анализ подтвердил (Рисунок 3), что в концентрате присутствует исключительно монтмориллонит (PDF #00-060-0318). Рефлексы примесных минералов (кварц, корунд и др.) отсутствуют. Размер областей когерентного рассеяния, оцененный по уширению рефлексов, составил 13-32 нм, что согласуется с данными ДРС.

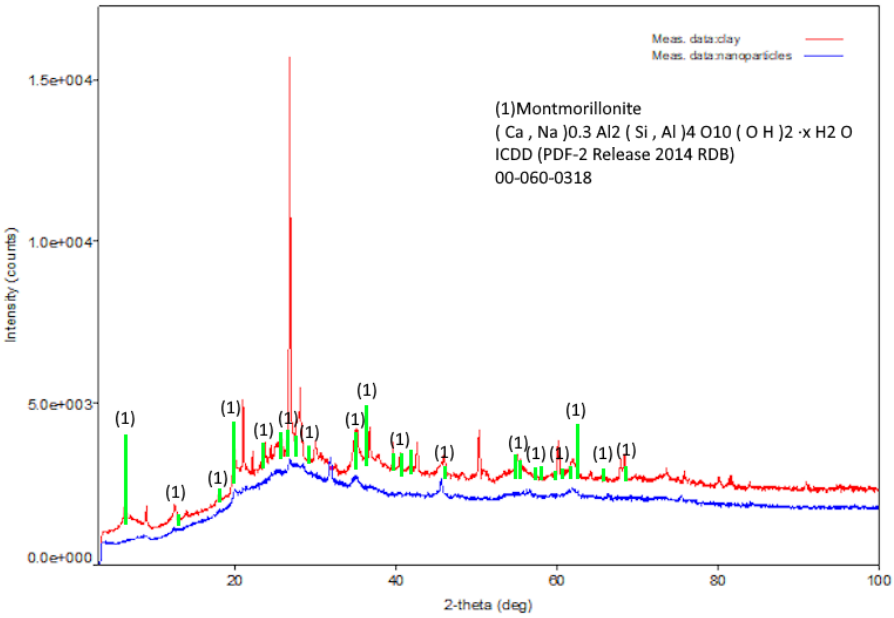


Рисунок 3 – Порошковая дифракция концентрата наночастиц монтмориллонита.

СЭМ-микрофотографии (Рисунок 4) выявили характерную для монтмориллонита морфологию: тонкие изогнутые пластинки (чешуйки) толщиной менее 50 нм и шириной от 100 нм до 2 мкм, образующие пористые агрегаты.

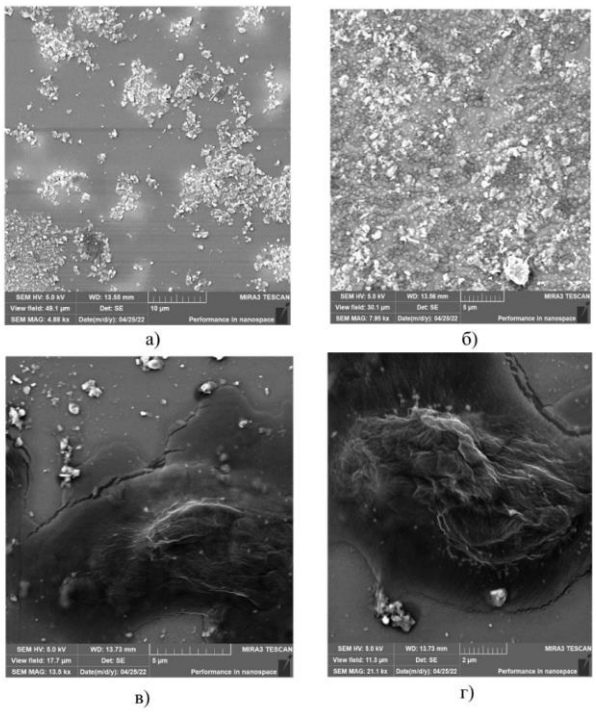


Рисунок 4 – Микрофотографии СЭМ монтмориллонит-содержащей глины при разном увеличении: а) 4880х, б) 7950х, в) 13500х, г) 21100х.

Гравиметрический анализ показал, что практический выход наночастиц монтмориллонита составил 2,35% от массы исходной навески, что существенно ниже теоретически рассчитанного значения (15,67%). Основными причинами расхождения являются: взаимный захват (окклюзия) частиц разных минеральных фаз при осаждении, недостаточная степень диспергирования исходной глины, а также неучтенные моделью краевые эффекты (турбулентность у стенок сосуда).

Заключение

Разработана математическая модель седиментации полидисперсной полиминеральной системы на основе модифицированного закона Стокса, учитывающая фазовый состав, плотности компонентов и геометрию сосуда.

Экспериментально установлен практический выход концентрирования наночастиц монтмориллонита из природной глины – 2,35% от массы навески.

Высокая чистота полученного концентрата подтверждена комплексом аналитических методов (ТГА, XRD, ДРС, СЭМ).

Установлено, что основными факторами, ограничивающими эффективность седиментации и приводящими к расхождению теоретического и практического выходов, являются агрегированность исходного материала, взаимное влияние частиц разных фаз и гидродинамические особенности системы.

Предложенная модель может быть использована для ориентировочной оценки технологического выхода продукта. Для повышения точности прогноза и эффективности процесса необходимы оптимизация стадии диспергирования (например, использование коллоидных мельниц) и учет взаимодействия частиц в усовершенствованных моделях.

Список литературы

1. Ходаков Г. С., Юдкин Ю. П. Седиментационный анализ высокодисперсных систем. М.: Наука, 1980. 344 с.

2. Савинов В. В. и др. Модель «мнимой частицы» как метод описания седиментации в высокодисперсных глинистых водных суспензиях // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. 2020. С. 2299–2306.

3. Савинов В. В. Физико-химические проблемы синтеза нанокомпозитных материалов на основе Оренбургской природной глины: выпускная квалификационная работа. Оренбург, 2020. 44 с.

4. Marshal C. E. Layer Lattices and base-exchange clays // Z. Krist. 1935. Vol. 91. P. 433–449.

5. Maegdefrau E., Hofmann U. Die Kristallstruktur des Montmorillonits // Z. Krist. 1937. Vol. 98. P. 299–323.

6. Горонович С. Н., Галян Д. А. Сырьевая база глинистых материалов Оренбургской области // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. № 6. С. 83–88.

7. Франк-Каменецкий В. А. (ред.). Рентгенография основных типов породообразующих минералов (Слоистые и каркасные силикаты). Л.: Недра, 1983.

8. Куликов К. Г., Кошлан Т. В. Определение размеров коллоидных частиц при помощи метода динамического рассеяния света // Журнал технической физики. 2015. Т. 85. № 12. С. 26–31.

9. Котельников Д. Д., Конюхов А. И. Глинистые минералы осадочных пород. М.: Недра, 1986. 247 с.

10. Дриц В. А., Коссовская А. Г. Глинистые минералы: смектиты, смешанослойные образования. М.: Наука, 1990. 214 с.

МЕХАНИЗМЫ БИОТОКСИЧНОСТИ КАДМИЯ В ОТНОШЕНИИ МИКРООРГАНИЗМОВ (ОБЗОР)

Сизенцов А.Н. канд. биол. наук, доцент, Григорьева М.В., Морозова С.А., Пластамак А.П.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Токсичность кадмия в отношении микроорганизмов представляет собой важный аспект изучения воздействия тяжелых металлов на экосистемы различного уровня организации, так как прокариотические симбиотные организмы выполняют разнообразные функции в структуре экологических сообществ. К основным источникам поступления кадмия в окружающую среду, наряду с геохимически аномальным содержанием, является промышленное загрязнение. При этом следует отметить, что кадмий обладает выраженным кумулятивным эффектом не только в окружающей среде, но и органах и тканях растений, животных и человека. Особый интерес вызывает взаимодействие Cd с микробными клетками, так как микроорганизмы играют ключевую роль в биогеохимических циклах и поддержании экологического баланса.

Пути проникновения кадмия, в структура бактериальных сообществ, обусловлены его трансформациями и переносом в экосистемах. Металл поступает в почву как из атмосферных осадков, так и при внесении удобрений и пестицидов. Согласно данным, до 70% кадмия, попавшего в почву, связывается с химическими комплексами, доступными для усвоения растениями, но значительная доля остается в ионной или комплексной форме, что способствует его биодоступности. В почвенной микрофлоре происходят процессы образования кадмиево-органических соединений, что влияет на дальнейшую подвижность и устойчивость металла в экосистеме. Подвижность кадмия сильно зависит от показателей pH и химического состава почвы, варьируясь от растворимых ионов в кислых условиях до нерастворимых гидроксидов, карбонатов и фосфатов при более щелочной реакции. В водных экосистемах кадмий присутствует преимущественно в виде растворимых ионов и мелкодисперсных коллоидальных частиц, что обуславливает его накопление в водных организмах и микробных биомассах. Таким образом, кадмий проникает в микробные среды через почву и воду, изменяя их химический и биологический состав [1, 2]. Особенностью загрязнения кадмием является его высокая устойчивость в окружающей среде: даже после прекращения поступления в почве сохраняются опасные концентрации металла, что создает длительное воздействие на микробные сообщества. Аккумуляция кадмия в растениях и водных организмах способствует включению тяжелого металла в пищевые цепи, что повышает вероятность его попадания в микроэкологические ниши.

Кадмий представляет собой тяжелый металл с постоянной степенью окисления +2, благодаря электронной конфигурации $5s^2$, которая определяет его устойчивость и химическую активность в экологических системах [3]. В этой валентной форме металл проявляет высокую растворимость и способность образовывать ионы Cd^{2+}, что обусловливает его биодоступность и проникновение в клетки микроорганизмов. Высокая электрическая масса и сопутствующая химическая реактивность ионов кадмия позволяют им конкурировать с жизненно важными металлами, такими как цинк, железо и кальций, замещая их в биохимических структурах и нарушая нормальное функционирование клеточных систем.

Замещение природных металлов в координационных центрах ферментов и других белков ведет к нарушению катализируемых биохимических реакций, снижению активности ферментов и метаболических процессов, что неблагоприятно сказывается на жизнеспособности микробных клеток. Сильные координационные связи между Cd^{2+} и тиольными группами белков или сульфгидрильными участками молекул приводят к конформационным изменениям и утрате функциональной активности биомолекул, что выявлено в многочисленных биохимических экспериментах [4].

Подвижность кадмия в природных средах высока, особенно в кислых условиях и на почвах с низким содержанием органического вещества, что увеличивает его степень ионизации и доступность для биологических систем. В микробной среде кадмий проявляет свою токсичность через связывание с цитоплазматическими и мембранными компонентами, вызывая нарушения в транспортных процессах и энергетическом обмене. Кроме того, Cd^{2+} способствует образованию активных форм кислорода, вызывая окислительный стресс, который повреждает мембраны, нуклеиновые кислоты и белковые структуры микроорганизмов.

Особое значение имеют свойства кадмия к сильному связыванию с функциональными группами биомолекул, что приводит к устойчивой аккумуляции металла внутри клеток, ухудшая механизм его выведения. Химическая инертность Cd^{2+} к метаболическому распаду и отсутствие биотрансформации способствуют его долгосрочному накоплению, усиливая токсическое воздействие. Токсическое действие кадмия на микроорганизмы реализуется через несколько взаимосвязанных молекулярных и клеточных механизмов. Ключевым средством воздействия является нарушение дыхательной функции клеток. Кадмий ингибирует транспорт биологически важных субстратов внутрь клетки и взаимодействует с элементами дыхательной цепи, что приводит к снижению активности окислительного фосфорилирования и, как следствие, к недостатку энергии для жизненных процессов. Данный механизм наиболее выражен при концентрациях Cd в диапазоне разведений от 10^{-4} до 10^{-3} М, когда подавляется не только их дыхательная активность микроорганизмов, но и их рост [5].

Дополнительным повреждающим фактором присутствия кадмия в субстрате является его конкурентное взаимодействие с эссенциально

значимыми микроэлементами, необходимыми для клеточного метаболизма, такими как цинк, железо и медь, которые входят в состав активных центров ферментов. Замещение этими ионами Cd^{2+} приводит к конформационным изменениям белков и ферментов, блокируя их каталитическую функцию и вызывая денатурацию. Особо чувствительны к токсическому действию кадмия белки, содержащие сульфгидрильные (–SH) группы, поскольку Cd образует прочные ковалентные связи с ними, что нарушает структуру и функции многих ферментативных систем и белков, необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов [5, 6].

На молекулярном уровне токсичность сопряжена с индуцированием окислительного стресса. Присутствие кадмия в питательном субстрате бактериальных популяций, приводит к формированию реактивных форм кислорода, приводящих к перекисному окислению липидов мембран, повреждению белков и фрагментации молекулы ДНК. Совокупность данных процессов приводит к структурным нарушениям мембран, что в свою очередь повышает их проницаемость и вызывают генотоксический эффект, затрагивающий регуляцию генов и процессы репликации. Таким образом, кадмий инициирует цепочку клеточных повреждений, начиная с мембранных структур и завершая повреждениями наследственного материала, что приводит к снижению жизнеспособности клеток и изменению состава сообществ бактериальной популяции [5].

Оценка воздействия кадмия на бактериальные сообщества почвы проведенная Гильмуллиной А. Р. с соавторами свидетельствует о том, что при внесении дозы в 300 мг/кг металл не вызывает снижения активности микроорганизмов, измеряемой по уровню почвенного дыхания [7]. Авторами установлено, что добавление глюкозы, в отличие от кадмия, значительно стимулирует выделение CO_2 и ускоряет минерализацию растворимых органических соединений, причем влияние глюкозы доминирует даже при одновременном внесении с Cd, что в свою очередь свидетельствует о том, что химический стресс кадмия не всегда ведет к угнетению общей метаболической активности почвенной микрофлоры, хотя его эффект варьируется в зависимости от типа почвы и содержания в ней органического углерода. В частности, подвижность и биодоступность кадмия, зависящие от pH и физических характеристик почвы, могут влиять на реакцию микробного сообщества и глубину профиля биохимических процессов [7].

Однако, несмотря на относительную устойчивость общей активности микробов, кадмий оказывает избирательное давление на структуру микробных сообществ, вызывая изменения видового состава. В присутствии высокого уровня Cd наблюдается снижение численности чувствительных к металлу таксономических групп, что снижает биоразнообразие, и одновременно происходит рост доли устойчивых видов, часто демонстрирующих адаптивные механизмы детоксикации. Такие сдвиги способны изменить биогеохимические функции почвы, влияя на процессы разложения органики, азотфиксации и цикл азота. В особенности наблюдается уменьшение численности

нитрифицирующих бактерий, что может приводить к снижению эффективности азотного цикла и последующим экологическим последствиям [8].

Использование микробных сообществ, обладающих устойчивостью к кадмию, становится эффективным инструментом биоремедиации загрязнённых почв и сточных вод. Опираясь на адаптивные свойства микроорганизмов, разработаны методики, в которых специфические бактериальные штаммы аккумулируют кадмий, снижая его токсичность и тем самым уменьшая нагрузку на экосистему. Так, бактерии рода *Pseudomonas aeruginosa*, выделенные из активного ила пищевого производства, продемонстрировали способность к удалению Cd из загрязнённых сред, что подтверждает их потенциал для масштабного применения в очистке промышленных выбросов [9].

В патентованных технологиях биоремедиации почв используют суспензии ассоциативных бактерий высокого титра, включающих штамм *Variovorax paradoxus* 5C-2. Внедрение таких биопрепаратов в севооборот осуществляется посредством инокуляции семян гороха в дозах 0,1–0,5 мл суспензии на одно семя, что способствует снижению фитотоксичности и повышает качество выращиваемой продукции. Этот подход обеспечивает локализованное и контролируемое воздействие биопрепарата на почвенную микрофлору, улучшая процессы связывания и детоксикации кадмия непосредственно в зоне корневой системы [10].

В заключение данной работы следует отметить, что кадмий представляет собой серьёзную и долговременную угрозу для экологического равновесия, воздействуя на микроорганизмы, которые в свою очередь являются фундаментальной основой различных экосистем. Его выраженные кумулятивные характеристики и способность длительно сохраняться в почве и воде, обеспечивает высокий уровень взаимодействия с автохтонной аборигенной микрофлорой, в совокупности факторов неблагоприятного взаимодействия на последних может приводить к запуску каскада негативных последствий: от нарушения ключевых клеточных функций до системной перестройки микробных сообществ.

Список литературы

1 Кадмий в почве: влияние и последствия [Электронный ресурс] // Ветеринария и жизнь. – Режим доступа : https://vetandlife.ru/rosselkhoznadzor/kadmiy-v-pochve-vliyanie-i-posledstviya. – 08.01.2026.

2 Петухов, Д. В. Источники кадмия, анализ пределов содержания, стратегии снижения в окружающей среде (обзор) / Д. В. Петухов, Е. В. Товстик / Теоретическая и прикладная экология. – 2024. – №4. – 17с.

3 Кадмий в биосфере и его влияние на живые организмы [Электронный ресурс] // Режим доступа : https://ecoportal.su/public/other/view/1017.html. – 08.01.2026.

4 Никифорова, И. Ю. Скрининг и изучение ризобактерий, устойчивых к кадмию / И. Ю. Никифорова, Е. В. Любунь, Е. В. Плешакова, А. Ю. Муратова / Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2014. – №3. –

5 Кадмий, его токсичность и источники загрязнения [Электронный ресурс] // Образовательный портал «Справочник». – Режим доступа : https://spravochnick.ru/ekologiya/ekologiya_produktov_pitaniya/kadmiy_ego_toksichnost_i_istochniki_zagryazneniya. – 08.01.2026.

6 Yu, X. Cadmium Pollution Impact on the Bacterial Community Structure of Arable Soil and the Isolation of the Cadmium Resistant Bacteria / X. Yu, J. Zhao, X. Liu, L. Sun, J. Tian, N. Wu // Front. Microbiol. – 2021. – Vol. 12.

7 Гильмуллина, А. Р. Изменение минерализующей активности микробных сообществ в зависимости от физико-химических характеристик почв и загрязненности кадмием / А. Р. Гильмуллина, П. Ю. Галицкая, А. А. Савельев, Я. В. Кузяков, С. Ю. Селивановская // Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2016. – 9с.

8 Сизенцов, А. Н. Изучение биоаккумулирующей способности бактерий рода Bacillus в отношении ионов кадмия в условиях *in vitro* и *in vivo* / А. Н. Сизенцов, Г. В. Карпова, Е. Ю. Исайкина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета – 2016. – 172с.

9 Jabbari Nezhad Kermani, A. Cadmium bioremediation by metal-resistant mutated bacteria isolated from active sludge of industrial effluent / A. Jabbari Nezhad Kermani, M. Faezi Ghasemi, A. Khosravan, A. Farahmand, M. R. Shakibaie // Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng. – 2010. – Vol. 7. – №4. – p. 279-286.

10 Debora, H. E. Rocco. *Bacillus subtilis* as an effective tool for bioremediation of lead, copper and cadmium in water / H. E. Rocco Debora, B. M. Freire, T. J. Oliveria, P. L. Melo Alives, J. M. de Oliveira Junior, B. L. Batista, D. Grotto, A. F. Jozala // Discover Applied Sciences. – 2024. – Vol. 6. – №430. – p. 2-3.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СПОСОБОВ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ СЕРОВОДОРОДА

Симонова А.В., Степанов А.Д.,
Сальникова Е.В. д-р биол. наук, канд. хим. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Одной из основных операцией в газопереработке является обезвреживание сероводорода, но для наиболее оптимального прохождениия процесса изначально требуется провести обезвоживание (осушку) сероводорода (H_2S). Данная операция необходима для предотвращения коррозии оборудования, обеспечения безгидратного режима транспортировки и подготовки газа к последующим химическим или электрохимическим преобразованиям.

Электрохимические методы в данном случае можно разделить на две группы:

1) методы, непосредственно использующие электрохимические процессы для удаления воды из H_2S-содержащих потоков;

2) методы, в которых осушка является обязательным подготовительным этапом перед электрохимической переработкой сероводорода.

Обезвоживание и утилизация H_2S может быть проведена с помощью электрохимического окисления/разложения H_2S.

В исследованиях Фесенко Л.Н., Черкесова А.Ю., Исраилова Р.В. [1] представлена технология окисления сероводорода воздуха электролитическим гипохлоритом натрия, а также удаления H_2S на электропроводящем катализаторе. Хотя основная цель – очистка газа, процесс может сопровождаться дегидратацией, так как вода является продуктом окисления H_2S.

Классическим способом электрохимического разложения H_2S в кислых или щелочных электролитах является электролиз водных растворов сероводорода (он позволяет получать водород и серу). В таких системах вода присутствует в электролите, и её удаление (или поддержание низкого содержания) важно для повышения эффективности процесса. Авторы [2] отмечают, что сера, выделяющаяся на аноде, может блокировать электрод, поэтому необходимо её удаление из электролита. Это косвенно связано с проблемой обезвоживания системы.

Ключевым преимуществом данного метода является – интеграция операций обезвреживания H_2S и осушки газа в едином процессе, что упрощает технологическую схему и снижает капитальные затраты. Активность воды в системе служит инструментом управления процессом: оптимизация влажности позволяет повысить селективность целевых реакций, подавить образование полисульфидов и тиосульфатов, а также улучшить энергоэффективность.

Важным достоинством является продуктивный характер процесса, позволяющий получать ценные продукты – водород на катоде и элементную серу на аноде, что преобразует очистку газа в ресурсосберегающую технологию. Кроме того, метод часто реализуем в мягких условиях (близких к комнатным температурам и атмосферному давлению), что снижает эксплуатационные риски и требования к конструкционным материалам.

К основным недостаткам относятся высокие удельные энергозатраты, обусловленные поляризацией электродов, омическими потерями и перенапряжением при анодном окислении, что ограничивает экономическую целесообразность при обработке больших объёмов разбавленного газа. Существенной проблемой является пассивация электродов из-за адгезии образующейся элементарной серы, приводящая к блокировке активных центров и снижению плотности тока, что требует сложных решений по регенерации или непрерывному удалению серы.

Технологическая сложность также связана с управлением гетерогенной многокомпонентной системой, включающей газообразные, твердые и жидкие продукты, и необходимостью их эффективного разделения. Высокая коррозионная активность рабочих сред, содержащих сульфид-ионы, полисульфиды и окислители, предъявляет жёсткие требования к материалам оборудования, увеличивая стоимость установки. Дополнительным ограничением выступает вторичное образование воды в реакциях окисления, которое, способствуя осушке потока, одновременно разбавляет электролит и может снижать производительность, требуя дополнительных стадий концентрирования.

Во многих электрохимических технологиях осушка H_2S является обязательно подготовительной стадией.

В электрохимическом способе получения серы из сероводорода в апротонном органическом растворителе (ацетонитриле) предварительная осушка сырья является критически важной стадией. Высокая эффективность процесса достигается за счёт депротонирования H_2S триэтиламином с последующим низкопотенциальным (около 0,3 В) окислением образующегося тиолат-аниона. Реакции стадий представлены на рисунке 1 [3].

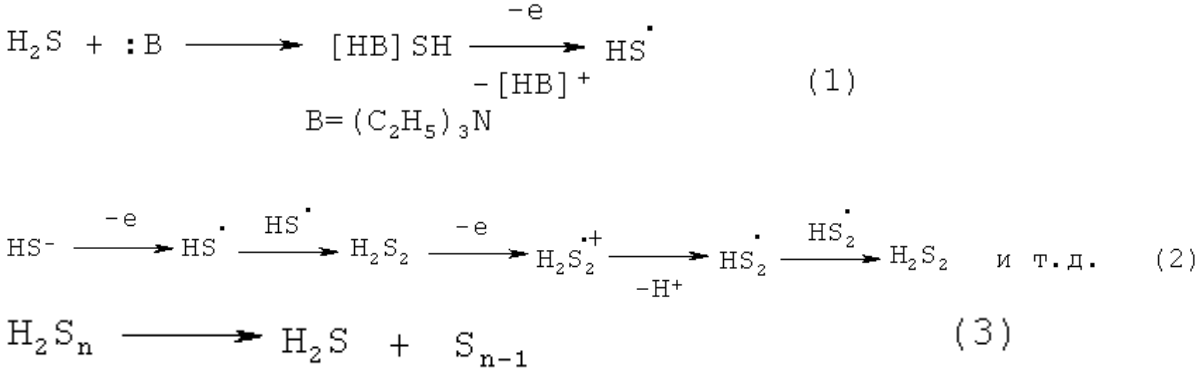


Рисунок 1 - Схема процесса получения элементной серы из сероводорода в условиях электрохимического окисления в органических средах

Необходимость глубокой осушки обусловлена требованиями к химической и электрохимической стабильности системы. Присутствие воды приводит к гидролизу фонового электролита (перхлората тетрабутиламмония), вызывает неконтролируемые побочные реакции (гидролиз полисульфанов) и может сужать рабочий электрохимический интервал. Кроме того, вода способствует пассивации платинового анода и коррозии оборудования.

Как указано в патенте [4], использование «осушенного» ацетонитрила и электролита подтверждает обязательность этого этапа. Технологически осушка, вероятно, реализуется методами адсорбции. Таким образом, данная операция является не вспомогательной, а ключевой, обеспечивающей возможность энергоэффективного синтеза с высокими выходом (92 %) и конверсией (от 95 % до 98%).

Мембранная осушка на основе протонообменных мембран (Nafion) – селективный метод удаления воды из газовых потоков, включая агрессивные среды (например, содержащие H_2S). Принцип работы основан на периспарации: молекулы воды сорбируются на мембране и переносятся через неё под действием градиента парциального давления в продувочный газ. Метод относят к электрохимическим, поскольку используемая мембрана (Nafion) обладает уникальной структурой и ионной проводимостью, обусловленными её электрохимической природой.

Преимущества:

1) исключительная селективность к воде.

2) химическая стойкость к агрессивным компонентам.

3) быстрое достижение равновесия, простая конструкция, низкие эксплуатационные затраты.

Недостатки:

1) ограничения по температуре (обычно ≤ 150 °C) и рабочему давлению (приблизительно до 0,55 МПа).

2) возможность сорбции полярных соединений (амины, органические вещества).

3) высокая стоимость мембранных модулей.

Электродиализ представляет собой электрохимический мембранный процесс, который теоретически может быть применен для обезвоживания (концентрирования) жидких растворов, содержащих растворенный сероводород [5-6].

Принцип действия метода основан на селективном транспорте ионов через ионообменные мембраны под действием приложенного постоянного электрического поля. В стандартной конфигурации чередующиеся катионо- и анионообменные мембраны образуют ячейки, между которыми происходит разделение раствора на концентрат и диализат [7]. В контексте обработки растворов H_2S, процесс мог бы быть направлен на удаление ионов (сульфид-ионов S^{2-}, гидросульфид-ионов HS^-), сопутствующих катионов (например, Na^+, K^+) и, опосредованно, на концентрирование раствора за счет отбора обедненной солями воды [8].

Метод эффективен для управления ионным составом водных растворов, но не для прямого удаления молекулярно растворенного газообразного H_2S или осушки собственно газовой фазы. Для газообразных потоков технология неприменима, а при работе с жидкостями необходимо учитывать высокую коррозионную активность среды и риски образования элементной серы, которая может привести к загрязнению и блокировке мембран.

Таким образом, хотя электродиализ является мощным инструментом для обессоливания и концентрирования растворов, его прямое использование для обезвоживания газообразного сероводорода исключено. Потенциальная ниша метода – предварительная или сопутствующая обработка жидких абсорбентов (например, щелочных растворов), используемых в технологиях улавливания H_2S, с целью их регенерации и концентрирования извлеченной серы [9].

Электрохимические методы обезвоживания сероводорода реализуются в трех основных формах. Во-первых, осушка является неотъемлемой частью процессов электрохимического окисления или разложения H_2S, где контроль влажности напрямую определяет селективность и эффективность. Во-вторых, предварительная глубокая осушка выступает обязательным условием для работы с чувствительными электрохимическими системами, например, в апротонных органических растворителях. В-третьих, селективное мембранное разделение на основе протонообменных мембран (перистпарация) представляет собой самостоятельную, наиболее перспективную технологию целенаправленного удаления влаги [10].

Таким образом, выбор конкретного способа определяется технологическим контекстом: необходимостью комплексной утилизации H_2S, требованиями к чистоте реакционной среды или задачей селективной осушки без изменения состава газа. Совокупность этих методов образует гибкий инструментарий для интеграции процессов осушки и переработки сероводородсодержащих газов.

Список литературы

1 Фесенко, Л. Н. Исследование электрохимического окисления сероводородсодержащих газовых смесей летучих углеводородов / Л. Н. Фесенко, А. Ю. Черкесов, Р. В. Исраилов // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 8(80). – С. 391-407.

2 Электрохимическое разложение H2S / Г. А. Гришаева, Н. Я. Шулепова, А. Н. Третьяк, Г. И. Новиков // Весці акадэміі навук БССР. Серыя фізіка-энэргетычных навук.. – 1982. – № 2. – С. 85-87.

3 Патент № RU2516480C2. Электрохимический способ получения элементной серы из сероводорода в органических растворителях : № 2012128080/05 : заявл. 03.07.2012 : опубл. 20.05.2014 / Берберова Н.Т., Шинкарь Е.В., Смолянинов И.В,, Васильева Е.А., Кабылова Р.Х. – 5 с.

4 Патент № 2701433 C1 Российская Федерация, МПК C01B 17/05, B01J 19/08. Способ разложения сероводорода на водород и серу : № 2019109876 : заявл. 03.04.2019 : опубл. 27.09.2019 / Н. Н. Романчук, А. Н. Романчук ;

заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-Исследовательский Институт Экологии Нефтегазовой Промышленности".

5 Жилинский, В. В. Электрохимическая очистка сточных вод и водоподготовка : учебно-методическое пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-48 01 04 "Технология электрохимических производств" / В. В. Жилинский, О. А. Слесаренко ; Белорусский государственный технологический университет. – Минск : Белорусский государственный технологический университет, 2014. – 84 с. – (Учебники БГТУ). – ISBN 978-985-530-399-3.

6 Применение электрохимического окисления сероводородсодержащих газовых смесей летучих углеводородов к системам транспортировки и очистки сточных вод / Л. Н. Фесенко, А. Ю. Черкесов, Р. В. Исраилов [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 8(92). – С. 237-248.

7 Процесс окисления сероводорода кислородом воздуха, с получением элементной серы / А. А. Эльмурзаев, С. С. Юсупов, П. С. Цамаева, Н. Д. Айсунгуров // Вестник ГГНТУ. Технические науки. – 2019. – Т. 15, № 4(18). – С. 60-64. – DOI 10.34708/GSTOU.2019.18.4.008.

8 Шестерикова, Р. Е. Проблемы утилизации попутного нефтяного газа / Р. Е. Шестерикова, А. А. Шестерикова // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 5. – С. 359-362.

9 Кукушкина, Е. В. Экологические аспекты совершенствования технологии очистки газа от сероводорода / Е. В. Кукушкина, А. С. Левина // Человек, экология, культура : Сборник научных трудов по материалам Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Саратов, 20–22 апреля 2016 года / под редакцией Е.И. Тихомировой. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2016. – С. 126-132.

10 Новая технология промысловой очистки нефти от сероводорода / И. Р. Аслямов, А. Ю. Копылов, А. М. Мазгаров [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 12. – С. 93-95.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА СЕРОВОДОРОДА В ВОДНЫХ СРЕДАХ

Симонова А.В., Степанов А.Д., Юдин А.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Определение сероводорода в воде критически важно для здоровья человека, сохранения имущества и контроля состояния окружающей среды [1-2]. Его наличие часто сигнализирует о серьезных проблемах. Рассмотрим основные причины контроля газа в водных средах.

H_2S – токсичный газ, придает воде характерный запах тухлых яиц и неприятный привкус [3]. Вдыхание паров или употребление воды с ним вызывает отравление (головные боли, тошноту, головокружение), при высоких концентрациях – отек легких, судороги и может привести к летальному исходу [4]. Предельно-допустимая концентрация для питьевой воды по нормам Российской Федерации составляет не более 0,05 мг/см^3 [5].

Обладая высокой коррозионной активностью, сероводород вызывает разрушение металлических труб, водонагревателей, сантехники и бытовой техники, что приводит к утечкам, поломкам и дорогостоящему ремонту. Дополнительная проблема – образование черного осадка сульфида железа, который засоряет водопроводную систему [6].

Присутствие сероводорода, особенно в подземных водах (скважинах, колодцах), является важным индикатором биологического загрязнения. Он образуется в результате разложения органики (попавшие листья, ил) в бескислородных условиях и активности сульфатредуцирующих бактерий, выступая маркером общего неблагополучия источника. Однако стоит отметить важный нюанс: в строго контролируемых минимальных дозах (в лечебных сульфидных водах) этот же газ используется в бальнеологии под врачебным наблюдением, что лишь подтверждает правило – решающее значение имеет его концентрация [7].

На рисунке 1 схематично представлены пять ключевых сфер, в которых требуется обязательный контроль и определение сероводорода (H_2S). Каждая область сопровождается кратким описанием практических целей такого контроля – от обеспечения безопасности питьевой воды и защиты инфраструктуры до мониторинга экологического состояния и медицинского применения.

Рисунок 1 наглядно демонстрирует, что необходимость определения сероводорода выходит далеко за рамки одной проблемы. Он является межотраслевым индикатором, критически важным для:

1) технической безопасности и экономики (защита оборудования, предотвращение аварий);

2) экологии (оценка здоровья водоёмов);

3) здоровья людей (как риск в быту и как лечебное средство под контролем).

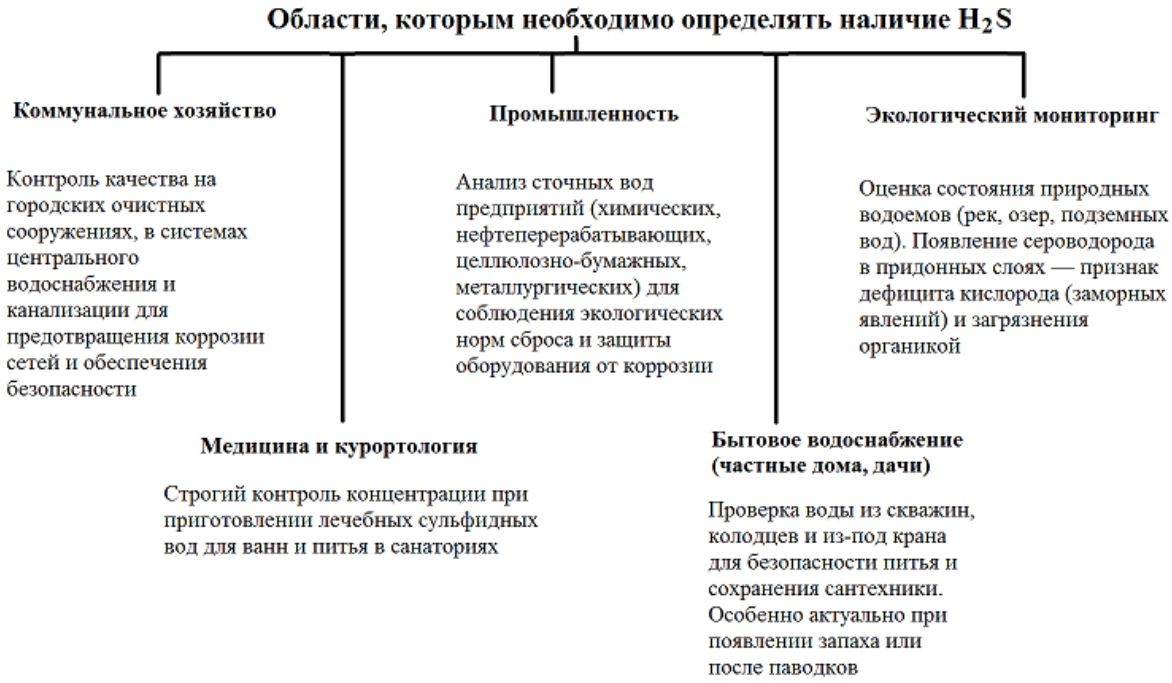


Рисунок 1 – Области, которым необходимо определять наличие H_2S

Контроль H_2S – это неотъемлемая часть ответственного управления водными ресурсами на всех уровнях: от промышленного предприятия до частного колодца.

Количественный анализ сероводорода (H_2S) в воде представляет сложную задачу из-за специфических свойств этого вещества. Основными проблемами являются его летучесть, легкая окисляемость и сложное химическое равновесие между различными формами (молекулярным H_2S, гидросульфид-анионом HS^- и сульфид-ионом S^{2-}). Для решения этой задачи применяется ряд методов, которые можно классифицировать по используемому принципу действия, требуемой точности и типу оборудования.

Титриметрические (объемные) методы относятся к классическим и высокоточным способам определения сероводорода, что позволяет использовать их в качестве арбитражных. В их основе лежит реакция титрования – измерение объема реагента, затраченного на реакцию с целевым веществом [8].

Иодометрическое титрование является основным стандартным методом количественного определения сероводорода [9].

Суть метода заключается в двухступенчатой реакции:

1) к пробе добавляют точный избыток иода (I_2), который в кислой среде окисляет сероводород до элементарной серы:

$$H_2S + I_2 \rightarrow 2HI + S\downarrow.$$

2) затем оставшийся неиспользованным иод титруют раствором тиосульфата натрия ($Na_2S_2O_3$), используя крахмал в качестве индикатора точки эквивалентности:

$$I_2 \text{ (избыток)} + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow Na_2S_4O_6 + 2NaI.$$

Метод обладает высокой точностью и селективностью, не требует сложного оборудования. На результаты анализа могут влиять другие восстановители (например, сульфиты).

Спектрофотометрические (фотометрические) методы – это группа широко используемых подходов, основанных на измерении интенсивности окраски раствора [11]. Они подходят как для лабораторных, так и для полевых условий. Сравним методы для обнаружения сероводорода в таблице 1.

Таблица 1 – Методы спектрофотометрические (фотометрические) определения сероводорода

Метод	Принцип и проведение	Применение и особенности
Метод образования метиленового синего (стандартный фотометрический)	H_2S в кислой среде в присутствии хлорида железа(III) и специального реагента образует ярко-синий краситель – метиленовый синий. Его концентрацию, а значит и исходное содержание H_2S, точно измеряют спектрофотометром при длине волны около 670 нм.	Основной лабораторный метод благодаря высокой чувствительности и селективности. Стандартизирован (например, ASTM D-4658, российские методики).
Метод с ацетатом свинца (свинцовая соль)	Газообразный H_2S, выделенный из воды, взаимодействует с бумагой или лентой, пропитанной ацетатом свинца ($Pb(CH_3COO)_2$), с образованием тёмного сульфида свинца (PbS).	Применяется для полуколичественного или индикаторного анализа. Оценка может быть: визуальной (сравнение со шкалой) или инструментальной (измерение отражения). Часто используется в индикаторных трубках для экспресс-тестов.

Из таблицы 1 можно сделать вывод о том, что для точного количественного анализа в лаборатории предпочтительнее метод метиленового синего. Для быстрой оценки в полевых условиях, где допустима меньшая точность, удобен метод с ацетатом свинца.

Хроматографические методы представляют собой мощный инструмент для определения сероводорода, особенно в сложных средах и когда требуется дифференцировать различные формы серы [12]. К ним в первую очередь относятся газовая и ионная хроматография, каждая из которых решает свои задачи.

Газовая хроматография (ГХ) применяется для прямого определения летучего сероводорода. Её высокая чувствительность обеспечивается

специализированными детекторами. Пламенно-фотометрический детектор (FPD) отличается высокой селективностью именно к соединениям серы. Пламенно-ионизационный детектор часто используется с конвертером, где H_2S сначала превращают в диоксид серы, а затем снова восстанавливают до сероводорода для детектирования. Также применяются высокочувствительные пульсационно-разрядные детекторы (PDD, PDHID). Критически важным этапом является подготовка пробы: для предотвращения потерь летучего аналита часто используют технику анализа равновесной газовой фазы («пространство над жидкостью»), химическую дериватизацию или немедленную стабилизацию пробы.

Ионная хроматография, в свою очередь, используется для определения ионных форм, в частности сульфид-иона (S^{2-}), в жидкой пробе. После надлежащей стабилизации пробы разделение ионов проводят на колонке, а для детектирования часто применяют амперометрический детектор. Ключевым преимуществом этого метода является возможность одновременного определения широкого спектра других анионов – сульфатов, сульфитов, хлоридов, что позволяет получить полную картину о формах серы в водной среде в одном аналитическом цикле.

Электрохимические методы [13] обеспечивают прямое, быстрое измерение и непрерывный мониторинг H_2S. Основные типы:

Ионоселективные электроды (ИСЭ) измеряют активность ионов S^{2-} с помощью мембраны из Ag_2S. Для работы требуют буферный раствор (ISA), который стабилизирует pH, переводит все формы H_2S в S^{2-} и предотвращает окисление. Преимущества: быстрота и портативность. Недостатки: чувствительность к мешающим ионам, риск «отравления», необходимость калибровки, измерение активности, а не концентрации.

Амперометрические сенсоры регистрируют ток окисления H_2S на специальном электроде, который пропорционален концентрации газа. Применяются в портативных анализаторах для непрерывного контроля и в хроматографии.

Эти методы – ключевой инструмент для оперативного контроля, где важнее скорость, чем эталонная точность.

Проведённый анализ позволяет заключить, что количественное определение сероводорода в водных средах представляет собой важнейшую междисциплинарную задачу, решение которой лежит в основе санитарно-гигиенической, экологической и промышленной безопасности. Высокая токсичность, коррозионная активность H_2S и его роль как индикатора биохимического загрязнения делают его мониторинг обязательным элементом ответственного управления водными ресурсами. Сложность анализа, обусловленная летучестью, окисляемостью и сложным равновесием различных форм серы в растворе, обуславливает необходимость применения разнообразных аналитических методов. Выбор оптимальной методики представляет собой компромисс, основанный на требованиях к точности, экспрессности, сложности анализируемой пробы и доступности оборудования.

Список литературы

1 Комплексный подход к определению источника и динамики образования сероводорода на нефтяном месторождении / Д. Ю. Калачева, Н. В. Морозов, Д. А. Абрамов [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2022. – № 10. – С. 120-123. – DOI 10.24887/0028-2448-2022-10-120-123.

2 Семейкина, А. Д. Определение низких концентраций сероводорода в газах синтеза метанола / А. Д. Семейкина, О. А. Ханина // Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и техносферной безопасности : Всероссийская научно-практическая конференция студентов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 09–10 апреля 2020 года / Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД. Том Часть 1. – С.-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, 2020. – С. 231-233.

3 Клишин, Ю. А. Определение концентрации сероводорода и аммиака в воде с помощью МДП-сенсора / Ю. А. Клишин, А. В. Литвинов, /А. А. Михайлов // Четвертый междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии», Москва, 27–30 ноября 2018 года. Том III. – Москва: ООО «Буки Веди», 2018. – С. 461-464.

4 Циклическое инжекционное фотометрическое определение сероводорода в углеводородных газах / Л. Н. Москвин, А. В. Булатов, С. А. Леонова [и др.] // Журнал аналитической химии. – 2007. – Т. 62, № 7. – С. 705-709.

5 Князев, А. В. Разработка виртуального анализатора для определения содержания сероводорода / А. В. Князев, А. М. Хафизов // Научный аспект. – 2023. – Т. 29, № 11. – С. 3566-3571.

6 Прыскалов, И. Н. Опыт внедрения потенциометрической методики определения сероводорода на Оренбургском азоперерабатывающем заводе / И. Н. Прыскалов, Н. К. Зайцев, С. В. Мещеряков // Технологии нефти и газа. – 2008. – № 6(59). – С. 38-42.

7 Экспериментальное определение сечений поглощения колебательно-вращательных линий сероводорода в Ближнем ик-диапазоне / С. В. Киреев, С. В. Суганеев, Б. Р. Кусманкулов, А. А. Кондрашов // Лазеры в науке, технике, медицине : Сборник научных трудов XXXV Международной конференции, Краснодарский край, 22–27 сентября 2024 года. – Москва: Московское научно-техническое общество радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова, 2025. – С. 173-174.

8 Патент № 2608852 C Российская Федерация, МПК G01N 7/14. Способ определения концентрации сероводорода в трубопроводной нефти под давлением : № 2015145982 : заявл. 26.10.2015 : опубл. 25.01.2017 / И. З. Денисламов, И. З. Исаев.

9 Зуева, Е. О. Определение содержания сероводорода в аммиачном газе / Е. О. Зуева, М. Ю. Фереферов // Современные технологии и научно-технический прогресс. – 2013. – Т. 1. – С. 20-22.

10 Авторское свидетельство № 1177296 A1 СССР, МПК G01N 21/78. Способ получения реагента для колориметрического определения сероводорода или тиолов : № 3652425 : заявл. 17.10.1983 : опубл. 07.09.1985 / К. В. Векслер, Г. М. Трахнова ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я А-3374.

11 Самшорина, А. А. Экспериментальное определение влияния сероводорода на водородный показатель коры зеленых насаждений / А. А. Самшорина // Наука, образование, инновации: апробация результатов исследований : Материалы Международной (заочной) научно-практической конференции, Нефтекамск, 17 декабря 2019 года / Под общей редакцией А.И. Вострецова. – Нефтекамск: Научно-издательский центр «Мир науки» (ИП Вострецов Александр Ильич), 2019. – С. 66-71.

12 Жданова, М. А. Определение сероводорода в судовых топливах / М. А. Жданова, Е. И. Карзина // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. – 2023. – Т. 1, № 1. – С. 316-320.

13 Кирющенко, И. Г. метод определения профиля растворенного сероводорода в водной среде / И. Г. Кирющенко // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2012. – № 26-2. – С. 256-271.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ СОРБЕНТЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОБЗОР И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИАКРИЛАТОВ

Симонова А.В., Степанов А.Д., Юдин А.А., Баязитов А.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Редкоземельные элементы (РЗЭ) являются критически важными материалами для современных высоких технологий. Однако их традиционная добыча и разделение сопряжены со значительными экологическими рисками, включая использование агрессивных химикатов и образование токсичных отходов [1]. Эти вызовы, наряду с необходимостью обеспечения ресурсной безопасности, стимулируют поиск более эффективных и экологичных альтернатив. Одним из таких решений выступает сорбционная технология, в частности, на основе функционализированных полимерных материалов. Благодаря возможности тонкой настройки химической структуры, пористости и механических свойств, полимерные сорбенты позволяют достигать высокой селективности и емкости при извлечении РЗЭ, в том числе из разбавленных растворов, а также обладают потенциалом к многократной регенерации.

Классификация полимерных сорбентов для РЗЭ обычно проводится по их форме, структуре и преобладающему механизму действия. Основные категории представлены ниже [2-4].

1. Полимерные смолы (ионообменные и хелатные). Это наиболее распространенная форма в виде сферических гранул (бисера). Их основу составляют сшитые матрицы (полистирольные или акрилатные), ковалентно функционализированные активными группами. Ионообменные смолы несут, например, сульфо- или фосфоновые группы, а хелатные – специфические лиганды типа иминодиуксусной кислоты или дигликоламидов. Полимерные смолы (ионообменные и хелатные) имеют высокую селективность, задаваемую лигандом, и отработанную технологию применения, хотя эффективность может лимитироваться кинетикой диффузии ионов внутри гранулы.

2. Полимерные мембраны. Данный класс включает пропитанные жидкими экстрагентами поддерживаемые жидкостные мембраны (ПЖМ) и более стабильные полимерные включающие мембраны (ПВМ), где экстрагент иммобилизован в твердой матрице (например, из ПВХ). Главное технологическое преимущество мембран, особенно ПВМ, – возможность совмещения процессов экстракции и реэкстракции (сброса) в одной единице аппаратуры, что упрощает схему.

3. Сшитые полимерные сети (гидрогели, макропористые полимеры). Эти материалы представляют собой трехмерные сетки, способные к набуханию в растворе. Они характеризуются исключительно высокой концентрацией функциональных групп (часто на основе полиакриловой кислоты), что

обеспечивает рекордную теоретическую сорбционную емкость. Однако плотная гелевая структура может серьезно замедлять диффузию ионов, ухудшая кинетику процесса.

4. Полимерные нанокомпозиты. Это гибридные материалы, сочетающие полимерную матрицу с дисперсными неорганическими (оксиды кремния, титана, магнитные наночастицы) или углеродными (графен, нанотрубки) наполнителями. Такой подход позволяет целенаправленно улучшать свойства: механическую прочность, удельную поверхность, вводить функцию магнитной сепарации или повышать электропроводность для электросорбции.

Проведем сравнительный анализ полимерных сорбентов (таблица 1) [5-7].

Таблица 1 – Ключевые характеристики основных типов полимерных сорбентов

Тип сорбента	Основные материалы / Функциональные группы	Преимущества	Недостатки/проблемы	Пример применения для РЗЭ
Полимерные смолы	Сшитый полистирол или полиакрилаты с группами: IDA, фосфоновыми, DGA	Высокая селективность, отработанная технология, хорошая кинетика в мелких гранулах, регенерация	Возможное набухание/усадка, «отравление» ионами Fe^{3+}, Al^{3+}, ограниченная емкость	Селективное извлечение Nd^{3+}, Dy^{3+} из кислотных растворов после выщелачивания
Полимерные мембраны (ПВМ)	Матрица (ПВХ, целлюлозные эфиры) + экстрагент (D2EHPA, PC-88A)	Совмещение экстракции и реэкстракции, компактность, низкий расход реагентов	Потеря экстрагента, меньшая долговременная стабильность, проблемы с масштабированием.	Разделение легких и тяжелых РЗЭ
Сшитые полимерные сети (Гидрогели)	Полиакриловая кислота, полиакриламид, хитин/хитозан	Очень высокая сорбционная емкость, биосовместимость, низкая стоимость сырья	Медленная кинетика, низкая механическая прочность во набухшем состоянии, низкая селективность	Извлечение РЗЭ из разбавленных водных стоков
Полимерные нанокомпозиты	Полимерная матрица + наночастицы (SiO_2, Fe_3O_4) или углеродные наноматериалы	Улучшенная механика, магнитная сепарабельность, высокая удельная поверхность, функциональность	Сложность синтеза и обеспечения однородности, потенциально высокая стоимость	Магнитные сорбенты на основе полианилина/Fe_3O_4 для Eu^{3+}; композиты для электросорбции

Полиакрилаты, в частности полиакриловая кислота и полиакрилат натрия, рассматриваются как крайне перспективный класс полимеров для создания сорбентов редкоземельных элементов. Их потенциал определяется уникальным сочетанием фундаментальных свойств и технологических преимуществ. Ключевое достоинство – высокая плотность карбоксильных групп в полимерной цепи, обеспечивающая значительную теоретическую сорбционную емкость за счет механизмов ионного обмена и координации с ионами лантанидов. Широкая возможность модификации химической структуры через сополимеризацию с другими мономерами или сшивающими агентами позволяет тонко регулировать гидрофильность, пористость и вводить дополнительные функциональные группы для управления селективностью [8].

Важным практическим преимуществом является относительная простота, экономичность и возможность проведения синтеза в водной среде. Однако для успешного практического применения «чистые» полиакрилаты требуют оптимизации. Основные исследовательские направления включают целенаправленное повышение селективности путем прививки специфических лигандов (например, производных фосфоновых кислот), улучшение кинетики сорбции за счет создания макропористых или нанокомпозитных структур, разработку легко регенерируемых «умных» систем (использующих, в частности, pH-чувствительность карбоксильных групп для эффективной десорбции), а также обеспечение высокой долговечности и сохранения характеристик в многократных циклах использования, что является критическим фактором для будущей коммерциализации [9].

Полимерные сорбенты доказали свою эффективность и экологическую перспективность для извлечения редкоземельных элементов [10]. Их главное преимущество – возможность направленного дизайна для достижения высокой селективности, ёмкости и устойчивости в циклах сорбции-десорбции.

Сравнительный анализ классов материалов – от промышленных смол до нанокомпозитов – показывает, что выбор сорбента является компромиссом между ёмкостью, кинетикой и технологичностью. Среди них полиакрилаты выделяются благодаря высокой плотности карбоксильных групп и исключительной гибкости химической модификации.

Перспективы применения полиакрилатов связаны с созданием гибридных материалов для решения ключевых задач: повышения селективности путём прививки специфических лигандов, улучшения кинетики за счёт формирования макропористых структур, разработки «умных» регенеративных систем и обеспечения долговечности в тысячах рабочих циклов.

Таким образом, развитие сорбционной технологии на основе модифицированных полиакрилатов – это стратегическое направление для перехода к рациональной модели использования редкоземельных ресурсов, успех которого зависит от междисциплинарной кооперации химиков, материаловедов и инженеров.

Список литературы

1 Эрлих, Г. В. Сорбция в химии редкоземельных элементов / Г. В. Эрлих, Г. В. Лисичкин // Журнал общей химии. – 2017. – Т. 87, № 6. – С. 1001-1027.

2 Сорбционное концентрирование микрокомпонентов для целей химического анализа / Ю. А. Золотов, Г. И. Цизин, Е. И. Моросанова, С. Г. Дмитриенко // Успехи химии. – 2005. – Т. 74, № 1. – С. 41-66.

3 Сорбционное извлечение и концентрирование редкоземельных металлов из растворов экстракционной фосфорной кислоты. Обзор / Н. Г. Лохова, М. А. Найманбаев, Ж. А. Балтабекова, К. К. Касымжанов // Комплексное использование минерального сырья. – 2018. – № 3(306). – С. 62-68. – DOI 10.31643/2018/6445.18.

4 Авторское свидетельство № 1359963 A1 СССР, МПК B01J 49/00. Способ десорбции редкоземельных элементов : № 3923863 : заявл. 08.07.1985 : опубл. 30.03.1990 / Л. И. Водолазов, Б. Н. Шарапов, Н. А. Шарапова [и др.] ; заявитель ПРЕДПРИЯТИЕ П/Я А-1997.

5 Сорбенты для хроматографического разделения и сорбционного концентрирования токсичных металлов из разбавленных растворов / И. Н. Липунов, Т. И. Маслакова, Т. А. Мельник [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2007. – Т. 7, № 6. – С. 975-980.

6 Кудрявцева, С. П. Получение алюминатов, хромитов и ферритов РЗЭ и ТПЭ с использованием органоминеральных сорбентов / С. П. Кудрявцева, В. М. Гелис, Д. Г. Кузнецов // Вопросы радиационной безопасности. – 2010. – № 2(58). – С. 3-9.

7 Современные тенденции в области разработки и применения полимерных сорбентов / Х. С. Абзальдинов, Ш. А. Кадирова, М. А. Махкамов [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2024. – Т. 27, № 11. – С. 29-45. – DOI 10.55421/1998-7072_2024_27_11_29.

8 Исследование сорбционного извлечения редкоземельных элементов из серно-кислых растворов / Э. П. Локшин, О. А. Тареева, В. И. Иваненко [и др.] // Химическая технология. – 2011. – Т. 12, № 12. – С. 749-754.

9 Локшин, Э. П. Сорбционная конверсия - перспективный метод переработки редкоземельного сырья / Э. П. Локшин // Труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т. 9, № 2-1. – С. 154-159. – DOI 10.25702/KSC.2307-5252.2018.9.1.154-159.

10 Исследование сорбции редкоземельных элементов из сбросных растворов выщелачивания урана / Э. П. Локшин, В. И. Иваненко, О. А. Тареева, Р. И. Корнейков // Журнал прикладной химии. – 2013. – Т. 86, № 3. – С. 482-484.

СРАВНЕНИЕ СОРБЦИИ ИОНОВ СВИНЦА НА ГЛИНАХ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Тарабыкина А.А., Осипова Е.А. канд. хим. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Глины – это тонкодисперсные природные минералы на основе гидратированных алюмосиликатов, которые при смешивании с водой образуют пластичную массу, способную к формовке. После сушки и обжига глинистые частицы теряют свою пластичность и приобретают высокую механическую прочность. Глины различаются по минеральному и химическому составу, а также по свойствам и областям применения [1]

Глина может выступать в качестве сорбента благодаря своей кристаллической структуре и наличию отрицательного структурного заряда, обусловленного изоморфными замещениями в тетраэдрических и октаэдрических слоях, что создаёт активные ионообменные центры для связывания положительно заряженных тяжёлых металлов, таких как свинец [2]. Кроме того, в зависимости от вида глины, высокая дисперсность, пористость и наличие поверхностных функциональных групп обеспечивают дополнительные сорбционные свойства природных глин [3;4].

Загрязнение гидросферы ионами тяжелых металлов представляет собой одну из наиболее серьезных экологических угроз. Эти элементы, обладая высокой токсичностью, устойчивостью в окружающей среде и способностью к биоаккумуляции, мигрируют по пищевым цепям, что приводит к их концентрированию в живых организмах, включая человека.

Особое место среди распространённых тяжёлых металлов занимает свинец (Pb^{2+}). Он является типичным технофильным элементом, чьи концентрации в районах промышленной деятельности значительно превышают природный фон. Высокая подвижность его ионных форм в водной среде способствует быстрому распространению, что требует эффективных барьеров на пути его миграции. Таким образом, разработка и совершенствование методов извлечения ионов свинца из водных сред – задача не только экологическая, но и медико-санитарная, напрямую влияющая на здоровье населения [5].

В ходе работы по сравнению сорбционных способностей глин разного происхождения нами было отобрано три наиболее распространённых вида глин: халлиловская, монтмориллонитовая и полиминеральная.

Для определения сорбционных свойств отобранные глины, в дальнейшем подверглись пробоподготовке путём просеивания на сите с сечением 0,16 мм.

Определение ионов свинца проводили экстракционно-фотометрическим методом с диэтилдитиокарбаминатом натрия по ГОСТ 1652.2-77.

Для проведения сорбции отбирали навеску глины массой 0,0100 ± 0,0005 г, после чего переносили в коническую колбу на 250 мл в которую добавляли

100 мл растворов с концентрациями: 0,0002; 0,0004; 0,0006; 0,0008; 0,0010; 0,0012; 0,0014 г/л и постоянным pH 5,7. Колбы с сорбентом закрывали пробками и подвергали перемешиванию в течение часа, затем раствор фильтровали через складчатый фильтр и в фильтрате определяли остаточную концентрацию ионов свинца.

По полученным данным были построены графики зависимости степени извлечения ионов свинца из раствора от равновесной концентрации (рисунок 1).

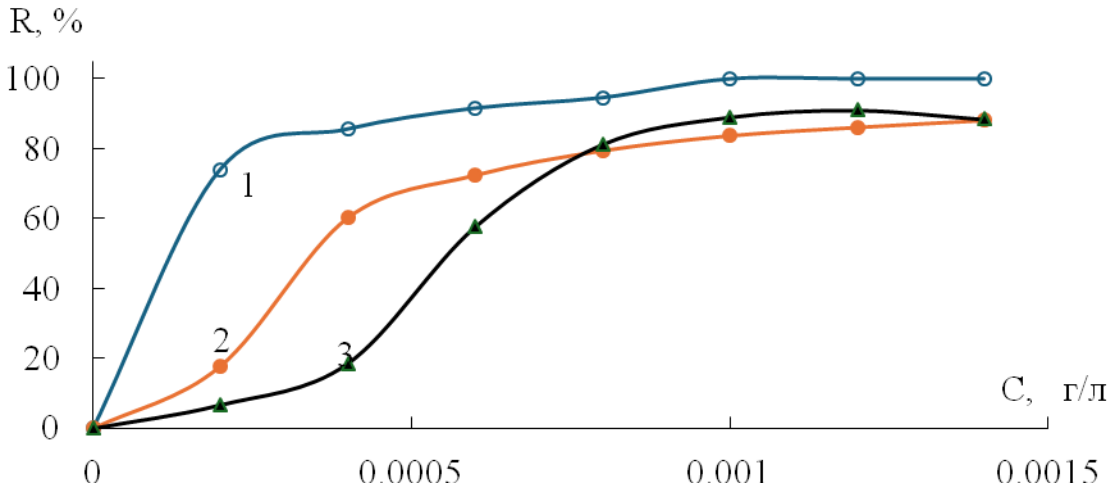


Рисунок 1 – Сравнение степеней извлечения: 1- монтмориллонитовая глина; 2- халлиловская глина; 3- полиминеральная глина

Установлено, что высокой степенью извлечения обладает монтмориллонитовая глина, которая позволяет извлекать ионы свинца практически на 100 %. Количественно до 80 % ионы свинца извлекают другие типы, рассматриваемых глин.

Полученные экспериментальные данные описывали с помощью классических математических моделей Ленгмюра и Фрейндлиха. Установлено, что сорбция на всех рассматриваемых сорбентах описывается математической моделью Ленгмюра (таблица 1).

Таблица 1 – Основные показатели

Сорбент	Уравнение Ленгмюра	Коэффициент детерминации R^2	q_m	K_L
Монтмориллонитовая глина	y = 0,0463x + 0,4995	0,9911	21,60	10,78
Полиминеральная глина	y = 860,26x + 1828,2	0,9643	9,00	9,51
Халлиловская глина	y = 0,1659x - 0,0568	0,9997	6,02	0,34

Анализ данных таблицы, подтверждает, что лучше всего сорбция ионов свинца протекает на монтмориллонитовой глине, максимальная степень адсорбции составляет 21,6 мг/г. Полученные результаты подтверждают, что

монтмориллонитовая глина является наилучшим сорбентом среди рассмотренных видов глин по отношению к ионам свинца в водном растворе.

Таким образом, сравнение сорбции ионов свинца на глинах различного происхождения показало, что для ремедиации почв или очистки водных ресурсов при локальных загрязнениях лучше использовать монтмориллонитовую глину.

Список литературы

1. Толкачева, А.С. Общие вопросы технологии тонкой керамики: учеб. пособие / А.С. Толкачева, И.А. Павлова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 184 с.

2. Meunier, A. Clays / A. Meunier. – Heidelberg: Springer, 2005. – 472 p.

3. Яковлева, А. А. Кристаллохимические аспекты оценки энергии взаимодействия частиц глинистых минералов / А. А. Яковлева, Г. Д. Мальцева // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. – Иркутск, 2018. – Т. 41, № 1. – С. 99-114.

4. Каныгина, О. Н. Физико-технологические параметры глин, определяющие свойства традиционной керамики: учебно-методическое пособие для студентов физических и химических специальностей / О. Н. Каныгина, А. А. Скрипников, А. Г. Четверикова. – Бишкек: Кыргызско-Российский Славянский университет, 1999. – 60 с.

5. Кондратюк, Е. В. Очистка сточных вод от ионов свинца на модифицированных бальзатовых сорбентах/ Е. В. Кондратюк, И. А. Лебедев, Л. Ф. Комарова // Ползуновский вестник. – 2006.–№2 – С. 375-380. – URL: http://elib.altstu.ru/journals/Files/pv2006_02_1/pdf/375kondratyuk.pdf (дата обращения: 25.01.2026)

ДЕЛОВЯ ИГРА КАК СРЕДСТВО ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ» В ВУЗЕ

Ткачева Т.А., канд. хим. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Подготовка специалистов в области фундаментальной и прикладной химии, бакалавров-нефтехимиков подразумевает формирование не только профессиональных навыков, но и развитие личностных компетенций, познавательных и коммуникативных качеств.

Деловая игра – это модель процесса принятия решений в реальной ситуации с четко выраженной структурой. Деловая игра позволяет создавать производственные ситуации, в ходе которых играющему необходимо найти правильную линию поведения, оптимальное решение проблемы, соответственно реальным обстоятельствам производства, имитированным в игре. В ходе игры каждому участнику необходимо максимально мобилизовать все свои знания, опыт, воображение. Особенно ценно то, что здесь дело не сводится лишь к механическому использованию программного материала. В процессе игры вырабатывается умение мыслить системно, продуктивно, пробуждается стремление к поиску новых идей, а это уже шаг к творчеству. [1]

Деловые игры позволяют активировать познавательную активность студентов, учат работать в команде. Многие исследователи отмечают, что в этом виде деятельности участники выполняют квазипрофессиональную деятельность, то есть мы одновременно и учим, и позволяем представить себя участником реального рабочего процесса. [2, 3, 4]

Психолого-педагогические принципы организации деловой игры были сформулированы А.А. Вербицким и включают [5]:

1) принцип имитационного моделирования конкретных условий и динамики производства. Моделирование реальных условий профессиональной деятельности специалиста во всем многообразии служебных, социальных и личностных связей является основой методов интерактивного обучения;

2) принцип игрового моделирования содержания и форм профессиональной деятельности - необходимое условие учебной игры, поскольку несет в себе обучающие функции;

3) принцип совместной деятельности. В деловой игре этот принцип требует реализации посредством вовлечения в познавательную деятельность нескольких участников. Он требует от разработчика выбора и характеристики ролей, определения их полномочий, интересов и средств деятельности. При этом выявляются и моделируются наиболее характерные виды профессионального взаимодействия «должностных» лиц;

4) принцип диалогического общения. В этом принципе заложено необходимое условие достижения учебных целей. Только диалог, дискуссия с

максимальным участием всех играющих способна породить поистине творческую работу. Всестороннее коллективное обсуждение учебного материала обучающимися позволяет добиться комплексного представления ими профессионально значимых процессов и деятельности;

5) принцип двуплановости отражает процесс развития реальных личностных характеристик специалиста в «мнимых», игровых условиях. Разработчик ставит перед обучающимся двоякого рода цели, отражающие реальный и игровой контексты в учебной деятельности;

6) принцип проблемности содержания имитационной модели и процесса ее развертывания в игровой деятельности [5].

Характерные признаки деловой игры можно представить следующим перечнем [6]:

1. Моделирование процесса труда (деятельности) руководящих работников и специалистов предприятий и организаций по выработке управленческих решений.

2. Реализация процесса «цепочки решений». Поскольку в деловой игре моделируемая система рассматривается как динамическая, это приводит к тому, что игра не ограничивается решением одной задачи, а требует «цепочки решений». Решение, принимаемое участниками игры на первом этапе, воздействует на модель и изменяет ее исходное состояние. Изменение состояния поступает в игровой комплекс, и на основе полученной информации участники игры вырабатывают решение на втором этапе игры и т. д.

3. Распределение ролей между участниками игры.

4. Различие ролевых целей при выработке решений, которые способствуют возникновению противоречий между участниками, конфликта интересов.

5. Наличие управляемого эмоционального напряжения.

6. Взаимодействие участников, исполняющих те или иные роли.

7. Наличие общей игровой цели у всего игрового коллектива.

8. Коллективная выработка решений участниками игры.

9. Многоальтернативность решений.

10.Наличие системы индивидуального или группового оценивания деятельности участников игры.

В ходе изучения дисциплин «Химическая технология», «Современная химия и химическая безопасность» нами разработана и воплощена в жизнь деловая игра «Химическое расследование».

Студенты 5 курса, изучающие «Современную химию и химическую безопасность», готовят вопросы, задания, разрабатывают филфорд. Студенты, 3 и 4 курсов, изучающие «Химическую технологию», формируют 2 соревнующиеся команды. Предварительная подготовка к игре с их стороны не требуется.

Участникам игры предлагается выполнить задания различного уровня сложности, перемещаясь по цехам.

Цех 1 «Проверка знаний» (вопросы, филфорд).

Цех 2 «Аварийный инцидент. Оперативная диагностика». Моделируется аварийная ситуация. Команда получает записку от лаборанта, который обнаружил разлив неизвестного вещества, и данные из журналов учета. Необходимо идентифицировать вещество и выбрать правильный сорбент для его нейтрализации.

Цех 3 «Разбор полетов. Найди ошибку». Необходимо найти и объяснить все ошибки в описании действий лаборанта, занимавшегося ликвидацией последствий аварийной ситуации. Ошибки могут быть грубыми нарушениями техники безопасности, химическими неточностями или ложными утверждениями об утилизации.

Цех 4 «Технологический процесс». Команды получают описание одного из трех ключевых химико-технологических процессов: производство серной, азотной или фосфорной кислоты. Задача: внимательно изучить описание, составить технологическую схему и подготовить краткий, но содержательный доклад, описывающий данное производство.

Данный методико-педагогический прием позволяет организовать работу в команде, повторение пройденного материала, выполнить пропедевтические функции, так как последнее задание подразумевает рассмотрение еще неизученных вопросов.

Таким образом, деловая игра служит хорошим способом повышения интереса к изучаемым дисциплинам, развивает коммуникативные и профессиональные навыки.

Список литературы

1. Мурзаева А.К., Воробьев А.Е. Активные методы обучения студентов вузов // Устойчивое развитие науки и образования. — 2018. — № 7. — С. 287–294.
2. Бахметова Ю.Н., Егорова Е.Н. Интерактивные методы обучения студентов как часть практико-ориентированного подхода в образовании // Культурная жизнь Юга России. — 2014. — № 3. — С. 61–63.
3. Базарова, Н.Ю. Активные методы обучения в высшей школе / Н. Ю. Базарова. — М.: Академия, 2020. — 224 с.
4. Гордеев К.С., Жидков А.А., Караганова К.А., Закунова Е.Д., Анисимова А.Е. Понятие, сущность и преимущества учебных деловых игр // Современные научные исследования и инновации. — 2019. — № 10(102). — С. 18.
5. Вербицкий А. А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход: метод. пособие. - М.: Высш. шк., 1991. - 207 с.
6. Бельчиков Я. М., Бирштейн М. М. Деловые игры. - Рига: Авотс, 1989.

АТЛАС И ОНЛАЙН-ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ РАСТЕНИЙ И ЛИШАЙНИКОВ ПЛАНТАРИУМ КАК ЦИФРОВОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ РЕСУРС

Трофимова С.А., канд. биол. наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петрозаводский государственный университет»

Использование цифровых технологий получило широкое распространение во всех сферах жизни общества. В научных исследованиях, в частности, ботанических, применяют оцифровку гербарных образцов, создают базы данных, оперируют специализированными программными системами для обработки данных и т.д. Это позволяет не только эффективно работать с научной информацией, но и задействовать информационные источники в качестве образовательных ресурсов.

Обычно под цифровыми образовательными ресурсами понимают специально созданные для учебных целей электронные учебники, обучающие программы, видеоуроки и видеолекции, тренажёры, симуляторы и т.п. Но, наряду с ними, для обучения могут быть использованы разного рода информационные источники, разработанные для практического применения. Таким интернет-ресурсом, предназначенным как для специалистов, так и для широкого круга пользователей, является атлас видов и иллюстрированный онлайн-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран Плантариум [1].

Веб-сайт Плантариум был создан в 2008 г. как некоммерческий проект, открытый для свободного дополнения и внесения исправлений. С помощью набора ключевых признаков и коллекции фотографий пользователи сайта могут определять растения и лишайники, найденные на территории стран, ранее входивших в состав СССР. Плантариум также является иллюстрированным справочником, позволяющим на основе латинского или русского названия таксона найти по ссылкам существенную и полезную дополнительную информацию на других русскоязычных веб-ресурсах.

Сведения о растениях и лишайниках на веб-сайте отражены в следующих разделах:

- Все фотографии
- Неопределённые виды
- Неопознанные особи
- Галерея таксонов
- Каталог таксонов
- Красные книги.

Помимо ботанических сведений в Плантариуме приведены снимки ландшафтов и растительных сообществ, относящиеся к географическим точкам, определённым участниками проекта. Сами географические точки несут

информацию о месте фотосъёмки растений: административном и физико-географическом положении, географических координатах, описании местности.

По состоянию на январь 2025 г. определитель содержал 6179 таксонов, 685327 фотографий растений, 7886 географических точек и 52461 фотографию ландшафтов. Число активных участников проекта составляло 1731.

Плантариум включает наиболее полный список флоры России и сопредельных стран со множеством синонимов и устаревших видовых названий. Участники проекта обрабатывают информацию о видах, пополняют списки русских названий видов и их ключевых признаков, позволяющих определять растения. Списки принятых названий контролируют специалисты по отдельным таксономическим группам [2].

Наряду с другими источниками интернет-ресурс Плантариум служит для дополнения и уточнения списков флор регионов России [3] и ближнего зарубежья [4]. Исследователи подчёркивают существенное ускорение работы по автоматическому извлечению данных (фото, описаний) на основе онлайн-портала Plantarium.ru по сравнению со сбором информации вручную [5].

Сервисы атласа видов и онлайн-определителя Плантариум, позволяют не только определять растения по внешнему виду и осуществлять поиск таксонов, регионов и географических точек, но также могут служить образовательным инструментарием, позволяющим как расширить представления учащихся о флоре России и сопредельных стран, так и освоить основные методы научного познания.

Веб-сайт Плантариум может быть полезен, в первую очередь, для профессионального ботанического образования, поскольку позволяет самостоятельно определять растения на основе ряда морфологических признаков, находить информацию о видах, участвовать в обсуждении ботанических вопросов [6].

Что касается обоснования использования веб-сайта Плантариум в учебном процессе, то следует обратиться к комплексу стандартов «Информационно-коммуникационные технологии в образовании», в частности, к «ГОСТ Р 53620-2009 Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Электронные образовательные ресурсы» [7].

В соответствии с классификацией электронных образовательных ресурсов Плантариум можно отнести:

- по способу применения в образовательном процессе – к распределённым ресурсам, используемым в режиме удалённого доступа на основе Интернет-технологий;
- по целевому уровню и ступени образования – к профессиональным ресурсам, предназначенным для лиц, получающих среднее профессиональное, высшее профессиональное и послевузовское профессиональное образование;
- по форме обучения – к ресурсам, предназначенным как для очной, очно-заочной и заочной форм обучения, так и для экстерната, и самообразования;
- по тематике – ресурс естественнонаучной направленности;

- по целевой аудитории – для учащихся, преподавателей, методистов, научных работников и специалистов;
- по типу – учебный, справочный, иллюстративный и демонстрационный и научный материал;
- по целевому назначению – научный, научно-популярный, справочный;
- по функции, выполняемой в образовательном процессе – справочник, иллюстративный материал;
- по степени дидактического обеспечения – охватывает отдельные темы в дисциплине;
- по виду образовательной деятельности – обеспечивает лекционное сопровождение (слайды), сопровождение практических работ и самостоятельную работу;
- по характеру представления информации – программный и текстографический;
- по степени интерактивности – интерактивный (основан на выборе алгоритма взаимодействия);
- по степени соответствия государственным образовательным стандартам – не соответствует действующим государственным стандартам, так как предназначен, в первую очередь, для практического применения.

Таким образом, атлас и онлайн-определитель растений и лишайников Плантариум большей частью обладает признаками электронного образовательного ресурса и может быть с успехом использован в профессиональном обучении. Для эффективной организации образовательного процесса с использованием веб-сайта Плантариум необходима разработка систематизированных учебно-методических материалов и рекомендаций, учитывающих специфику интернет-ресурса.

Список литературы

1. Плантариум. Растения и лишайники России и сопредельных стран: открытый онлайн атлас и определитель растений. 2007–2026. [Электронный ресурс]. – URL: https:// www.plantarium.ru/ (дата обращения: 20.01.2026).

2. Новый список видов растений и лишайников России для программы Turboveg for Windows / А. П. Кораблев, Н. С. Ликсакова, Д. М. Мирин [и др.] // Растительность России. – 2020. – № 38. – С. 151-156.

3. Рыфф, Л. Э. Дополнения и уточнения к флоре сосудистых растений заказника "Аю-Даг" (Южный берег Крыма) / Л. Э. Рыфф, П. Е. Евсеенков, С. А. Свирин // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». – 2021. – № 12.

4. Бешко, Н. Ю. Использование онлайн-платформ Plantarium, inaturalist и GBIF в современных флористических исследованиях в Узбекистане / Н. Ю. Бешко // Ботаника и ботаники в меняющемся мире : Труды Международной научной конференции, посвященной 135-летию кафедры ботаники и 145-летию Томского государственного университета, Томск, 14–16 ноября 2023 года. –

Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2023. – С. 29-33.

5. Трошин, Д. С. Парсер онлайн-портала Plantarium.ru: новый подход к изучению растительного мира / Д. С. Трошин, М. С. Файзулин // Молодые исследователи - регионам : материалы Международной научной конференции, Вологда, 17 апреля 2023 года. – Вологда: Вологодский государственный университет, 2023. – С. 165-167.

6. Мирин, Д. М. Возможности использования интернет-ресурса "плантариум" (plantarium.ru) в профессиональном ботаническом образовании / Д. М. Мирин, Д. Г. Орешкин // Сибирский педагогический журнал. – 2013. – № 4. – С. 156-159.

7. ГОСТ Р 53620-2009 Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Электронные образовательные ресурсы. Общие положения / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://internet-law.ru/gosts/gost/50209/?ysclid=mkpv4xd3h736485183 (дата обращения 20.01.2026).

ОПТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРЩЕНИЙ БЕНТОНИТА ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Тухватуллина Г.Х., Каныгина О.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор, Поспелова Е.С., Юдин А.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Актуальность обусловлена потребностью развития экспресс-методов диагностики мезоструктурных превращений минеральных материалов, таких как бентонит, в процессе их термической модификации.

Цель работы заключалась в проведении комплексного исследования влияния термической обработки (500, 800, 1000 °C) 2 часа, на морфологию гранулированного бентонита с использованием методов колориметрии и фрактальной геометрии на основе анализа оптических фотографий. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1) получение микрофотографий образцов, в том числе в 3D;

2) выполнение колориметрического анализа, расчет интенсивностей по каналам RGB и коэффициентов отражения R_0 ;

3) освоение методики фрактального анализа в программе ImageJ с плагином FracLac и определение фрактальной размерности (Ф) и лакунарности (Λ) для каждого образца [9];

4) установление корреляции между температурой обработки, колориметрическими и фрактальными параметрами гранул.

Глины используют в производстве бумаги, красок, для буровых растворов, очистки нефтепродуктов и во многих других направлениях [1]. Глины являются высокоэффективными адсорбентами, которые обладают сложным химическим составом, структурой и свойствами, также они просты в применении и легкодоступны [2]. Применяются в различных отраслях промышленности: от производства керамики и строительных материалов до использования в качестве сорбентов и буровых растворов [3].

Все важнейшие физико-химические и технологические свойства глины (пластичность, набухание, усадка, спекаемость, огнеупорность, вспучивание, адсорбция) зависят от минерального, гранулометрического и химического состава [4, 5]. Традиционно для изучения этих превращений применяются рентгенофазовый анализ, электронная микроскопия и термический анализ, которые, однако, требуют сложного оборудования и значительных временных затрат. В связи с этим разработка экспресс-методов, основанных на анализе доступных оптических изображений, представляется актуальной задачей.

В данной работе мы фокусируемся на двух взаимодополняющих подходах цифровой обработки изображений: колориметрическом и фрактальном анализах. Колориметрия позволяет количественно оценивать изменение цвета материала, которое является прямым следствием химических

процессов: окисления катионов железа, удаления адсорбированной и кристаллизационной воды, карбонизации и спекания. Фрактальный анализ, в свою очередь, предоставляет математический аппарат для описания сложности и неоднородности геометрии поверхности, которые не поддаются оценке методами классической евклидовой геометрии. Основными параметрами здесь выступают фрактальная размерность (Ф), характеризующая степень заполнения пространства и сложность структуры, и лакунарность (Λ), описывающая неоднородность распределения массы или текстуры изображения.

Материалы и методы исследования: объектом исследования служил природный гранулированный бентонит. Образцы подвергались изотермическому обжигу в муфельной печи при температурах 500°С, 800°С и 1000°С в течение двух часов, после чего охлаждались на воздухе. Исходный образец использовался в качестве контроля.

Для получения цифровых изображений использовался оптический микроскоп, оснащенный цифровой камерой. Все образцы фотографировались в идентичных условиях: в режиме отражающего света, без поляризации, при одном и том же увеличении (рисунок 1). Предварительно была проведена калибровка оптической системы с использованием объект-микрометра, что позволило установить коэффициент увеличения, равный 26.

Колориметрический анализ выполнялся в программе ImageJ. На основе полученных данных рассчитывался усредненный коэффициент отражения R_0 по формуле 1[8]:

$$R_0 = \frac{\frac{1}{255}(R+G+B)}{3} \quad (1)$$

Фрактальный анализ проводился с использованием плагина FracLac для ImageJ [9].

Результаты и их обсуждение: визуально наблюдалось последовательное изменение цвета бентонита: от серо-коричневого у исходного образца к более светлым охристым тонам при 500°С, затем к интенсивному красно-коричневому цвету при 800°С и, наконец, к темно-коричневому цвету при 1000°С. При 500°С частицы дезагломерируются с выгоранием органики, сохраняя природный цвет. После обжига при 800°С размеры частиц несколько уменьшаются в результате фазовых переходов SiO_2 [6]. Количественные данные таблицы 1 подтвердили эти изменения.

Таблица 1 – Толщина образцов бентонита при термообработке

Образец бентонита	Бентонит исходный	Бентонит 500°С	Бентонит 800°С	Бентонит 1000°С
Толщина бентонита, мм	1,7-1,9	1,6-1,7	1,3-1,5	1,0-1,2
Толщина бентонита, отн. ед.	1	0,842	0,737	0,526

На рисунке 1 представлены микрофотографии бентонита.

а) бентонит б) бентонит 500°C в) бентонит 800°C г) бентонит 1000°C

Рисунок 1 – Изображение гранул бентонита в исходном состоянии (а) и после обжигов (б-г)

Результаты комплексного оптического анализа структурных изменений бентонита представлены на рисунках 2 и 3. Совместное рассмотрение этих данных позволяет выявить четкую взаимосвязь между цветовыми характеристиками, отражательной способностью и физической усадкой материала при термической обработке.

На рисунке 2 показаны изменения цветовых коэффициентов в зависимости от температуры обработки образцов бентонита.

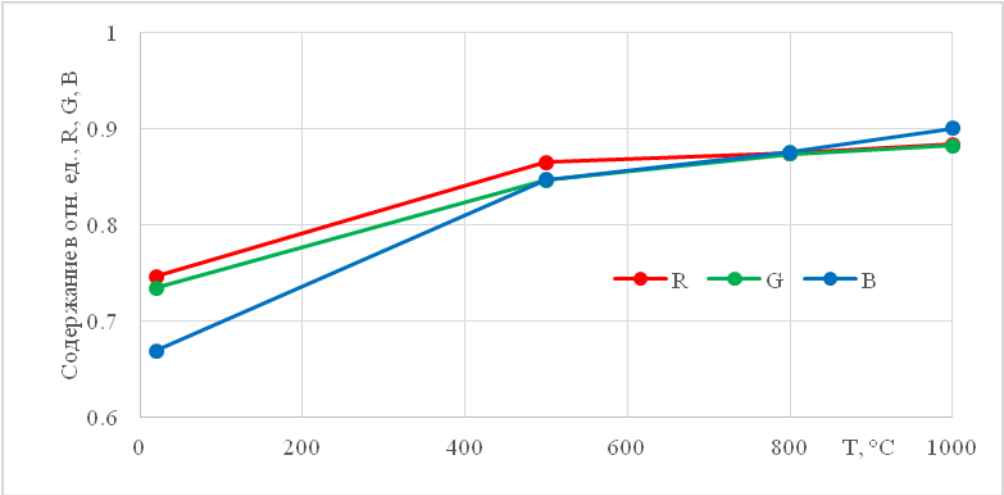


Рисунок 2 – Температурная зависимость цветовых коэффициентов образцов бентонита

Исходный образец характеризуется относительно низкой и сбалансированной интенсивностью по всем трём каналам, что соответствует его естественному серо-коричневому оттенку. При нагреве до 500°C наблюдается значительный рост интенсивности всех цветовых компонент, что визуально проявляется как осветление и переход к охристым тонам. Этот эффект связан с начальными процессами дегидратации и выгорания органических примесей.

Последующее повышение температуры до 800°C и 1000°C приводит к резкому и неравномерному увеличению интенсивности. Наиболее выражен рост красного (R) и, в меньшей степени, зеленого (G) каналов, в то время как

синий канал (B) возрастает не так значительно. Такое расхождение является прямым свидетельством химических превращений, в первую очередь — окисления ионов железа Fe^{2+} до Fe^{3+} с образованием гематита (Fe_2O_3), что и обуславливает характерное покраснение материала при высокотемпературном обжиге.

На рисунке 3 представлены совмещенные графики температурной зависимости коэффициента отражения R_0 и относительной усадки образцов.

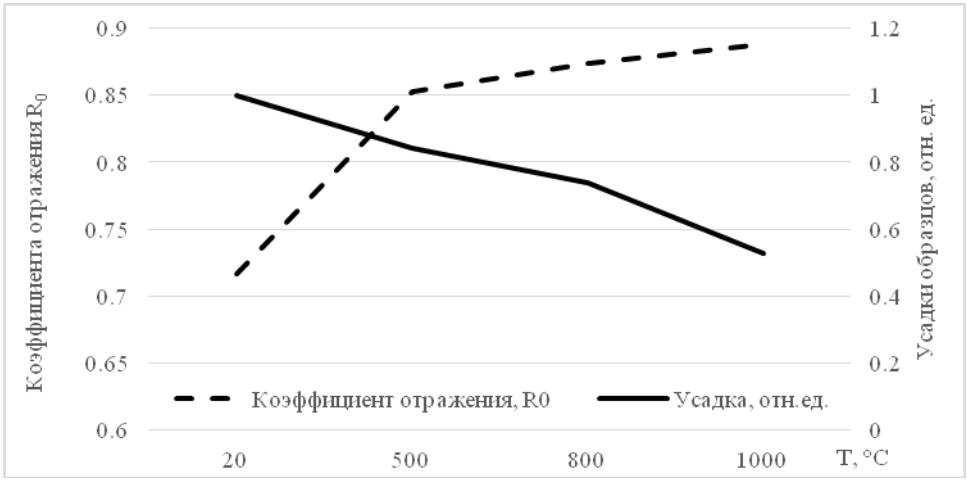


Рисунок 3 - Температурная зависимость коэффициента отражения R_0 и усадки образцов

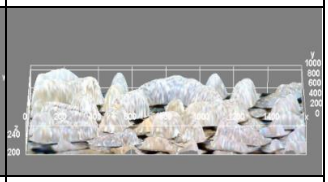
Значение R_0 монотонно возрастало с увеличением температуры обработки. Осветление при 500°C-800°C связано в первую очередь с дегидратацией и окислением двухвалентного железа Fe^{2+} до трехвалентного Fe^{3+}, что характерно для минералов группы смектита. Несмотря на визуальное потемнение при 1000°C, R_0 достиг максимума (0,888), что, вероятно, объясняется формированием стекловидной фазы и спеканием, приводящими к изменению характера светорассеяния — поверхность становится более зеркальной и отражающей.

График усадки демонстрирует обратную тенденцию. Относительная толщина образцов плавно уменьшается от 1,0 (исходное состояние) до 0,526 при 1000°C. Наиболее интенсивное уплотнение наблюдается в интервале 800°C –1000°C, что коррелирует с активными процессами спекания, рекристаллизации и закрытием пор. Совместный анализ графиков на рисунке 3 показывает, что максимальному коэффициенту отражения (оптическому осветлению/покраснению) соответствует и максимальная степень усадки (физического уплотнения), что подтверждает глубинную взаимосвязь между оптическими и структурно-механическими изменениями материала при термообработке.

Параметры фрактальной размерности и лакунарности продемонстрировали сложную, нелинейную зависимость в результате термообработки.

В таблице 2 приведены изображения образцов в формате 3D, их фрактальная размерность и лакунарность.

Таблица 2 – Фрактальная размерность (Ф) и лакунарность (Λ) 3D - изображений

Исходный	Обжиг 500°С	Обжиг 800°С	Обжиг 1000°С
			
Ф=1,6386±0,0373	Ф=1,5639±0,0493	Ф=1,6131±0,0376	Ф=1,6579±0,0410
Λср=0,4895±0,0608	Λср=0,9285±0,0874	Λср=0,5625±0,0700	Λср=0,5431±0,0693

Полученные данные хорошо согласуются с классическими представлениями о термической деструкции бентонитов [3]. Нагрев до 500С привел к заметному снижению фрактальной размерности (с 1,6386 до 1,5639). Что соответствует стадии активной дегидратации и выгоранию органической составляющей. Удаление межслоевой и адсорбционной воды, а также начало дегидроксилирования. Лакунарность резко возросла до максимального значения 0,9285. Высокая Λ отражает значительную неоднородность и разупорядоченность структуры на этой переходной стадии.

При нагреве до 800С и, особенно, до 1000С наблюдается рост фрактальной размерности, превышающий исходный уровень (до 1,658). Это свидетельствует об усложнении морфологии, образование более развитой поверхности. На этих стадиях происходят необратимые процессы: полное дегидроксилирование с разрушением кристаллической решетки монтмориллонита (800°С), а затем спекание и рекристаллизация с образованием новых фаз, таких как кристобалит и муллит (1000°С) [4]. Эти процессы сопровождаются образованием пор, микротрещин и сложной пористой структуры, что и фиксируется увеличением Ф. Лакунарность при этом снижается (до 0,5431 при 1000°С), что говорит об уплотнении материала и выравнивании его структуры в ходе спекания, несмотря на общее усложнение геометрии.

Полученные данные наглядно демонстрируют, что колориметрический и фрактальный анализы фиксируют разные, но взаимосвязанные аспекты структурных превращений. Колориметрия (параметр R_0) эффективно отслеживает макроскопические химические изменения (окисление, карбонизацию), в то время как фрактальный анализ (параметры Ф и Λ) чувствителен к микроскопическим изменениям геометрии поверхности. Например, стадия дегидратации при 500°С характеризуется значительным осветлением (рост R_0), упрощением формы поверхности гранул (падение Ф) и максимальной неоднородностью (пик Λ). Стадия высокотемпературного

спекания (1000°C) сопровождается максимальным светоотражением (максимум R_0), формированием сложной пористой структуры (максимум Ф) и ее относительным упорядочением (снижение Λ).

Проведенное комплексное исследование подтвердило высокую эффективность применения методов колориметрического и фрактального анализов цифровых микрофотографий для диагностики структурных превращений бентонита при термической обработке. Экспериментально установлены четкие количественные закономерности влияния температуры на ключевые параметры материала. Показано, что коэффициент отражения R_0 монотонно возрастает от 0,716 до 0,888, отражая последовательное изменение оптических свойств вследствие дегидратации, окисления железа, процессов спекания и образования стеклофазы. Фрактальный анализ выявил нелинейный характер изменения микроструктуры: на стадии дегидратации (500°C) наблюдается упрощение морфологии поверхности при максимальной неоднородности, тогда как на стадиях дегидроксилирования и спекания (800°C–1000°C) происходит формирование сложной пористой структуры с одновременным уплотнением и выравниванием материала. Доказана взаимодополняемость используемых методов: колориметрия эффективно фиксирует макроскопические химические превращения, а фрактальный анализ — микроскопические изменения геометрии поверхности. Полученные результаты не только вносят вклад в понимание структурного изменения бентонита при нагреве, но и демонстрируют практическую значимость разработанного подхода в качестве быстрого, доступного и информативного инструмента для экспресс-анализа и контроля состояния дисперсных материалов в научных исследованиях, учебном процессе и технологической практике.

Список литературы

1. Кушнарева, О. П. Ионообменные свойства природной монтмориллонит содержащей глины Оренбургской области [Электронный ресурс] / Кушнарева О. П., Каныгина О. Н. // Вестник Оренбургского государственного университета,2017. - № 9 (209). - С. 23-26. - 4 с.

2. Анюхина, А.В. Преобразование адсорбционных свойств бентонитовых глин путем комплексного техногенного воздействия [Электронный ресурс] / А.В. Анюхина, В.В. Середин, А.А. Миронова // Геология. – 2021. – Т. 20, № 4. – С. 326–332.

3. Каныгина, О.Н. К вопросу о сорбционной очистке воды монтмориллонит содержащей глиной / О.Н. Каныгина, А.Г. Четверикова, А.Д. Стрекаловская, О.В. Варламова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2014. – № 9 (170). – С. 160–163.

4. Каныгина, О.Н. Высокотемпературные фазовые превращения в железосодержащих глинах Оренбуржья / О.Н. Каныгина, А.Г. Четверикова, Д.А. Лазарев [и др.] // Вестник ОГУ. - 2010. - № 6 (112). – С. 113 – 117

5. Каныгина, О.Н. Дисперсионный анализ монтмориллонитосодержащей глины Оренбуржья / О.Н. Каныгина, О.С. Кравцова, И.Н. Анисина [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 12 (131). – С. 393–395.

6. Каныгина, О.Н., Монтмориллонит содержащая глина Оренбуржья как сырье для функциональных материалов /О.Н. Каныгина, И.Н. Анисина, А.Г. Четверикова, Е.В. Сальникова // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – №10 (159). – С. 315–318.

7. Горюшкин, В.В. Технологические свойства бентонитов палеоцена Воронежской антеклизы и возможности их изменения / В.В. Горюшкин // Вестник Воронежского университета. Серия: Геология. – 2005. – № 1. – С. 166–176.

8. Каныгина, О. Н. Физические методы исследования [Электронный ресурс] : электронный учебный курс в системе Moodle / О. Н. Каныгина, А. А. Юдин; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург : ОГУ, 2021. - 4 с- Загл. с тит. экрана.

9. Программный модуль FracLac 2.5 [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://rsb.info.nih.gov/ij/plugins/ fraclac/FLHelp/Introduction.htm (дата обращения: 20.11.2022).

ВИДОСПЕЦИФИЧНЫЕ РЕАКЦИИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКОГО АППАРАТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ЗАЩИТНОЙ ЛЕСОПОЛОСЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Федосеева В. Р., Хардикова С. В., канд. биол. наук
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Увеличение грузопотоков по железным дорогам приводит к комплексному загрязнению прилегающих экосистем. Наряду с механическим воздействием (вибрация, запыление) основную опасность представляют химические поллютанты: продукты сгорания дизельного топлива, абразивный износ металлических частей подвижного состава и инфраструктуры, а также миграция токсичных веществ (тяжелых металлов, полициклических ароматических углеводородов) из пропитанных шпал и перевозимых грузов [1]. Эти вещества накапливаются в почвах и включаются в биологический круговорот, оказывая прямое и косвенное воздействие на растения защитных придорожных насаждений.

Фотосинтетический аппарат является одной из наиболее чувствительных мишеней для действия абиотических стрессоров, включая химическое загрязнение [2]. Состояние пигментного комплекса, в частности содержание и соотношение хлорофиллов a, b и каротиноидов, служит интегральным биохимическим маркером физиологического статуса растения. Под влиянием стрессовых факторов могут наблюдаться разнонаправленные изменения: снижение содержания пигментов вследствие разрушения хлоропластов и ингибирования синтеза или, напротив, их увеличение как компенсаторная реакция для поддержания фотосинтетической продуктивности в неблагоприятных условиях [3]. Каротиноиды, выполняя роль антиоксидантов и фотопротекторов, часто накапливаются в ответ на развитие окислительного стресса, индуцируемого поллютантами [4].

Однако реакция пигментного комплекса на техногенное воздействие может существенно различаться у разных видов растений в зависимости от их эколого-биологических особенностей, стратегии жизненной формы и уровня устойчивости. Изучение таких видоспецифичных реакций является актуальной задачей биоиндикации и фиторемедиации.

Цель работы – оценить влияние железнодорожного транспорта на количественное содержание фотосинтетических пигментов в листьях древесных пород защитной лесополосы.

Материалы и методы

Район исследований включает в себя участок южноуральской железной дороги близ поселка Первомайский, Оренбургской области. Защитная лесополоса расположена вдоль полотна активно эксплуатируемой железнодорожной ветки в 10-15 м от путей.

В качестве контроль были отобраны листья с удаленного от железной дороги участка незатронутого антропогенной деятельностью.

В качестве объектов исследования были отобраны физиологически зрелые, неповрежденные листья древесных пород придорожной лесополосы – тополя черного (*Populus nigra* L.) и клена ясенелистного (*Acer negundo* L.). Отбор проб проводили с 10 модельных деревьев каждого вида, в утренние часы, в сухую погоду.

Методика определения фотосинтетических пигментов. Содержание хлорофиллов a, b и каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом согласно «Методическим указаниям по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства» [5] с адаптацией для растительных пигментов.

Из средней пробы листьев брали навеску 0.1 г сырой массы. Растительный материал гомогенизировали без добавления стабилизирующих агентов и экстрагировали 10 мл 100% ацетона при комнатной температуре на свету. Оптическую плотность (D) полученного экстракта измеряли на спектрофотометре КФК-3 при длинах волн 662, 645 и 470 нм против ацетона в качестве контрольной кюветы.

Результаты и их обсуждение

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях исследуемых видов достоверно различалось как между видами, так и между точками отбора (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Acer negundo* и *Populus nigra* (мг/г сырой массы)

Вид	Участок	Хлорофилл a	Хлорофилл b	Сумма хлорофиллов	Каротиноиды	Соотношение a/b
Acer Negundo	контроль	2,00	0,125	2,125	0,69	16,00
	ж/д	2,76	0,175	2,935	0,784	15,77
Populus nigra	контроль	0,29	0,264	0,554	0,30	1,10
	ж/д	3,62	0,416	4,036	1,05	8,70

У *Acer negundo* в условиях железной дороги содержание хлорофилла a достоверно увеличилось на 38%, хлорофилла b – на 40%, каротиноидов – на 14%. Соотношение хлорофиллов a/b осталось практически стабильным (16.00 в контроле против 15.77). У *Populus nigra* реакция была более выраженной: содержание хлорофилла a возросло в 12.5 раз, хлорофилла b – в 1.6 раза, каротиноидов – в 3.5 раза. Это сопровождалось значимым изменением соотношения a/b с 1.10 до 8.70.

Полученные результаты согласуются с концепцией гормезиса, согласно которой умеренный стрессовый фактор может оказывать стимулирующее действие на физиологические процессы [6]. Рост содержания пигментов у обоих видов может быть связан с комплексным воздействием факторов

придорожной полосы. С одной стороны, пылевые выпадения, содержащие микроэлементы (Fe, Mn, Mg), могут выступать в роли дополнительного минерального питания, необходимого для синтеза хлорофилла [3]. С другой стороны, активация синтеза пигментов может являться компенсаторной реакцией фотосинтетического аппарата на частичное угнетение его активности под действием токсикантов.

Ключевым выводом является выявление двух различных адаптивных стратегий:

1. Стратегия толерантности *Acer negundo* – сбалансированное увеличение всех пигментов при сохранении стабильного соотношения a/b свидетельствует об усилении существующего фотосинтетического аппарата без его качественной перестройки. Это отражает консервативную стратегию устойчивости, характерную для данного интродуцента, известного своей высокой экологической пластичностью.

2. Стратегия активной компенсации *Populus nigra* – качественная перестройка пигментного комплекса (резкий рост хлорофилла a и значимое увеличение соотношения a/b) указывает на глубокую адаптивную перестройку фотосистем. Низкие исходные значения пигментов на контрольном участке и их взрывной рост в условиях стресса могут свидетельствовать о высокой фенотипической пластичности тополя черного и его способности к быстрой компенсации потенциального ущерба для фотосинтетической функции.

Повышение содержания каротиноидов, особенно выраженное у *Populus nigra*, является прямым биохимическим маркером развития окислительного стресса, поскольку эти пигменты выполняют ключевую роль в нейтрализации активных форм кислорода и защите фотосинтетических мембран [4].

Заключение

1. Условия защитной лесополосы железной дороги близ пос. Первомайский оказывают стимулирующее воздействие на синтез фотосинтетических пигментов у *Acer negundo* и *Populus. nigra*.

2. Реакция видов носит принципиально различный характер: *Acer negundo* демонстрирует стратегию консервативной толерантности, *Populus nigra* – стратегию активной компенсаторной перестройки фотосинтетического аппарата.

3. *Populus nigra* проявляет себя как более чувствительный биоиндикатор техногенного стресса благодаря выраженным и многокомпонентным изменениям пигментного комплекса, отражающим его высокую фенотипическую пластичность.

Список литературы

1. Казанцев, И. В. Влияние железнодорожного транспорта на загрязнение и состояние почв / И. В. Казанцев. – Москва : Символ науки, 2016. – С. 76–79.

2. Горышина, Т. К. Экология растений / Т. К. Горышкина // – Вестн. СПбГУ, 2010. – 368 с.

3. Taulavuori, K., et al. Stress responses of carotenoids and chlorophylls in plants / K. Taulavuori // Carotenoids: Properties, Effects and Diseases. – Nova Science Publishers, 2011. – P. 169-188

4. Гильденскиольд, Р. С., Новицкая, Ю. Е. Каротиноиды: разнообразие, биосинтез и функции в растительной клетке : в 6 ч. / Р. С. Гильденскиольд, Ю. Е. Новицкая. – Москва : Вестн. МГУ, 2020. – Ч. 6 : Физиология растений. – С. 83–98

5. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / Всерос. науч.-исслед. ин-т удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. – Москва : ЦИНАО, 1992. – 62 с.

6. Agathokleous E., et al. Hormesis: A compelling platform for sophisticated plant science / E. Agathokleous // Trends in Plant Science. – 2019. – Vol. 24 (4). – P. 318–327

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОДА ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В СИСТЕМАХ ИОД-ВОДА-КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ

Шляхов А.А., Пономарева П.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В данной работе показаны результаты изучения равновесных и термодинамических характеристик процесса экстракции молекулярного иода из водных растворов с использованием экстрагента полидиметилсилоксана-200 (ПМС-200). Эксперимент позволил определить энтальпию, энтропию и энергию Гиббса. Результаты измерений показали, что процесс протекает самопроизвольно, и чем выше температура системы, тем больше коэффициент распределения D. Экстрагент показал высокую эффективность, сопоставимую с традиционными органическими растворителями, в процессах экстракции.

Иод играет важную роль в фармацевтической и электронной промышленности. Его добыча обычно осуществляется из сложных по составу подземных вод нефтегазовых месторождений. Уже на протяжении многих лет экстракция с помощью органических растворителей остаётся одним из наиболее эффективных методов отделения, благодаря своей избирательности. Для этого чаще всего применяют различные углеводороды, такие как бензол или толуол. Однако в настоящее время ведётся активный поиск новых решений, которые могли бы обеспечить одновременную эффективность и безопасность процесса. Полидиметилсилоксан смог хорошо зарекомендовать себя в ходе проделанного эксперимента. Он стабилен при различных температурах, малотоксичен, обладает умеренной вязкостью и отлично взаимодействуют с иодом.

Эффективность экстракции ПМС-200 можно оценить с помощью коэффициента распределения (D), который показывает равновесное соотношение:

$$D = \frac{C_{\text{орг}}^{\text{равн}}}{C_{\text{водн}}^{\text{равн}}} \quad (1)$$

Все экспериментальные данные согласуются с уравнением Нернста, что подтверждает применимость этого закона для описания наблюдаемых процессов.

Полученные зависимости имеют линейный характер, что указывает на отсутствие нелинейных взаимодействий в системе. В исследуемой среде молекулы взаимодействуют между собой без участия сложных комплексов, что упрощает анализ и интерпретацию результатов.

Если сравнивать значения коэффициентов распределения при трех разных температурах (от 3 до 20 °С), то сам процесс стабильно работает лучше при более высоких температурах – явное подтверждение эндотермического характера процессов, который наглядно изображен на графике ниже (рисунок 1).

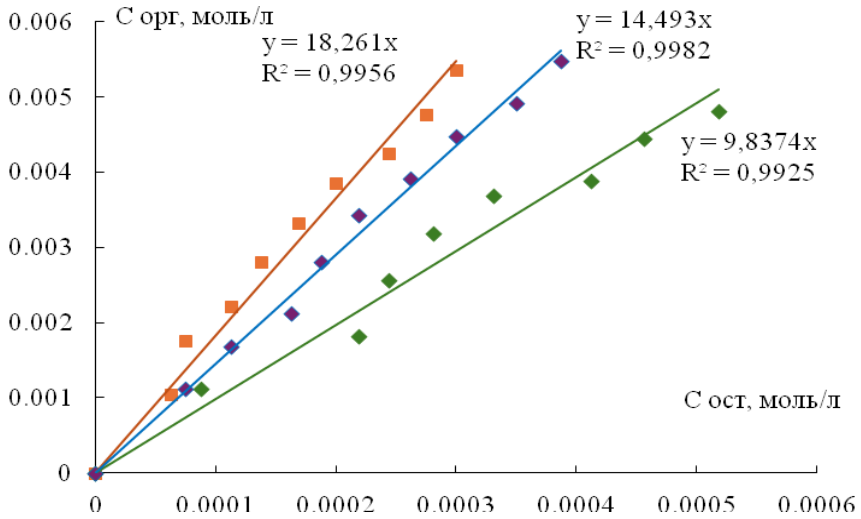


Рисунок 1 – График зависимости изотерм при заданных температурах Т=18-20 °С, Т=10-12 °С, Т=3-5 °С.

Для анализа термодинамических характеристик системы, основанного на распределении вещества между фазами, используется график зависимости логарифма коэффициента распределения (ln D) от обратной температуры (1/Т) (рисунок 2). Этот подход позволяет определить ключевые термодинамические параметры:

1. Энтальпию (ΔH): изменение тепловой энергии системы при распределении.
2. Энтропию (ΔS): изменение степени беспорядка или случайности в системе.
3. Энергию Гиббса (ΔG): изменение свободной энергии, определяющее направление и степень протекания процесса.

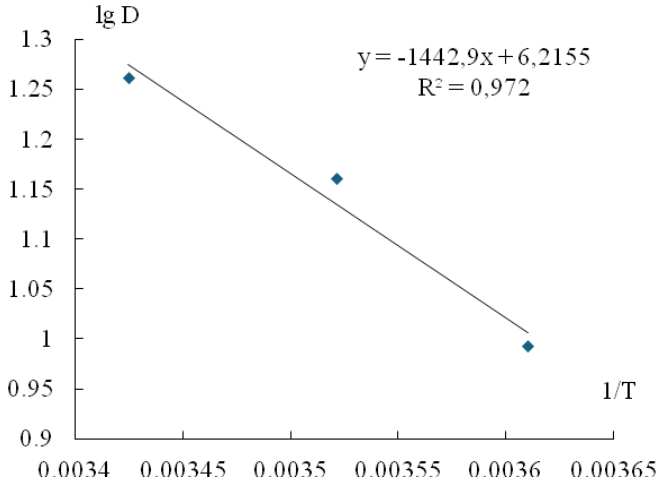


Рисунок 2 – График зависимости lgD от 1/T.

Обработка экспериментальных данных позволила определить термодинамические параметры процесса экстракции (таблица 1).

Таблица 1 – Полученные термодинамические параметры процессов экстракции.

№	Δ H граф.Дж/моль	Δ S граф.,Дж/моль*К	Δ G граф., Дж/моль
1	27631,535	119,026825	-6172,0712
2	27734,91	119,026825	-6068,7083

В данном процессе изменение энтальпии (ΔH°) имеет положительное значение, что свидетельствует о поглощении системой тепловой энергии из окружающей среды. Изменение энтропии (ΔS) также положительно, что указывает на увеличение беспорядка в системе в результате протекания реакции. Энергия Гиббса (ΔG°) для данного процесса отрицательна во всем диапазоне температур. С ростом температуры влияние положительного изменения энтропии (ΔS) усиливается, что дополнительно способствует «отрицательности» ΔG°, тем самым делая процесс более термодинамически выгодным.

Таким образом эксперимент показал, что ПМС-200 – эффективный экстрагент, он отлично взаимодействует с неполярными соединениями, такими как иод. Это подтверждает его соответствие законам распределения.

Приведенными данными можно воспользоваться для проектирования крупных промышленных схем по извлечению неполярных галогеновых элементов с минимальными потерями эффективности.

Список литературы

1. Бурмистрова, О.А. Практикум по физической химии: учебное пособие для вузов / О.А. Бурмистрова, М.Х. Карапетьянц, Г.С. Каретников [и др.]; под ред. С.В. Горбачева. – Москва: Высшая школа, 1974. – 496 с.

2. Зеликман, А.Н. Теория гидрометаллургических процессов: учебник / А.Н. Зелякман, Г.М. Вольдман, Л.В. Беляевская. – Москва: Металлургия, 1983. – 424 с.
3. Бургер, К. Органические реагенты в неорганическом анализе / К. Бургер; пер. с англ.; под ред. Т.Т. Орловской. – Москва: Мир, 1975. - 320 с.
4. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон. – М. : Мир, 1979. – 568 с.
5. Мархол, М. Ионообменники в аналитической химии: в 2 ч. Ч. 1 / М. Марход; пер. с англ. – Москва: Мир, 1985. – 264 с.
6. Мархол, М. Ионообменники в аналитической химии: в 2 ч. Ч. 2 / М. Мархол; пер. с англ. – Москва: Мир, 1985. – 280 с.
7. Кулиев, А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам / А.М. Кулиев. - Ленинград: Химия, 1985. – 312 с.
8. Фрити, Дж. Ионная хроматография / Дж. Фрити, Д. Гьерде, К. Поланд; пер. с англ. – Москва: Мир, 1984. – 224 с.
9. Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии / Н.И. Гельперин. – М. : Химия, 1981. – 812 с.
10. Кельцев, Н.В. Основы адсорбционной техники / Н.В. Кельцев. – М.: Химия, 1984. – 592 с.
11. Кинетика и механизм химических реакций / под ред. В.И. Ягодовского. – М. : Наука, 1995. – 432 с.
12. Кутепов, А.М. Химическая кинетика и катализ / А.М. Кутепов, В.В. Сысоев. – М. : Академкнига, 2004. – 488 с.
13. Лейдлер, К. Физическая химия / К. Лейдлер. – М.: Мир, 1980 – 620 с.
14. Полторак, О.М. Термодинамика в физической химии / О.М. Полторак. – М. : Высшая школа, 1991. – 320 с.
15. Смирнов, А.Д. Сорбционная очистка воды / А.Д. Смирнов. – Л. : Химия, 1982. – 256 с.
16. Эмануэль, Н.М. Курс химической кинетики / Н.М. Эмануэль, Д.Г. Кнорре. – М. : Высшая школа, 1984. – 463 с.
17. Ягодовский, В.И. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1993. – 400 с.

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ДЕКОРАТИВНО-ЗАЩИТНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ СЕЛИТЕБНОЙ ЗОНЫ

Щебланова М.А., канд. биол. наук, Маркова П.В.
Бузулукский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ

В современном мире автомобильный парк, дорожно-транспортная инфраструктура имеют важнейшее значение для социально-экономического развития регионов. Развитие транспортной инфраструктуры на фоне растущей автомобилизации обеспечивает не только экономическую привлекательность, но и является важнейшим фактором глобализации процессов урбанизации. При всем при этом вопросы экологической безопасности урбаносреды дополняются проблемами не только сохранения окружающей среды, но и ее оздоровления [1, 2].

Возникает необходимость грамотного планирования функциональных территорий города, где возможно формирование условий, благотворно или минимально влияющих как на состояние человека, так и на жизнедеятельность зеленых насаждений [3].

В таких условиях отдельное внимание стоит обратить на селитебные зоны, где быстрый рост численности автомобилей сопровождается повышением интенсивности автомобильной нагрузки и не всегда становится возможно обеспечить реорганизацию транспортного потока и должное декоративно-защитное озеленение. Зачастую насаждения декоративно-защитного озеленения в таких условиях находятся в достаточно угнетенном состоянии, не позволяющем в полной мере осуществлять необходимые для среды функции. Основным лимитирующим фактором в данном случае выступают загрязняющие компоненты смеси отработавших газов. Не маловажное значение также имеет и обслуживание дорожного полотна, сопровождающееся применением антигололедных реагентов, а также сточные воды, содержащие значительное количество взвешенных веществ, продуктов износа шин, нефтепродукты [2, 3].

На базе лаборатории физиологии растений, человека и животных Бузулукского гуманитарно-технологического института (филиала) ОГУ были проведены мониторинговые работы по оценке насаждений декоративно-защитного озеленения селитебной зоны города Бузулука. Участок проведения исследований располагался вдоль проспекта Соборный (рисунок 1).

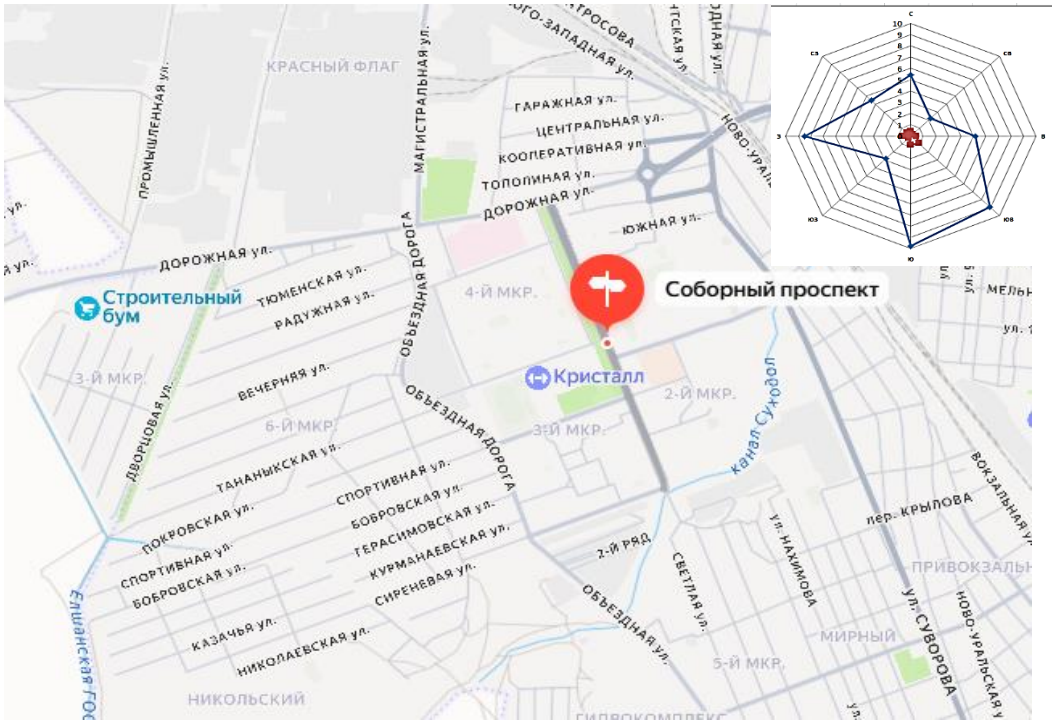


Рисунок 1 – Участок проведения исследований

Формируемое декоративно-защитное озеленение располагается вдоль четырехполосной автомобильной дороги, характеризующейся достаточно интенсивным автомобильным движением. Следует отметить также наличие плотной пятиэтажной застройки с восточной стороны от дороги. Озеленение территории изрежено и организовано преимущественно с западной стороны проспекта. Причем интенсивность озеленения снижается с севера на юг. Озеленение восточной стороны проспекта обеспечивается единичными посадками. Среди древесных насаждений отмечается присутствие аборигенных видов и интродуцентов. Наиболее используемыми видами насаждений являются следующие: *Betula pendula*, *Picea abies*, *Acer platanoides*. Отмечаются единичные посадки *Juniperus communis* и *Aesculus hippocastanum*. Доля данных насаждений незначительна и их произрастание на участке крайне неравномерно, что не позволяет достоверно оценить их устойчивость для данного декоративно-защитного озеленения.

Оценка интенсивности автомобильного движения на участке свидетельствует о ее возрастании в период с 2021 по 2025 гг. Отмечается преобладание легкового типа транспорта, интенсивность которого за пять лет возросла с 78 до 139 ед. Помимо этого для данного участка организовано движение грузового транспорта. Высока доля микроавтобусов. Такое активное движение транспорта способствует неизбежному значительному выбросу примеси отработавших газов, нагреву двигателя внутреннего сгорания, происходит выкипание антифриза, в том числе, может происходить утечка горючесмазочных материалов.

Мониторинг зеленых насаждений позволил оценить степень устойчивости видов на данном участке селитебной зоны. Для данных работ

были использованы по пять образцов видов *Betula pendula*, *Picea abies*, *Acer platanoides*, произрастающих на одинаковом расстоянии от автодороги, примерно одного возраста.

Рядовые посадки *Betula pendula* (возраст 28 – 31 год) характеризуются серой, отмирающей корой. Отмечается для всех изучаемых образцов наличие поломанных ветвей и стволов, изрежение скелетной части кроны для образцов возраста 29 – 31 год. Образец возрастом 28 лет характеризовался слабо развитой кроной. При детальном изучении отмечено присутствие насекомых – вредителей. В целом состояние изученных растений можно охарактеризовать неудовлетворительным.

Групповые посадки *Acer platanoides* (возраст 32 – 34 года) характеризуются относительной устойчивостью к условиям произрастания. Однако следует отметить повреждения коры, для отдельных образцов отмечается изрежение скелетной части кроны в верхней ее части. В целом, жизненное состояние изученных образцов может быть оценено как удовлетворительное и хорошее для 75 % и 25 % изученных насаждений соответственно.

Для групповых посадок *Picea abies* возрастом 36 – 41 год характерно значительное пожелтение и некроз хвои, отмечается массовость хлорозов. Крона растений неправильная, деформирована, с характерным изрежением. Работы по оценке состояния насаждений указывают на удовлетворительное состояние 60 % изученных образцов, 20 % образцов находятся неудовлетворительном состоянии. Из всех изученных образцов лишь 20 % обладают признаками хорошего жизненного состояния.

Полученные результаты указывают на необходимость тщательного подбора видового ассортимента для декоративно-защитного озеленения подобных территорий. Данный подбор должен сопровождаться не только анализом интенсивности нагрузки, но и учетом местных региональных природно-климатических факторов. Такой подход позволит обеспечить формирование устойчивого декоративно-защитного озеленения селитебной зоны, способного выполнять в полной мере возложенные на него функции на протяжении продолжительного периода.

Список литературы

1 Экологические аспекты автомобильного транспорта / В. А. Щетина, В. Б. Беляев, С. В. Архипов. - Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1990. – 201 с. – ISBN 5-7470-0118-3.

2 Павлова, Е. И. Экология транспорта : учебник и практикум для вузов / Е. И. Павлова, В. К. Новиков. — 7-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 416 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-16734-4.

3 Балакин, В.В. Формирование средозащитных объектов озеленения в градоэкологических системах / В.В. Балакин, В.Ф. Сидоренко, М.Ю. Слесарев, А.В. Антюфеев // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14., Вып. 8. – С. 1004–1022.

ПРОТОЧНО-ИНЖЕКЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИОНОВ ЦЕРИЯ (III) С ПИРОГАЛЛОВЫМ КРАСНЫМ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Щенникова А.В., Юдин А.А.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Интерес к химическим свойствам редкоземельных элементов (РЗЭ) обусловлен их обширным использованием в промышленности. Повышение уровня аналитического контроля, включая внедрение современных инструментальных методов, является необходимым условием для успешного развития отечественной редкоземельной отрасли. Именно поэтому в настоящее время стоит вопрос разработки достаточно простых и экспрессных методов определения РЗЭ, а также применение для этих целей относительно недорогих аналитических устройств [1].

Проточно-инжекционный анализ (ПИА) – это разновидность химического анализа, в основе которого лежит принцип формирования аналитического сигнала в неравновесных гидродинамических условиях. Достоинствами ПИА являются:

– малый расход реагентов;

– высокая воспроизводимость результатов анализа;

– большая производительность по числу анализов;

– осуществление анализа в закрытой в техническом смысле системе, что обеспечивает возможность анализа химически неустойчивых веществ, а также исключает контакт с вредными химическими реагентами. [2]

Перспективным подходом в спектрофотометрическом определении РЗЭ является использование водорастворимых органических реагентов, например, красителей трифенилметанового ряда, связывающих металлы при помощи атома кислорода или азота и кислорода. К числу наиболее известных представителей этого класса относятся метиловый фиолетовый, кристаллический фиолетовый, малахитовый зелёный, эриохромцианин R, ксиленоловый оранжевый, пирогалловый красный и метилтимоловый синий. Данные соединения традиционно применяются в спектрофотометрии, комплексонометрии и индикаторных методах анализа, а также находят применение в электроаналитических и флуоресцентных методах [3].

Используемый в работе метод ПИА базируется на принципе введения дискретного объема пробы в непрерывный ламинарный поток носителя. Перемещение потоков жидкостей по шлангам системы обеспечивается перистальтическим насосом, а введение пробы осуществляется через инжекционный клапан. Поток носителя с введенной в него пробой впоследствии смешивается с потоком реагента, в результате чего образуется окрашенное комплексное соединение. Изменение оптической плотности

раствора непрерывно регистрируется прибором, а аналитический сигнал после прохождения пробы через проточную кювету имеет форму пика. [3, 4]

Принципиальная схема установки для проточно-инжекционного анализа представлена на рисунке 1.

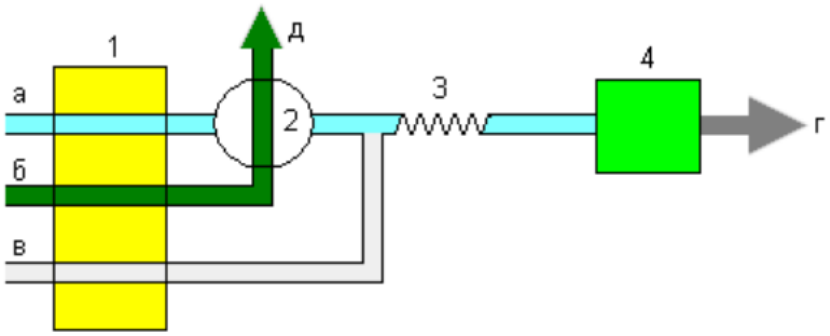


Рисунок 1 – Принципиальная схема ПИА

На схеме цифрой 1 обозначен перистальтический насос, 2 – инжекционный клапан для введения пробы, 3 – смесительная спираль, 4 – детектор. Поток а – носитель, б – проба, в – реагент, г и д – сброс смешанного раствора носителя и пробы [1].

Для анализа использовали раствор пирогаллового красного с концентрацией $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л, ацетатный буферный раствор с pH=5,8 и исходный раствор с концентрацией ионов Ce^{3+} $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Рабочие растворы, содержащие ионы церия, использовали для приготовления серии растворов методом разбавления. Использование в работе ацетатного буферного раствора обусловлено подбором оптимального значения pH, ввиду проявления кислотно-основных свойств пирогаллового красного. Предварительно был снят спектр поглощения раствора комплексного соединения церия (III) и пирогаллового красного, максимум поглощения обнаружен при длине волны 610 нм. В работе использовали спектрофотометр СФ-2000, проточную кювету с длиной оптического пути 1 см.

На рисунке 2 изображены зависимости дисперсий зон рабочих растворов в момент их введения в поток.

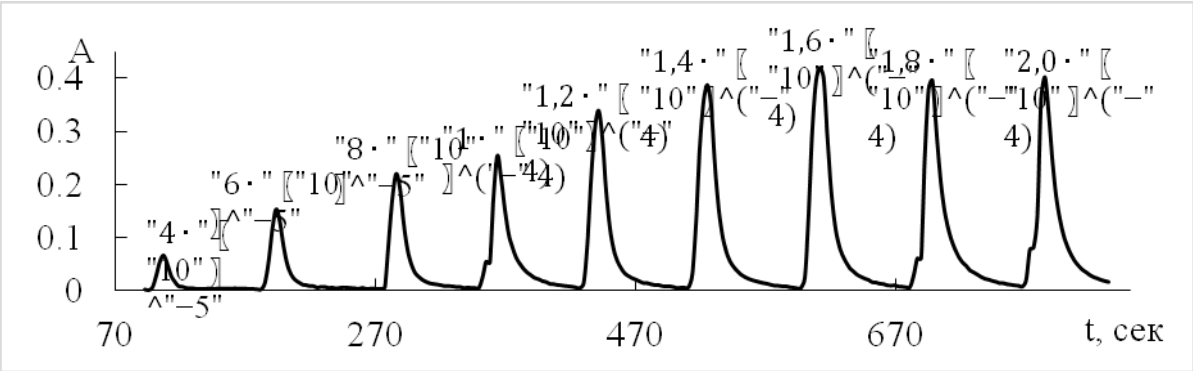


Рисунок 2 – Зависимости дисперсий зон рабочих растворов в момент их введения в поток

В таблице 1 представлены расчетные данные анализа

Таблица 1 – Расчетные данные проточно-инжекционного определения церия (III) с пирогалловым красным

№ п/п	Концентрация, моль/л	Площадь пика	Высота пика	Время пика, с	Ширина пика	Начало пика, с	Конец пика, с
2	$4{,}0 \cdot 10^{-5}$	0,670841	0,0629	106,597	31,691	97,954	129,645
3	$6{,}0 \cdot 10^{-5}$	1,596794	0,1425	193,027	28,810	184,384	213,194
4	$8{,}0 \cdot 10^{-5}$	2,722281	0,2140	285,219	48,977	279,457	328,434
5	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	3,303972	0,2405	363,006	48,977	351,482	400,459
6	$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	4,954312	0,3315	440,793	57,620	429,269	486,889
7	$1{,}4 \cdot 10^{-4}$	6,364475	0,3803	524,342	63,382	512,818	576,200
8	$1{,}6 \cdot 10^{-4}$	7,346838	0,4131	610,772	69,144	599,248	668,392
9	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$	4,770216	0,3513	697,202	37,453	685,678	723,131
10	$2{,}0 \cdot 10^{-4}$	5,983603	0,3848	783,632	54,739	772,108	826,847

Концентрацию аналита в ПИА определяют по градуировочному графику (рисунок 3), который является функцией зависимости высоты или площади полученных при введении пробы пиков от концентрации стандартного раствора, введенного в качестве пробы.

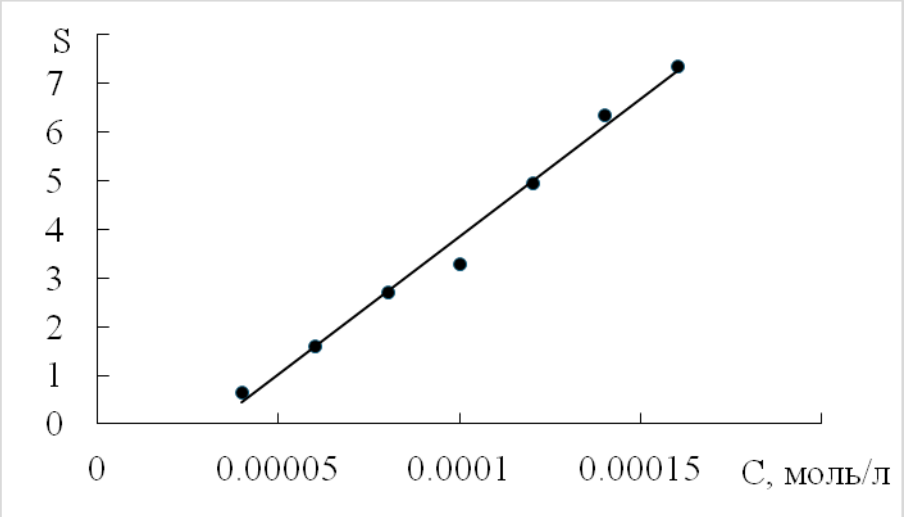


Рисунок 3 – Градуировочный график

Опытным путем определена минимальная определяемая концентрация ионов церия (III). Для данных условий она составила $2{,}4 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Диапазон определяемых концентраций от $2{,}4 \cdot 10^{-5}$ моль/л до $1{,}8 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Верхний порог, вероятно, связан с недостаточной концентрацией пирогаллового красного, дальнейшие исследования предусматривают более подробное изучение влияния концентраций реагентов на результат определений.

Таким образом, проточно-инжекционное определение церия (III) с применением красителей трифенилметанового ряда представляет собой перспективное направление аналитической химии, объединяющее преимущества автоматизированных потоковых методов и высокочувствительных органических реагентов. Теоретические предпосылки, заложенные в работах по ПИА и спектрофотометрии с трифенилметановыми красителями, создают прочную основу для разработки новых методик определения Ce (III), отвечающих современным требованиям к аналитическим методам.

Список литературы

1. Корзанов, В. С. Химия редких, рассеянных и редкоземельных элементов : учебное пособие для студентов 4, 5 курсов и магистров химического факультета / В. С. Корзанов, Н. П. Шульгина ; Пермский государственный университет. – Пермь, 2007. – 101 с.
2. Москвин, Л. Н. Проточные методы анализа / Л. Н. Москвин, А. В. Булатов, А. Л. Москвин. – Санкт-Петербург : ВВМ, 2008. – 48 с.
3. Цунцаева, М. Н. Проточно-инжекционное определение редкоземельных элементов в природных объектах методом производной спектрофотометрии : диссертация ... кандидата химических наук : 02.00.02 / Цунцаева Мадина Нухидовна. – Москва, 2003. – 150 с.
4. Шпигун, Л. К. Проточно-инжекционный анализ природных вод : Определение микроэлементов : диссертация ... доктора химических наук : 02.00.02 / Шпигун Лилия Константиновна. – Москва, 1998. – 492 с.

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДОСТУПНОГО ИОДА В ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ ТОРГОВЫХ СЕТЕЙ ГОРОДА ОРЕНБУРГА

Юдин А. А., Гавриленко С. Н., Руднева Д. И.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Йод – незаменимый микроэлемент, необходимый для синтеза тиреоидных гормонов, регулирующих метаболизм, рост, развитие и функционирование нервной системы. Несмотря на предпринимаемые в последние десятилетия меры (например, йодирование соли), проблема йододефицитных заболеваний (ИДЗ) сохраняет большую актуальность, в том числе в Российской Федерации и, в частности, в Оренбургской области, которая относится к территориям, эндемичным по иоддефицитным состояниям [1, 2].

Среди неинфекционных патологий, связанных с микронутриентной недостаточностью, в Оренбургской области первое место занимают иододефицитные заболевания, в том числе, среди подросткового населения [3]. На рисунке 1 приведены данные о динамике заболеваемости подросткового населения, вызванные дефицитом иода.

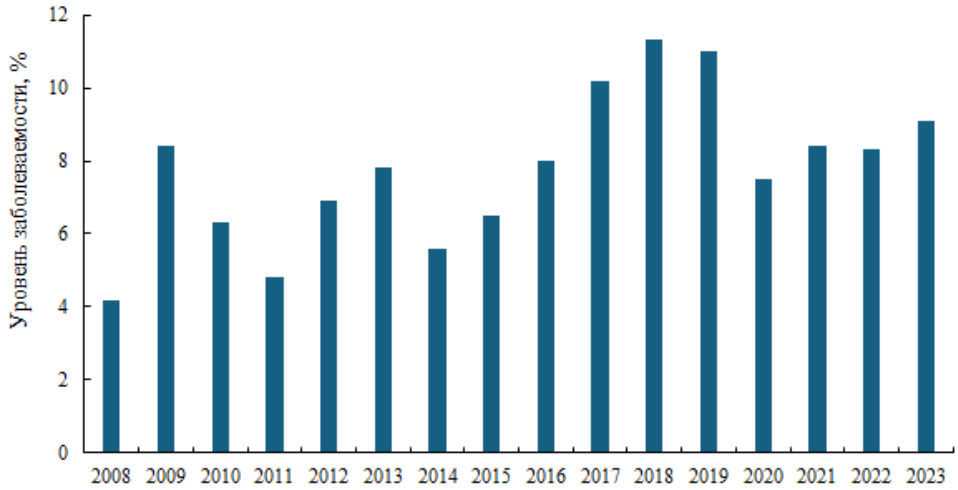


Рисунок 1 – Динамика первичной заболеваемости, связанной с микронутриентной недостаточностью подросткового населения области с 2008 по 2023 гг.

Эффективность профилактики ИДЗ зависит не только от наличия йода в пище, но и от полноценности питания в целом. Известно, что для усвоения йода и синтеза гормонов необходимы специфические аминокислоты (тирозин, фенилаланин, метионин), а транспорт микроэлемента могут облегчать непредельные жирные кислоты. Поэтому, например, на фоне белковой недостаточности, характерной, в частности, для подросткового возраста, прием иодонасыщеных продуктов питания может быть неэффективным. С другой

стороны, чрезмерное количество иода в рационе (иодизм), также может спровоцировать серьезные заболевания.

Таким образом, наряду с проблемой формирования у населения понимания принципов рационального питания для усвоения йода, актуальной задачей является выявление и оценка реального содержания в основных продуктах потребительской корзины региона доступного йода. В связи с этим, целью настоящего исследования стало проведение сравнительного количественного анализа содержания йода в обычных и специализированных продуктах питания, доступных в розничной сети г. Оренбурга.

Основные положения исследования заложены в образовательной программе для подростков «Разговор о правильном питании», разработанной с участием преподавателей и учащихся лицея №6 г. Оренбурга, а практические методики и методы исследования разработаны и внедрены на кафедре химии Оренбургского государственного университета. Отработка методики участниками перед началом исследования в лаборатории аналитической химии показана на рисунке 2а.

Рисунок 2 – Отработка методики участниками исследования (а); объекты исследования (б)

В качестве объектов исследования были выбраны следующие продукты, приобретенные в торговых сетях г. Оренбурга: соль пищевая «Илецкая» крупная, соль йодированная «Экстра», соль йодированная морская «Премис», яйца куриные сырые и варёные (йодированные и обычные), творог деревенский, творог городского молокозавода, морская рыба пангасиус, клюква, хурма, ламинария (консервированная и сухая) (рисунок 2б).

Определение массовой доли йода проводили экстракционно-фотометрическим методом с бриллиантовым зелёным [5]. Принцип метода заключается в том, что иодид-ионы в кислой среде окисляются нитритом натрия до молекулярного йода, который образует с бриллиантовым зелёным окрашенное соединение, экстрагируемое толуолом. Интенсивность окраски толуольного экстракта пропорциональна концентрации йода и измеряется

фотометрически при длине волны 610 нм [4]. Фотометрирование осуществляли на спектрофотометре СФ-2000.

Исследования проводили в следующем порядке:

1. Построение калибровочного графика зависимости оптической плотности от содержания йодид-ионов в градуировочных растворах толуольного экстракта.

2. Подготовка проб продуктов и определение их оптической плотности.

3. Определение концентрации йодид-ионов в пробах и расчет массовой доли йода в продуктах.

Подготовка рабочих растворов и образцов для фотометрирования осуществлялась следующим образом: в колбы последовательно вносили:

- 20 мл рабочего раствора или анализируемого раствора;
- 1 мл соляной кислоты (1:1);
- 0,5 мл 0,5 % раствора нитрита натрия, смесь перемешивали и оставляли на 5 минут для протекания реакции;
- 0,5 мл 0,5 % раствора бриллиантового зелёного (смесь перемешивали);
- 5,0 мл толуола (смесь энергично встряхивали в течение 30 секунд для экстракции окрашенного комплекса).

Далее отделяли органическую фазу и измеряли ее оптическую плотность при длине волны 610 нм относительно чистого толуола в кюветах с длиной оптического пути 10 мм.

После расслоения смеси (около 30 секунд) отделяли органическую (верхнюю) фазу. Отдельные смеси с образовавшейся водной эмульсией подвергли центрифугированию, после чего проводили измерения оптической плотности полученного толуольного экстракта на спектрофотометре при длине волны 600 нм относительно чистого толуола в кювете с толщиной слоя 10 мм.

По результатам спектрофотометрических измерений был построен калибровочный график, представленный на рисунке 3.

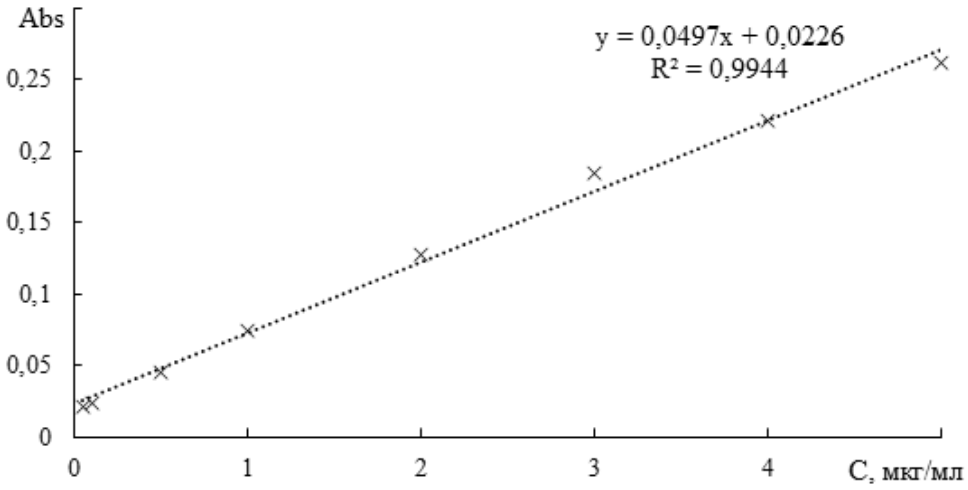


Рисунок 3 – Градуировочный график для экстракционно-фотометрического определения иода с бриллиантовым зеленым

Пробоподготовка исследуемых образцов осуществлялась следующим образом (рисунок 4): навески массой от 5,0 до 20,0 г тщательно измельчали, гомогенизировали в присутствии 100 мл среды извлечения (0,025 % раствор Triton X-100) и отфильтровали через складчатый фильтр «белая лента». Фильтраты подвергали экстракционному фотометрированию, по схеме, представленной выше.

Рисунок 4 – Гомогенизация проб (а); фильтрование (б); экстрагирование йодсодержащих комплексов в толуол (в); фотометрирование (г)

Содержание йода в образцах (ω, мкг/г) вычисляли по формуле:

$$\omega = C \cdot 20 \cdot 5 \cdot 1000 / m_{нав}$$

где C – концентрация йода, найденная по графику, мкг/мл;
20 – объем экстракта, взятый на анализ (20 мл);
5 – пересчетный коэффициент на 100 мл среды извлечения;
1000 – пересчетный коэффициент (г/кг);
$m_{нав}$ – масса навески продукта, г.

Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние значения массовой доли йода в образцах, определенные с доверительной вероятностью 0,95

№	Наименование продукта	Содержание йода в продукте, мкг/г
1	Соль «Илецкая» крупная	0,74 ± 0,04
2	Соль йодированная «Экстра»	39,76 ± 1,26
3	Соль йодированная «Премис»	37,09 ± 0,35
4	Соль морская	0,15 ± 0,07
5	Яйцо сырое нейодированное	0,33 ± 0,06
6	Яйцо сырое йодированное	0,93 ± 0,02
7	Яйцо вареное нейодированое	0,27 ± 0,02
8	Яйцо вареное йодированное	0,77 ± 0,02
9	Творог деревенский	0,12 ± 0,05
10	Творог городской	0,17 ± 0,02
11	Рыба пангасиус	0,39 ± 0,03
12	Клюква	3,08 ± 0,07
13	Хурма	0,59 ± 0,05
14	Ламинария консервированная	2,74 ± 0,08
15	Ламинария сухая	84,02 ± 0,43

Полученные результаты исследований показали следующее:

1. Йодированная соль содержит в несколько раз больше йода, чем обычная. Лабораторно определенное содержание в ней йода (около 40 мкг/г) совпадает с данными производителя соли и позволяет покрыть суточную потребность взрослого человека (150 мкг) при потреблении такой соли.

2. Содержание йода в йодированном яйце примерно в 3 раза выше, чем в обычном, что подтверждает эффективность обогащения кормов для несушек, повышающего содержание йода в итоговом продукте. Несмотря на то, что его абсолютное значение около 0,9 мкг/г невелико (для покрытия суточной нормы за счёт только яиц потребовалось бы употребить около 3 яиц в сутки), йодированные яйца могут дополнять нормативную суточную потребность в рамках сбалансированного питания с учетом употребления других йодсодержащих продуктов.

3. Творог, морскую рыбу пангасиус, хурму нельзя рассматриваться как значимые источники йода. При этом такие продукты как клюква и консервированная ламинария (3 мкг/г) могут существенно дополнять суточную потребность в йоде при условии их употребления в рамках сбалансированного питания с другими йодсодержащими продуктами.

4. Сухая ламинария является природным концентратом йода с его содержанием 84 мкг/г, что почти в 30 раз превышает значение в консервированной ламинарии, где потеря йода происходит вследствие технологической обработки продукта.

В рамках дальнейших исследований планируется оценить содержание йода в других перспективных для обогащения продуктах местного

производства (хлеб, мясные полуфабрикаты, вода), а также сравнить эффективность различных методов анализа содержания йода в продуктах питания.

Полученные в процессе исследования данные хорошо коррелируются с заявленным производителями нормативами обогащения, что подтверждает, во-первых, адекватность примененной методики экстракционно-фотометрического определения йода с бриллиантовым зелёным на продукты питания различной структуры, во-вторых – качество проведенного анализа.

Исследование подтвердило, что, на сегодняшний день основным практически осуществимым и экономически доступным инструментом массовой профилактики йододефицитных заболеваний остается всеобщее использование йодированной поваренной соли, в том числе, с точки зрения необходимости и удобства сочетания источников йода с белковой пищей.

Образовательные программы, подобные разработанной программе «Разговор о правильном питании» с участием во всероссийской акции «СОЛЬ + ЙОД: IQ СБЕРЕЖЕТ», в рамках которой проведено настоящее исследование, являются важным элементом формирования осознанного подхода к здоровью у подросткового населения.

Осуществленное сотрудничество учеников и учителей лицея №6 города Оренбурга с ведущими специалистами Оренбургского государственного университета в области химии, на лабораторной и научной базе кафедры химии ведущего ВУЗа региона, позволило получить достоверные, адекватные и значимые научные и социальные результаты, а совместные исследования такого рода профессионально ориентируют и подготавливают школьников к осознанному выбору дальнейшей профессии.

Список литературы

1. Круглый, В. Меньше иода – ниже IQ / В. Круглый // Парламентская газета. – 2021. – 21 октября.

2. Данные ФГБУ «НМИЦ эндокринологии» Минздрава России. – М. : ФГБУ «НМИЦ эндокринологии»

3. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Оренбургской области в 2024 году» / Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Оренбургской области. – Оренбург, 2025.

4. Бабко, А. К. Фотометрический анализ. Методы определения неметаллов / А. К. Бабко, А. Т. Пилипенко. – Москва: Химия, 1974. – 360 с.

5. ГОСТ 51575-2000. Соль поваренная пищевая иодированная. Методы определения иода и тиосульфата натрия. – Москва: Госстандарт России, 2000. – 15 с.