



ИБ ФИЦ Коми
НЦ УрО РАН



ДЕТСКИЙ
КОСМИЧЕСКИЙ
ЦЕНТР
г. Киров

Материалы XVI Всероссийской научно-практической
конференции с международным участием

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ: проблемы и пути их решения

КНИГА 1

Киров
2021

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Вятский государственный университет»

Институт биологии Коми научного центра
Уральского отделения Российской академии наук

КОГБУК «Музей К. Э. Циолковского,
авиации и космонавтики»

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Материалы
XVI Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием
27–28 апреля 2021 г.

Книга 1

Киров 2021

УДК 504.06(470.342)(082)
ББК 20.1+74.200.57
Э 400

Печатается по рекомендации Научного совета ВятГУ

Ответственный редактор:

Т. Я. Ашихмина, д-р техн. наук, профессор, зав. НИЛ биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и Вятского государственного университета

Редакционная коллегия:

С. В. Дёгтева, д-р биол. наук, **С. Г. Литвинец**, доцент, канд. с.-х. наук, **Л. И. Домрачева**, профессор, д-р биол. наук, **Л. В. Кондакова**, профессор, д-р биол. наук, **И. Г. Широких**, в. н. с., д-р биол. наук, **Т. А. Адамович**, доцент, канд. геогр. наук, **Е. В. Дабах**, доцент, канд. биол. наук, **Е. А. Домнина**, доцент, канд. биол. наук, **М. А. Зайцев**, доцент, канд. пед. наук, **Г. Я. Кантор**, с. н. с., канд. техн. наук, **Т. И. Кутявина**, с. н. с., канд. биол. наук, **С. Ю. Огородникова**, доцент, канд. биол. наук, **С. В. Пестов**, доцент, канд. биол. наук, **В. В. Рутман**, м. н. с., **В. М. Рябов**, старший преподаватель, **Е. В. Рябова**, доцент, канд. биол. наук, **А. В. Сазанов**, доцент, канд. биол. наук, **С. Г. Скугорева**, доцент, канд. биол. наук, **Н. В. Сырчина**, доцент, канд. хим. наук, **А. С. Тимонов**, н. с., **А. И. Фокина**, доцент, канд. биол. наук, **С. В. Шабалкина**, доцент, канд. биол. наук.

Э 400 Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XVI Всероссийской научно-практической с международным участием конференции. Книга 1. (г. Киров, 27–28 апреля 2021 г.). – Киров: ВятГУ, 2021. – 445 с.

ISBN 978-5-98228-241-5 (Книга 1)
ISBN 978-5-98228-240-8

В сборник материалов XVI Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Экология родного края: проблемы и пути их решения» вошли результаты исследований экологического состояния территории Кировской области и других регионов. Особое внимание уделено освещению результатов мониторинга состояния окружающей среды, методов и подходов к оценке состояния экосистем, разработке и апробации аэрокосмических методов экологического мониторинга, дистанционного зондирования Земли. Представлены работы по химии и экологии почв.

Значительное место в сборнике занимают материалы по изучению биологии и экологии растений, животных и микроорганизмов в изменяющихся условиях окружающей среды.

Сборник материалов конференции предназначен для научных работников, преподавателей, специалистов природоохранных служб и ведомств, аспирантов, студентов высших учебных заведений.

За достоверность сведений, изложенных в материалах конференции, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

УДК 504.06(470.342)(082)
ББК 20.1+74.200.57

ISBN 978-5-98228-241-5 (Книга 1)
ISBN 978-5-98228-240-8

© ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (ВятГУ), 2021

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<i>Робакидзе Е. А., Бобкова К. С., Очеретенко Д. П.</i> Мониторинг состояния древостоев сосновых фитоценозов в зоне азротехногенного воздействия целлюлозно-бумажного производства	11
<i>Дайнеко Н. М., Тимофеев С. Ф.</i> Радиоэкологический мониторинг поймы р. Беседь Ветковского района после катастрофы на ЧАЭС	15
<i>Каримова Ф. Х., Малюта О. В., Яранцева Е. В., Ятманова Н. М.</i> Индексы биоразнообразия как индикаторы степени нарушенности экосистемы священных рощ.....	19
<i>Кораблева О. В., Урбанавичуте С. П.</i> Мониторинг состояния растительного покрова на экскурсионных тропах Керженского заповедника	22
<i>Сафонов А. И.</i> Экспресс-диагностика природных сред Центрального Донбасса по фитоиндикационным критериям	27
<i>Лукина Н. В., Бажин Д. В., Филимонова Е. И., Глазырина М. А., Давляев Ф. Д.</i> Анатомо-морфологические особенности хвои <i>Pinus sylvestris</i> L. на Галкинских отвалах мраморизированного известняка.....	31
<i>Ильбулова Г. Р., Семенова И. Н., Хасанова Р. Ф., Суюндуков Я. Т., Суюндукова М. Б.</i> Содержание тяжелых металлов в растениях, произрастающих в зоне воздействия Сибайского карьера	35
<i>Еськов Е. К., Еськова М. Д., Шестакова Е. В., Штаюда Э. Н.</i> Видоспецифичность накопления Pb и Cd овощными культурами, произрастающими на техногенно загрязненных территориях	40
<i>Галимуллина З. М., Ашихмина Т. Я.</i> Изучение влияния соединений фосфора и серы на развитие проростков ячменя сорта Новичок	45
<i>Сараева Д. М., Шеромов А. М., Шатунов А. Н., Адамович Т. А., Товстик Е. В.</i> Содержание полифенольных соединений в семенах маша, чиа, киноа.....	51
<i>Ермолина С. А., Ямишанова О. А.</i> Мёд как составляющий элемент в системе биоиндикации на пасаках Кировской области.....	54
<i>Штирц А. Д., Соколова К. Н.</i> Биоиндикация состояния окружающей среды в экосистемах с различной степенью антропогенной нагрузки	57
<i>Гордиенко Т. А., Суходольская Р. А.</i> Морфометрическая структура популяций и элементы структуры сообществ жуужелиц (Coleoptera, Carabidae) в пригородных биотопах г. Казани	62
<i>Дрожжина В. Н.</i> Воздействие городской среды на посадки <i>Aesculus hippocastanum</i> L.....	66
<i>Архипова Н. С., Целоусов В. В., Сабирова И. Т.</i> Биоэкологические особенности древесных растений в городских насаждениях Казани	69

Кукушкина Д. А., Журавлёва Д. А., Коваль Е. В. Оценка состояния атмосферного воздуха на территории г. Тюмени по данным фитотоксичности снежного покрова	73
Кубрина Л. В. Влияние техногенного загрязнения левобережной части г. Омска на прорастание сосны обыкновенной	78
Ваганов Б. Т., Ибрагимова К. К. Растительные аллергены в воздушной среде г. Казани и возможности их сбора и анализа	80
Коновалова И. А., Шаклеина М. Н. Из опыта микологической экспертизы	84
Башарин И. И., Мусихина Т. А., Ходырева О. О., Возженников Е. В. Экологические проблемы использования реагентов на автодорогах и тротуарах	89
Уланов Н. А. О необходимости и технологической возможности сохранения органического вещества торфоземов, используемых в кормопроизводстве	94
Вершинин А. А., Каримуллин Л. К., Утомбаева А. А., Кузнецова Т. В., Петров А. М. Микробная биомасса рекультивированной нефтезагрязненной аллювиальной дерновой почвы под посевами различных культур.....	100
Каримуллин Л. К., Петров А. М., Князев И. В., Игнатьев Ю. А. Ферментативная активность нефтезагрязненных аллювиальных болотных почв разного гранулометрического состава	104
Ажогина Т. Н., Сазыкина М. А. Гены устойчивости к антибиотикам в почвах сельскохозяйственного назначения Ростовской области	108
Вершинин А. А., Утомбаева А. А., Петров А. М., Богданова О. А., Князев И. В. Влияние аммофоски на дыхательную активность нефтезагрязненной серой лесной почвы	110
Галимуллина З. М., Ашихмина Т. Я., Кутявина Т. И. Изучение содержания подвижных форм фосфора и серы в почве в модельном эксперименте с удобрениями	114
Молдован К. Е. Разнообразие микромицетов в озере «Ла Извор» (город Кишинев)	119
Сиротина М. В., Соколова Т. Л., Мурадова Л. В., Котова М. С., Сиротин А. Л. Состав таксономических и экологических групп гидроценозов в условиях зоогенной трансформации.....	123
Гинатуллина Е. Н., Мустафаева З. А. Роль планктонных сообществ при оценке экологического состояния водоемов	127
Герасимов Ю. Л. Ракообразные пруда в коттеджном поселке г. Самара	131
Нигматуллина А. Ф., Ипполитова А. Н., Степанова Н. Ю. Влияние декомпозиции макрофитов на качество воды в зимних условиях	135
Сабанаев Р. Н., Никитин О. В., Латыпова В. З., Степанова Н. Ю. Современный антропогенно-измененный гидрохимический фон, сложившийся в акватории р. Казанки	139

Бускунова Г. Г., Ильбулова Г. Р. Анализ содержания тяжелых металлов в воде реки Худолаз Республики Башкортостан	143
Полатова Ю. П., Кутявина Т. И. Оценка качества воды в р. Ройке по гидрохимическим показателям	146
Рыков Р. А., Урбанова О. Н., Мутыгуллина Ю. В., Горшкова А. Т., Бортникова Н. В. Современное экологическое состояние водосбора р. Нокса	151
Кужина Г. Ш., Ягафарова Г. А. Оценка фитотоксичности донных отложений реки Худолаз Республики Башкортостан с использованием растительных тест-систем.....	155
Зиганшин И. И., Иванов Д. В., Хасанов Р. Р. Морфометрическая характеристика и показатели осадконакопления в озере Байкуль (Волжско-Камский заповедник).....	158
Хмелевцова Л. Е., Кудеевская Е. М., Гильдебрант А. В., Сазыкин И. С. Гены антибиотикоустойчивости бактериоценозов воды и донных отложений Нижнего Дона	161
Мусихина Т. А., Зыкина Л. Н., Малышкина М. В., Труфанова Т. А. Особенности системы водоснабжения г. Кирова и анализ качества подземных вод в различных микрорайонах города по химическим показателям.....	164
Петраш В. В., Ильина Л. В. Спектрально-резонансные методы – актуальный вектор развития скрининг-технологий медико-экологического мониторинга	167
Рыбочкин П. В., Тимошина М. С., Гончарова Р. Г. Имобилизованные в кремнийорганические золь-гель матрицы бактериальные и дрожжевые клетки, как биорецепторный элемент биосенсорной системы для определения БПК	172
Гюльмисарян Е. В., Гершкович Д. М. Влияние объема среды на формирование острого токсического эффекта воздействия химических веществ различной природы на примере ракообразных <i>Daphnia magna</i> Straus	175
Григорьев Ю. С., Ивченко Я. А., Артына Н. К. Влияние солей из состава буровых растворов на тест-культуру морской водоросли <i>Dunaliella tertiolecta</i>	179
Смирнова Т. О., Уланова А. А., Артына Н. К., Григорьев Ю. С. Влияние концентрации культивационной среды и температуры на чувствительность водоросли хлорелла к тяжелым металлам	185
Сысолятина М. А., Пенелеева А. В., Березин Г. И. Чувствительность экспресс-биотестов к комплексному воздействию тяжёлых металлов и редкоземельных элементов.....	189
Старобор Н. Н., Раскоша О. В. Оценка размножения полевок-экономок, обитавших в условиях повышенного радиационного фона и у их лабораторных потомков (F1)	192

Климова М. В., Карчава Ш. К., Ажогина Т. Н., Хмелевцова Л. Е., Хаммами М. И. Оценка генотоксичности естественных и антропогенно-измененных почв Ростовской области	194
Карчава Ш. К., Климова М. В., Аль-Раммахи А. А. К., Сазыкин И. С. Генотоксичность тканей пиленгаса (<i>Mugil soiuu</i>)	196
Гильдебрант А. В., Кудеевская Е. М., Хаммами М. И., Сазыкина М. А. Формирование бактериальных биопленок природными штаммами микроорганизмов в присутствии гербицидов.....	199
Котельников С. А. Антисептики, используемые для защиты древесины как фактор фитотоксичности почвы.....	203
Огнёва В. И., Береснева Е. В. Оценка качества и безопасности антибактериального мыла.....	207
Ёлкина А. В., Кантор Г. Я. Калибровка многоканального иономера для параллельного определения концентрации ионов щелочных и щелочноземельных металлов в водном растворе.....	211

СЕКЦИЯ 2 ЦИФРОВЫЕ И АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Домнина Е. А., Адамович Т. А., Тимонов А. С. Дешифрирование растительности по спутниковым снимкам сверхвысокого разрешения с применением данных полевых исследований	213
Саитжанова У. Ш., Хабибуллаев Б. Моделирование потенциального распространения <i>Medicago sativa</i> L. (Fabaceae) в Средней Азии	217
Рутман В. В., Кантор Г. Я. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов для изучения распространения инвазивной растительности.....	222
Рутман В. В., Фокина А. И. Разработка виртуальной лаборатории для проведения дистанционных практических занятий.....	225
Давыдова Е. Д., Тишина Е. А., Дроганова Т. С., Поликарпова Л. В., Еремина А. В., Петренко Д. Б. Применение Arduino-фотометра для изучения каталазы растительных объектов в условиях школьной лаборатории	230
Гизатуллин Д. Ю., Никитин О. В. Плавательное поведение <i>Daphnia magna</i> в статических и проточных условиях	233
Неретина А. Н., Метелёв С. И. Использование растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа в науках о жизни	238
Антонова О. М., Тихомирова Е. И. Новые подходы к экспресс-оценке токсикометрических характеристик соединений, образующихся в процессе переработки и утилизации опасных отходов.....	242
Симонова З. А., Шайденко И. С. Разработка базы данных физиологического состояния деревьев для мониторинга территорий санитарно-защитных зон предприятий	245

Дегтева А. С., Солдатова В. В., Тихомирова Е. И.

Опыт дистанционного экологического образования
в современных условиях249

СЕКЦИЯ 3
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНА

Корольков М. В. Создание новой экологической отрасли
по переработке промышленных отходов255

Сырчина Н. В., Пугач В. Н., Ашихмина Т. Я. Производство удобрений
для органического земледелия на основе полезных ископаемых
Кировской области258

Лиханова И. А., Кузнецова Е. Г., Лантева Е. М.
Природовосстановление на Европейском Северо-Востоке России: проблемы и
их решение.....263

Селезнев А. А., Реутова Н. А. Изотопные отношения свинца как маркер
современных экологических и геохимических процессов в урбанизированной
среде266

Назаренко Н. Н., Свистова И. Д. Почвенные микромицеты
Воронежского государственного природного биосферного заповедника270

Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние навозных стоков свиноферм на
содержание в почвах подвижных соединений фосфора.....274

*Скугорева С. Г., Домрачева Л. И., Абдухалилов О. М.,
Забубенина Ю. С., Фокина А. И., Кулаков В. Н.* Особенности
микробиологического и химического состава урбаноземов парков
г. Кирова277

Карпенко А. Ф., Воробей Н. А. Влияние новой климатической зоны
на лесную экосистему Беларуси.....282

Ильина В. Н., Козловская О. В. О численности возобновления и
подроста дуба черешчатого в дубравах Среднего Поволжья
(Самарская область)285

Лукина Н. В., Филимонова Е. И., Глазырина М. А., Бажин Д. В.
Формирование флоры и растительности, особенности микоризообразования
на отвалах Анатольско-Шиловских месторождений асбеста288

*Воропаева О. В., Подставкаина А. В., Филимонова Е. И., Малева М. Г.,
Борисова Г. Г.* Ризосферные бактерии орхидеи *Epipactis atrorubens*,
произрастающей на серпентинитовых породах Среднего Урала.....293

Кондаурова В. А. Экологическое состояние водных объектов
Воронежской области.....297

Даниленко Д. Е., Рубик Д. Р. Механизмы самоочищения водохранилищ
юга Приморского края301

Ботяжова О. А., Белякова Л. А. Диагностика родниковой воды
по токсикологическим и физико-химическим показателям305

Кутявина Т. И., Тизян Е. М., Скугорева С. Г. Методы биотестирования в оценке токсичности воды из родников г. Кирова	309
Чикишев С. В., Скугорева С. Г. Изменение концентрации фторид-ионов при фильтровании питьевой воды	314
Долинина Е. С., Адамович Т. А., Кутявина Т. И. Определение токсичности снежного покрова вблизи железной дороги по результатам биотестирования	316
Родыгин К. С., Лоцман К. А., Самойленко Д. Е., Анаников В. П. Углерод-нейтральный цикл: разработка и применение	318
Кобликов Е. С., Хитрин С. В. Тонкая очистка стоков электрохимического никелирования	322
Суксин Н. Е., Петров В. Г. Получение компонента строительных материалов на основе гипсового связующего при утилизации отходов гальванического производства	325
Саттаров М. Э., Мусирмонов Ж. Ж., Уринова А. А., Аминов Х. Х. Выявление роли нефтеокисляющих микроорганизмов в очистке сточных вод	328
Малышева А. В., Сырчина Н. В. Безотходная технология очистки сточных вод предприятий пищевой отрасли	331
Ярусова С. Б., Иваненко Н. В., Гордиенко П. С., Телушко М. С. Кинетика извлечения ионов Ni^{2+} из водных растворов силикатными сорбентами.....	336
Мирзалимова С. А., Киришина Е. Ю., Мухамедиев М. Г., Шаповалова Л. М., Нурматова В. Б. Исследование процесса фотоокисления активного красителя Black PN, используемого в текстильной промышленности	339
Порошина Ю. С., Шулакова Е. С., Земцова Е. А. Возможность утилизации мелкодисперсной пыли металлургических производств.....	343
Попыванов Д. В., Широких А. А. Потенциал трутовых грибов в создании биоразлагаемых полимеров	346
Глазунова А. В., Песцов Г. В. Утилизация зерновой пивной дробины – отхода пивного производства с помощью гриба <i>Pleurotus ostreatus</i>	349
Каримова Р. И., Ильясова А. Р. Многосредовой канцерогенный риск здоровью взрослого населения (на примере г. Казани).....	352
Семенова И. Н., Рафикова Ю. С., Хасанова Р. Ф., Ильбулова Г. Р., Суюндукова М. Б., Суюндуков Я. Т. Содержание цинка в окружающей среде и заболеваемость детского населения горнорудных районов.....	355
Надеев В. Ф. Технология ускоренного бескислородного сухого разложения отходов.....	357
Мусихина Т. А., Пинаева Е. А., Зыкина Ю. Н. Исследование системы сбора твердых коммунальных отходов в отдельном микрорайоне г. Кирова	361
Константинов В. В., Козловцева О. С. Экологические проблемы Омутинского района Тюменской области	363

Князева А. А., Мучкин И. П. Аспекты оценки состояния окружающей среды г. Красноярска на основе результатов анкетирования жителей.....	369
Лелекова Е. В., Краева Е. В. Экологическая тропа как средство развития экономики впечатлений в Кировской области.....	372
Кондаурова В. А. Формирование экологической культуры личности обучающегося в современных условиях.....	376

СЕКЦИЯ 4 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

Любова С. В. Почвы арктических островов Архангельской области и их химические свойства.....	379
Александрова А. Б., Маланин В. В., Марасов А. А., Паймикина Э. Е. Почвы бассейна реки Сумка.....	384
Лаптева Е. М., Захожий И. Г., Далькэ И. В., Холопов Ю. В., Бондаренко Н. Н., Перминова Е. М., Лиханова И. А., Елькина Г. Я., Генрих Э. А. Влияние растительности на свойства почв в постагрогенных экосистемах средней тайги (на примере Республики Коми).....	386
Дабах Е. В., Домнина Е. А., Кислицына А. П., Кантор Г. Я., Тимонов А. С. Закономерности распределения по рельефу почв и растительности в центральной пойме р. Вятки.....	389
Перминова Е. М., Лаптева Е. М., Генрих Э. А. Пространственное варьирование свойств лесной подстилки ельника чернично-зеленомошного (средняя тайга Республики Коми).....	393
Бондаренко Н. Н., Лаптева Е. М., Кызьюрова Е. В., Новаковский А. Б. Влияние погодных условий на состав водорастворимых органических соединений в подзолистых почвах средней тайги.....	395
Громовик А. И. Генетическая связь гумусового и карбонатного профилей черноземов разных подтипов.....	399
Холопов Ю. В., Хайдапова Д. Д., Лаптева Е. М. Оценка устойчивости лесных почв южной тайги на основе их реологических свойств.....	404
Шахтарова О. В., Денева С. В., Лаптева Е. М. Химический состав и характер распределения новообразований в автоморфных суглинистых почвах южной тундры Европейского Северо-Востока России (Республика Коми).....	408
Денева С. В., Лаптева Е. М., Ковалева В. А. Содержание и распределение элементов в конкреционных новообразованиях тундровых почв (Воркутинский район, Республика Коми).....	411
Липатов Д. Н., Вараченков В. А., Агапкина Г. И. Варьирование содержания нефтепродуктов в почвах урбоэкосистем города Электросталь.....	417
Зайнулгабидинов Э. Р., Утомбаева А. А., Игнатьев Ю. А., Петров А. М. Изменение реакции почвенной среды серых лесных почв при длительном воздействии различных уровней нефтяного загрязнения.....	421

Утомбаева А. А., Петров А. М., Кузнецова Т. В., Зайнулгабидинов Э. Р. Влияние остаточного содержания нефтяных загрязнений в аллювиальных дерновых почвах на рост высших растений ...	425
Сырчина Н. В., Пилип Л. В. Влияние навозных стоков свиноферм на содержание тяжелых металлов в почве.....	429
Даниленко Е. А., Куреева Е. В. Влияние длительного систематического внесения удобрений на свойства черноземов выщелоченных	432
Миназов И. Р., Хузиахметов Р. Х., Пономарев Д. Д. Переработка низкокачественных фосфоритов на фосфорные удобрения	435
Богатырёва Н. Н., Потапова И. А., Сырчина Н. В. Мелиорант на основе хвостов обогащения фосфоритов для восстановления плодородия содово-засоленных почв	441

СЕКЦИЯ 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ДРЕВОСТОЕВ СОСНОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В ЗОНЕ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Е. А. Робакидзе¹, К. С. Бобкова¹, Д. П. Очеретенко²

¹ *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, robakidze@ib.komisc.ru*

² *Акционерное общество «Монди Сыктывкарский ЛПК»,
dmitry.ocheretenko@mondigroup.com*

Изложены результаты многолетних исследований влияния аэротехногенных выбросов целлюлозно-бумажного производства АО «Монди СЛПК» на жизненное состояние сосняков зеленомошной группы типов, расположенных на разном расстоянии от источника эмиссии. Сопоставление индексов поврежденности сосновых древостоев в 1998, 2004, 2019, 2014 и 2018 годах свидетельствует об улучшении жизненного состояния деревьев в период с 1998 по 2018 гг. на территории, подверженной влиянию выбросами и сохранении удовлетворительного состояния деревьев за этот же период на фоновых участках.

Ключевые слова: мониторинг, аэротехногенное загрязнение, сосновые древостои, жизненное состояние, индексы поврежденности древостоев.

АО «Монди Сыктывкарский лесопромышленный комплекс» («Монди СЛПК») является крупнейшим предприятием целлюлозно-бумажного производства в европейской части России. Вместе с тем, «Монди СЛПК» является также источником промышленных выбросов в воздушный бассейн разнообразных веществ-загрязнителей. СЛПК функционирует с 1969 г., среди его атмосферных выбросов сероорганические соединения, оксиды серы, азота, углерода, щелочная пыль. По данным публичных экологических отчетов предприятия, суммарное количество выбросов в 1999 г. было 31 тыс. т, в 2006 – 20, в 2010 – 17, в 2015 – 10, в 2020 – 7,8 тыс. тонн [1].

Цель данной работы – оценка изменений в состоянии древостоев сосновых фитоценозов в условиях длительного аэротехногенного загрязнения выбросами целлюлозно-бумажного производства.

Изучение жизненного состояния древостоев сосновых фитоценозов, произрастающих на территории, подверженной влиянию аэропромышленными выбросами целлюлозно-бумажного производства «Монди СЛПК» было

проведено с 1998 по 2018 гг. В сосновых насаждениях черничного ряда заложены постоянные пробные площади (ППП), расположенные в направлении доминирующей составляющей региональной розы ветров на разном расстоянии к северо-востоку от источника загрязнения. Сосняки на фоновой территории, представленные ППП 23, 24 находятся на расстоянии 48,5–50 км, а сосняки на ППП 3, 19, 15, 18 – на прилегающей территории расположены соответственно на расстоянии 1,3, 6,5, 11,0, 11,2 км от источника эмиссии [2].

Сосняки черничные (*Pinetum myrtillosum*) и разнотравные (*Pinetum herbosum*) (генетически черничные) произрастают на иллювиально-гумусовых железистых подзолах. Они представлены фитоценозами послерубочного и послепожарного происхождения. Древесный ярус состоит из сосны (*Pinus sylvestris* L.), осины (*Populus tremula* L.), березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) и березы повислой (*B. pendula* Roth), ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.). В подлеске в незначительном количестве присутствуют можжевельник (*Juniperus communis* L.), рябина (*Sorbus aucuparia* L.), ивы (*Salix* sp). Подрост представлен в основном елью, редко встречаются сосна, береза.

Таксационную характеристику древостоев определяли согласно методам лесной таксации [3, 4]. Обработку материалов проводили по [5]. Определение жизненного состояния деревьев сосны в древостоях выполнено согласно «Руководству...» [6, 7]. Внешний вид дерева определяется совокупностью признаков, каждый из которых может быть достаточен для оценки поврежденности. Наиболее информативны показатели состояния ассимиляционного аппарата. С помощью бинокля («БПЦ 2 12 × 45М», Россия) с расстояния, равного высоте дерева, у всех живых деревьев на ППП оценивали в баллах степень дехромации (изменение цвета) хвои и дефолиации (потери хвои) кроны. По степени дефолиации, дехромации хвои деревья распределяли на четыре класса, используя следующую шкалу: 0 ÷ < 10% потеря или дехромация хвои, соответственно 1 ÷ 11–25%, 2 ÷ 26–60%, 3 ÷ 61–99%, 4 ÷ 100%. Кроме этого, учитывали количество сухих сучьев в кроне дерева (0 < 10%, 1 ÷ 11–25%, 2 ÷ 26–50%, 3 ÷ 51–99%) и состояние вершины дерева (0 ÷ живая, 1 ÷ поврежденная, 2 ÷ усыхающая и 3 ÷ сухая). Оценив каждое дерево по комплексу вышеуказанных параметров, относили его к определенному классу повреждения:

- 0 класс – здоровое дерево, не имеет внешних признаков повреждения кроны и ствола, любые повреждения хвои <10% по отношению ко всей массе ассимиляционного аппарата не сказываются на состоянии дерева;
- I класс – слабо поврежденное дерево (повреждение по одному или сумме всех признаков составляет 11–25%);
- II класс – средне поврежденное дерево (26–60% повреждений);
- III класс – сильно поврежденное (отмирающее) дерево (61–99% повреждений);
- IV класс – отмершее дерево (100% повреждений).

Для оценки жизненного состояния древостоев рассчитывали индекс их поврежденности по формуле средневзвешенного класса повреждения составляющих древостой деревьев, предложенному А. С. Алексеевым [8]. Причем для получения более точных результатов за основу расчета брали не число деревьев разных классов повреждения, а их стволовой запас древесины [9]:

$$I = \left(\sum_{i=0}^4 i \cdot w_i \right) / W$$

где I – индекс поврежденности древостоя, баллы; i – номера классов повреждения деревьев, баллы от 0 до 4; w_i – стволовой запас древесины деревьев i -го класса повреждения, м³/га; W – общий запас древостоя, м³/га. С учетом величины индекса поврежденности древостой классифицировали по А. С. Алексееву [8] на следующие категории: здоровый древостой ($I = 0-0,5$), ослабленный древостой ($I = 0,6-1,5$), сильно ослабленный древостой ($I = 1,6-2,5$), отмирающий древостой ($I = 2,6-3,5$) и сухостой ($I = >3,6$).

Обработку результатов проводили на ПЭВМ с использованием пакета программ MS Excel 2010.

Мониторинг наиболее распространенных черничных типов сосновых сообществ в условиях аэротехногенного воздействия АО «Монди СЛПК», который проводился в течение 20 лет, не выявил изменений в составе древостоев сосняков на ППП как в зоне аэротехногенного действия, так и фоновой территории.

В таблице приведена динамика индексов поврежденности древостоев исследуемых сосняков. Согласно А. С. Алексееву [8], значение индекса ниже 0,5 характеризует древостой как здоровый. На фоновых участках они составили 0,27–0,49, что характеризует древостой этой зоны как здоровые. Незначительное ухудшение состояния древостоев в 2014, 2018 гг. по сравнению с 2009 г. обусловлено сломом вершин (снеголом) и усыханием тонкомерных угнетенных деревьев. Индексы поврежденности древостоев сосняков импактной зоны в 2018 г. по сравнению с 1998 г. значительно уменьшились, но увеличились по сравнению с 2009 г. В начале исследования в сосняках черничных отмечено уменьшение индекса поврежденности древостоев при удалении от комбината. Здоровыми были только древостой фоновых сосняков (ППП 23 и 24). Самым поврежденным был древостой ППП 3, расположенный в импактной зоне на расстоянии 1,5 км от источника эмиссии. В сосняках зоны загрязнения (ППП 18, 15, 19), растущих в 6,5–11,2 км от комбината изменения индекса поврежденности древостоев характеризуют улучшение их состояния, что следует объяснить прежде всего уменьшением суммарных выбросов АО «Монди СЛПК» в 4 раза. За последние годы значительно (в 12 раз) уменьшились выбросы сероводорода и в 2 раза меркаптанов. Отмечено сокращение эмиссии СО и специфических веществ. Многократное снижение выбросов привело к улучшению состояния крон деревьев, особенно ассимиляционного аппарата и, как следствие, к увеличению доли здоровых деревьев в виталитетном спектре древостоев за счет перехода деревьев сосны из состояния ослабленных в категорию здоровых.

Таким образом, сравнительный анализ индексов поврежденности древостоев в 1998, 2004, 2009, 2014 и 2018 гг. показывает улучшение состояния древостоев сосновых фитоценозов, растущих в зоне воздействия выбросов целлюлозно-бумажного производства. В 1998 г. древостои сосняков в зоне действия АО «Монди СЛПК» характеризовались как средне и сильноповрежденные, в 2004–2009 как здоровые и слабоповрежденные, в 2014 и 2018 гг. как здоровые и слабоповрежденные. Обобщенная 20-летняя динамика индекса поврежденности показывает, что в древостоях сосняков черничного ряда на территории, подверженной влиянию аэротехногенных выбросов, в связи с их снижением жизненное состояние деревьев улучшилось. В древостоях фонового района состояние деревьев осталось почти на одном уровне.

Таблица

Динамика индексов поврежденности сосновых древостоев в фоновом районе и в условиях загрязнения «Монди СЛПК»

Год наблюдений	Расстояние от АО «Монди СЛПК», км					
	ППП 3 (1,3 км)	ППП 19 (6,5 км)	ППП 18 (11,0 км)	ППП 15 (11,2 км)	ППП 23 (48,5 км)	ППП 24 (50,0 км)
1998	1,2	0,72	0,83	0,89	0,42	0,41
2004	0,79	0,29	0,33	0,77	0,38	0,43
2009	0,69	0,10	0,32	0,33	0,37	0,30
2014	0,64	0,11	0,39	0,39	0,49	0,27
2018	0,57	0,27	0,41	0,37	0,45	0,32

Таким образом, как показали наблюдения, за последние 20 лет в связи со снижением объема выбросов в сосняках черничного ряда, растущих в зоне воздействия аэротехногенных выбросов целлюлозно-бумажного производства, отмечается улучшение жизненного состояния древесного яруса. Значительное улучшение состояния древостоев в загрязненном районе с 1998 по 2018 гг. происходит за счет уменьшения дефолиации и дехромации крон. Следует отметить, что значения их параметров остаются все же на более низком уровне, чем в фоновом районе. Выявленная тенденция к снижению выбросов будет способствовать восстановлению естественной структуры лесных хвойных фитоценозов, которые в полной мере будут выполнять средообразующую, водоохранную, рекреационную, эстетическую функции.

Работа выполнена в рамках бюджетной темы НИР «Пространственно-временная динамика структуры и продуктивности фитоценозов лесных и болотных экосистем на европейском Северо-Востоке России (АААА-А17_117122090014-8)» и хозяйственной темы «Оценка долговременного влияния АО «Монди СЛПК» на биологическое разнообразие в районе производства» (договор № 45-2018/180405 от 24 апреля 2018 г.)

Библиографический список

1. Экологические отчеты 2006, 2009–2010, 2013–2015. Mondi Сыктывкарский ЛПК [Электронный ресурс]. – URL <http://www.mondigroup.com> (дата обращения: 01.03.2021).

2. Торлопова Н. В., Робакидзе Е. А. Влияние поллютантов на хвойные фитоценозы (на примере Сыктывкарского лесопромышленного комплекса). Екатеринбург, 2003. 147 с.
3. Захаров В. К. Лесная таксация. М., 1967. 406 с.
4. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. М., 1983. 60 с.
5. Лесотаксационный справочник для Северо-Востока европейской части СССР (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР). Архангельск, 1986. 558 с.
6. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. Hamburg, Prague, 1994. 177 p.
7. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forest. Part III. 2002 [Электронный ресурс]. – URL <http://www.icp-forests.org/pdf/manual3.pdf> (дата обращения: 10.02.2021).
8. Алексеев А. С. Мониторинг лесных экосистем. СПб., 1997. 116 с.
9. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЙМЫ р. БЕСЕДЬ ВЕТКОВСКОГО РАЙОНА ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС

Н. М. Дайнеко, С. Ф. Тимофеев

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
dajneko@gsu.by*

Объектами исследований были наиболее типичные луговые экосистемы поймы р. Беседь Ветковского района пострадавшие от катастрофы на Чернобыльской АЭС. Типологическое разнообразие изучаемых сообществ охарактеризовано с использованием эколого-флористической классификации. Установлено, что за пятилетний период с 2015 по 2020 гг. удельная активность почв изучаемых экосистем уменьшилась в 1,2 раза, а удельная активность надземной фитомассы – в 1,4 раза.

Ключевые слова: радиоэкологический мониторинг, пойма, цезий-137, удельная активность почвы, р. Беседь.

Гомельская область отличается наличием большого количества естественных лугов и пастбищ, располагающихся на пойменных лугах, они занимают около 25 % от кормовых угодий. В результате катастрофы на ЧАЭС произошло радиоактивное загрязнение лугов различных типов – суходольных, пойменных и заболоченных.

Луговые угодья обладают наибольшей способностью аккумулировать ^{137}Cs и ^{90}Sr , особенно осоковые фитоценозы [1]. Максимальные величины перехода ^{137}Cs характерны для низинных и пойменных лугов, что свидетельствует о преобладании влияния гидрологического режима на биологическую подвижность радионуклидов в луговых экосистемах [2].

Целью исследований являлась радиоэкологическая оценка состояния загрязнения радионуклидами луговых экосистем поймы р. Беседь спустя более 30 лет после катастрофы на ЧАЭС.

Материалом для исследований служили почвенные пробы и растительные образцы надземной фитомассы, отобранные в вегетационный период 2005 г. и 2020 г. в фазу колошения видов-доминантов в изучаемых луговых экосистемах поймы р. Беседь.

Объектом исследований являлись луговые ассоциации поймы р. Беседь Ветковского района, Гомельской области. Типологическое разнообразие изучаемых луговых экосистем выполнено с использованием эколого-флористической классификации [3].

Река Беседь – второй по величине и третий по водности приток р. Сож. Берет начало из небольшого болота, в 2,0 км юго-западнее села Беловщина, Шумячского района, Смоленской области; впадает в р. Сож с левого берега. Длина реки 261 км, площадь водосбора 3880 км² [4].

Берега крутые, нередко обрывистые разрушаемые, высотой от 0,3 до 2,0 м. Средний годовой расход воды в устье реки 28 м³/с. Дно песчаное, твердое.

Склоны пологие и умеренно крутые, на отдельных участках крутые и обрывистые, высота от 5 до 20 м, распаханые, прорезанные неглубокими ложбинами, оврагами и долинами притоков.

Пойма преимущественно двухсторонняя, луговая, расчлененная притоками, рукавами, старицами; шириной в верховье 0,1–0,8 км, в нижнем течении 0,5–1,5 км. В половодье затапливается на глубине 0,5–2,5 м сроком до 20–30 суток [4].

Характеристика изучаемых луговых экосистем поймы р. Беседь Ветковского района представлена ниже.

Объект № 1. Ассоциация *Caricetum gracilis*. Доминирующий вид (д.в.) ассоциации – *Carex acuta*. Проективное покрытие 80%. Количество видов 14. Место описаний: широкое понижение правобережной центральной поймы в 3 км юго-восточнее деревни Великие Немки (52°50'45.75/31°20'20.72). Почва дерново-глеявая, суглинистая.

Объект № 2. Ассоциация *Deschampsietum cespitosa*. Д.в. ассоциации – *Deschampsia cespitosa*. Проективное покрытие 80 %. Количество видов 14. Место описаний: средневысокая грива правобережной центральной поймы в 2 км северо-восточнее впадения р. Беседь в р. Сож (52°37'50.83/31°07'34.97). Почва дерново-глеяватая, супесчаная.

Объект № 3. Ассоциация *Caricetum gracilis*. Д.в. ассоциации – *Carex acuta*. Проективное покрытие 60%. Количество видов 8. Место описаний: глубокое межгривное понижение правобережной центральной поймы в 2 км восточнее городского поселка Светиловичи (3.52°46'43.62/31°20'100.92). Почва дерново-глеяватая, суглинистая.

Объект № 4. Ассоциация *Caricetum gracilis*. Д.в. ассоциации – *Carex acuta*. Проективное покрытие 75%. Количество видов 8. Место описаний:

глубокое межгрядное понижение правобережной центральной поймы в 2 км юго-восточнее деревни Глыбовка ($52^{\circ}43'57.60/31^{\circ}21'45.25$). Почва дерново-глебоватая, суглинистая.

Анализируя удельную активность цезия-137 в слое почвы 0–10 см поймы р. Беседь видно, что в 2015 г. наибольшая удельная активность ^{137}Cs наблюдалась в почве 1-го объекта (ассоциация *Caricetum gracilis*), которая в 1,4 раза больше, чем в почве 4-го объекта (*Caricetum gracilis*). В почвах других объектов удельная активность цезия-137 между собой мало отличалась. В 2020 г. также в 1-ом объекте отмечалась наиболее высокая удельная активность в почве цезия-137, а наименьшая – в 4-ом объекте, что в 1,5 раза ниже, чем в 1-ом. Разница между другими объектами оказалась незначительной (рис. 1).

Сопоставляя между собой данные по удельной активности почв по цезию-137 в 2015 г. и 2020 г. видно, что в 2020 г. произошло дальнейшее уменьшение удельной активности почв в луговых экосистемах в среднем в 1,2 раза.

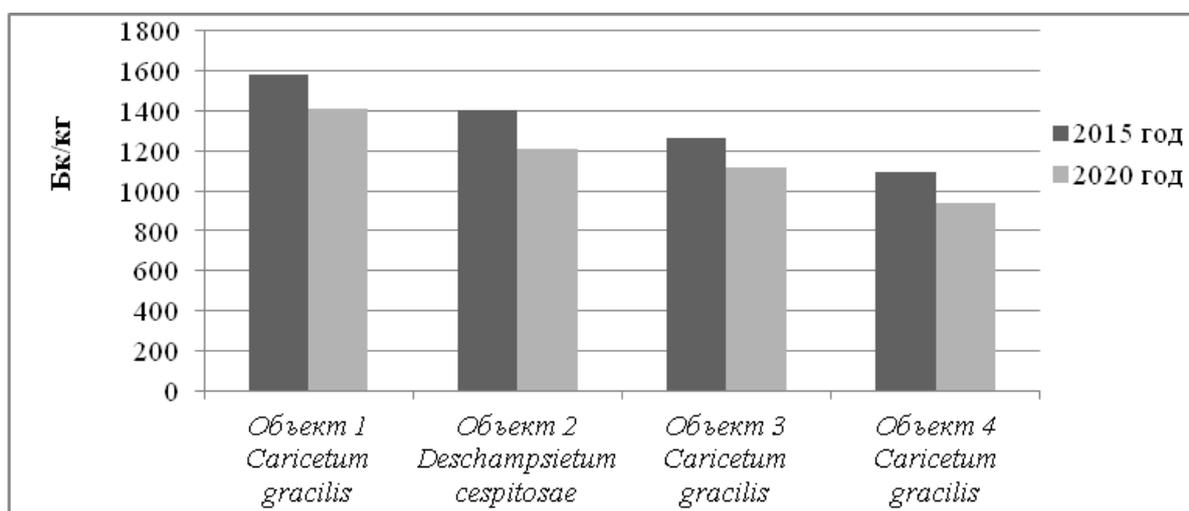


Рис. 1. Удельная активность ^{137}Cs в почве луговых экосистем в пойме р. Беседь Ветковского района в 2015 г. и 2020 г.

Рассматривая удельную активность цезия-137 в надземной фитомассе луговых экосистем р. Беседь можно отметить, что в 2015 г. максимальная удельная активность надземная активность была в первом объекте ассоциации *Caricetum gracilis*; во втором объекте удельная активность была в 1,4 раза; в третьем – в 2 раза; в четвертом – в 4,6 раза ниже, чем в первом объекте (рис. 2). В 2020 г. в этих же луговых ассоциациях наблюдалась такая же последовательность уменьшения удельной активности надземной фитомассы. Разница в удельной активности между первым и четвертым объектом составляла 4,8 раза.

Сравнивая результаты 2015 г. и 2020 г. можно отметить, что в 2020 г. произошло уменьшение удельной активности в 1-ом объекте в 1,4 раза, во втором в 1,2 раза, в третьем и четвертом – в 1,5 раза.

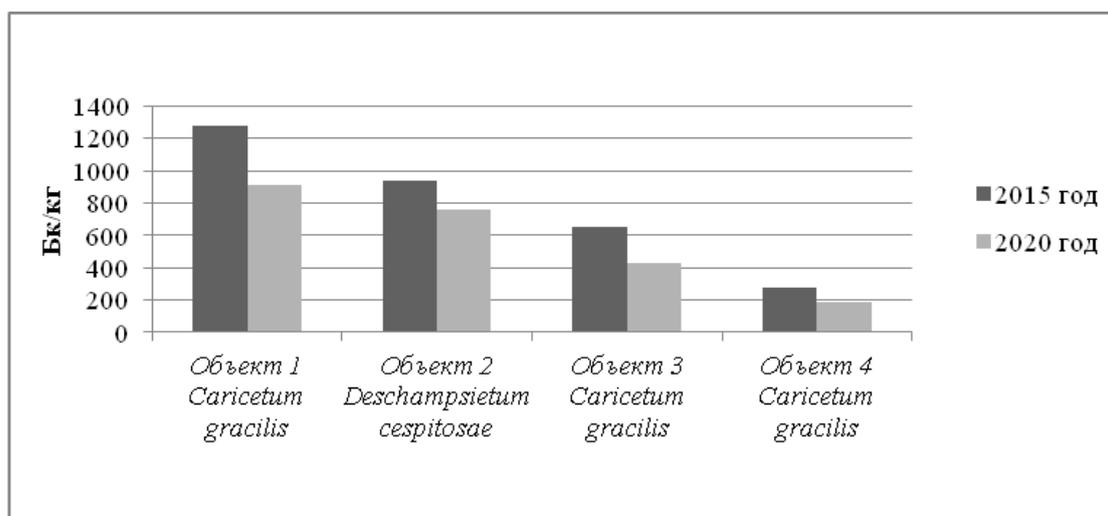


Рис. 2. Удельная активность ^{137}Cs в надземной фитомассе луговых экосистем в пойме р. Беседь Ветковского района в 2015 г. и 2020 г.

Рассматривая коэффициент накопления (КН – Бк/кг массы растения: Бк/кг массы почвы) цезия-137 в надземной фитомассе луговых экосистем в пойме р. Беседь в 2015 г. видно, что наибольший коэффициент накопления наблюдался в 1-ом объекте, а минимальный в 4-ом объекте (рис. 3). Разница составила 3,2 раза. КН во втором объекте был в 1,3 раза выше, чем в 3-ем объекте. В 2020 г. КН более высоким оказался во 2-ом объекте и близкое значение имел КН в 1-ом объекте. Наиболее низкий КН отмечался в 4-ом объекте, что в 3,3 раза меньше, чем во 2-ом и 1-ом объекте.

Сравнительный анализ КН в 2015 г. и 2020 г. выявил, что в 2020 г. отмечалось уменьшение КН по сравнению с 2015 г., причем наибольшее уменьшение отмечалось в 1-ом, 3-ем и 4-ом объектах.

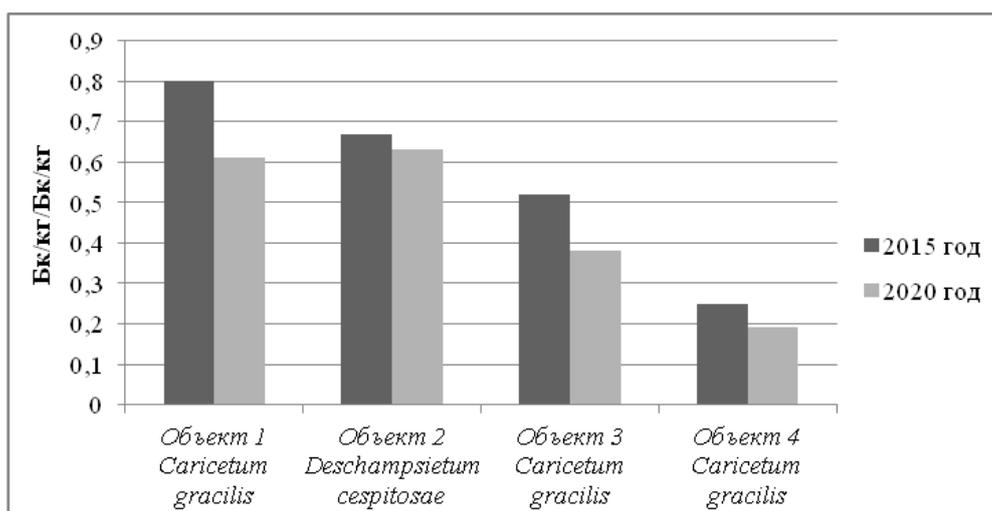


Рис. 3. Коэффициент накопления (КН) в надземной фитомассе луговых экосистем в пойме р. Беседь Ветковского района в 2015 г. и 2020 г.

Таким образом, проведенные исследования показали, что изучаемые луговые экосистемы отличались между собой по удельной активности почв, удельной активности надземной фитомассы и коэффициенту накопления.

В 2020 г. по сравнению с 2015 г. отмечено уменьшение изучаемых радиоэкологических показателей.

Библиографический список

1. Подоляк А. Г., Персикова Т. Ф. Влияние условий питания на размеры перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в урожай злаковых трав заболоченного луга // Современные проблемы использования почв и повышения эффективности удобрений : материалы междунар. науч.-практ. конф., Горки, 24–26 октября 2001 г. Мин. сельского х-ва РБ, БГСХА, Горки, 2001. Т. 2. С. 147–150.
2. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р. М. Алексахин, Л. А. Булдаков, В. А. Губанов, Е. Г. Дрожко, Л. А. Ильин, И. И. Крышев, Л. А. Линге, Г. Н. Романов, М. Н. Савкин, М. М. Сауров, Ф. А. Тихомиров, Ю. Б. Холина / под ред. Л. А. Ильина, В. А. Губанова. М. : ИздАТ, 2001. 751 с.
3. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Wien – New-York : Springer-Verlag, 1964. 865 p.
4. Калинин М. Ю., Волчек А. А. Водные ресурсы Гомельской области / под общей ред. М. Ю. Калинина. Минск : ООО «Белсэнс», 2007. 144 с.

ИНДЕКСЫ БИОРАЗНООБРАЗИЯ КАК ИНДИКАТОРЫ СТЕПЕНИ НАРУШЕННОСТИ ЭКОСИСТЕМЫ СВЯЩЕННЫХ РОЩ

Ф. Х. Каримова¹, О. В. Малюта¹, Е. В. Яранцева¹, Н. М. Ятманова²

*¹ Поволжский государственный технологический университет,
olgamal@list.ru*

*² Казанский государственный аграрный университет,
nadegda827@yandex.ru*

Исследование состояния священных рощ с использованием методик оценки живого напочвенного покрова по индексам биоразнообразия и величины асимметрии листьев древостоя (березы) позволило сделать вывод о неоднородности экологической ситуации на объектах исследования. Экологическое состояние ряда объектов можно оценить как кризисное.

Ключевые слова: биоиндикация, индексы биоразнообразия, экологическое состояние, священные рощи.

Народ мари с древности приспособлял места своего обитания в соответствии с особенностями своего менталитета, культурными и религиозными традициями. Издавна он почитал силы природы и поклонялся Духам Воды, Земли, Леса, Пашни и другим божествам. Это очень ярко проявилось в местах-святилищах, местах-молениях – священных рощах. Марийцы рассматривают священную рощу как сакральную территорию [1]. И хотя священные рощи одновременно являются историко-культурными и ландшафтными местами, долгое время им должного внимания не уделялось. Анализ состояния священных рощ показывает, что они активно подвергаются неблагоприятно-

му влиянию различных факторов, их состояние является одним из показателей современной экологической обстановки в республике Марий Эл.

В 2020 годы было проведено комплексное обследование десяти священных рощ в Советском и Волжском районах республики.

В задачи исследований входили, в том числе, оценка флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа березы повислой и оценка биоразнообразия живого напочвенного покрова (ЖНП) священных рощ.

На сегодня известно, что биоразнообразие влияет на деятельность экосистем: его сокращение отрицательно сказывается на их структуре, функциональных связях, приводит к изменениям в биотических сообществах или даже к их разрушению. Это в свою очередь ведёт к изменениям ландшафтов [2].

Для определения индексов биоразнообразия учитывались растения с площадок 1м*1м, определялся их видовой и количественный состав. Площадки закладывались в наиболее чистых местах – в глубине рощи, в типичных лесорастительных условиях, где антропогенное воздействие исключено (насколько это возможно в конкретных условиях). А так же в наиболее загрязнённых местах – на периметре рощи с западной или юго-западной её части, которые, предположительно, являются максимально загрязнёнными, учитывая преобладающие направления ветров в республике. Определялись координаты данных площадок (реперные точки). Для оценки биоразнообразия использовались коэффициент Серенсена, индекс Шеннона, индекс Симпсона, индекс Менхиника [3].

Отбор проб растительного материала проводился в наиболее загрязнённых местах.

Результаты расчетов величины флуктуирующей асимметрии листьев березы показали, что значительное отклонение экологического состояния от нормы отмечалось в трех рощах (3, 4, 8), где наличие факторов антропогенного воздействия не вызывало сомнений.

Роща 3 располагалась на окраине населенного пункта за сельхозугодием, кроме этого, колея от транспортного средства проходила непосредственно по роще.

Роща 4 испытывает воздействие как от выхлопов автотранспорта (автодорога разделяет участки рощи), так и от хозяйственной деятельности людей (населенный пункт – в непосредственной близости).

Роща 8 представлена шестью биогруппами, расположенными на открытом пространстве, подвергается воздействию загрязняющих веществ, как от сельскохозяйственного производства, так и от бытовой хозяйственной деятельности человека. Не исключено и рекреационное воздействие. Можно предположить, что на этот объект оказывает влияние и трансграничный перенос загрязняющих веществ. Самые асимметричные листья березы были обнаружены именно на этих объектах, что свидетельствует о не оптимальности среды обитания растений.

На других пяти объектах (рощи 1, 2, 5, 9, 10) базовое значение показателя асимметричности соответствовало незначительному отклонению экологи-

гического состояния от нормы. На этих объектах выраженного антропогенного влияния не наблюдалось (за исключением обрядовых действий) – рощи находились вдали от населенных пунктов. На двух объектах (рощи 6, 7) береза не произрастала.

Расчет индексов биоразнообразия показал, что на объектах исследования (рощи 1, 2, 5, 9, 10) наблюдается невысокое биологическое биоразнообразие и большинство из них не имеет ярко выраженных доминант в живом напочвенном покрове. Исключение составляют две рощи – 4 и 8, где наличие доминант свидетельствует о нарушении экологического равновесия в экосистемах священных рощ.

Так, например, в роще 8 наибольшее биоразнообразие наблюдается в глубине рощи. Биоразнообразие на пробных площадках в центре и на опушке имеют малое сходство. Кроме того, что биоразнообразие на опушке ниже (вопреки «опушечному» эффекту), там наблюдается еще и высокая степень доминирования одного вида, а именно злака – метлицы обыкновенной. Увеличение степени доминирования одного вида является показателем нарушения экосистем, что свидетельствует о негативном воздействии на данный объект.

В роще 3, очевидно, зафиксирован переходный момент: индексы биоразнообразия живого напочвенного покрова не показывали ситуацию острой, тогда как величина флуктуирующей асимметрии свидетельствовала о значительном нарушении экологического состояния на объекте. Возможно, что негативное воздействие на экосистему рощи имеет пока еще непродолжительный характер. Ситуация требует контроля, иначе разрушение экосистемы неизбежно, а значит – и утрата ландшафтного, исторического и культурного объекта.

В рощах 6 и 7 учет живого напочвенного покрова не проводился. Роща 6 на сегодняшний день представлена двумя священными деревьями – топодем и липой, растущими за оградой на краю села, а ЖНП имеет искусственное происхождение.

На другом объекте от когда-то существовавшей священной рощи (роща 7) сохранилась единственная семидесятилетняя липа, которая находится в поле за деревней. Влияние хозяйственной деятельности, в частности, увеличение площадей сельскохозяйственных угодий, очевидно, стало решающим фактором в деградации экосистемы священной рощи. Лесные виды растений в пределах бывшей рощи не сохранились.

Оценка биоразнообразия дает представление о текущем состоянии экосистем на определенной территории, а определение значений индексов биоразнообразия на реперных точках в динамике позволит оценить тенденцию в экологическом состоянии исследуемых объектов.

Результаты исследований священных рощ с использованием методик по оценке состояния живого напочвенного покрова по индексам биоразнообразия и асимметрии листьев древостоя (березы) позволили сделать однозначный вывод об экологическом состоянии значительно отклоняющимся от нормы в

рощах 4 и 8. В рощах 1, 2, 5, 9, 10 экологическое состояние близко к норме и на данный момент тревоги не вызывает.

С точки зрения антропогенного влияния на природную среду, ее состояние в рощах 4 и 8 можно оценить как кризисное, в рощах 1, 2, 5, 9, 10 – как равновесное. В роще 3 наблюдается переходный этап от равновесного состояния к кризисному.

Сохранение биоразнообразия – это не только вопрос сохранности видов и экосистем, но и сохранение таких условий окружающей природной среды, которые обеспечивают нормальную жизнедеятельность человека.

Библиографический список

1. Жуковская А. Г. Традиционная языческая религия марийцев // Современные верования и конфессии в России. Справочник / под общ. ред. А. А. Желтова. Вологда, 2017. С. 87–91.
2. Алтаев А. А., Имескенова Э. Г. Биоразнообразие. Улан-Удэ : Изд-во БГСХА, 2017. С. 50.
3. Залепухин В. В. Теоретические аспекты биоразнообразия. Волгоград, 2002. С. 140.

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ЭКСКУРСИОННЫХ ТРОПАХ КЕРЖЕНСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

О. В. Кораблева, С. П. Урбанавичуте

*ФГБУ «Государственный природный биосферный заповедник Керженский»,
o-korableva@mail.ru*

В статье рассмотрены методика заложения трансектных поперечных полос на экскурсионной тропе, эколого-ценотические группы характеризующие устойчивость растений к рекреационной нагрузке, мониторинг видового состава сосудистых растений и проективного покрытия в растительном покрове на трансектах, на основе которого определяются стадии дигрессии растительного покрова на тропе.

Ключевые слова: Керженский заповедник, мониторинг, экскурсионные тропы, рекреационная нагрузка, трансекта, стадии дигрессии.

Государственный природный биосферный заповедник «Керженский» был организован в 1993 г., располагается на территории низменного Нижегородского Заволжья на левобережье среднего течения р. Керженец. Наряду с охраной природных комплексов и проведением научных исследований одной из важных задач заповедников России является экологическое просвещение и развитие научно-познавательного туризма [1]. В тоже время, экскурсионную и туристическую деятельность на особо охраняемых природных территориях необходимо регулировать. Под особым контролем должны находиться заповедные территории, имеющие в России самую строгую формы охраны. При

этом рекреационное воздействие не должно превышать предельно-допустимые нормы, т.е. должны быть определены «приемлемые изменения природного комплекса или объекта, которые не противоречат целям их сохранения» [2].

Для развития познавательного экологического туризма в заповеднике «Керженский» разработаны экскурсионные тропы. Они располагаются на рекреационно-экскурсионном участке (в зоне отдыха у пос. Рустай), где прохождение возможно только при наличии билета. В настоящий момент действующими экскурсионными маршрутами в природу являются «Пойма Керженца», «Вишёнское болото», «Заповедный лес». Первые две тропы обустроены настилами, которые обеспечивают защиту растительного покрова от вытаптывания.

Наибольшее воздействие рекреантов, в данном случае экскурсантов, будет происходить при посещении необустроенных троп. В Керженском заповеднике тропа «Заповедный лес» не имеет настилов, поэтому здесь и был организован мониторинг состояния растительности.

Маршрут «Заповедный лес» имеет протяженность 3,5 км, и включает в себя участки первой террасы р. Керженец с сосновыми зеленомошными и лишайниковыми лесами; участки высокой волнистой и средней гривистой поймы Керженца с берёзой, осиной, липой, елью и сосной в различных сочетаниях с подростом ели, липы и дуба.

Мониторинговые исследования состояния растительного покрова на экскурсионных тропах проводятся на заложенных трансектах во всех природно-территориальных комплексах, встречающихся на маршруте. Трансекты имеют вид поперечных полос, пересекающих дорожно-тропиночное полотно, проходящее через его середину. Всего заложено девять трансект, их длина варьирует от 3 до 9 м, что зависит от ширины тропы. Ширина всех трансект одинаковая и равна 1 м. Трансектные полосы размечены на метровые квадраты. Для каждого квадрата ежегодно в начале лета составляется список всех выявленных сосудистых растений с указанием проективного покрытия каждого вида в травяно-кустарничковом ярусе. В мохово-лишайниковом ярусе проективное покрытие даётся доминантным видам [3]. Мониторинг на трансектах осуществляется с 2014 г. На основании выявленных на них видов растений, с учетом эколого-ценотических групп определяется устойчивость растений к рекреационной нагрузке [4].

Виды травянистых растений разделены на три основные группы: 1) лесные виды – растения, свойственные для лесных природных комплексов Керженского заповедника; 2) лесо-луговые и луговые виды – светолюбивые растения, требующие большей освещенности, встречающиеся на заповедной территории в разреженных лесных массивах, на опушках, полянах и лугах; 3) рудеральные виды – растения, достаточно устойчивые к вытаптыванию, встречающиеся на территории заповедника непосредственно на дорогах, тропах и их обочинах. При описании трансект учитывалось проективное покрытие зеленых мхов и лишайников. Кроме того, используя опыт национального

парка «Смоленское поозерье» [5] определялось процентное соотношение каждой группы к общему количеству видов, и выявлялась стадия дигрессии.

Перечень лесных травянистых растений Керженского заповедника, относящихся к первой группе, достаточно разнообразен. Видовой состав, прежде всего, зависит от самого природного комплекса, в котором проходит участок тропы. При наличии лесных трав, характеризующих лесной фитоценоз говорит о том, что травянистый покров в норме и относится к первой стадии дигрессии. Также допустим небольшой процент луговых трав (до 30% от общего количества растений). При наличии на тропе и на её обочине в достаточном большом количестве растений из второй группы свидетельствует о том, что травяной покров близок к норме и дигрессия соответствует второй стадии. В данном случае лесные виды преобладают, лесо-луговых и луговых растений может быть до 40%, могут появиться рудеральные виды (1–2 растения). При превышении растений из второй группы более 50% и увеличении количества трав последней группы (3–5 растений) показывает, что происходит переход к третьей стадии дигрессии, травяной покров будет находиться на границе устойчивости. Эта граница является важным сигналом. Как указывает В. П. Чижова [6] при переходе с третьей стадии дигрессии на четвертую происходит потеря фитоценотической способности к восстановлению при сохранении нагрузок. На четвертой стадии дигрессии преобладают луговые травы, могут единично встречаться лесные растения, достаточно много видов рудеральных. Пятая стадия дигрессии считается критической и необратимой. В таком случае наибольшее количество составляют рудеральные виды, небольшое – луговые, лесные виды трав полностью отсутствуют.

На тропе «Заповедный лес» трансекты 1, 2, 3, 8, 9 расположены на первой террасе р. Керженец, практически все находятся (кроме трансекты 8) в сосновых лишайниковых и зеленомошно-лишайниковых лесах, они имеют очень бедный видовой состав в растительном покрове, представленный в основном злаками. Остальные трансекты расположены на разновысотной пойме Керженца и представляют собой наиболее разнообразную растительность по своему составу.

Первая трансекта пересекает дорогу, которая в последние годы почти перестала использоваться, а с 2019 г. была закрыта для проезда автотранспорта. Ширина дорожно-тропиночного полотна 2,5 м, в 2015 г. его ширина составляла 3 м. Со снижением транспортной нагрузки дорога стала постепенно зарастать. На трансекте ежегодно отмечают ястребинка волосистая (*Hieracium pilosella*) и полевица тонкая (*Agrostis tenuis*). Здесь и далее латинские названия видов сосудистых растений даны по сводке С. К. Черепанова [7]. В последний год появилась осока верещатниковая (*Carex ericetorum*). В 2020 г. незначительно увеличился процент покрытием полевицы тонкой, а на обочинах дороги увеличился процент покрытия зелеными мхами и лишайниками.

Ширина тропы на второй трансекте составляет 2 м, в 2014 г. – 2,5 м. Из сосудистых растений отмечен только вереск обыкновенный (*Calluna*

vulgaris), который присутствует в течение всех лет наблюдений. В последние годы на обочине тропы постепенно увеличивается процент покрытия лишайниками.

Тропа на третьей трансекте имеет ширину 1,9 м. Напочвенный покров представлен зелеными мхами и лишайниками и ежегодно фиксируется только одно травянистое растение – осока верещатниковая. В последние годы идет медленное разрастание мохово-лишайникового покрова. В 2020 г. отмечено увеличение покрытия зелеными мхами (на 4%) и лишайниками (на 11%).

Трансекта 4 расположена на высокой пойме Керженца в березово-сосновом с елью кустарничково-орляковом лесу. Ширина тропы составляет 0,4 м (в 2016 г. – 0,7 м). Ежегодно отмечается до 20 видов травянистых лесных растений. Среди них доминируют орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum*), костяника (*Rubus saxatilis*), майник двулистный (*Maianthemum bifolium*), ортилия однобокая (*Orthilia secunda*), брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), черника (*V. myrtillus*). В последние два года наблюдений отмечается отсутствие одних видов растений, например, марьяника лугового (*Melampyrum pratense*), фиалки собачьей (*Viola canina*), и появление других, например, осоки пальчатой (*Carex digitata*), сочевичника весеннего (*Lathyrus vernus*). В многолетней динамике прослеживается чередование увеличения покрытия доминирующими видами.

Трансекта 5 заложена на высокой пойме в сосново-березовом разнотравно-злаковом лесу. Ширина тропы на этом участке 1,2 м. Доминирующие виды: полевица тонкая, осока верещатниковая, ястребинка зонтичная (*Hieracium umbellatum*). В течение мониторинговых наблюдений на трансекте такие растения, как марьяник луговой, овсяница красная (*Festuca rubra*), фиалка собачья, отмечаются не каждый год. В 2020 г. проективное покрытие практически всех растений увеличилось.

Трансекта 6 находится на средней гривистой пойме в березово-осиновом молодом лесу, ширина тропы здесь до 0,5 м. Всего отмечено 6 видов растений, среди них доминанты костяника, золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea*), ландыш майский (*Convallaria majalis*), майник двулистный. В 2020 г. увеличилось покрытие практически у всех растений, произрастающих на трансекте, незначительно уменьшилось покрытие зелеными мхами (на 0,8%).

Трансекта 7 расположена на средней гривистой пойме в березово-сосновом разнотравном лесу, ширина тропы (бывшей дороги) до 1,6 м. Этот участок тропы проходит вдоль пойменного озера, достаточно хорошо освещен, поэтому здесь отмечаются лесные и луговые виды трав. В пределах трансекты зафиксировано 23 вида травянистых растений. Доминирующие виды на трансекте: мятлик луговой (*Poa pratensis*), полевица тонкая, овсяница красная, вероники лекарственная (*Veronica officinalis*) и дубравная (*V. chamaedrys*), земляника лесная (*Fragaria vesca*), ясколка дернистая (*Cerastium holosteoides*), перловник поникший (*Melica nutans*). Между колеями бывшей дороги отмечен подорожник большой (*Plantago major*), относя-

щийся к рудеральным видам. В 2020 г. отмечается понижение покрытия подорожника большого с 5% до 1,5%. Важно отметить, что на трансекте на обочине тропы, где какие-либо антропогенные нарушения отсутствуют уже более 20 лет, произрастает неоттианта клобучковая (*Neottianthe cucullata*), занесённая в Красную книгу РФ. Количество растений возросло за два последних года от 1 растения до 6, до этого орхидея отмечалась только рядом с трансектой. В целом можно сказать, что процент покрытия одних растений увеличивается, других уменьшается. Скорее всего, такие проявления связаны с погодными условиями. В последний год наблюдений увеличилось покрытие зелеными мхами.

Трансекта 8 находится на первой террасе р. Керженец в березово-сосновом орляково-брусничном лесу, имеет ширину тропы 2,6 м. Присутствует 16 видов травянистых растений, с наибольшим процентом покрытия орляка, брусники, земляники лесной, вероники дубравной, мятлика лугового. Отмечен рудеральный вид – подорожник большой.

Трансекта 9 находится на первой террасе в сосняке зеленомошно-лишайниковом, имеет ширину дороги 3,5 м. Отмечены только два травянистых растения: осока верещатниковая и полевица тонкая. Повторное описание 2020 г. получилось практически без изменений по сравнению с предыдущими годами.

На основе полученных описаний травяного покрова на трансектах экскурсионной тропы были даны сравнительные характеристики эколого-ценотических групп растений и оценка по стадиям дигрессии (табл.). По последним наблюдениям растительный покров на трансектах со второй по шестую находится в нормальном состоянии и соответствует первой стадии дигрессии. На трансектах 1, 7, 9 растительный покров близок к норме. Восьмая трансекта диагностирует, что растения находятся на границе устойчивости.

В целом на экскурсионной тропе «Заповедный лес» идет медленный процесс восстановления растительного покрова. До создания заповедника (до 1993 г.) участки дороги (трансекты 1, 7, 8, 9) интенсивно использовались для проезда на автотранспорте. В начале мониторинга в 2015 г. растительный покров бывших дорог соответствовал второй и третьей стадии дигрессии (табл.). Можно аргументировать, что экскурсионная и прогулочная посещаемость тропы не способствует увеличению рекреационной нагрузки. В настоящий момент главным индикаторным участком является восьмая трансекта. Третья стадия дигрессии восьмой трансекты свидетельствует об оптимальной допустимой нагрузке на растительный покров. Мониторинг состояния почвенного покрова поможет в дальнейшем контролировать нагрузку на экскурсионную тропу заповедника.

**Оценка травяного покрова по стадиям дигрессии на трансектах
экскурсионной тропы Керженского заповедника в 2015 г./ 2020 г.**

№ трансекты	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество видов растений	5/3	1/1	1/1	18/18	8/8	6/6	26/24	14/16	2/2
Количество лесных видов	2/2	1/1	1/1	16/18	5/6	5/5	14/15	5/7	1/1
Доля лесных видов от общ. кол-ва, %	40/67	100/100	100/100	89/100	62/75	83/83	54/63	36/44	50/50
Количество луговых видов	2/1	0/0	0/0	2/0	3/2	1/1	10/8	8/8	1/1
Доля луговых видов от общ. кол-ва, %	40/33	0/0	0/0	11/0	38/25	17/17	38/33	57/50	50/50
Количество рудеральных видов	1/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	2/1	1/1	0/0
Доля рудерал. видов от общ. кол-ва, %	20/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	8/4	7/6	0/0
Стадия дигрессии	3/2	1/1	1/1	1/1	2/1	1/1	3/2	3/3	2/2

Библиографический список

1. Федеральный закон от 14 марта 1995 г. N 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – URL.: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_6072/ (дата обращения: 05.02.2021)
2. Забелина Н. М. Сохранение биоразнообразия в национальном парке. Смоленск : Ойкумена, 2012. 176 с.
3. Кораблева О. В., Урбанавичуте С. П. Организация мониторинга по определению рекреационной нагрузки в Керженском заповеднике // Геоэкологические проблемы современности : Доклады V Междунар. науч. конф. Владимир, 2013. С. 147–148.
4. Казанская Н. С. Изучение рекреационной дигрессии естественных группировок растительности // Изв. АН СССР, сер. Географ. 1972. № 1. С. 52–59.
5. Смоленское поозерье: проблемы и перспективы рекреационного развития. «Мониторинг экологического состояния». [Электронный ресурс]. – URL.: <http://smolapo.ru/sites/default/files/Меропр/Заповедник%6007/prSpek/prSpek.htm> (дата обращения: 22.02.2021).
6. Чижова В. П. Рекреационные ландшафты: Устойчивость, нормирование, управление. Смоленск, 2011. 176 с.
7. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.

**ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА ПРИРОДНЫХ СРЕД
ЦЕНТРАЛЬНОГО ДОНБАССА
ПО ФИТОИНДИКАЦИОННЫМ КРИТЕРИЯМ**

А. И. Сафонов

Донецкий национальный университет, a.safonov@donnu.ru

Представлены результаты апробирования технологического приёма быстрой идентификации неблагоприятных факторов среды для видов растений с ожидаемой фитоиндикационной значимостью. Используются методы структурной фитоиндикации и экологического мониторинга, реализуемые на территории Центрального промышленного Донбасса.

Ключевые слова: фитоиндикация, фитодиагностика, Донбасс, экспресс-анализ в полевых условиях.

В рамках традиционных для промышленных регионов разработок разных технологических приёмов оценки состояния природных сред с помощью растений [1–3] существует обоснованная потребность полевого экспресс-оценивания (возможно предварительного характера) неблагоприятных факторов среды доступными методами [4, 5], что представляет интерес в реализации экологических программ Центрального Донбасса [6–9].

Цель работы – представить результаты тотальной скрининговой программы (2001–2020 гг.) по выявлению индикационной значимости растений в полевых условиях диагностирования неблагоприятных факторов среды донецкого экономического региона.

В условиях антропогенных экотопов Донбасса большинство факторов неблагоприятных условий сопряжены с токсической нагрузкой на почвы, уровнем запыленности воздуха и степенью механической трансформации почвенного покрова для видов категории дикорастущих цветковых растений. Методика осуществления эксперимента представлена в предыдущих публикациях [5–8, 10]. В общей сложности проверке были подвержены 156 видов растений, имеющих частоту встречаемости в техногенных и квазиприродных экотопах более 20% для общей мониторинговой сети Центрального промышленного Донбасса (200 учетных площадок). Значения индексов, показывающих связь признака с комплексной трансформацией среды, представлены в таблице (39 видов). Для данных, подтверждённых в 5-летней экспозиции экспериментов, использовали обозначение *autin* (в аналогии с идентификацией в аутэкологическом аспекте).

В целях корректности интерпретации экологических характеристик видов использовали диапазоны значений, причём в большинстве случаев эти интервалы характеризовались правосторонней асимметрией в статистическом анализе распределения. Фактически представленные в таблице значения отражают специфику корреляций в частоте выявленных структурно-функциональных нарушений, что является вещественным доказательством уровня экологического неблагополучия.

Таблица

Спектр диагностических вариаций экспресс-фитоиндикации

Вид	Признаки полевой диагностики, индексы значимости		
	некрозы листовой пластинки	тератность побега	деструкция семязачатка
1	2	3	4
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	44–47	80–84	36–39
<i>Alsine media</i> L.	45–51	41–42	74–76
<i>Amaranthus albus</i> L.	93–98 <i>autin</i>	92–96 <i>autin</i>	90–92 <i>autin</i>
<i>Artemisia absinthium</i> L.	33–38	50–98	12–19
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	75–78 <i>autin</i>	66–69 <i>autin</i>	55–59 <i>autin</i>

1	2	3	4
<i>Atriplex hortensis</i> L.	10–12	77–79	70–82
<i>Berteroa incana</i> (L.) DC.	84–88 <i>autin</i>	81–86	80–88 <i>autin</i>
<i>Capsella orientalis</i> Klokov	не установлено	22–27	31–38
<i>Centaurea diffusa</i> Lam.	95–98 <i>autin</i>	90–95 <i>autin</i>	92–93 <i>autin</i>
<i>Chelidonium majus</i> L.	40–50	15–19	20–21
<i>Chenopodium album</i> L.	50–74	23–27	88–90
<i>Cichorium intybus</i> L.	94–98 <i>autin</i>	91–96 <i>autin</i>	90–95 <i>autin</i>
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	22–13	10–20	6–10
<i>Daucus carota</i> L.	не установлено	40–45	54–55 <i>autin</i>
<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) Beauv.	31–39	67–80	не установлено
<i>Dianthus campestris</i> M. Bieb	не установлено	60–70	20–30
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	16–22	не установлено	75–78
<i>Diplotaxis muralis</i> (L.) DC.	90–92	90–96 <i>autin</i>	89–90 <i>autin</i>
<i>Diplotaxis tenuifolia</i> (L.) DC.	27–33	40–43	46–70
<i>Echium vulgare</i> L.	96–98 <i>autin</i>	92–96 <i>autin</i>	93–95 <i>autin</i>
<i>Erucastrum armoracioides</i> (Czern. ex Turcz.)	34–50	42–44	45–57 <i>autin</i>
<i>Fumaria schleicheri</i> Soy.-Willem	не установлено	не установлено	51–60 <i>autin</i>
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	42–47	44–49	41–45
<i>Galium mollugo</i> L.	53–59 <i>autin</i>	42–49	8–10
<i>Gipsophila paniculata</i> L.	22–26	10–12	66–70 <i>autin</i>
<i>Hyoscyamus niger</i> L.	66–69 <i>autin</i>	9–15	33–37
<i>Moehringia trinervia</i> (L.) Clairv.	8–16	3–15	не установлено
<i>Plantago lanceolata</i> L.	68–71	38–50	61–66
<i>Plantago major</i> L.	91–93 <i>autin</i>	91–93 <i>autin</i>	91–92 <i>autin</i>
<i>Polygonum aviculare</i> L.	39–46	17–19	16–47
<i>Portulaca oleracea</i> L.	не установлено	40–47	55–45
<i>Reseda lutea</i> L.	10–16	55–58 <i>autin</i>	21–37
<i>Sagina procumbens</i> L.	45–58	15–19	64–67 <i>autin</i>
<i>Senecio vulgaris</i> L.	39–45 <i>autin</i>	не установлено	22–25
<i>Sonchus arvensis</i> L.	не установлено	не установлено	27–30
<i>Stellaria subulata</i> Boeber ex Schlecht.	36–47	22–27	34–38
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	94–97 <i>autin</i>	91–96 <i>autin</i>	90–95 <i>autin</i>
<i>Tragopogon major</i> Jacq.	90–91 <i>autin</i>	90–94 <i>autin</i>	90–92 <i>autin</i>
<i>Tripleurospermum inodorum</i> (L.) Sch.Bip.	92–95 <i>autin</i>	90–96 <i>autin</i>	92–94 <i>autin</i>

Примечание: *autin* – данные, подтвержденные в более 5-летней повторности экспозиции эксперимента.

Продуктом разрабатываемой технологии является пошаговый алгоритм диагностики состояния природных сред региона, включающий как минимум три этапа экспертизы: 1) непосредственно в полевых условиях (факт обнаружения за 3–5 минут) – характеризуется витальным способом протекания эксперимента без изъятия фитоматериала из натуральной среды, является при-

оритетным в реализации широкомасштабных мониторинговых программ, 2) в условиях передвижных станций – в суточном интервале оценки и передачи информации в базу данных и аналитического контроля, 3) в недельном экспедиционном обследовании в стационаре при фиксации и гербаризации материала, требует камеральных условий идентификации.

Библиографический список

1. Зыкова Ю. Н., Скугорева С. Г., Ашихмина Т. Я. Подходы к оценке состояния городских почв методами биотестирования с использованием организмов различной систематической принадлежности и данных химического анализа // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 38–46. doi: 10.25750/1995-4301-2017-3-038-046
2. Дубровская С. А., Ряхов Р. В. Картографическое моделирование урболандшафтов степной зоны России с использованием нейронных сетей // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 53–57. doi: 10.25750/1995-4301-2021-1-053-057
3. Безель В. С., Жуйкова Т. В., Дуля О. В. Внутривидовая изменчивость металлоустойчивости семенного потомства *Taraxacum officinale* Wigg. s.l.: анализ на основе зависимостей «доза – эффект» // Экология. 2019. № 4. С. 263–269. doi: 10.1134/s036705971904005x
4. Сафонов А. И. Новые виды растений в экологическом мониторинге Донбасса // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2020. № 1. С. 96–100.
5. Vespalova S. V., Goretsky O. S., Safonov A. I. The criteria of assessment of ecological state of environment on thresholds of sensitivity of bioindicators // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2011. № 1. С. 25–43.
6. Сафонов А. И. Гистологические маркеры эмбрионального аппарата фитоиндикаторов Донбасса // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Киров, 18 ноября 2020 г.). Киров : ВятГУ, 2020. С. 86–89.
7. Сафонов А. И. Тератогенез растений-индикаторов промышленного Донбасса // Разнообразие растительного мира. 2019. № 1 (1). С. 4–16. doi: 10.22281/2686-9713-2019-1-4-16
8. Сафонов А. И. Фронтальный спектр фитодиагностики в Донбассе (2018-2019 гг.) // Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы IV Междунар. науч. конф. (Донецк, 31 октября 2019 г.). Т. 2: Хим.-биол. науки. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2019. С. 270–271.
9. Калинина А. В. Геостратегическая визуализация фитоценозов породных отвалов угольных шахт г. Макеевки в условиях самозарастания и рекультивации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 28–34.
10. Сафонов А. И. Сорно-рудеральная фракция урбанофлоры Донецкой агломерации как показатель трансформации локальных экосистем // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : материалы Междунар. научн. конф. (Киров, 16–18 апреля 2019 г.). Киров : ВятГУ, 2019. С. 13–16.

АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХВОИ *PINUS SYLVESTRIS* L. НА ГАЛКИНСКИХ ОТВАЛАХ МРАМОРИЗИРОВАННОГО ИЗВЕСТНЯКА

*Н. В. Лукина, Д. В. Бажин, Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина,
Ф. Д. Давляев*

*Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
natalia.lukina@urfu.ru*

Приведены результаты изучения анатомо-морфологических параметров хвои *Pinus sylvestris* L., произрастающей на Галкинских отвалах мраморизированного известняка. Установлено достоверное уменьшение длины и площади поперечного сечения хвои. Из анатомических особенностей отмечено уменьшение количества смоляных ходов при увеличении их диаметра.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L., анатомия хвои, адаптация, промышленные отвалы

Урал – один из основных горнорудных регионов нашей страны. Горные разработки, как правило, являются причиной нарушений природных ландшафтов. Промышленные отвалы, образованные при добыче полезных ископаемых, часто сложены горными породами, которые медленно поддаются выветриванию, на них не задерживается влага осадков, по особенностям освоения их растениями и формирования почв они напоминают естественные крупноглыбистые россыпи горного Урала. Фитоценозы на таких субстратах формируются чрезвычайно медленно, малопродуктивны, имеют обедненный видовой состав, упрощенную структуру. Одним из первых видов, поселяющихся на подобных территориях, является *Pinus sylvestris* L. – самая распространенная на Урале лесообразующая порода. *P. sylvestris* – очень пластичный вид, имеющий широкую экологическую амплитуду почвенно-климатических условий произрастания [1]. Такие особенности вида позволяют успешно использовать *Pinus* для лесовосстановления, в том числе для облесения техногенно нарушенных территорий [2]. Изучение адаптивных возможностей растений позволяет нам понять механизмы их устойчивости к неблагоприятным условиям антропогенной среды обитания.

Цель исследования – изучение изменений анатомо-морфологических характеристик хвои *P. sylvestris* в условиях Галкинских отвалов мраморизированного известняка.

Галкинские отвалы мраморизированного известняка относятся к Билимбаевскому месторождению флюсового известняка, расположенному на Среднем Урале (Свердловская область, таежная зона, подзона южной тайги). Климат района – умеренно континентальный, с характерной резкой изменчивостью погодных условий, хорошо выраженными сезонами года с холодной

зимой и теплым летом. Среднегодовая температура 1,9 °С. Почвы в основном подзолистые и дерново-подзолистые, бедные питательными веществами.

Месторождение приурочено к полосе известняков докембрийского возраста. Разработка месторождения проводилась открытым карьерным способом. В результате горных работ вокруг карьера образовались 4 отвала, сложенные вскрышными породами, запесоченными глинами с галькой кварцита и обломками известняка. Грунтосмеси отвалов каменистые, карбонатные, не содержат фитотоксичных пород и не засолены, доступные фосфаты практически отсутствуют, обеспеченность К и N – очень низкая [3, 4].

Исследования проводили в августе 2020 г. на двух разновозрастных отвалах (№ 3 и № 4). Отвал № 3 находится к юго-востоку от карьера и имеет округлую вытянутую с запада на восток форму. Площадь его основания равна 6,8 га, верхний ярус – 4,04 га. Отвал – четырех ярусный, общая высота отвала 45 м. Склоны ярусов крутые. Засыпка отвала проводилась с 1970-х до середины 1990-х годов. Три первых яруса сформированы отдельными кучами суглинков, глин, крошкой и глыбами известняка. Верхний ярус, отсыпанный мелкой и средней фракциями известняка, большей частью спланирован.

Отвал № 4 расположен к западу от карьера и имеет вытянутую с севера на юг форму, его площадь 5,6 га. Отвал состоит из двух ярусов, высота нижнего яруса 7–13 м, верхнего – 18–20 м, склоны ярусов крутые. Засыпка первого яруса проводилась с 1949 по 1955 год, второго – с 1958 по 1960 г. В отвал складированы глины, суглинки, а также глыбы известняка и гравия с дробильно-обогащительной фабрики.

На отвалах формируются лесные фитоценозы с доминированием *P. sylvestris* и высоким обилием *Betula pendula* Roth и *B. pubescens* Ehrh. В древесном ярусе также встречаются *Populus tremula* L., *Picea obovata* Ledeb., *Salix caprea* L., *Sorbus aucuparia* L. Проективное покрытие травянистой растительностью сильно варьирует. Степень сформированности растительных сообществ зависит от возраста отсыпки и каменистости пород.

В качестве объектов исследований выбраны по 10 особей *P. sylvestris* 18–20-летнего возраста, произрастающих на верхнем ярусе отвала № 3 на каменистом субстрате (ОП1 – опытная площадка 1) и на первом ярусе отвала № 4 на глинистом субстрате (ОП2 – опытная площадка 2). Контрольные образцы (КП – контрольная площадка) были отобраны в опушечной части естественного хвойного леса, расположенного в 1,5 км на юго-запад от пос. Новоткино.

Для анатомо-морфологического анализа у деревьев отбирали хвою второго года без видимых признаков повреждений, собранную с нижней трети кроны с южной стороны с помощью секатора.

Растительные образцы фиксировали в 70 % растворе этилового спирта. Для анатомических исследований, из средней части хвои делали поперечные срезы и помещали их в глицерин. Измерения анатомо-морфологических признаков проводили с помощью микроскопа Olympus CX-41 с программным обеспечением, с увеличением окуляра и объектива 10× и 40×. В ходе исследо-

вания определяли анатомические и морфологические показатели по общепринятой методике. Статистическая обработка полученных данных выполнена с помощью стандартного пакета программ Microsoft Excel and StatSoft STATISTICA 12. Проведены однофакторный дисперсионный (ANOVA) и дискриминантный анализы. Для выявления статистически значимых различий был использован критерий LSD Фишера при уровне значимости $p < 0,05$.

Анализ морфологических параметров *P. sylvestris*, произрастающей в различных экологических условиях, выявил некоторые отличия между опытными и контрольными растениями. Так, длина хвои на опытных площадках была достоверно меньше, чем в контроле (рис. 1а). Анализ анатомических параметров хвои *P. sylvestris* показал, что в условиях отвалов площадь поперечного сечения хвои достоверно уменьшалась в сравнении с контролем. Уменьшение диаметра хвои происходило за счет сокращения площади ассимиляционной ткани (табл.). Средние значения показателей толщины эпидермы и гиподермы, а также площади центрального цилиндра в условиях отвалов не отличались от контроля. В хвое растений на опытных площадках отмечалась редукция количества смоляных ходов до 5–7 штук по сравнению с контролем (8–9 штук), при этом происходило увеличение их диаметра (рис. 1б).

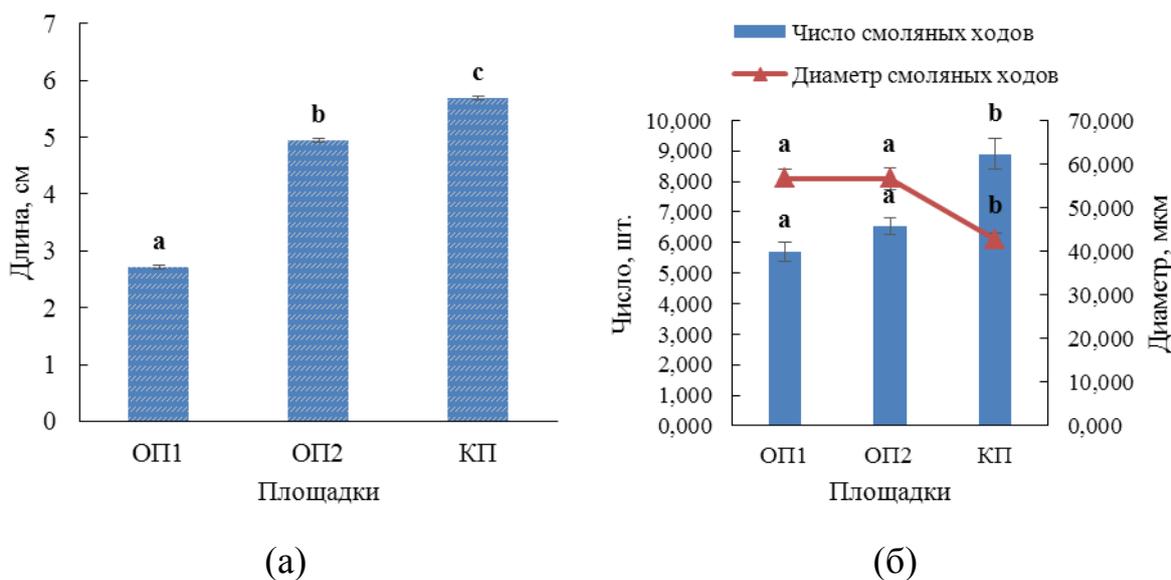


Рис. 1. Значения длины хвои *P. sylvestris* (а); число смоляных ходов и их диаметр (б) из исследованных местообитаний: а, б, с – достоверные различия при уровне $p < 0,05$

Полученные нами результаты по анатомическим изменениям хвои *P. sylvestris* в экстремальных условиях произрастания согласуются с имеющимися литературными данными [5–7].

Дискриминантный анализ, проведенный по сумме изученных анатомических признаков хвои, показал адаптивные изменения *P. sylvestris*, произрастающей на отвалах мраморизированного известняка, что важно для выживания видов растений в экстремальных условиях среды (рис. 2).

Анатомические характеристики поперечного среза хвои *P. sylvestris*

Параметры	ОП1	ОП2	КП
Высота поперечного среза хвои, мм	0,697±0,007ab	0,666±0,013a	0,718±0,006b
Ширина поперечного среза хвои, мм	1,548±0,021a	1,588±0,026ab	1,631±0,013b
Площадь поперечного среза хвои, мм ²	0,847±0,016a	0,831±0,023a	0,919±0,011b
Высота центрального цилиндра, мм	0,336±0,006a	0,318±0,006a	0,337±0,005a
Ширина центрального цилиндра, мм	0,921±0,019a	0,978±0,017a	0,913±0,018a
Площадь центрального цилиндра, мм ²	0,487±0,016a	0,488±0,014a	0,483±0,014a
Высота гиподермы, мкм	9,250±0,750a	10,250±0,786a	9,250±0,534a
Высота эпидермы, мкм	22,000±1,041a	19,000±2,014a	21,500±1,067a
Число смоляных ходов, шт.	5,700±0,309a	6,550±0,276a	8,900±0,492b
Диаметр смоляных ходов, мкм	56,750±2,036a	56,650±2,521a	42,750±1,495b
Суммарная площадь смоляных ходов, мм ²	0,014±0,001ab	0,016±0,001b	0,012±0,001a
Площадь мезодермы, мм ²	0,286±0,015a	0,273±0,013a	0,365±0,010b

Примечание: ОП1, ОП2 – опытные площадки; КП – контрольная площадка; различные буквы в строках, соответствующих одинаковым параметрам, указывают на достоверные различия при уровне $p < 0,05$.

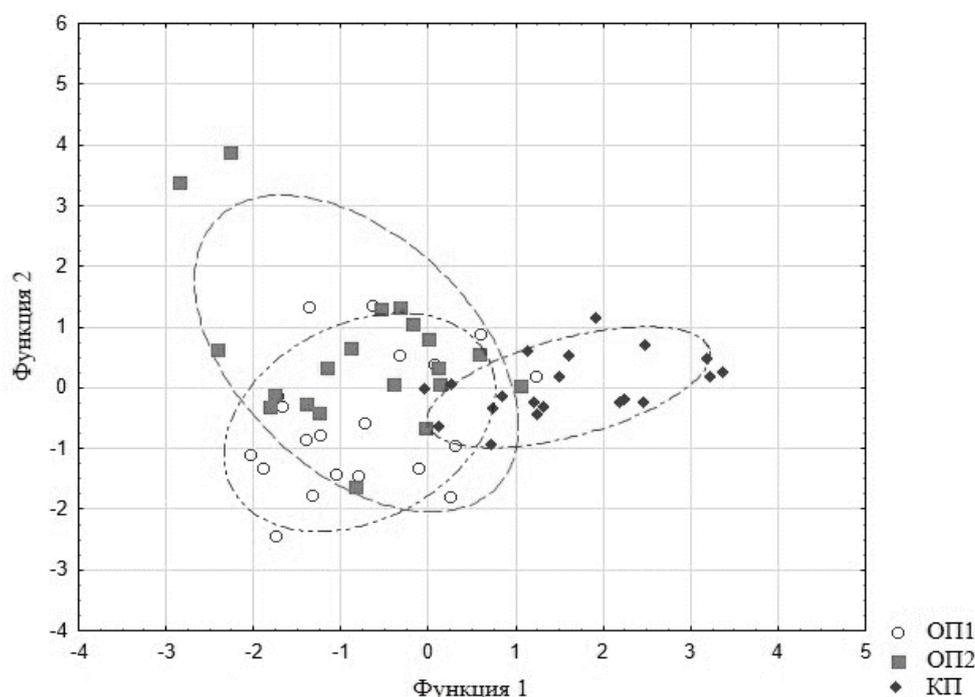


Рис. 2. Дискриминантный анализ хвои *P. sylvestris* в исследуемых местообитаниях по анатомическим признакам

Таким образом, в процессе исследования у хвои *P. sylvestris*, произрастающей в условиях Галкинских отвалов мраморизированного известняка, выявлены видоспецифические морфологические и анатомические изменения,

имеющие адаптивный характер и способствующие выживанию вида в экстремальных условиях среды. В условиях отвалов установлено достоверное уменьшение длины хвои и площади ее поперечного сечения. Из анатомических особенностей отмечено достоверное уменьшение площади ассимиляционных тканей, а также уменьшение числа смоляных ходов при увеличении их диаметра.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания УрФУ FEUZ-2020-0057.

Библиографический список

1. Мамаев С. А. Виды хвойных на Урале и их использование в озеленении. Свердловск : УНЦ АН СССР, 1983. 112 с.
2. Куприянов А. Н., Манаков Ю. А., Баранник Л. П. Восстановление экосистем на отвалах горнодобывающей промышленности Кузбасса. Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2010. 160 с.
3. Махонина Г. И. Экологические аспекты почвообразования в техногенных экосистемах Урала. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2003. 356 с.
4. Экологические основы и опыт биологической рекультивации нарушенных промышленностью земель / Т. С. Чибрик, Н. В. Лукина, Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2011. 268 с.
5. Цандекова О. Л., Легощина О. М. Анатомо-морфологические перестройки ассимиляционного аппарата древесных растений, произрастающих в условиях породного отвала Кедровского угольного разреза // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 5. С. 106–110.
6. Шаяхметова Р. И., Егорова Н. Н. Анатомические особенности хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на территории Нижневартовского района, Хмао-Югра // Вестник алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 6(140). С. 72–77.
7. Егорова Н. Н., Кулагин А. А. Изменчивость признаков анатомического строения ассимиляционного аппарата и проводящих корней сосны обыкновенной в экстремальных лесорастительных условиях // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 6(50). С. 52–54.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СИБАЙСКОГО КАРЬЕРА

*Г. Р. Ильбулова, И. Н. Семенова, Р. Ф. Хасанова,
Я. Т. Суюндуков, М. Б. Суюндукова
ГАНУ «Институт стратегических исследований
Республики Башкортостан», ilbulova@mail.ru*

Изучено содержание тяжелых элементов в растениях, произрастающих в окрестностях Сибайского карьера. Выявлен повышенный уровень цинка, никеля, кадмия, железа и кобальта, а также в подземной части растений – меди и марганца. Накопление тяжелых металлов в растениях происходило по акропетальному типу.

Ключевые слова: тяжелые металлы, растения, горнорудная промышленность.

Расположенный на юго-востоке Республики Башкортостан Сибайский карьер является одним из крупнейших в мире с глубиной более 500 м и диаметром около 2 километров. Он расположен в черте города, при этом в санитарно-защитной зоне карьера находится примерно 700 жилых домов [1]. Длительная разработка карьера открытым способом способствовала повышенному содержанию тяжелых металлов (ТМ) в компонентах окружающей среды [2, 3].

Высокое содержание ТМ в растениях указывает на неблагоприятную экологическую обстановку в регионе. Избыточное накопление растениями токсикантов обусловлено высокими концентрациями их в почве. Растения представляют собой промежуточное звено, через которое ТМ переходят из почв, а частично из воды и воздуха, в организм человека и животных [4–6]. Это определяет актуальность данного исследования.

Цель работы: изучить содержание ТМ в растениях, произрастающих в зоне воздействия Сибайского карьера (Республика Башкортостан).

Исследования проводились в летний период 2019 г. Пробные площадки (ПП) были расположены на территории, прилегающей к Сибайскому карьеру в 100 м от западного склона – ПП 1; от северо-восточного склона – ПП 2; в 150 м от восточного склона – ПП 3; в 100 м от южного склона – ПП 4; в 5 км от юго-западного склона – ПП 5 и в 25 км от северо-западного склона – контроль. Для изучения закономерностей поглощения химических элементов растениями на ПП отбирались укусы биомассы в 4-х кратной повторности в пяти точках. Затем формировали среднюю пробу с последующей отмывкой растений в проточной воде, после чего высушивали их до воздушно-сухого состояния, измельчали на мельнице до размера частиц 0,1 мм. В растительных образцах ТМ определяли методом атомной адсорбции на аппарате «CONTR AA» с пламенным атолизатором «ацетилен-воздух».

Территория, прилегающая к карьеру, представлена разнотравно-ковыльной растительностью, где широко представлены степные злаки (мятлик степной, овсец Шелля, овсяница ложноовечья, тонконог жестколистный и др.), бобовые (астрагал датский, астрагал скальный, карагана кустарниковая, дрок красильный, люцерна румынская и др.) и разнотравьем (василёк шершавый, земляника зелёная, зопник клубненосный, колокольчик сибирский, коровяк фиолетовый, тимьян Маршалла, клоповник сорный, полынь австрийская и др.).

Для экологической оценки чистоты растительного сырья использовали нормативное содержание ТМ в растениях. Максимальное допустимое содержание (МДУ) меди в растениях составляет 30 мг/кг, цинка – 50 мг/кг, никеля – 3 мг/кг, свинца – 5 мг/кг, кадмия – 0,3 мг/кг [7]. Содержание железа на уровне 240 мг/кг считается нормой, а выше 750 мг/кг – токсичной концентрацией. Для марганца норма – 100 мг/кг, ниже 20 мг/кг – дефицит, критической

считается концентрация 300,0 мг/кг, фитотоксичной – более 500,0 мг/кг [8]. Для кобальта допустимые значения для растений составляют 0,21 мг/кг [9].

Результаты исследования содержания ТМ в укусах биомассы растительности, произрастающей в зоне воздействия Сибайского карьера, представлены в таблице.

Таблица

Содержание тяжелых металлов в укусах биомассы растительности, произрастающей в зоне воздействия Сибайского карьера

ТМ	M± m	min	max	y	Cv, %
Надземная часть					
Cu	14,09±3,05	5,50	24,40	7,47	53,00
Zn	279,67±73,11	51,00	596,00	179,07	64,03
Fe	1786,83±251,30	939,00	2645,00	615,56	34,45
Ni	27,00±2,35	21,00	35,00	5,76	21,34
Mn	84,33±1,96	39,00	142,00	36,64	43,44
Pb	45,40±16,72	0,02	97,00	40,96	90,21
Cd	1,84±0,57	0,43	3,68	1,39	75,84
Co	7,52±1,42	3,32	12,38	3,47	46,19
Подземная часть					
Cu	31,34±8,05	5,65	61,00	19,73	62,94
Zn	405,00±113,60	85,00	878,00	278,27	68,71
Fe	3281,33±450,55	1884,00	5093,00	1103,61	33,63
Ni	37,17±3,89	26,00	53,00	9,54	25,66
Mn	277,33±67,09	102,00	541,00	164,35	59,26
Pb	149,68±62,69	0,02	361,00	153,56	102,59
Cd	3,58±0,77	0,83	6,00	1,89	52,87
Co	9,67±1,40	4,50	13,07	3,43	35,47

Примечание: M – среднее арифметическое; min – минимальные значения; max – максимальные значения; m – ошибка среднего; y – среднеквадратичное отклонение; Cv – коэффициент вариации.

Содержание меди в надземных частях в исследуемых растениях варьировало в диапазоне от 5,5 до 24,4 мг/кг, в подземных частях – от 5,6 до 61,0 мг/кг (рис. А). Отмечено, что концентрации меди превышали уровень МДУ (30 мг/кг) только в корнях в интервале от 1,1 (ПП 5) до 2,3 (ПП 2) раз.

Концентрация цинка в растениях варьировала от 51,0 до 596,0 мг/кг – в надземных частях, от 85,0 до 878,0 мг/кг – в корнях (рис. Б). Концентрации цинка превышают МДУ (50 мг/кг) во всех исследованных ПП в пределах от 1,0 (надземная часть контрольного образца) до 17,6 раз (подземная часть ПП 2).

Концентрация железа в надземных частях растительных образцов варьировала в пределах от 939,0 до 2645,0 мг/кг, в подземных частях – от 1884,0 до 5093,0 мг/кг. Концентрация железа во всех ПП превышает критический уровень (750 мг/кг), при этом данный элемент накапливается в растениях по акропетальному типу (в корнях) (рис. В). Наибольшее превышение содержания этого элемента выявлено в подземной части ПП 1 (в 6,8 раз) а наименьшее (в 1,3 раза) – в надземной части ПП 4.

Концентрация Ni в надземной фитомассе колеблется от 21,0 до 35,0 мг/кг, в корневой системе – от 26,0 до 53,0 мг/кг (рис. Г). Содержание никеля в растениях превышает МДУ (3,0 мг/кг) в диапазоне от 7 (надземная часть ПП2 и ПП4) до 17,7 раз (подземная часть ПП1).

Содержание марганца в надземных частях растительных образцов колеблется от 39,0 до 142,0 мг/кг, в подземных частях – от 102,0 до 541,0 мг/кг (рис. Д). Содержание марганца в исследуемых растениях не превышает критическую концентрацию (500 мг/кг), исключением является образец подземной части растений с ПП 1, превышение МДУ марганца в котором составило 1,1 раза.

Уровень свинца в надземных и подземных частях растительных образцов варьировал в диапазоне от 0,02 до 4,35 мг/кг и не превышал МДУ (5,0 мг/кг) (рис. Е).

Кадмий в надземных частях накапливается в количестве от 0,43 до 3,68 мг/кг, в корнях – от 0,83 до 6,00 мг/кг (рис. Ж). Содержание кадмия в надземных и подземных органах превышает МДУ (0,3 мг/кг). Наибольшее превышение (в 20,0 раз) отмечено в подземных частях ПП 4, а наименьшее – (в 1,4 раза) в надземных частях контрольного образца.

Концентрации кобальта в надземных частях находятся в пределах от 3,32 до 12,38 мг/кг, а в корнях варьируют от 6,8 до 13,07 мг/кг (рис. З). Наименьшие его концентрации отмечены в надземной и подземных частях контрольной площадки, наибольшие – в подземных частях ПП 1 и 3. Содержание кобальта превышает допустимые значения (0,21 мг/кг) в интервале от 15,8 до 62,2 раз.

Среднестатистические концентрации ТМ в растениях убывали в ряду: Fe > Zn > Mn > Cu > Ni > Co > Cd > Pb. В надземных частях укосов биомассы растительности содержание Zn превышает МДУ в 1,0–11,9 раз, Ni – в 7,0–11,7 раз, Cd – в 1,4–12,3 раз, содержание Fe превышает токсичную концентрацию в 1,3–3,5 раз, содержание Co выше нормальных значений в 15,8–58,9 раз. Концентрации Cu и Pb в надземной частях находились в пределах допустимых значений. Содержание Cu в корнях превышали МДУ (или токсичные концентрации) в 1,1–2,0 раз, Zn – в 1,7–17,6 раз, Ni – в 8,7–17,7 раз, Cd – в 2,8–20,0 раз, Fe в 2,5–6,8 раз, Mn – в 1,1 раза, Co – в 21,4–62,2 раз.

Наибольшие концентрации Fe, Ni, Mn отмечено в ПП 1, Cu, Zn – в ПП 2, Co – в ПП 3, Cd – в ПП 4, Pb – в ПП 5. Меньше всего содержание Cu, Zn, Cd и Co в растениях контрольной площадки, Pb – в ПП 1 и в контроле, Ni – в ПП 2 и Mn, Fe – в ПП 4. В растениях все ТМ накапливались по акропетальному типу.

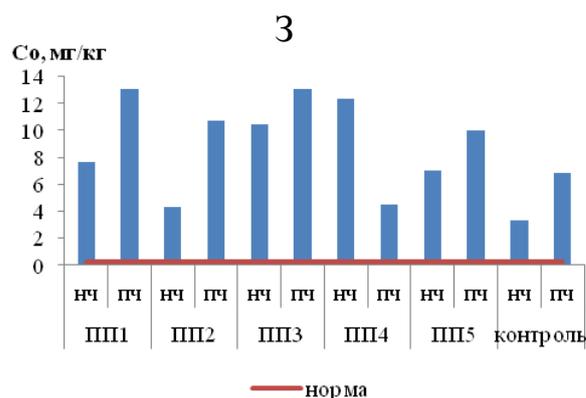
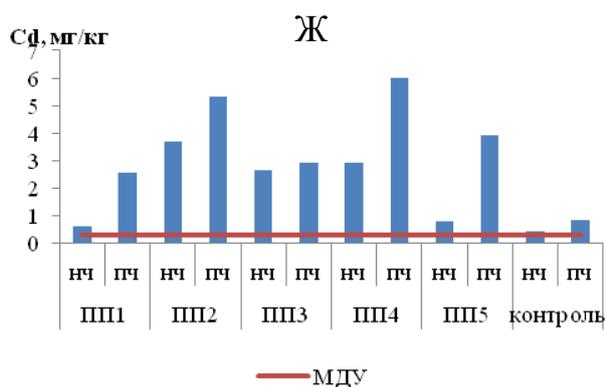
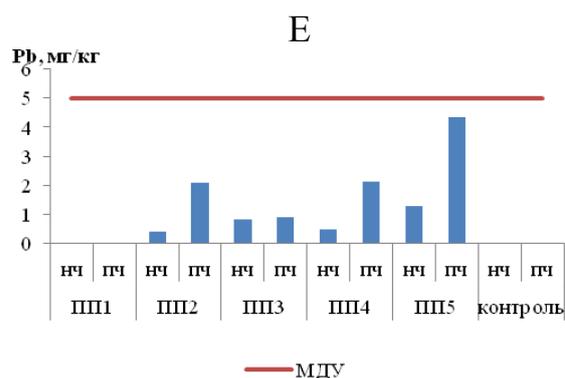
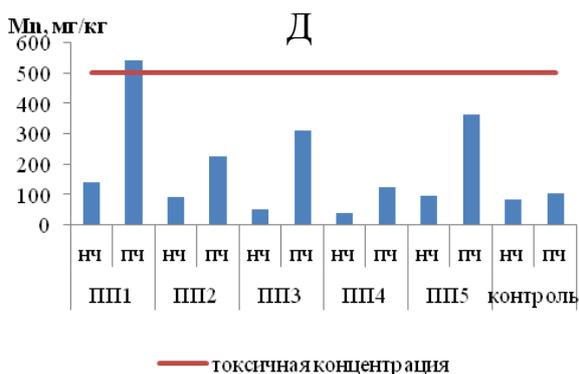
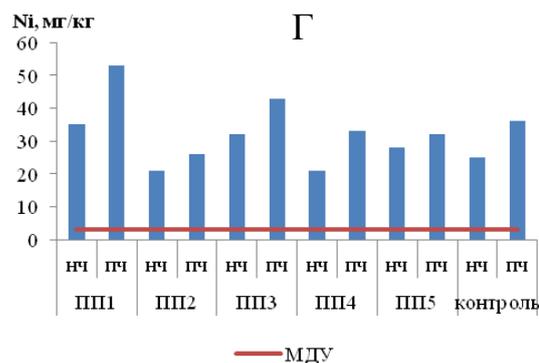
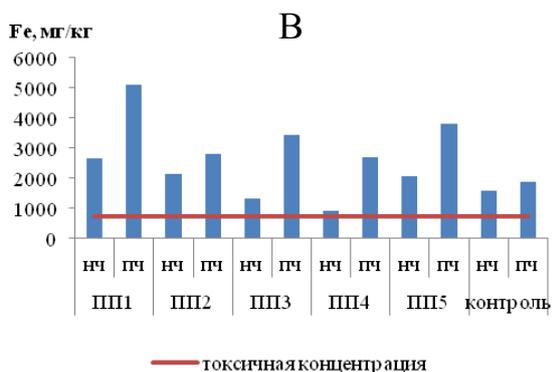
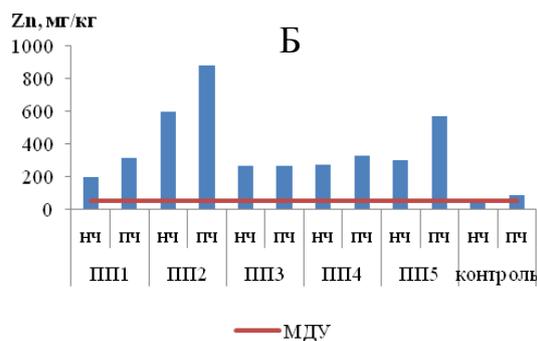
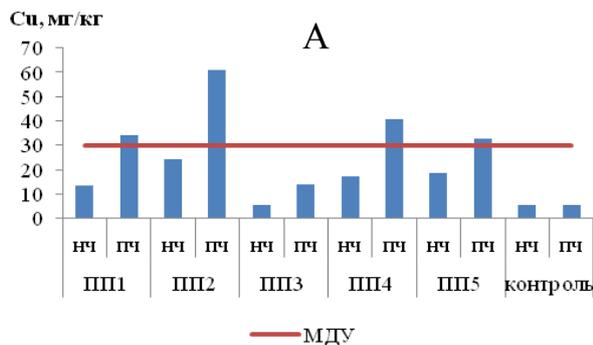


Рис. Диапазон содержания тяжелых металлов в укусах биомассы растительности (нч – надземная часть, пч – подземная часть)

Таким образом, наличие на территории населенных пунктов карьеров создает экологические проблемы, обусловленные загрязнением объектов окружающей среды ТМ. В растениях, произрастающих в зоне воздействия Си-

байского карьера, отмечается повышенный уровень цинка, никеля, кадмия, железа и кобальта в надземных частях, меди, цинка, никеля, кадмия, железа, марганца и кобальта в корнях. ТМ в исследуемых растениях накапливались по акропетальному типу.

Публикация подготовлена в рамках поддержанного РФФИ и Правительством Республики Башкортостан научного проекта 19-413-020003 р_а.

Библиографический список

1. Кусябаев З. Р., Валеев С. З., Рафикова Ю. С. Санитарнозащитные зоны на территории г. Сибай // Уральский регион Республики Башкортостан: человек, природа, общество : материалы регионально науч.-практ. конф. Сибай, 2011. С. 290–292.
2. Особенности микроэлементного состава садово-огородных почв регионального центра горнорудной промышленности / Р. Ф. Хасанова, Я. Т. Суюндуков, И. Н. Семенова, Ю. С. Рафикова, М. Б. Суюндукова // Микроэлементы в медицине. 2018. Т. 19. № 4. С.42–47. doi: 10.19112/2413-6174-2018-19-4-42-47
3. Семенова И. Н., Суюндуков Я. Т., Ильбулова Г. Р. Биологическая активность почв как индикатор их экологического состояния в условиях техногенного загрязнения тяжелыми металлами (на примере Зауралья Республики Башкортостан). Уфа : Гилем, 2012. 196 с.
4. Алексеева-Попова Н. В. Адаптация растений к избытку тяжелых металлов в биогеохимических провинциях // Микроэлементы в биологии и их применение в медицине и сельском хозяйстве. 1986. Т. 3. С. 66–67.
5. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л. : Агропромиздат, 1987. 142 с.
6. Матвеев Н. М., Павловский В. А., Прохорова Н. В. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара : Самарский университет, 1997. 100 с.
7. Временные максимально допустимые уровни (МДУ) некоторых химических элементов госстипола в кормах сельскохозяйственных животных. Утверждены Главным Управлением Ветеринарии министерства сельского хозяйства РВ. 1991.
8. Матвеев Н. М., Павловский В. А., Прохорова Н. В. Экологические основы аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара : Самарский университет, 1997. 100 с.
9. Протопопова Л. Г. Поведение кобальта в системе почва - растения и эффективность кобальтовых удобрений в условиях алтайских равнин и предгорий : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Барнаул, 2002. 20 с.

ВИДОСПЕЦИФИЧНОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ Pb и Cd ОВОЩНЫМИ КУЛЬТУРАМИ, ПРОИЗРАСТАЮЩИМИ НА ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

*Е. К. Еськов, М. Д. Еськова, Е. В. Шестакова, Э. Н. Штаюда
Российский государственный аграрный заочный университет,
ekeskov@yandex.ru*

Прослежено влияние содержания в почве и воздушной среде Pb и Cd на накопление этих элементов корневой системой и/или корнеплодами и листьями. Накопление Pb и Cd растениями при прочих равных условиях зависит от

площади их листовой поверхности. У растений с массивными листьями биологические барьеры не обеспечивают существенного снижения накопления Pb и Cd в листьях и стеблях. Коэффициенты биологического накопления Pb и Cd разными органами растений зависят от содержания этих элементов в почве и воздушной среде, а также от видовой принадлежности растений.

Ключевые слова: кадмий, свинец, растения, аккумуляция, части растений, коэффициент биологического накопления

С техногенезом сопряжено возрастание повреждающего воздействия на природную среду. Усилению ее загрязнения во многом способствует бурное развитие автотранспорта. Ежегодное поступление токсических веществ от эксплуатации автотранспорта, превышают 10 млн т. С эксплуатацией автотранспорта связано загрязнение воздушной среды и почв такими токсичными элементами как свинец и кадмий. Соединения свинца наряду с другими токсикантами выделяются с выхлопными газами, а кадмий образуется при трении покрышек об асфальт [1, 2].

Несмотря на ограничение и/или прекращение использования на автотранспорте этилированного бензина, большое количество свинца накопили придорожные земли сельскохозяйственных угодий. У автодорог традиционно размещаются приусадебные участки, на которых выращивают преимущественно овощные и плодово-ягодные культуры. Их загрязнение тяжелыми металлами зависит преимущественно от интенсивности транспортного потока [3].

В растения токсиканты поступают в основном из почвы и атмосферного воздуха. Естественная очистка почв от токсикантов проходит медленно в ходе их выщелачивания и эрозии, а также в результате извлечения растительностью. Период полужизни Cd из почвы находится в пределах от 13 до 110, а Pb – от 740 до 5900 лет [4].

Pb и Cd обладают для человека высокой токсичностью. Потребляемый с пищей Cd приводит к возникновению канцерогенных, мутагенных, эмбриотоксических и тератогенных эффектов [5]. Pb менее токсичен, но его аккумуляция в организме может поражать нервную систему, подавлять синтез белка, оказывать гонадотоксическое и эмбриотоксическое действие [6].

В задачу исследований входило изучение закономерностей накопления Pb и Cd корнями и наземными частями растений (преимущественно листьями), произрастающих на разном расстоянии от автомагистрали. Наряду с листовыми овощными культурами, отличающимися по морфологическим признакам, в исследования был включен один из корнеплодов, имеющий широкое распространение на приусадебных участках.

Растения произрастали на приусадебных участках, расположенных вдоль загруженной автомагистрали Москва – Нижний Новгород. Pb и Cd определяли в корнях и листьях растений, произраставших в двух полосах, расположенных вдоль автомагистрали на расстоянии 35–50 (ближняя полоса) и 150–200 м (дальняя полоса) от нее.

Содержание Pb и Cd в почвенных и растительных пробах определяли атомно-адсорбционным методом (анализатор КВАНТ–Z.ЭТА фирма «КОР-ТЭК», Россия). Отобранные пробы высушивали до постоянной массы при $102 \pm 0,2$ °C в терморегулируемом шкафу СНОЛ (Россия), а затем минерализовали в герметически закрытых реактивных камерах аналитического автоклава (МКП-04, Россия) смесью азотной кислоты и пероксида водорода в соответствии с МУК 4.1.985-00 и МИ 2221-92. Минерализаты переводили на требуемый объем деионизированной водой.

Содержание в воздухе паров бензина и оксида свинца контролировали на разных расстояниях от автомагистрали газоанализатором ГАНК-4. Все измерения проводили в контролируемых полосах произрастания растений в безветренные дни.

В ближней полосе к автомагистрали содержания Pb в пахотном слое почвы составляло в среднем $8,1 \pm 0,39$ мг/кг, а Cd – 270 мкг/кг. В дальней полосе содержание этих элементов равнялось соответственно $3,4 \pm 0,26$ мг/кг и 240 мкг/кг. Вблизи автомагистрали загрязненность воздуха парами бензина составляла 359 ± 21 мг/м³, а содержание оксида свинца находилось на уровне – $2,4 \pm 0,23$ мкг/м³. При удалении от трассы на 150–200 м концентрация этих веществ в воздухе уменьшалась в 8–11 раз.

Корни и листья растений, произраставших в одинаковых условиях, различались по накоплению изучаемых химических элементов. При прочих равных условиях наибольшей активностью накопления Pb и Cd отличались листья салата. Они у растений, произраставших в ближней полосе, по накоплению Pb превышали листья укропа в 4,1 и редиса – в 2,3 раза ($P > 0,999$). В корнях это различие было незначительным и ограничивалось всего 6–11% ($P \geq 0,9$). В дальней полосе различия по содержанию Pb в листьях салата по отношению к листьям укропа и редиса уменьшались соответственно до 2,6 ($P > 0,999$) и 1,2 раза ($P > 0,9$). Корни салата и укропа по содержанию свинца различались в 2 ($P > 0,99$) раза и практически не различались с корнеплодами редиса.

Удаление от автомагистрали оказывало неодинаковое влияние на уменьшение содержания Pb и Cd в корнях и листьях растений. В корнях салата от ближней к дальней полосе содержание Pb уменьшалось в 1,34, у укропа – в 2,7 и у корнеплода редиса – в 3,26 раза, а в листьях – соответственно – в 2,14, 2,89 и 3,26 раза. От ближней к дальней полосе содержание кадмия в корнях у салата уменьшалось в 1,18, у укропа – в 1,20, и у корнеплода редиса в 3,0 раза, а в листьях – соответственно в 1,22, 1,17 и 2,86 раза. В уменьшении накопления растениями токсикантов по мере удаления от источника их эмиссии, выражается общая закономерность зависимости от расстояния действия интенсивности фактора на биообъекты разной сложности.

В ближней полосе в листьях салата Cd содержалось больше, чем у редиса в 2,8 ($P > 0,999$) и у укропа в 1,1 раза ($P > 0,9$). По накоплению этого элемента только корнеплоды редиса значительно уступали корням салата.

В дальней полосе близкие значения по накоплению кадмия имели салат и укроп. Сравнительно небольшим накоплением Cd отличался редис (табл.).

Соотношение между накоплением Pb и Cd в корнях и листьями зависело от расстояния до автомагистрали. У салата, произраставшего в ближней полосе, листья накапливали Pb в 1,9 раза ($P > 0,99$) больше по сравнению с корнями. У укропа отмечалась аналогичная по величине, но противоположная по знаку активность накопления элемента корнями и листьями. Корнеплоды редиса отличались от листьев в 1,1 раза меньшей аккумулятивной активностью по сравнению с листьями.

Таблица

Аккумуляция свинца и кадмия растениями, произраставшими на разных расстояниях от автомагистрали (загруженность дорог автомобилями – 0,35 тыс./ч)

Растения		Расстояние от автомагистрали, м			
виды	органы	35–50		150–200	
		Pb, мг/кг	Cd, мкг/кг	Pb, мг/кг	Cd, мкг/кг
Салат (<i>Lactuca sativa</i>)	корни	2,18±0,12	186±15,8	1,63±0,28	157±15,4
	листья	4,21±0,24	213±12,4	1,97±0,13	174±14,5
Укроп (<i>Anethum graveolens</i>)	корни	1,96±0,17	206±13,4	0,72±0,06	163±16,7
	листья	1,33±0,11	193±14,3	0,46±0,11	114±14,3
Редис (<i>Raphanus sativus</i>)	корнеплоды	2,06±0,10	81±11,8	0,63±0,11	68±8,12
	листья	1,86±0,18	76±12,2	0,65±0,15	74±6,07

В дальней полосе сохранялась сходная тенденция по накоплению Pb корнями и листьями у салата. Превышение накопления элемента листьями по отношению к корням составляло всего 1,21 раза, у укропа – в 1,56 раза, а у корнеплодов редиса – всего на 5%. По накоплению Cd корни и листья всех изучаемых растений не имели выраженных видовых различий. Не прослеживалось также существенного влияния расстояния до автомагистрали на накопление растениями Cd (табл.). Вероятно, это обусловлено относительно невысокой загрязненностью почвы и воздушной среды этим элементом. Возможен также эффект конкуренции, выражающийся в том, что в присутствии тяжелых металлов Pb равномерно распределяется в корнях и в надземной части растений, а Cd аккумулируется преимущественно в их надземной части [7].

Судя по значениям коэффициентов биологического накопления (КБН) Pb, аккумулируясь листьями салата, не ограничивается его миграцией из почвы в корни и листья. КПН Pb корнями у растений, произраставших в ближней полосе, равнялся 0,27, в дальней – 0,47, а листьями – соответственно 0,52 и 0,81. Из этого следует, что листья поглощали значительное количество Pb из загрязнённого им воздуха. У укропа в ближней полосе КБН Pb корнями составлял 0,24 и листьями – 0,16, а в дальней – КБН у корней уменьшилось до 0,21, у листьев – до 0,14. У редиса, произраставшего в ближней полосе КБН Pb корнеплодами находился на уровне 0,25, листьями – 0,22, в дальней – соответственно 0,18 и 0,19.

КНБ Cd, как Pb отличался наибольшим значением у листьев салата. Но различия растений по этому признаку были незначительными: на ближней полосе у корней салата КНБ равнялся 0,69, у листьев – 0,79, на дальней – 0,65 и 0,72, а у укропа соответственно – 0,76, 0,71, 0,68, 0,47. У редиса также были близкие значения по КНД у листьев и корнеплодов. На ближней полосе у корнеплодов КНД Cd равнялся 0,25, на дальней – 0,28 и у листьев – 0,32 и 0,31 соответственно.

Таким образом, растения, произрастающие на территориях, примыкающих к автомагистралям, в большей мере могут загрязняться Pb и в меньшей мере Cd. Интенсивное загрязнение этими элементами приземного воздуха на придорожных территориях приводит к активному их поглощению листовыми поверхностями растений. Этому способствует приближение к дороге, как источнику эмиссии тяжелых металлов, а из морфологических признаков растений принципиальное значение принадлежит площадям листовых поверхностей. Поглощение ими Pb и Cd из загрязненного воздуха снижает эффективность функционирования биологических барьеров, препятствующих миграции токсических элементов из корневой системы в вегетативные и генеративные органы. Поэтому массивные листья салата, произраставшие на техногенно загрязненной территории, аккумулировали свинца больше чем корни. Хотя в корнях в пересчете на единицу массы растений накапливается обычно наибольшее количество химических элементов.

Библиографический список

1. Гальченко С. В. Тенденции антропогенного влияния на деградацию и изменение экологического состояния почв // Нейтрализация загрязнения почв. Рязань : Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. С. 29–37.
2. Матузова Г. В. Загрязнение почв и сопредельных сред. М. : Моск. ун-т, 2000. 71 с.
3. Еськов Е. К., Еськова М. Д., Выродов И. В. Миграция тяжелых металлов в системе почва-медоносные растения-тело пчел-продукция пчеловодства // Агрехимия. 2016. № 9. С. 78–83.
4. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М. : Мир, 2003. 171 с.
5. Zglicka A. Toksycznosc kadmu I olowiu // Aura. 2002. № 2. P. 30–31.
6. Эйхлер В. Яды в нашей пище. М. : Мир, 1985. 202 с.
7. Тяжелые металлы в компонентах экосистем / А. В. Васильцова, Л. В. Шведова, А. П. Куприяновская, А. В. Невский // Вузовская наука – региону : материалы IV Всерос. науч.-техн. конф. Вологда, 2006. С. 395–397.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА И СЕРЫ НА РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ СОРТА НОВИЧОК

З. М. Галимуллина¹, Т. Я. Ашихмина^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет,*

² *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, ecolab2@gmail.com*

Изучение влияния различных удобрений (фосфоритной муки, простого суперфосфата, серо-торфяной суспензии и нового комбинированного удобрения) позволило выявить отличительные особенности по их воздействию на почвы и растения, на примере ячменя сорта Новичок. Наилучшие показатели по развитию проростков ячменя получены при внесении в подкисленную при рН 5,48 почву нового комбинированного удобрения содержащего в своём составе фосфоритную муку, серо-торфяную суспензию и глауконит. В особенности проявляется влияние комбинированного удобрения и фосфоритной муки на развитие корневой системы, стебля и листьев. Если в контроле длина корневой системы составляет 16,5 см, то с участием комбинированного удобрения 19,5–22,5 см, а фосфоритной муки 20–21 см. Серо-торфяная суспензия и простой суперфосфат в подкисленной почве выявляют относительно сходные результаты и оказывают меньшее влияние на развитие проростков ячменя в сравнении с комбинированным удобрением и фосфоритной мукой.

Ключевые слова: ячмень сорта Новичок, почва, фосфоритная мука, суперфосфат, серо-торфяная суспензия, комбинированное удобрение.

Фосфор поддерживает жизнедеятельность живых организмов и сельскохозяйственных растений, кислотный баланс почвы. При этом он выступает в качестве дефицитного элемента питания для растений. Применение различных фосфорных удобрений на практике помогает удовлетворить потребность растений необходимым количеством фосфора [1]. Из почвы растения получают фосфор в виде растворимых фосфатов. Если фосфора в грунте не хватает, используют органические и минеральные удобрения. Главный источник фосфора для растений в природных условиях – соли ортофосфорной кислоты. В почвенных условиях, когда рН раствора колеблется от 5 (дерново-подзолистые почвы) до 7 (черноземы), растения имеют в своем распоряжении главным образом H_2PO_4^- и в меньшей степени HPO_4^{2-} . В почве имеются только соли ортофосфорной кислоты, но в сложных удобрениях зачастую присутствуют и соли мета-, пиро-, полифосфорных кислот, которые могут быть использованы всеми культурами после гидролиза пиро- и полифосфатов [2].

Роль серы в жизни растений характеризуется большой агрохимической и физиологической значимостью, как для получения высоких урожаев, так и в повышении устойчивости растений к неблагоприятным погодным условиям, к антропогенному загрязнению окружающей среды. Сера участвует в процессах дыхания, фотосинтеза и в первичной ассимиляции азота, а также в обра-

зовании растительных ферментов, гормонов, антибиотиков, горчичных глюкозидов и ряда макроэргических компонентов [3]. Сера активизирует жизнедеятельность клубеньковых бактерий, способствуя фиксации атмосферного азота бобовыми растениями [4]. Сера улучшает использование растениями основных элементов питания из почв и из вносимых удобрений. Выявлено, что в растениях сера поступает через корни в форме иона SO_4^{2-} , а также поглощается листьями в виде оксида серы SO_2 из атмосферы [5]. Ассимиляция серы из воздуха зависит от биологических особенностей культур и обеспеченности почв этим элементом [3]. Различия в содержании и потреблении серы сельскохозяйственными культурами обусловлены, прежде всего, биологическими особенностями растений, стадий их развития, а также содержанием этого элемента в почве и атмосфере [6, 7]. Наибольшее содержание подвижных форм серы обнаруживается в верхних гумусово-аккумулятивных горизонтах почв, что объясняется прочной фиксацией серы органическим веществом. В почвообразующих горизонтах зарегистрировано значительное увеличение содержания серы, что свидетельствует об активном вертикальном перемещении серы с фильтрационными водами [5].

Исследование влияния удобрений на рост и развитие проростков ячменя сорта Новичок проводилось с использованием фосфоритной муки, простого суперфосфата, серо-торфяной суспензии и комбинированного удобрения, составной частью которого является фосфоритная мука, серо-торфяная суспензия и глауконит. Состав и приготовление комбинированного удобрения и серо-торфяной суспензии описаны в работах [8, 9]. В ходе модельного эксперимента в 21 контейнер было помещено по 1 кг почвы, отобранной на пахотном поле с глубины 5–20 см. Эксперимент в них проводился с внесением и без внесения разных количеств удобрений и с выращиванием и без выращивания ячменя. Растения выращивались в течение 21 дня. Все контейнеры находились в одинаковых условиях, полив проводился у всех одинаково. По ходу прорастания определялась всхожесть семян ячменя, длина листьев. Через 21 день выращивания растений были измерены длина стебля, корня и листьев, подсчитана всхожесть семян. Почва была проанализирована по определению подвижных форм фосфора фотометрическим методом по ГОСТ Р 54650-2011 подвижная форма фосфора (P_2O_5). Турбидиметрическим методом по ГОСТ 26426-85 проводилось определение содержания серы подвижной в виде сульфатов. Потенциометрическим методом измерены по ГОСТ 26483-85 рН водной и по ГОСТ 26483-85 рН солевой вытяжек. Полученные данные представлены в таблицах 1, 2.

Таблица 1

Значение величины рН водной и солевой вытяжки почвенных образцов при внесении удобрений, с выращиванием и без выращивания ячменя

Варианты почвы с выращиванием и без выращивания ячменя и внесением удобрений	рН _{водн}	рН _{ксл}
1	2	3
Контроль	5,48	4,33
Фосфоритная мука 0,05 г/кг	5,86	4,50

Окончание таблицы 1

1	2	3
Фосфоритная мука 0,2 г/кг	5,91	4,61
Простой суперфосфат 0,05 г/кг	5,80	4,52
Простой суперфосфат 0,2 г/кг	5,93	4,50
Серо-торфяная суспензия 0,05 г/кг	5,14	4,16
Серо-торфяная суспензия 0,2 г/кг	5,02	4,11
Комбинированное удобрение 0,05 г/кг	5,54	4,45
Комбинированное удобрение 0,2 г/кг	5,54	4,42
Контроль с выращиванием ячменя	5,53	4,39
Фосфоритная мука 0,05 г/кг + Ячмень	5,85	4,53
Фосфоритная мука 0,2 г/кг + Ячмень	5,82	4,51
Простой суперфосфат 0,05 г/кг + Ячмень	5,81	4,43
Простой суперфосфат 0,2 г/кг + Ячмень	5,84	4,45
Серо-торфяная суспензия 0,05 г/кг + Ячмень	5,16	4,18
Сероторфяная суспензия 0,2 г/кг + Ячмень	5,01	4,09
Комбинированное удобрение 0,05 г/кг + Ячмень	5,54	4,40
Комбинированное удобрение 0,2 г/кг + Ячмень	5,63	4,43

Анализ данных (табл. 1) свидетельствует о том, что во всех исследуемых образцах почва относится к слабокислой и внесение в почву удобрений и выращивании в ней ячменя практически не значительно влияет на изменение значений рН.

Таблица 2

Содержание фосфатов и сульфатов в пробах почвы с внесением различных удобрений

№	Варианты проб почвы с внесением удобрений, посевом и без посева ячменя	P ₂ O ₅ , мг/кг	SO ₄ ²⁻ , мг/кг, уменьшение по отношению с выращиванием ячменя
1	2	3	4
1	Фосфоритная мука 0,05 г/кг	173±35	6,92±0,96
2	Фосфоритная мука 0,05 г/кг + Ячмень	134±27	6,40±0,90 в 1,08 раз
3	Фосфоритная мука 0,2 г/кг	209±42	6,92±0,97
4	Фосфоритная мука 0,2 г/кг + Ячмень	123±25	6,48±0,91 в 1,07 раз
5	Простой суперфосфат 0,05 г/кг	144±29	6,99±0,98
6	Простой суперфосфат 0,05 г/кг + Ячмень	66±13	6,04±0,85 в 1,16 раз
7	Простой суперфосфат 0,2 г/кг	189±38	7,72±1,08
8	Простой суперфосфат 0,2 г/кг (Ячмень)	91±18	5,71±0,80 в 1,35 раз
9	Серо-торфяная суспензия 0,05 г/кг	133±27	8,67±1,21
10	Серо-торфяная суспензия 0,05 г/кг + Ячмень	55±11	5,42±0,76 в 1,6 раз
11	Серо-торфяная суспензия 0,2 г/кг	140±28	8,78±1,23
12	Серо-торфяная суспензия 0,2 г/кг + Ячмень	70±14	6,44±0,90 в 1,36 раз
13	Комбинированное удобрение 0,05 г/кг	196±39	8,46±1,21

1	2	3	4
14	Комбинированное удобрение 0,2 г/кг	206±41	8,01±1,12
15	Комбинированное удобрение 0,05 г/кг + Ячмень	171±35	6,00±0,84 в 1,41 раз
16	Комбинированное удобрение 0,2 г/кг + Ячмень	187±38	6,92±0,97 в 1,16 раз
17	Почва (контроль)	155±31	6,88±0,96
18	Почва (контроль) после выращивания ячменя	151±30	6,37±0,89 в 1,08 раз

Анализ полученных данных (табл. 2) свидетельствует о том, что внесение в почву 0,05 и 0,2 мг/кг почвы фосфоритной муки, комбинированного удобрения и простого суперфосфата способствует накоплению подвижного фосфора в почве. При выращивании ячменя содержание подвижного фосфора и серы, как элементов питания растений, во всех образцах почвы снижается. Наибольшее уменьшение подвижного фосфора, почти в 2 раза, выявляется при выращивании ячменя в почве с внесением фосфоритной муки, простого суперфосфата и серо-торфяной суспензии, в то время как количество подвижного фосфора в почве с внесением комбинированного удобрения изменяется в меньшей степени. Причиной такого явления может быть то, что в составе нового комбинированного органоминерального удобрения кроме фосфора входят органические азотсодержащие соединения, которые соединяясь с кальцием способствуют образованию в почве не извлекаемых фосфатов и тем самым приводят к уменьшению содержания усвояемой фосфорной кислоты.

В случае с серо-торфяной суспензией, которая подкисляет почву, растения, нуждающиеся в фосфорном питании, поглощают подвижный фосфор, содержащийся в почве, тем самым существенно, в 2 и более раза, снижается его содержание (табл. 2). Наибольшее накопление подвижной серы в почве в сравнении с контролем выявляется при внесении серо-торфяной суспензии, комбинированного удобрения и простого суперфосфата, что позволяет за счёт данных удобрений поглощать растениями серу для питания в больших количествах (табл. 2).

Таким образом, во всех вариантах эксперимента с посевом ячменя выявляется резкое уменьшение содержания в почве фосфора и серы, что вполне согласуется с литературными данными [6, 7, 10] злаковые растения выносят их с урожаем в достаточно больших количествах. С одной тонны озимого ячменя (в виде зерна) выносятся 11,1 кг фосфора в виде P_2O_5 и 8 кг серы в виде SO_4^{2-} [10].

Наряду с химическими показателями в модельном эксперименте были изучены биометрические показатели проростков ячменя сорта Новичок. Полученные результаты представлены в таблицах 3, 4.

Таблица 3

Данные о влиянии удобрений на всхожесть семян ячменя сорта Новичок

Варианты почвы с внесённым удобрением для выращивания ячменя	Всхожесть в %			
	на 3-е сутки	на 7-е сутки	на 14-е сутки	на 21-е сутки
Контроль	40,0	60,0	66,7	66,7
Фосфоритная мука 0,05 г/кг	86,7	93,3	93,3	86,7
Фосфоритная мука 0,2 г/кг	80,0	93,3	93,3	86,7
Простой суперфосфат 0,05 г/кг	80,0	80,0	83,3	83,3
Простой суперфосфат 0,2 г/кг	76,7	83,3	83,3	83,3
Серо-торфяная суспензия 0,05 г/кг	76,7	80,0	83,3	83,3
Серо-торфяная суспензия 0,2 г/кг	66,7	76,7	80,0	80,0
Комбинированное удобрение 0,05 г/кг	76,7	76,7	83,3	90,0
Комбинированное удобрение 0,2 г/кг	63,3	66,7	76,6	76,6

Анализ данных по изучению всхожести семян (табл. 3) свидетельствует о том, что добавление в почву исследуемых удобрений значительно повышает всхожесть семян ячменя сорта Новичок. Наилучшие результаты получены на 7 и 14 сутки при внесении в почву фосфоритной муки. Всхожесть семян составила 93% в сравнении со значением контроля 60–66,7%. На 14, 21 сутки всхожесть семян ячменя в присутствии простого суперфосфата, серо-торфяной суспензии и комбинированного удобрения выявляет сходные значения и находится в пределах 83%. При этом следует отметить, что внесение комбинированного удобрения в количестве 0,05 г/кг почвы, даёт лучшие результаты по всхожести, чем при внесении данного удобрения в количестве 0,2 г/кг.

Результаты, полученные по изучению влияния удобрений на развитие корневой системы, длину стебля и листа ячменя сорта Новичок на 21 сутки представлены в таблице 4. Анализ данных свидетельствуют о том, что все значения биометрических показателей проростков ячменя с использованием удобрений значительно отличаются от показателей, полученных в контроле.

Таблица 4

Данные о влиянии удобрений на развитие длины корня, стебля и листа ячменя сорта Новичок за период 21 суток

Варианты почвы с внесённым удобрением для выращивания ячменя	Длина стебля, см	Длина корня, см	Длина 1-го листа, см	Длина 2-го листа, см
1	2	3	4	5
Ячмень контроль	5,5	16,5	9	9
Ячмень с внесением комбинированного удобрения (0,05 г/кг)	6,3	19,5	11,8	16,0
Ячмень с внесением комбинированного удобрения (0,2 г/кг)	7,1	22,5	11,5	13,5
Ячмень с внесением фосфоритной муки 0,05 г/кг	5,5	20,0	11,0	9,0
Ячмень с внесением фосфоритной муки 0,2 г/кг	6,0	21,0	11,0	15,5

1	2	3	4	5
Ячмень с внесением простого суперфосфата 0,05 г/кг	5,0	16,0	10,5	11,5
Ячмень с внесением простого суперфосфата 0,2 г/кг	4,5	18,0	10,5	12,0
Ячмень с внесением серо-торфяной суспензии 0,05 г/кг	5,5	17,0	11,5	10,5
Ячмень с внесением серо-торфяной суспензии 0,2 г/кг	5	15,0	12,0	9,0

В целом следует отметить, что внесение удобрений улучшает развитие проростков ячменя и в особенности проявляется влияние комбинированного удобрения и фосфоритной муки на развитие корневой системы. Если в контроле длина корневой системы составляет 16,5 см, то с участием комбинированного удобрения 19,5–22,5 см, а фосфоритной муки 20–21 см. Относительно сходные результаты по развитию корневой системы ячменя получены при воздействии на неё простого суперфосфата и серо-торфяной суспензии (15–18 см).

При проращивании ячменя в присутствии комбинированного удобрения выявлено, что значения биометрических показателей (развитие стебля и листьев) также существенно отличаются, как от значений показателей контроля, так и значений полученных с участием фосфоритной муки, простого суперфосфата и серо-торфяной суспензии.

Таким образом, изучение влияния различных удобрений (фосфоритной муки, простого суперфосфата, серо-торфяной суспензии и нового комбинированного удобрения) позволило выявить отличительные особенности по их воздействию на почвы и растения, на примере ячменя сорта Новичок. Наилучшие показатели по развитию проростков ячменя получены при внесении в почву нового комбинированного удобрения содержащего в своём составе фосфоритную муку, серо-торфяную суспензию и глауконит. Удобрение в виде фосфоритной муки на подкисленных почвах также оказывает положительное влияние на развитие проростков ячменя.

Библиографический список

1. Теучеж А. А. Изучение роли подвижного фосфора в системе почва – удобрения – урожай // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 127. С. 905–917.
2. Действие фосфорных удобрений на кислых и нейтральных типах почв / Н. У. Умиров, С. О. Алимкулов, У. Н. Усанов, Ф. Б. Маматмуродова // Проблемы науки. 2016. № 3 (4). С. 5–6.
3. Сера и урожай / В. И. Панасин, В. Д. Слобожанинова, Н. В. Лопатина. Калининград : Изд-во «КГТ», 1999. 150 с.
4. Аристархов А. Н. Баланс серы по регионам страны // Химия в сельском хозяйстве. 1987. № 9. С. 41–44.

5. Михайлова Т. А., Шергина О. Н. Биогеохимическая миграция элементов-загрязнителей в урбоэкосистеме // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 3. С. 27–32. doi: 10.25750/1995-4301-2010-3-027-032
6. Аристархов А. Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. М., 2000. 524 с.
7. Аристархов А. Н. Агрохимия серы. М., 2007. 272 с.
8. Состав и технология производства серного удобрения с активированным торфом и глауконитным эфелем / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 134–141. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-134-141
9. Оптимизация состава удобрений на основе молотых фосфоритов / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 60, № 12. С. 133–139.
10. Система применения удобрений : учебное пособие / под ред. В. В. Лапы. Гродно : ГГАУ, 2011. 418 с.

СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СЕМЕНАХ МАША, ЧИА, КИНОА

*Д. М. Сараева, А. М. Шеромов, А. Н. Шатунов,
Т. А. Адамович, Е. В. Товстик*

Вятский государственный университет, sdmbye@gmail.com

В настоящей работе изучено содержание полифенольных соединений в семенах маша, чиа и киноа спектрофотометрическим методом с применением реактива Фолина-Чокальтеу. Установлено, что массовая концентрация полифенолов в семенах маша, киноа и чиа варьирует от 1,24 до 2,3 г/кг. При этом достоверных отличий в содержании полифенолов в темных и светлых семенах, а также в семенах, имеющих разное происхождение, не выявлено. Таким образом, семена изученных видов растений, являются перспективными объектами с относительно высоким содержанием полифенолов. Данный факт позволяет рекомендовать их для создания новых функциональных пищевых продуктов.

Ключевые слова: полифенольные соединения, семена, маш, чиа, киноа, спектрофотометрический метод.

В настоящее время интерес к растительным полифенолам (РПФ) сосредоточен в нескольких областях промышленности. Однако наибольший интерес к ним наблюдается в области производства продуктов питания, что связано с многочисленными исследованиями, показавшими ту или иную, положительную роль использования РПФ в профилактике различных заболеваний [1, 2].

С современной точки зрения к полифенолам относят вторичные метаболиты растений. Их молекулы образованы более, чем одним фенольным кольцом, и лишены какой-либо функциональной группы на основе азота. Кроме этого для соединений типа полифенолы характерно участие в защите

от ультрафиолетового излучения и агрессии со стороны патогенов [3].

В зависимости от количества содержащихся в полифенолах фенольных колец и структурных элементов, которые связывают эти кольца друг с другом, выделяют несколько групп: фенольные кислоты (например, галловая кислота), флавоноиды, стильбены и лигнаны. Как правило, данные группы полифенолов образуют в целом спектр пищевых полифенолов [4].

Известно, что содержание полифенолов в растениях, и их последующая биодоступность для человека определяются многочисленными факторами. Среди них климат, тип культуры, размер и спелость плодов, а также способ кулинарной обработки [5–9]. К настоящему времени к продуктам с повышенным содержанием полифенолов относят чай, кофе, какао, шоколад, такие напитки, как виноградный сок и вино, а также лесные ягоды, фрукты, овощи и цельное зерно.

Цель работы заключалась в сравнительной оценке содержания полифенолов в семенах маша, чиа, киноа.

Выбор объектов исследования основывался на семействе растений, их происхождении и/или цвете семян. В работе использовали:

– семена киноа (*Chenopodium quinoa*) белая и черная, произведенные соответственно в Перу и России. Киноа – хлебная зерновая культура, относящаяся к псевдозерновым, однолетнее растение семейства Амарантовые;

– семена чиа (*Salvia hispanica*) белая и черная, произведенные соответственно в Аргентине и России. Чиа – однолетнее растение семейства Яснотковые;

– семена маша (*Vigna radiate*), произведенные в Таджикистане и Узбекистане. Маш – зернобобовая культура, однолетнее растение семейства Бобовые.

Экстрагирование полифенолов из семян осуществляли 70%-ым этиловым спиртовым [10]. Определение полифенольных соединений проводили с опорой на ГОСТ 55488-2013. Метод основан на реакции окисления полифенольных соединений водно-спиртового экстракта семян реактивом Фолина-Чокальтеу и последующим фотометрированием образующейся «сини» при длине волны 765 нм. В качестве внутреннего стандарта использовали галловую кислоту.

В результате проведенных исследований установлено, что массовая концентрация полифенолов в семенах киноа и чиа варьирует от 1,24 до 2,3 г/кг. При этом достоверных отличий в содержании полифенолов в темных и светлых семенах не было выявлено (рис.).

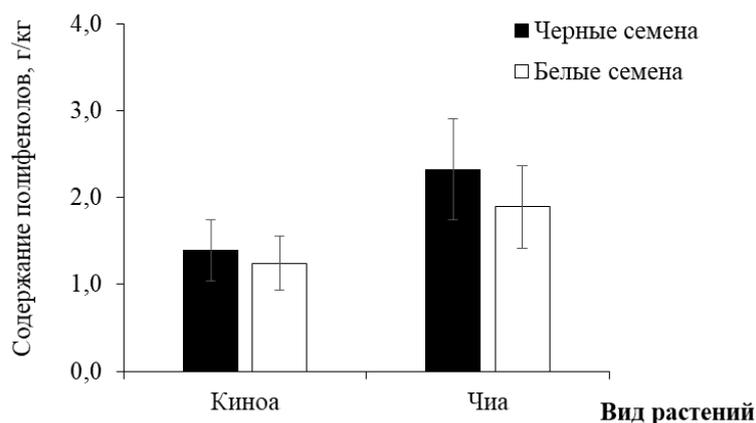


Рис. Массовая концентрация полифенолов в семенах в зависимости от их цвета

При этом семена чиа черного цвета, по сравнению с семенами киноа черного цвета, содержат в своем составе больше полифенолов.

Содержание полифенолов в семенах маша, выращенных в Таджикистане и Узбекистане составило $2,1 \pm 0,5$ и $1,5 \pm 0,4$ г/кг соответственно. Как и в случае киноа и чиа, достоверных отличий в содержании полифенолов в семенах, имеющих разное происхождение не установлено.

Таким образом, семена киноа, чиа и маша являются перспективным видом растений с относительно высоким содержанием полифенолов, что позволяет рекомендовать их для создания новых функциональных пищевых продуктов.

Библиографический список

1. Basic biochemical mechanisms behind the health benefits of polyphenols / C. G. Fraga, M. Galleano, S. V. Verstraeten, P. I. Oteiza // *Mol. Aspects Med.* 2010. Vol. 31(6). P. 435–445. doi: 10.1016/j.mam.2010.09.006
2. Костюк В. А. Растительные полифенольные соединения как компоненты функционального питания // *Труды Белорусского государственного университета. Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем.* 2016. Т. 11. Ч. 1. С. 32–41.
3. Plant Polyphenols: Chemical Properties, Biological Activities, and Synthesis / S. Quideau, D. Deffieux, C. Douat-Casassus, L. Pouysegu // *Angew Chem Int Ed Engl.* 2011. Vol. 50. Iss. 3. P. 586–621. doi: 10.1002/anie.201000044
4. Flavonoid and lignan intake in a Mediterranean population: proposal for a holistic approach in polyphenol dietary analysis, the Moli-sani Study / G. Pounis, A. Di Castelnuovo, M. Bonaccio, S. Costanzo, M. Persichillo, V. Krogh, M. B. Donati, G. de Gaetano, L. Iacoviello // *European Journal of Clinical Nutrition.* 2016. Vol. 70(3). P. 338–345. doi: 10.1038/ejcn.2015.178
5. Polyphenols: Food sources and bioavailability / C. Manach, A. Scalbert, C. Morand, C. Remesy, L. Jimenez // *Am. J. Clin. Nutr.* 2004. Vol. 79. P. 727–747. doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727
6. Phenolic and volatile compounds of extra virgin olive oil (*Olea europaea* L. Cv. *Cornicabra*) with regard to fruit ripening and irrigation management / A. Gomez-Rico, M. D. Salvador, M. La Greca, G. Fregapane // *J. Agric. Food Chem.* 2006. Vol. 54(19). P. 7130–7136. doi: 10.1021/jf060798r

7. Effects of different cooking methods on antioxidant profile, antioxidant capacity, and physical characteristics of artichoke / R. Ferracane, N. Pellegrini, A. Visconti, G. Graziani, E. Chiavaro, C. Miglio, V. Fogliano // J. Agric. Food Chem. 2008. Vol. 56(18). P. 8601–8608. doi: 10.1021/jf800408w

8. Changes in phenolic content and antioxidant activity of Italian extra-virgin olive oils during storage / A. Baiano, G. Gambacorta, C. Terracone, M. A. Previtali, C. Lamacchia, E. La Notte // J. Food. Sci. 2009. Vol. 74(2). P. 177–183.

9. Phenolic content, composition, antioxidant activity, and their changes during domestic cooking of potatoes / X. Xu, W. Li, Z. Lu, T. Beta, A. W. Hydamaka // J. Agric. Food Chem. 2009. Vol. 57(21). P. 10231–10238. doi: 10.1021/jf902532q

10. Денисенко Т. А., Вишник А. Б., Цыганок Л. П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19. № 4. С. 373–380.

МЁД КАК СОСТАВЛЯЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ В СИСТЕМЕ БИОИНДИКАЦИИ НА ПАСЕКАХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С. А. Ермолина, О. А. Ямианова

*Вятский государственный агротехнологический университет,
sweta_ermolina@mail.ru*

В статье рассматривается возможность использования продуктов пчеловодства, в частности мёда, как индикатора состояния окружающей среды. Представлены данные по содержанию тяжелых металлов в пробах мёда с пасек Кировской области.

Ключевые слова: биоиндикация, апимониторинг, тяжелые металлы, мёд, продукты пчеловодства.

Пчелы медоносные (*Apis mellifera* L.), а также продукты их жизнедеятельности (мед, воск, пыльца медоносных растений, перга, прополис, маточное молочко) содержат в себе более 30 химических элементов в составе различных соединений. Причем их концентрация в тканях пчел и их продуктах коррелирует с содержанием в окружающей среде – почве, воде, воздухе, тканях растений. Это обстоятельство позволяет использовать пчел и их продукты в качестве индикаторов состояния среды. По изменению физиологических показателей пчел, наличию в их организме и продуктах жизнедеятельности тяжелых металлов, соединений мышьяка, радионуклидов и других загрязнителей можно оценить экологическую обстановку в данной местности, проследить миграцию элемента в экосистеме и оценить его воздействие на биологические объекты [1, 2].

В значительной степени изучены закономерности аккумуляции тяжелых металлов в продуктах пчеловодства (прежде всего в мёде) в связи с их важностью для здоровья человека. Тяжелые металлы относятся к наиболее широко распространенным поллютантам водной и почвенной среды. Они со-

ставляют значительную долю загрязнителей окружающей среды и по токсичности занимают второе место после пестицидов. Однажды попав в биогеохимический цикл, они крайне редко и медленно покидают его. Тяжелые металлы даже в ничтожных концентрациях ядовиты. Проникая в живые клетки, они нарушают их жизнедеятельность, но свое токсическое действие тяжелые металлы проявляют только в виде ионов. Тяжелые металлы опасны тем, что они обладают способностью накапливаться в живых организмах, включаться в метаболический цикл, образовывать высокотоксичные металлорганические соединения, изменять формы нахождения при переходе от одной природной среды в другую, не подвергаясь биологическому разложению. К числу наиболее опасных токсикантов относятся свинец и кадмий. В результате связывания свинцом ангидридов угнетается синтез белков и снижается ферментативная активность. Токсическая доза свинца для человека – 1 мг. Еще больше токсичен кадмий. Он аккумулируется преимущественно в почках, печени и двенадцатиперстной кишке и также представляет угрозу для здоровья человека [3–5].

Особенно актуальной проблема загрязнения среды тяжелыми металлами стала в последние годы, так как она тесно пересекается с другой глобальной проблемой – проблемой получения экологически чистых продуктов питания.

Целью данной работы были исследования проб мёда (урожай 2020 года) в качестве биоиндикатора и аккумулятора загрязнителей окружающей среды (по отдельным видам загрязнителей). Кроме этого, на соответствие их показателям ГОСТ 19792-2017 «Мёд натуральный. Технические условия» и Техническому регламенту таможенного союза «О безопасности пищевой продукции».

Работа выполнена на базе ФГБУ ВО Вятской ГСХА и КОГБУ Кировской областной ветеринарной лаборатории. Отбор проб и определение физико-химических показателей мёда осуществлялся в соответствии с ГОСТ 19792-2017. Определение содержания тяжелых металлов в полученных образцах проводилось методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Для исследования были выбраны пасеки, расположенные от областного центра к западу и юго-западу Кировской области. Это Орловский, Котельничский и Яранский районы. Все пасеки расположены согласно ветеринарно-санитарным требованиям и благополучны по эпизоотической ситуации. По литературным данным, содержание металлов в меде и пыльце имеет выраженную тенденцию к уменьшению по мере удаления от промышленных центров. Вокруг городов обнаружены высокие концентрации следующих металлов: свинца (150–2288 мг/кг), цинка (300–3875 мг/кг), кадмия (10–30 мг/кг), меди (150–3855 мг/кг). Техногенное происхождение металлов подтверждается понижением их содержания в почве с удалением от мест загрязнений.

Несмотря на удаленность пасек от областного центра, в исследуемых районах присутствуют крупные производства и комбинаты, которые могут стать источниками загрязнения для окружающей среды. Так, в Яранске наи-

более крупными и действующими предприятиями являются авиационный завод ЛЕПСЕ, механический завод, Яранский комбинат молочных продуктов, предприятие BioGasRussia. В Орловском – это предприятие – производитель сельскохозяйственной техники Агросервисная ОАО, производитель бытовых приборов и машин Вятка-эко, лесозаготовливающие и деревообрабатывающие предприятия. В Котельничском районе главными производствами являются Котельничский механический завод, Моспромстройматериалы-Вятка, производящая пеллеты, мачтопропиточный завод.

Анализ полученных данных показал, что содержание тяжелых металлов в пробах мёда – свинец, мышьяк и кадмий находятся в пределах нормы. Количество свинца варьирует от 0,02 до 0,137 мг/кг (при нормативе не более 1,0 мг/кг); мышьяка от 0,01 до 0,025 мг/кг (при нормативе не более 0,5 мг/кг); кадмия от 0,01 до 0,02 мг/кг (при нормативе не более 0,050 мг/кг). Несмотря на достаточно высокую антропогенную нагрузку в районах, содержание тяжелых металлов находится в пределах допустимых значений по нормативным документам. Вероятно, значительная часть тяжелых металлов, содержащихся в нектаре, удаляется из него в процессе переработки в мед.

Кроме этого, получены и проанализированы физико-химические показатели мёда. Признаки брожения в пробах не обнаружены, массовая доля воды варьирует в пределах $15,0 \pm 0,6\%$ – $17,9 \pm 0,7\%$, что говорит о зрелости мёда и показывает, сколько он будет сохранять свои полезные свойства в процессе хранения. Еще один важный показатель зрелости и натуральности – диастазное число, по его величине судят об активности мёда с биологической точки зрения. Этот показатель в исследуемых пробах составил $18,3 \pm 0,11$ ед. Готе – $24,6 \pm 1,7$ ед. Готе (при минимально допустимом значении 8,0 ед. Готе).

Библиографический список

1. Ковалев А. М. Учебник пчеловода. М. : «Колос», 1973.
2. Ломаев Г. В., Бондарева Н. В. К вопросу об апимониторинге загрязнений окружающей среды тяжелыми металлами // Вопросы экологии и природопользования в аграрном секторе : материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Ижевск, 20–23 июня 2003 г.). М. : АНК, 2003. С. 180–184.
3. Ломаев Г. В., Бондарева Н. В. Концепция экологического апимониторинга // Пчеловодство. 2007. № 3. С. 10–12.
4. Лебедев В. И., Мурашова Е. А. Экологическая чистота продуктов пчеловодства // Пчеловодство. 2003. № 4. С. 42–44.
5. Скосырских Л. Н., Столбова О. А., Скосырских А. В. Оценка качества меда по содержанию тяжелых металлов // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. С. 1–6.

БИОИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ЭКОСИСТЕМАХ С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

А. Д. Штири, К. Н. Соколова

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», eco-1999@mail.ru

Представлены результаты исследований экологической структуры сообществ панцирных клещей в экосистемах с различной степенью антропогенной нагрузки. На основании оценки параметров видового богатства, средней плотности населения, индекса экологического разнообразия Шеннона, структуры доминирования и соотношения жизненных форм дана оценка состояния окружающей среды по интегральному показателю.

Ключевые слова: панцирные клещи, оribатиды, экологическая структура сообществ, антропогенная нагрузка, биоиндикация.

В последнее время почвенные беспозвоночные, в том числе панцирные клещи, активно используются в биоиндикации состояния окружающей среды. Индикационное значение оribатид освещено в работах Д. А. Криволуцкого [1–4], G. Weigmann, W. Kratz [5], D. Borcard, P. Legendre [6], N. M. van Straalen [7], V. M. Behan-Pelettier [8], А. С. Зайцева, Н. М. Ван Страалена [9], В. Г. Мордковича и др. [10], А. Д. Штирца и др. [11–16], Т. Caruso et al. [17], Т. Eeva, R. Penttinen [18], О. Ivan, А. Vasiliu [19], В. Б. Колесникова [20], S. Shimano [21], М. В. Якутина и др. [22, 23], В. С. Андриевского [24, 25], Д. И. Еремина, С. А. Козлова [26], С. А. Козлова, И. В. Опанасюка [27], М. Sakir, E. Macineci [28], V. Gergocs, L. Hufnagel [29], А. Е. Аничкина и др. [30], P. Vacht [31] и др.

Цель нашей работы – оценка состояния окружающей среды с использованием интегрального показателя экологической структуры сообществ панцирных клещей в экосистемах с различной степенью антропогенной нагрузки.

Материалом для настоящей работы послужили сборы почвенных проб в 2017–2019 гг.: на территории дендрария Донецкого ботанического сада в двух биотопах (липовая роща и дубовая роща), принятых нами в качестве *условного контроля*; на экскурсионной территории Донецкого ботанического сада (умеренная *антропогенная нагрузка*) под тремя лиственными древесными породами (дуб черешчатый, береза повислая и липа сердцевидная); на территории скверов «Горсад» и «Сокол», расположенных в центре г. Донецка (*высокая антропогенная нагрузка*); на территории парка им. А.С. Щербакова г. Донецка (*высокая антропогенная нагрузка*): на берегу первого городского пруда, на участках лиственных и хвойных древесных насаждений.

Отбор почвенных проб и выгонка клещей в термоэлекторах Тульгрена-Берлезе проводились по общепринятой методике Е. М. Булановой-Захваткиной [32]. Для оценки экологического разнообразия сообществ пан-

цирных клещей использовался индекс Шеннона, рассчитанный с помощью натурального логарифма [33]. Для анализа структуры доминирования сообществ орибатид применялись градации доминирования по шкале Н. D. Engelmann [34] для микроартропод. Анализ распределения жизненных форм проведен в соответствии с работами Д. А. Криволицкого [35, 4]. Оценка состояния окружающей среды проведена с помощью интегрального показателя экологической структуры сообществ панцирных клещей [14].

В результате проведенных исследований установлен видовой состав панцирных клещей и проанализированы параметры средней плотности населения, видового богатства, структуры доминирования, соотношения жизненных форм и индекса экологического разнообразия Шеннона. Основные результаты работы были опубликованы нами ранее [36–38].

Особенностью экологической структуры сообществ панцирных клещей *условно контрольной территории* (дендрарий Донецкого ботанического сада) являются достаточно высокие показатели видового богатства и средней плотности населения орибатид, высокие значения индекса экологического разнообразия Шеннона, большое количество и высокая доля видов субдоминантов и редких видов, присутствие представителей всех адаптивных типов и их относительно равномерное распределение.

Экологическая структура сообществ панцирных клещей исследуемых участков с *умеренной антропогенной нагрузкой* (экскурсионная территория Донецкого ботанического сада) по своим характеристикам близка к условно контрольной территории дендрария. В почвах под разными листовыми породами формируется достаточно оригинальный и своеобразный комплекс орибатид, связанный с листовым опадом. Основные экологические параметры населения орибатид здесь ниже, чем в контроле, что отражается на интегральном показателе экологической структуры сообществ.

Особенностью экологической структуры сообществ орибатид скверов, расположенных в центре города, являются крайне низкие показатели видового богатства, средней плотности и экологического разнообразия сообществ, наличие эудоминантов и отсутствие редких видов в структуре доминирования, отсутствие представителей трех жизненных форм. Это связано, в первую очередь, с высокой рекреационной нагрузкой, которой подвергаются данные скверы: постоянным вытаптыванием людьми, регулярной механической обработкой почвы, газонокосением и удалением листового опада сотрудниками «Зеленстроя».

Экологическая структура населения панцирных клещей антропогенно трансформированных участков парка, подвергающегося интенсивной рекреационной нагрузке, является сильно нарушенной, что сказывается на низких показателях численности, видового богатства и экологического разнообразия сообществ орибатид. Структура доминирования характеризуется наличием эудоминантов, значительной долей доминантов и небольшим количеством рецедентных и субрецедентных видов (или их полным отсутствием), что в

целом характерно для антропогенно трансформированных экосистем. Отсутствуют представители трех адаптивных типов орибатид.

На основании результатов многолетних исследований состава и структуры сообществ панцирных клещей естественных и техногенных экосистем Донбасса нами были разработаны критерии оценки основных экологических показателей сообществ орибатид по 5-балльной шкале [14]. Предложена схема оценки экологического состояния окружающей среды по интегральному показателю сообществ панцирных клещей: от 0 до 5 баллов – *критическое состояние экосистемы* (V уровень), 6–10 баллов – *значительный уровень отклонений от нормы* (IV), 11–15 баллов – *средний уровень отклонений от нормы* (III), 16–20 баллов – *незначительные отклонения от нормы* (II), 21–25 баллов – *условно нормальное состояние* (I уровень).

Проведенная оценка состояния окружающей среды на основе интегрального показателя экологической структуры сообществ орибатид показала, что экологическое состояние окружающей среды *условно контрольных участков* дендрария Донецкого ботанического сада для липовой рощи соответствует II уровню – *незначительные отклонения от нормы* (20 баллов), а для дубовой рощи – I уровню – *условно нормальное* (23 балла).

Экологическое состояние окружающей среды участков с *умеренной антропогенной нагрузкой* на экскурсионной территории Донецкого ботанического сада в почвах под дубом черешчатым, липой сердцевидной и березой повислой соответствует II уровню – *незначительные отклонения от нормы* (19 баллов – под дубом и по 16 баллов – под липой и березой).

Интегральный показатель сообщества орибатид участков с *высокой антропогенной нагрузкой* в сквере «Горсад» составляет 10 баллов, что соответствует *значительному уровню отклонений от нормы* (IV уровень). В сквере «Сокол» этот показатель еще более низкий – всего 5 баллов (V уровень), что свидетельствует о *критическом состоянии* экосистемы.

Интегральный показатель сообществ панцирных клещей участков с *высокой антропогенной нагрузкой* в парке им. А. С. Щербакова на берегу пруда, а также на участках лиственных и хвойных древесных насаждений, составляет по 10 баллов, и соответствует *значительному уровню отклонений от нормы* (IV уровень).

Библиографический список

1. Криволицкий Д. А. Панцирные клещи как индикатор почвенных условий // Итоги науки и техники. Сер. беспозв. животных. М., 1978. Т. 5. С. 70–134.
2. Криволицкий Д. А. Биоиндикация состояния окружающей среды Москвы и Подмосковья // Экология почвенных животных. М. : Наука, 1982. С. 82–89.
3. Криволицкий Д. А. Почвенная фауна в экологическом контроле // Экология почвенных животных. М. : Наука, 1994. С. 16–18.
4. Панцирные клещи : морфология, развитие, филогения, экология, методы, исследования, характеристика модельного вида *Nothrus palustris* С. L. Koch, 1839 / Д. А. Криволицкий, Ф. Лебрен, М. Кунст и др. / Под ред. Д. А. Криволицкого. М. : Наука, 1995. 224 с.

5. Weigmann G., Kratz W. Oribatid mites in urban zones of West Berlin // *Biology and Fertility of Soils*. 1987. Vol. 3. P. 81–84.
6. Borcard D., Legendre P. Environmental control and spatial structure in ecological communities : an example using oribatid mites (Acari, Oribatei) // *Environmental and Ecological Statistics*. 1994. Vol. 1. P. 37–61.
7. Van Straalen N. M. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities // *Applied Soil Ecology*. 1998. Vol. 9. P. 429–437.
8. Behan-Pelletier V. M. Oribatid mite biodiversity in agroecosystems : role for bioindication // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 1999. Vol. 74. P. 411–423.
9. Зайцев А. С., Ван Страален Н. М. Видовое разнообразие и накопление металлов в орибатидных клещах (Acari, Oribatida) лесов, пораженных металлургическим заводом // *Педобиология*. 2001. Т. 45, № 5. С. 467–479.
10. Животное население как индикатор экологического состояния почв западно-сибирского севера под влиянием нефтезагрязнений / В. Г. Мордкович, В. С. Андриевский, О. Г. Березина, И. И. Любечанский, И. И. Марченко // *Сибирский экологический журнал*. 2004. № 4. С. 467–474.
11. Штирц А.Д. Использование экологической структуры населения панцирных клещей для биоиндикации и почвенно-зоологического мониторинга в условиях Донбасса // Биоразнообразие и роль зооценоза в естественных и антропогенных экосистемах : материалы Междунар. науч. конф. (Днепропетровск, 4–6 октября 2005 г.). Днепропетровск, 2005. С. 232–234.
12. Штирц А. Д., Ярошенко М. С. Панцирные клещи как биоиндикаторы степени влияния производственной деятельности ГП «Артемсоль» (г. Соледар) на окружающую среду // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. 2012. Вып. 1 (12). С. 179–185.
13. Штирц А. Д., Ярошенко М. С. Экологическая структура населения панцирных клещей техногенного и природного ландшафтов как индикатор состояния экосистем // *Биологический вестник Мелитопольского государственного педагогического университета имени Богдана Хмельницкого*. 2013. № 3 (3). С. 259–273. doi:10.7905/bbmspu.v0i3(6).544
14. Штирц А. Д. Оценка влияния антропогенной нагрузки на экосистемы с использованием интегрального показателя сообществ панцирных клещей // *Acta Biologica Sibirica*. 2015. № 1 (1–2). С. 51–66. doi:10.14258/abs.v1i1-2.782
15. Штирц А. Д. Оценка состояния окружающей среды с помощью интегрального показателя сообществ орибатид // *Материалы XVIII Всерос. совещ. по почвенной зоологии* (Москва, 22–26 октября 2018 г.). М. : Товарищество научных изданий КМК, 2018. С. 227–228.
16. Штирц А. Д., Винник Ю. А. Панцирные клещи как биоиндикаторы состояния окружающей среды на рекультивированных терриконах шахт г. Донецка // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. 2020. № 1–2. С. 65–72.
17. The Berger–Parker index as an effective tool for monitoring the biodiversity of disturbed soils : a case study on Mediterranean oribatid (Acari : Oribatida) assemblages / T. Caruso, G. Pigino, F. Bernini, R. Bargagli, M. Migliorini // *Biodiversity and Conservation*. 2007. Vol. 16. P. 3277–3285.
18. Eeva T., Penttinen R. Leg deformities of oribatid mites as an indicator of environmental pollution // *Science of the Total Environment*. 2009. Vol. 407. P. 4771–4776.
19. Ivan O., Vasiliu A. Oribatid mites (Acari, Oribatida) – bioindicators of forest soils pollution with heavy metals and fluorine // *Annals of Forest Research*. 2009. Vol. 52. P. 11–18.
20. Колесников В. Б. Орибатиды как биоиндикаторы при мониторинге состояния малоиспользуемых сельскохозяйственных земель Воронежской области // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2010. Т. 12, № 1 (4). С. 1133–1138.

21. Shimano S. Aoki's oribatid-based bioindicator systems // *Acarology XIII : Proceedings of the International Congress. Zoosymposia*. 2011. Vol. 6. P. 200–209.
22. Якутин М. В., Андриевский В. С. Почвенно-биологические методы в мониторинге агроэкосистем в лесостепной зоне Новосибирской области // *Открытый экологический журнал*. 2014. Т. 4, № 2. С. 94–96.
23. Якутин М. В., Андриевский В. С., Анопченко Л. Ю. Использование почвенно-биологических методов в мониторинге экосистем Причановской территории Барабы // *Открытый экологический журнал*. 2016. Т. 4, № 2. С. 88–91.
24. Андриевский В. С., Барсуков П. А., Башкин В. Н. Применение почвенных клещей как биоиндикаторов в зонах воздействия газовой промышленности в Западно-Сибирской тундре // *Открытый экологический журнал*. 2015. Т. 8, № 1. С. 279–287.
25. Андриевский В. С., Барсуков П. А. Почвенные панцирные клещи (орибатиды) как биоиндикаторы воздействия человека на экосистемы (обзор) / Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири : монография в 5 т. / Под ред. В. Г. Сычева, Л. Мюллера. М., 2018. С. 106–111.
26. Еремин Д. И., Козлов С. А. Антропогенная трансформация различных комплексов беспозвоночных в пахотных черноземах лесостепной зоны Зауралья // *Агропродовольственная политика России*. 2015. № 10. С. 60–64.
27. Козлов С. А., Опанасюк И. В. Микроартроподы как биоиндикаторы экологического состояния биотопов // *Агропродовольственная политика России*. 2016. № 3. С. 77–79.
28. Cakir M., Macineci E. Community structure and seasonal variations of soil microarthropods during environmental changes // *Applied Soil Ecology*. 2017. doi: 10.1016/j.apsoil.2017.06.036
29. Gergocs V., Hufnagel L. Comparing the natural variation of oribatid mite communities with their changes associated with anthropogenic disturbance // *Environ. Monit. Assess.* 2017. P. 189–203. doi: 10.1007/s10661-017-5897-3
30. Аничкин А. Е., Ермилов С. Г., Нгуен Ван Тхинь. Структура населения почвенных панцирных клещей как индикатор восстановления тропических лесных биомов Юго-Восточной Азии // *Современные проблемы медицины и естественных наук*. 2019. Вып. 8. С. 22–23.
31. Vacht P. Oribatid mite (Acari : Oribatida) communities of urban brownfields in Tallinn, Estonia, and their potential as bioindicators of wasteland successional stage // *Acarologia*. 2019. Vol. 59, No. 1. P. 26–32.
32. Буланова-Захваткина Е. М. Панцирные клещи – орибатида. М. : Высш. шк., 1967. 254 с.
33. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение : пер. с англ. М. : Мир, 1992. 184 с.
34. Engelmann H.-D. Zur Dominanzklassifizierung von Bodenarthropoden // *Pedobiologia*. 1978. Bd. 18, Hf. 5/6. S. 378–380.
35. Криволицкий Д. А. Морфо-экологические типы панцирных клещей (Acariformes, Oribatei) // *Зоол. журн*. 1965. Т. 44, № 8. С. 1176–1189.
36. Соколова К. Н., Штирц А. Д. Экологическая структура сообществ панцирных клещей под листовыми древесными породами Донецкого ботанического сада // *Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. докладов XIII Междунар. науч. конф. аспирантов и студентов (Донецк, 16–17 апреля 2019 г.)*. Донецк : ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2019. С. 167–170.
37. Штирц А. Д., Соколова К. Н. Панцирные клещи Дендрария Донецкого ботанического сада // *Донецкие чтения 2019: образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы IV Междунар. науч. конф. (Донецк, 31 октября 2019 г.)*. Донецк : ДонНУ, 2019. Т. 2. С. 327–330.

38. Штирц А. Д., Соколова К. Н. Особенности экологической структуры населения панцирных клещей скверов г. Донецка // Донецкие чтения 2020 : образование, наука, инновации, культура и вызовы современности : материалы V Междунар. науч. конф. (Донецк, 17–18 ноября 2020 г.). Донецк : ДонНУ, 2020. Т. 2. С. 304–306.

МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ И ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРЫ СООБЩЕСТВ ЖУЖЕЛИЦ (COLEOPTERA, CARABIDAE) В ПРИГОРОДНЫХ БИОТОПАХ г. КАЗАНИ

Т. А. Гордиенко, Р. А. Суходольская
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
eiseniata@gmail.com

Структура сообществ жуужелиц отличается в биотопах с различной степенью урбанизации: при большем ее действии индекс биоразнообразия выше, при этом индекс доминирования также выше. В многолетнем аспекте видовой состав жуужелиц лесопарка уменьшился, что, возможно, связано с уменьшением рекреационной нагрузки, сукцессионными изменениями в растительности и увеличением влажности почвы. Проведен морфометрический анализ популяций *Pterostichus melanarius* и *Platynus assimilis*. Размеры жуков не значительно отличаются при сравнении пар популяций из нарушенной и ненарушенной зон. Габитус жука расширен у *Pl. assimilis* в нарушенной зоне. Морфометрическая структура видов статистически значимо отличается в нарушенных и ненарушенных биотопах.

Ключевые слова: жуужелицы, урбанизация, структура сообществ, морфометрическая изменчивость.

Урбанизация приводит к различным негативным последствиям на окружающую среду. Для их избегания ответственное урбанистическое управление предлагает способы регулирования роста и потребления человеческой популяции, действующие в направлении снижения давления на естественные ландшафты и создания новых урбанизированных экологических ниш. Поэтому особое значение придается естественным ландшафтам, опоясывающим крупные города, так называемой «зеленой зоне». В данном сообщении представлен фрагмент результатов мониторинговых исследований структуры сообществ и популяций жуужелиц, обитающих в пригородной зоне г. Казани. Жуки жуужелицы были выбраны объектом наблюдений, как прекрасные биоиндикаторы.

При проведении исследований были сформулированы следующие гипотезы:

1. Структура сообществ жуужелиц, обитающих на менее урбанизированном участке, более приближена к оптимальной.

2. Размеры жуков из популяций, обитающих на менее нарушенной территории, меньше, по сравнению с тем, что населяют урбанизированный биотоп.

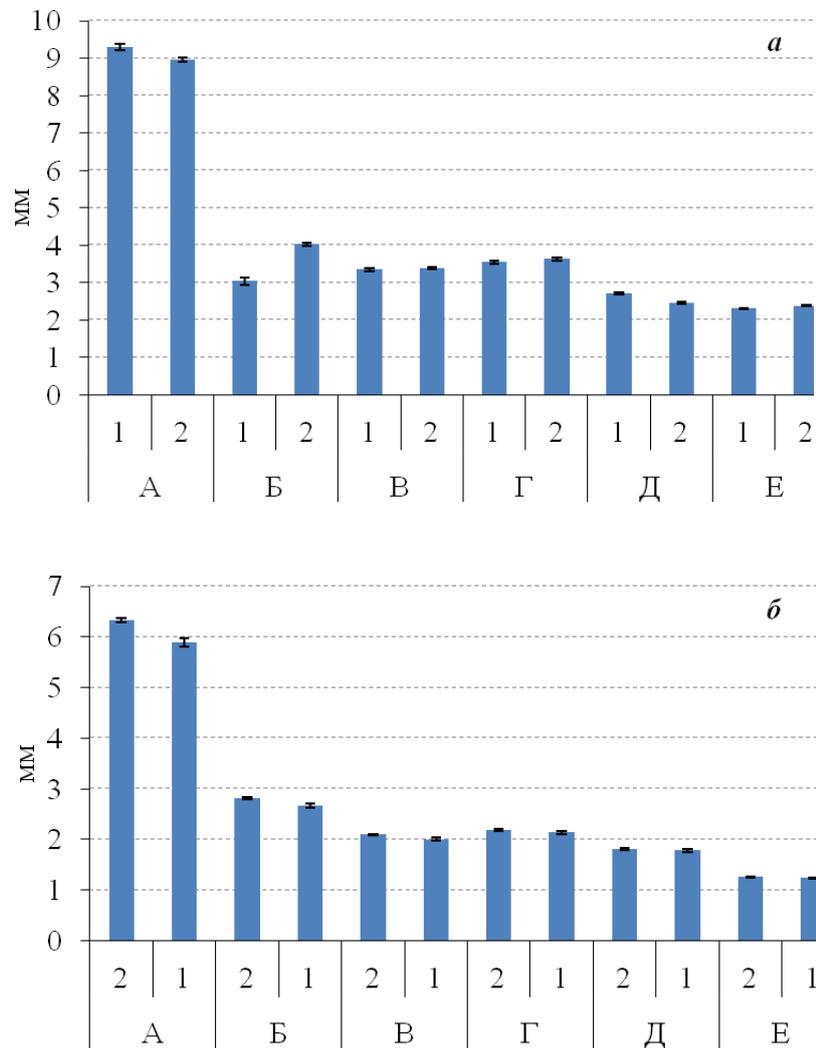
3. Морфометрическая структура популяций карабид, обитающих на территориях с разной степенью нарушенности, различается.

Отлов жуков проводили в липовых лесах в лесопарковой зоне г. Казани (окрестности пос. Карьер, лесопарк «Нагорный», III стадия рекреационной нагрузки) [1], и, для сравнения, в окрестностях д. Пановка Высокогорского района (в 12 км от города, «Пановский лес» или «Пановка», I стадия дигрессии). Жуков отлавливали стандартным почвенно-зоологическим методом ловушками Барбера. Всего проведено 12 учетов. Структуру сообществ оценивали общепринятыми параметрами – коэффициент Шеннона и индекс доминирования. Морфометрические промеры проводили по шести мерным признакам с использованием самописной программы на Python: А – длина надкрылий, Б – ширина надкрылий, В – длина переднеспинки, Г – ширина переднеспинки, Д – длина головы, Е – расстояние между глазами. Анализировали жуков двух видов, поскольку только для них была составлена достаточная база. Результаты обработаны в стандартных программах Excel и Statistica 10.0.

Результаты по структуре сообществ жужелиц, обитающих на исследованных участках, неоднозначны. С одной стороны, сообщество жужелиц лесопарка «Нагорный» и «Пановского леса» сходное (состоит соответственно из 26 и 25 видов), в которых доминировали одинаковые виды *Platynus assimilis* (Paykull, 1790) (24,2% и 20,8% соответственно), *Pterostichus oblongopunctatus* (Fabricius, 1787) (25,1% и 20%), *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) (9,3% и 25,5%), *Carabus granulatus* Linnaeus, 1758 (7% и 15,3%) и *Carabus cancellatus* Illiger, 1798 (6,5% и 3,2%). С другой стороны, показано, что биоразнообразие их в «Пановском лесу» ниже, по сравнению с лесопарком «Нагорным» (коэффициент Шеннона 2,24 против 2,96, соответственно). В то же время индекс доминирования в «Пановском лесу» также ниже (0,23 против 0,30), что говорит о более установившемся сообществе, обитающем на этом участке. В конце XX века на этих территориях проводили сходные исследования, в которых выявлено 29 видов карабид в «Пановском лесу» и 41 вид в лесопарке «Нагорный» [2], доминировали сходные виды *P. oblongopunctatus*, *P. melanarius*, а также *Eraphius secalis* (Paykull, 1790) в нарушенном биотопе [3]. Обогащение видового состава происходило за счет гигрофильных видов и иммигрантов с сопредельных открытых местообитаний, действие рекреации в лесопарке сказывалось в снижении доли лесного комплекса. Видовые различия сообщества жужелиц во времени вероятно обусловлены сукцессионными изменениями растительности (увеличилась густота подроста и травостоя), уменьшением рекреационной нагрузки (нет выпаса крупно- и мелкорогатого скота) и увеличением влажности почвы.

Для анализа морфометрической структуры было выбрано два многочисленных вида *P. melanarius* и *Pl. assimilis*. Размеры жуков разных локалитетов отличались. Длина надкрылий у *P. melanarius* была больше в популяции

лесопарка «Нагорного», а у *Pl. assimilis* – «Пановки» (рис. а). Ширина надкрылий в популяциях обоих видов больше в лесопарке «Нагорном». По остальным признакам между популяциями исследуемых видов статистически значимых различий не обнаружено, за исключением большей длины головы в популяции *P. melanarius*, обитающей в лесопарке «Нагорном». Таким образом, в размерной изменчивости значительных различий между популяциями двух видов, обитающих при разной степени антропогенной нагрузки, не наблюдается. Стоит, однако, заметить, что габитус жуков у *Pl. assimilis* (судя по изменчивости размеров надкрылий, которые считаются прокси для размеров тела в целом) (рис. б), расширен в популяции «Нагорного». Такое явление показано для популяций жужелиц, обитающих в стрессовых условиях среды [4].



Морфометрические признаки

Рис. Размеры морфометрических признаков популяций жужелиц *P. melanarius* (а) и *Pl. assimilis* (б) в лесопарке «Нагорный» (1) и «Пановском лесу» (2): А – длина надкрылий, Б – ширина надкрылий, В – длина переднеспинки, Г – ширина переднеспинки, Д – длина головы, Е – расстояние между глазами

Многомерным анализом были выявлены статистически значимые различия в морфометрической структуре пар популяций лесопарка «Нагорный» и «Пановки» для *P. melanarius* – расстояние Махаланобиса в модуле дискриминантного анализа равно 2,29 при $p < 0,000$ и Лямбде Вилкса 0,65; для *Pl. assimilis* эти параметры составили 2,46, 0,00 и 0,69, соответственно. Таким образом, обитание на урбанизированной территории привело к перестройке в морфометрической структуре, что считают адаптацией к внешним условиям среды. Подобные перестройки были показаны и для других видов жужелиц [5, 6]. На размерную изменчивость жужелиц могут оказывать влияние погодно-климатические факторы [7, 8], которые различаются в «Нагорном» и «Пановке» из-за близости города в первом случае, в котором температурный режим и количество выпавших осадков выше, чем за его пределами. Стабильность же размеров *P. melanarius* правомочно, по-видимому, объяснить биологическими и экологическими особенностями этого вида. Он средних размеров с хорошо развитой двигательной активностью и способный к закапыванию в почву. Сезон размножения у него может быть растянут с мая по сентябрь. Эти признаки определяют, по всей видимости, его эвритопность и высокую степень адаптации к рекреации и другим внешним воздействиям. Механизмы формирования такой адаптации формируются, на наш взгляд, за счет большой лабильности морфометрической структуры, поскольку в реализации морфометрической изменчивости у этого вида задействованы все признаки, но в разной степени.

Таким образом, выдвинутые гипотезы о том, что структура сообществ жужелиц, обитающих на менее урбанизированном участке, более приближена к оптимальной, и морфометрическая структура популяций карабид, обитающих на территориях с разной степенью нарушенности, различается, подтверждаются. Но гипотеза о меньших размерах жуков из популяций, обитающих на менее нарушенной территории, по сравнению с населяющими урбанизированный биотоп, не подтверждена.

Библиографический список

1. Гордиенко Т. А., Вавилов Д. Н., Суходольская Р. А. Влияние рекреации на сообщества почвенной мезофауны лесопарковой зоны г. Казани // Поволжский экологический журнал. 2016. № 2. С. 144–154.
2. Шафигуллина С. М., Корчагина Т. А. Энтомологический мониторинг в лесных и пойменных ценозах Республики Татарстан // Институт экологии природных АН РТ : сб. науч. трудов. Казань : «Отечество», 2004. С. 136–153.
3. Беспозвоночные города систематический обзор и численные характеристики отдельных групп / Р. М. Зелеев, С. М. Шафигуллина, Т. А. Гордиенко-Корчагина, Н. В. Шулаев, Е. А. Сапаев, С. Г. Гордиенко // Экология города Казани. Казань : Изд-во «Фэн» АН РТ, 2005. С. 176–185.
4. Гринько Р. А. Экологическая структура популяций жужелиц (Coleoptera, Carabidae) зональных и интразональных экосистем при разной степени изоляции : дис. ... канд. биол. наук. Н. Новгород, 2002. 252 с.

5. Тимофеева Г. А. Морфометрическая структура популяций жужелиц (Coleoptera, Carabidae) при разной степени антропогенного воздействия : дис. ... канд. биол. наук. Казань, 2009. 322 с.

6. Анциферов А. А., Суходольская Р. А., Вавилов Д. Н. Влияние сплошной рубки и дальнейшего восстановления леса на изменение размеров тела и морфометрической структуры популяции жужелицы *Trechus secalis* (Paykull, 1790) // Евразийский энтомологический журнал. 2020. Т. 19(6). С. 297–308.

7. Neve G. Influence of temperature and humidity on the activity of three Carabus species // Carabid Beetles: Ecology and Evolution. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 1994. P. 189–192. doi: 10.1007/978-94-017-0968-2_29.

8. Gutowski J. M. Bezkrkgowce jako obiekt monitoringu biologicznego w Puszczy Białowieskiej. Leona Prace Badawcze. 2004. P. 39–46.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ПОСАДКИ *AESCULUS HIPPOCASTANUM L.*

В. Н. Дрожжина

*Воронежский государственный педагогический университет,
o.drozhzhin@gmail.com*

Конский каштан обыкновенный активно используется в озеленении городов в средней полосе России. Однако в последнее время декоративность растения стала страдать от воздействия загрязнителей, патогенных грибов и насекомых вредителей. Нами проанализировано состояние насаждений на территории города Воронежа по морфометрическим показателям листьев.

Ключевые слова: коэффициент заостренности, морфометрические параметры листа, некротические участки

Конский каштан обыкновенный *Aesculus hippocastanum L.* достаточно широко используется для озеленения городской среды и известен в культуре с 1576 г. В г. Воронеже растение встречается в аллеиных посадках, парках и скверах. Данный интродуцент ежегодно цветет и плодоносит и в последние годы дает обильный самосев. Взрослые деревья достигают высоты до 30 м, имеют широко яйцевидную крону, в городских условиях при кардинальной обрезке она может приобретать шаровидную форму. Кора взрослых стволов серая или бурая растрескивающаяся. Ветви серые с буроватым или коричневатым оттенком, даже годовичные побеги очень мощные и толстые. Почка крупные смолистые. Растение высоко декоративное. Родиной является юг Балканского полуострова, распространен в Греции, Центральной Азии, юге Болгарии.

Данные по устойчивости растения к техногенным нагрузкам и грибным заболеваниям, а также поражению насекомыми неоднозначны. Несмотря на частое использование в озеленении, информации по реакции *Aesculus hippocastanum L.* на морфологическом и анатомическом уровнях организации крайне мало. Для оценки воздействия городской среды на состояние конского

каштана были проанализированы параметры листьев. На листьях проводили следующие промеры. Для исследования брали центральный листочек сложного листа, измеряли его длину, наибольшую ширину, степень заостренности верхушки. Степень заостренности определяли по соотношению между R_0 и R_1 . R_0 и R_1 – радиусы, которые проводятся от центральной жилки в самой широкой части к краю листовой пластинки. Измеряли расстояние между основанием листочка и крайними точками ширины, для предположения возможной асимметрии (G_1 и G_2) (рис.).

Все промеры проводили на листьях, собранных с южной стороны кроны в средней части годичного побега, после их полного разворачивания. В августе месяце проводили оценку поврежденности листовых пластинок некрозами различного происхождения. Уровень повреждения оценивали по шкале, предложенной В. В. Реуцкой и др. [1]. Исследования проводились в 2019 г. на территории города Воронежа, для исследования было отобрано порядка 100 деревьев, произрастающих в трех зонах по степени антропогенной нагрузки. Первая зона самой интенсивной нагрузки, модельные деревья располагаются вдоль крупных автомагистралей и рядом с промышленными предприятиями. Вторая зона среднего уровня нагрузки, модельные деревья располагаются в аллеиных посадках в небольших парках и скверах и по пешеходным улицам. Третья зона слабой нагрузки, модельные деревья расположены в крупных парках и загородной зоне.

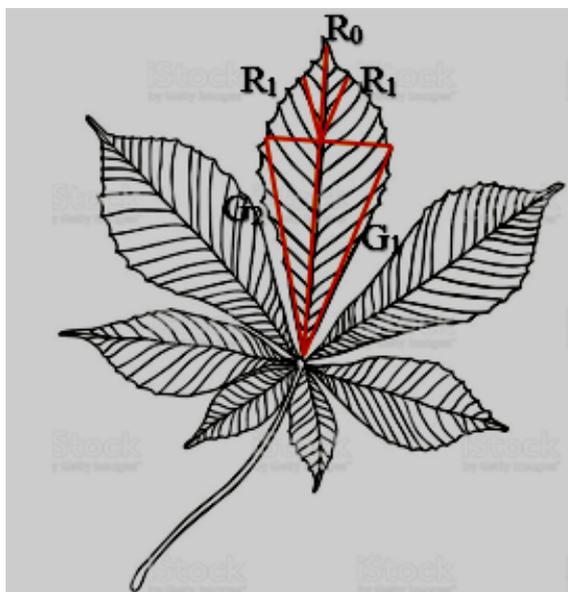


Рис. Морфометрические параметры листа *Aesculus hippocastanum* L.

Листья каштана супротивные, пальчато-сложные, в состав листа входит 5 или 7 листочков, они прикрепляются к общему рахису. Диаметр крупных листьев достигает 25–27 см в диаметре, отдельные листочки имеют длину 10–20 см, ширину 3–10 см. Самым крупным является центральный листочек, остальные меньше в размерах, форма обратнойцевидная. Верхушка листочков острая оттянутая, основание клиновидное, края листочков зубчатые в верхней части и почти цельные или слегка волнистые у основания. Листья темно зе-

леного цвета с хорошо выраженными главными и боковыми жилками на листочках. Опушение на верхней стороне листа отсутствует, на нижней стороне трихомы могут локализоваться вдоль жилок и в месте прикрепления листочков к рахису, трихомы рыжеватого цвета.

В условиях высокого техногенного стресса отмечено сокращение параметров центрального листочка по сравнению с условно чистой зоной. Длина сокращается в среднем на 15%, ширина остается практически такой же. Параметры остальных листочков сложного листа показывают сходные результаты, в результате чего общая площадь листа сокращается в зоне загрязнения. Высокий процент по сравнению с контролем, имеют листочки с притупленной верхушкой. Коэффициент заостренности заметно снижен и приближается к 1, в парковых насаждениях коэффициент увеличивается до 1,3–1,4. Отношение между показателями G_1 и G_2 сдвигается в сторону увеличения и в крайних случаях может достигать 2, тогда как в условно чистой зоне этот показатель близок к единице. Интересно, что у большинства листьев укорачивается или деформируется именно левая половина центрального листочка. Можно сказать, что процент деревьев с аномально развитыми листьями в зоне загрязнения может достигать 50%. Отмеченные нарушения наблюдаются и у деревьев во второй зоне, но их процент гораздо ниже, около 30%.

Высаженные вдоль крупных магистралей деревья показывают высокий процент некрозов к концу вегетации, дефолиация таких деревьев наступает раньше на несколько дней или даже на неделю. Некрозы имеют краевую и верхушечную локализацию, причем располагаются поврежденные листья во всех ярусах кроны (нижний, средний, верхний). Довольно высок в уличных посадках процент деревьев, пораженных грибными заболеваниями. Наиболее частые грибные заболевания – это мучнистая роса и бурая пятнистость [2, 3]. По данным ряда авторов пик заболевания приходится на вторую половину лета и в совокупности с выбросами предприятий и автотранспорта приводит к ранней дефолиации. В первой зоне высокий процент деревьев поврежденных минирующей молью. Среди обследованных деревьев отмечены устойчивые особи и ослабленные, с сильным уровнем повреждения. Во второй и третьей зонах также наблюдаются поражения грибами и насекомыми, поражения обычно наблюдаются в нижнем ярусе кроны. Считается, что в групповых посадках создаются неблагоприятные условия для развития патогенных микроорганизмов [1].

Интересен факт повторного цветения отдельных экземпляров *Aesculus hippocastanum* L. в уличных посадках. По наблюдениям предыдущих лет, цветут одни и те же особи, в практически безлистном состоянии в сентябре месяце. Соцветия одиночные, расположены обычно со стороны проезжей части. В парковых насаждениях явление не отмечено, возможно это связано с уровнем освещенности.

Проведенные исследования показывают, что наиболее целесообразно высаживать *Aesculus hippocastanum* L. в условиях города в парках и скверах, избегая озеленения крупных центральных магистралей и зон техногенного

воздействия, поскольку растения чувствуют себя там угнетенно и теряют декоративные свойства, кроме того они в большей степени поражаются насекомыми вредителями и патогенными грибами. Сложные листья конского каштана можно использовать в целях диагностики уровня загрязнения и для этих целей лучше использовать показатели коэффициента заостренности листочков и асимметрии листочков. Для упрощения промеров использовать центральный самый крупный листочек сложного листа.

Библиографический список

1. Реуцкая В. В., Мамедова М. М., Арефьев Ю. Ф. Бурая пятнистость листьев конского каштана, вызываемая грибом *Guignardia aesculi*, в насаждениях городов Центрального Черноземья // Микология и фитопатология. 2011. Вып. 5. С. 455–459.
2. Попов Г. В., Бондаренко-Борисова И. В. Об устойчивости каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) к вредителям и болезням на юго-востоке Украины // Промышленная ботаника. 2007. Вып. 7. С. 252–258.
3. Бондаренко-Борисова И. В. Наиболее распространенные болезни декоративных растений в Донецкой области и методы их контроля // Промышленная ботаника. 2009. Вып. 9. С. 204–212.

БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЯХ КАЗАНИ

Н. С. Архипова, В. В. Целоусов, И. Т. Сабирова
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
NSArhipova@kpfu.ru

Проведен анализ состояния древесных растений парков Казани по степени нарушенности кроны, выявлена степень повреждения листьев хлорозом и некрозом. Отмечено, что наиболее распространенные в озеленении породы, такие как, *Populus balsamifera*, *Tilia cordata* и *Betula pendula*, характеризуются высокими шумозащитными и пылезадерживающими свойствами.

Ключевые слова: порода дерева, шум, пыль, некроз, хлороз.

Зеленые насаждения, произрастающие на территории крупных городов и городских агломераций, имеют важное значение. Они формируют архитектурно-художественный облик города, обеспечивают рекреационные потребности населения, благотворно влияют на состояние воздушного бассейна и формируют особый микроклимат [1]. Известно, что зеленые насаждения поглощают углекислый газ, выделяя кислород, уменьшают температуру воздуха в знойную погоду за счет испарения влаги, снижают уровень шума в городе, защищают от сильных ветров, понижают содержание пыли и газа в атмосфере, выделяют фитонциды, которые способны уничтожать болезнетворные бактерии. Данное обстоятельство является крайне важным, учитывая степень загрязненности атмосферного воздуха в городах [1, 2].

Целью исследования является оценка зеленых насаждений (видовое разнообразие, анализ состояния городских древесных насаждений), их роль и ценность для рекреационных и жилых зон.

Исследования проводились в 2018–2020 гг. в парках, садах и скверах исторического центра Казани, а также древесных насаждений вдоль дорог. На каждом объекте производился сплошной пересчет и оценка состояния деревьев. Категория состояния каждого дерева оценивалась визуально по комплексу признаков: густота крон деревьев, количество мертвых сучьев, площадь повреждения листьев. Визуальная оценка состояния древостоев и степени их нарушенности может проводиться по адаптированной от оригинального источника [3] шкале: 0 – сухостой; 1 – усыхающие деревья; 2 – сильно ослабленные деревья; 3 – умеренно ослабленные деревья; 4 – здоровые деревья. Так же проводилась оценка степени развития хлороза и последующего отмирания части листовой пластинки (некроза) березы и липы. Замеры шума делали с помощью портативного шумомера Testo 816, в соответствии с инструкцией к прибору. Для выявления шумопоглощающих свойств различных древесных пород, выбирали участок вдоль автодороги однорядной посадки деревьев средней высоты и делали серию измерений до насаждения и за насаждением, вычисляли разницу в %. Для оценки пылепоглощающих свойств, определяли количество пыли на листьях осевшее за 7 дней (после сильного дождя), методом смыва и фильтрации пыли [4].

Ранее нами было установлено [5], что доминирующими породами в зеленых насаждениях парков и скверов Вахитовского района г. Казани являются: *Tilia cordata* L., *Picea abies* L. Karst, *Pinus sylvestris* L., *Betula pendula* Roth, *Populus balsamifera* L., *Larix sibirica* Ledeb., *Sorbus aucuparia* L. По данным таблицы 1 видно, что все исследованные древесные породы в той или иной степени ослаблены воздействием неблагоприятных факторов урбанизированной среды.

Таблица 1

Оценка количества деревьев (шт.) соответствующих состоянию (0–4 балла) доминирующих древесных пород в парках Вахитовского района г. Казани

Вид	Состояние (баллы)					Диаметр ствола, см	
	0	1	2	3	4	среднее	min-max
Липа сердцевидная	1	4	33	121	58	27,4±19,1	3,18–73,25
Ель обыкновенная	0	3	36	44	17	16,67±8,98	4,78–40,76
Сосна обыкновенная	0	71	6	12	3	43,1±12,64	7,96–87,58
Береза повислая	0	0	18	44	12	28,95±12,21	6,37–52,23
Тополь бальзамический	0	0	7	28	1	49,14±14,7	15,92–74,20
Лиственница сибирская	0	0	11	16	6	21,02±6,68	6,37–31,85
Рябина обыкновенная	0	0	0	16	8	12,25±3,36	4,78–19,11

В исследуемых парках много усыхающих деревьев сосны обыкновенной, что возможно связано с загущенностью посадок и высокой чувствительностью хвойных пород к атмосферным загрязнениям [6]. На исследуемой

территории только 18% деревьев входят в группу 4 – Здоровые. Почти половина всех деревьев ослаблены и отнесены к 3 группе. Одной из причин может быть возраст деревьев. Нами были собраны данные по окружности ствола, которые можно использовать для определения возраста деревьев [7]. Наиболее крупными, и соответственно старыми, были экземпляры тополя, сосны, березы и липы. В то же время, встречались и молодые растения этих пород с относительно небольшим диаметром ствола.

Посадка древесных насаждений вдоль дорог связана с газо- и пылезасщитной и шумопоглощающей функцией деревьев и кустарников [4, 8, 9]. Стоит отметить, что древесные насаждения вблизи автомобильных дорог, часто подвержены как воздействию атмосферного загрязнения, так и почвенного [8]. На листьях отмечены пятна хлороза, некрозы различной степени. Наиболее сильно страдает *Acer platanoides*, чуть меньше *Tilia cordata*.

Проанализировав 436 листьев березы и липы, а так же основываясь на визуальной оценке степени повреждения листьев, мы получили следующие данные: 30% листьев не подвержены хлорозу и всего 16% всех листьев не имеют некрозов. При сравнении степени повреждений листьев двух древесных пород (березы и липы) было отмечено, что береза сильнее подвержена (82% листьев), чем липа (58%) хлорозам, что связано с ее чувствительностью к техногенным выбросам в окружающую среду. Липа же считается более устойчивой к загрязняющим веществам в атмосферном воздухе [6]. Исследованные породы деревьев в неодинаковой степени подвержены различным типам некрозов. При этом у листьев обеих пород межжилковый некроз встречается крайне редко (6% и 4%). Листья березы больше подвержены краевому некрозу (40%), в то время как листья липы – пятнистому (48%).

Таблица 2

Шумопоглощающие (Дб) и пылеосаждающие (пыли г/ м²/сутки) свойства древесных пород

Древесная порода	Шум		Пыль	
	до насаждения	после насаждения	Удаленность проезжей части, м	
			≤10	50–60
<i>Salix alba</i>	75,2±0,9	61,2±1,2	0,0658	0,0485
<i>Acer platanoides</i>	81,1±1	72,3±1,8	0,0913	0,0732
<i>Betula pendula</i>	72,6±2,9	62,9±2,3	0,1011	0,0651
<i>Populus tremula</i>	76,6±1,7	66,1±2	0,0501	0,0421
<i>Populus balsamifera</i>	75,9±2,3	60,5±0,9	0,1243	0,0996
<i>Tilia cordata</i>	73,2±1,8	62,8±1,4	0,1085	0,0787

По результатам нашего исследования (табл. 2), наиболее высокие показатели шумопоглощения имели *Populus balsamifera* (20,3%) и *Salix alba* (19%), несколько ниже *Tilia cordata*, *Populus tremula* и *Betula pendula* (14,2–13,4%), *Acer platanoides* (11,6%). Однако, когда эти деревья достигают значительной

высоты и при обрезке нижних ветвей, в условиях города, эффективность снижения шума резко падает. Более эффективно использовать защитные полосы в сочетании деревьев и кустарников [8, 9], но в историческом центре Казани, при сложившейся планировке улиц, таких комбинированных полос очень мало.

Анализ особенности накопления пыли листьями исследованных древесных растений (табл. 2) показал, что автотранспортная дорога является источником пыли, при удалении на расстояние 50–60 м количество пыли на листьях снижалось. Скорость пылеосаждения выше у *Populus balsamifera*, *Tilia cordata*, *Acer platanoides* и *Betula pendula* по сравнению с другими породами. Несомненно, для получения полной картины пылезадерживающей способности листьев необходимы длительные наблюдения, так как накопление пыли подвержено значительным изменениям. Количество удерживаемой пыли листьями зависит от наличия жидких осадков, ветра и интенсивности ухода коммунальных служб за проезжей частью с помощью поливочных машин [4].

Таким образом, установлено, что древесные насаждения парков Вахитовского района Казани характеризуются богатым видовым составом, доминируют по встречаемости породы *Tilia cordata*, *Betula pendula* и *Pinus sylvestris* L. Наряду со старыми крупными деревьями, присутствует значительное количество молодых деревьев. В насаждениях придорожных полос преобладает *Tilia cordata*, также часто встречается *Acer platanoides* и *Betula pendula*.

По комплексу признаков: густота крон деревьев, количество мертвых сучьев, площадь повреждения листьев большинство исследованных деревьев отнесены к категории 3 – Умеренно ослабленные. Наиболее подвержены хлорозам листья *Betula pendula*, что связано с чувствительностью к выбросам загрязняющих веществ, в частности от автомобильного транспорта. Высокие показатели шумопоглощения и скорости пылеосаждения имели *Populus balsamifera*, *Salix alba* и *Tilia cordata*, а также *Acer platanoides* и *Betula pendula*.

Библиографический список

1. Экология города Казани. Казань : Изд-во «Фэн» Академия наук РТ, 2005. 576 с.
2. Бухарина И. Л., Двоглазова А. А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск : Изд-во «Удмуртский университет», 2010. 184 с.
3. Методика экологического мониторинга. Хлорозы и некрозы деревьев. Экологические тесты для общественного экологического мониторинга. Пушино, ОНТИ ПНЦ РАН, 1998, 53 с.
4. Чернышенко О. В. Пылефильтрующая способность древесных растений // Лесной вестник. 2012. № 3. С. 7–10.
5. Целоусов В. В., Архипова Н. С. Анализ экологического состояния зеленых насаждений г. Казани // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 2. Киров : ВятГУ, 2019. С. 281–284.

6. Прохоренко Н. Б., Демина Г. В., Мингазова Д. Н. Оценка жизненного состояния деревьев в урбанизированных условиях Казани // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2017. Т. 19, № 2(3). С. 507–513.

7. Способы определения возраста дерева [Электронный ресурс]. – URL: http://sochi-schools.ru/ebc/im/d_205.pdf (дата обращения: 30.10.2018)

8. Чиркова А. И., Литвинов П. В. Зелёные насаждения как метод защиты от шума и вредных выбросов двигателей внутреннего сгорания в сельской местности // Молодой ученый. 2017. № 11. С. 176–178.

9. Токарева Т. Г., Леонтьев Р. В. Шумозащитные свойства древесных растений и их использование в озеленении // Грани познания. 2018. № 4(57). С. 63–66.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ Г. ТЮМЕНИ ПО ДАННЫМ ФИТОТОКСИЧНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

*Д. А. Кукушкина, Д. А. Журавлёва, Е. В. Коваль
ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, koval.ev@gausz.ru*

Было изучено состояние снегового покрова города Тюмени методом фитотестирования. Оценку проводили по показателям всхожести и энергии прорастания семян, а также по показателям линейного роста проростков. Установлено, что всхожесть – наименее информативный показатель, чувствительность всхожести семян к действию снеговой воды была минимальна. Наибольшей фитотоксичностью отличается снег, отобранный в центральной части г. Тюмени, что отразилось в снижении энергии прорастания семян, всхожести и линейном росте корней и побегов.

Ключевые слова: состояние воздуха, фитотестирование, кресс-салат, снеговой покров.

Экологический мониторинг загрязнения атмосферных осадков позволяет оценить степень техногенной нагрузки на окружающую среду городов и здоровье населения. Наиболее удобным в изучении и информативным источником данных является снежный покров.

На территории Тюменской области устойчивый снежный покров сохраняется достаточно долго – около 5–5,5 месяцев, поэтому его выбор как объекта исследования вполне оправдан. Способность к вымыванию примесей из атмосферы у снега выше, чем у дождя, причем содержание загрязняющих веществ в нем на 2–3 порядка выше по сравнению с атмосферным воздухом [1]. Исследуя снеговой покров, возможно проанализировать динамику накопления поллютантов в течение холодного сезона, кроме того, талые воды являются источником загрязнения для других сред и живых объектов [2].

В современном мире городские экосистемы подвергаются высокому уровню антропогенного воздействия, в результате которого происходит, в первую очередь, снижение качества атмосферного воздуха. Тюмень является

крупным научным, транспортным, культурным и промышленным центром России. Численность населения г. Тюмени по состоянию на 1 января 2021 г. – 816,8 тыс. человек и ежегодно увеличивается [3]. По данным Росстата количество личного легкового автотранспорта также ежегодно растет и на 2020 г. на 1000 тюменцев приходилось 319 автомобилей [4].

Состояние атмосферного воздуха г. Тюмени в настоящее время считается главной проблемой. За 2020 г. было зарегистрировано 17 случаев превышения нормы качества атмосферного воздуха и 5 случаев превышения концентраций суммарного эффекта примесей в нем (2 случая обнаружения смеси SO_2 , NO_2 , CO и фенола; 2 случая – SO_2 , NO_2 и фенола; и один случай SO_2 и фенола) против 1 случая в 2019 году [5]. Кроме того, в воздухе г. Тюмени обнаруживаются следующие загрязняющие вещества: CO – до 4,5 мг/м³, NO – 0,4 мг/ м³, формальдегид – до 0,011 мг/ м³, сажа – до 0,20 мг/ м³ [6].

Зимой снег накапливает и другие вещества, которые попадают не из воздуха, а при использовании антигололедных реагентов. Как правило, состав песко-солевых смесей близок и включает основные компоненты – это хлорид натрия, хлорид кальция, антикоррозионные компоненты (например, соли муравьиной кислоты) и вещества для улучшения сцепления – крошка из мрамора и гранита.

Целью исследования стало изучение степени загрязнения воздушной среды г. Тюмени методом фитотестирования с использованием в качестве индикатора снежного покрова.

При отборе образцов снега были охвачены основные функциональные зоны города: селитебно-транспортная и парково-рекреационная. Выбор мест для отбора проб основывался на наблюдениях в сервисе «Яндекс. Пробки» для выявления наиболее загруженных автотранспортом участков города, а также на рейтингах популярности объектов рекреации жителей в условиях городской среды. Точки отбора проб включали:

1 – точка близ ТЦ «Метро», расположенная у кольцевого пересечения крупнейших автомагистралей города: ул. Мельникайте и Объездной дороги (ТКАД).

2 – точка на пересечении улиц Мельникайте и Республики (центральная часть города).

3 – точка отбора в лесопарке «Экопарк Затюменский» (в 600 м от парка расположен аккумуляторный завод, в 1,5 км – аэропорт «Плеханово»).

4 – точка, расположенная в центральной части города у ТЦ «Гудвин», ул. М. Горького.

В качестве условно фоновой (контроль – К) выбрана территория березовой рощи, расположенная за пределами ТКАД по Рошинскому шоссе в отдалении от крупных промышленных объектов и автодорог на территории Агротехнологического института ГАУ Северного Зауралья.

Опробование снега проводили на всю глубину снежного покрова, методом конверта со стороной 5 м. Пробы снега, весом до 3 кг каждая, отбирали в

полиэтиленовые мешки. Снег растапливали при комнатной температуре и фильтровали. После чего определяли массу твердых взвешенных частиц [7].

Для проведения фитотестирования были использованы семена кресс-салата (*Lepidium sativum* L.). Тест-параметрами служили: энергия прорастания, всхожесть, длина проростков и корней. Семена кресс-салата проращивали в чашках Петри на фильтрах снега в течение 7 дней. Энергию прорастания определяли на 2 день проращивания, всхожесть и рост проростков – на 7-й день проращивания [8]. Увлажнение семян и проростков поддерживали фильтратом снега.

Масса твердых взвешенных частиц – это характеристика, отражающая степень запыленности атмосферы в зимний период. Максимальное содержание твердых выбросов на территории города установлены в районах с наиболее интенсивным движением автотранспорта: ул. Мельникайте – Республики (т. 3) > ТЦ «Метро» (т. 2) (табл. 1). Содержание пылевых выбросов в указанных точках в 7,4 и 10 раз соответственно превышает фоновое. Содержание твердой фракции в пробах снега из лесопарка Затюменский было ниже, чем в контрольном образце, почти в 3 раза. Наличие в снеговом покрове взвешенных частиц обусловлено применением в качестве антигололедных средств песчано-соляных смесей, а также за счет технического фактора – гравитационного осаждения пыли, золы, сажи, дыма, что особо актуально в зимний период (сжигание топлива). Попадание таких компонентов в снег, а затем в почву вызывает подкисление или подщелачивание среды.

Таблица 1

Масса твердых взвешенных частиц (мг/л) в пробах снега г. Тюмени

№	Вариант	pH	Масса аэрозольной фазы в фильтрате снега, мг/л
1	Контроль	6,21	200
2	ТЦ «Метро»	7,00	380
3	Мельникайте-Республики	7,36	1960
4	Экопарк Затюменский	6,10	70
5	ТЦ «Гудвин»	7,55	1480

Индикатором влияния транспорта и промышленных объектов на изучаемой местности является значение pH снеговых вод. Кислотность осадков определяется и регулируется концентрацией углекислого газа в воздухе, величина pH незагрязненных осадков близка к 5,6 и называется равновесной; по мере выпадения осадков их кислотность возрастает, а при хранении – падает; высокое влагосодержание воздуха способствует выпадению более кислых осадков. Выбросы предприятий чаще всего дают повышенные значения pH [9, 10]. Значения водородного показателя проб снега, отобранных в места наибольшей автомобильной загруженности (т. 2, 3, 5), составили 7,0–7,5, т. е. все образцы снега имели реакцию среды, близкую к нейтральной, что говорит о некотором преобладании щелочных компонентов в воздухе и, вероятно, в составе антигололедных реагентов.

Было изучено фитотоксическое действие снеговой воды на показатели всхожести и энергии прорастания семян кресс-салата. Установлено, что энергия прорастания семян ниже в варианте, отобранном в т. 5 (ТЦ «Гудвин») и составила 77% от максимально возможной (табл. 2). В остальных вариантах опыта значительных отклонений от максимально возможной энергии прорастания выявлено не было. Для определения токсичности осадков принимали следующую градацию энергии прорастания: 100% – нет токсичности; 80–90% – очень слабая токсичность; 60–80% – слабая; 40–60% – средняя; 20–40% – высокая токсичность; 0–20% – очень высокая токсичность. Следуя вышесказанному, для снеговой воды из т. 5 характерна слабая токсичность.

Таблица 2

Влияние снеговой воды на показатели всхожести, энергию прорастания семян и роста проростков кресс-салата

№	Вариант	Энергия прорастания, %	Всхожесть семян, % к контролю	Длина проростков, % к контролю	
				побег	корень
1	Контроль	95	–	–	–
2	ТЦ «Метро»	93	96	121	118
3	Мельникайте-Республики	95	99	147*	97
4	Экопарк Затюменский	95	98	105	105
5	ТЦ «Гудвин»	77	92*	80*	50*

Примечание: здесь и далее * – различия достоверны при $P \leq 0,5$.

Установлено, что лабораторная всхожесть семян кресс-салата достоверно снижалась при проращивании на талом снегу, отобранном в точке 5 (ТЦ «Гудвин»). В остальных вариантах фитотоксичность снега значительно не различалась с контрольным вариантом и соответствовала градации – очень слабая токсичность.

Рост и развитие тестируемых проростков указывает на степень их угнетения или благоприятного состояния. При изучении морфологических параметров проростков тест-растений были получены данные, представленные в таблице 2. Достоверных различий длины органов проростков в варианте с использованием проб снега лесопарка Затюменский (т. 4) выявлено не было. Талая вода, отобранная в точке (ТЦ «Метро») оказывала стимулирующий эффект на растения длина побегов и корней была на 21 и 18% больше по сравнению с контролем соответственно, однако различия были статистически недостоверны. Похожие эффекты отмечали при воздействии талого снега с точки (ул. Мельникайте – Республики). Длина побегов была достоверно (на 47%) выше контрольного уровня. Снеговой покров, отобранный в точке (ТЦ «Гудвин»), оказывал выраженное фитотоксическое действие на рост проростков, что проявилось в снижении длины побегов на 30% и корней на 50% от контроля.

Таким образом, была проведена оценка фитотоксичности снегового покрова г. Тюмени методом фитотестирования. Наиболее информативным показателем оказались показатели линейного роста проростков и энергия про-

растания семян. Энергия прорастания и всхожесть семян, пророщенных на талой воде снега, отобранного в точке (ТЦ «Гудвин»), соответствуют состоянию слабой токсичности. Однако, длина побегов и корней значительно снижалась, в сравнении с контролем, что свидетельствует о значительных фитотоксических проявлениях. Вероятно, это связано с более долгим временем экспозиции семян снеговой водой.

Библиографический список

1. Научно-методические основы организации и ведения национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь / И. В. Войтов, А. М. Самусенко и др; под ред. И. В. Войтов. Минск : БелНИЦ «Экология», 2000. 229 с.
2. Оценка загрязнения территории городского поселения от источников антропогенного воздействия на основе химического анализа снежного покрова на примере Дубны / О. А. Савватеева, Л. И. Алексеева, И. З. Каманина, С. П. Каплина // Современные проблемы науки и образования. 2007. № 5. С. 115–123.
3. Официальный портал Администрации города Тюмени [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tyumen-city.ru/gorodtyumeny/naselenie>. (дата обращения: 30.03.2021).
4. Росстат: на тысячу тюменцев приходится 319 автомобилей /Сетевое издание «Тюменская линия» [Электронный ресурс]. – URL: <https://t-l.ru/288030.html>. (дата обращения: 30.03.2021).
5. Состояние окружающей среды Тюменской области в 2020 году / Официальный портал органов государственной власти Тюменской области [Электронный ресурс]. – URL: https://admtyumen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/more.htm?id=11894576@cmsArticle. (дата обращения: 05.11.2019).
6. О состоянии атмосферного воздуха в Тюменской области / Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Тюменской области [Электронный ресурс]. – URL: <http://72.rospotrebnadzor.ru/content/465/92352/>. (дата обращения: 30.03.2021).
7. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие / Е. В. Рябова, О. Н. Пересторонина, Е. А. Домнина, С. В. Шабалкина, С. Ю. Огородникова, Е. В. Коваль. Киров : ООО «УниверсалТрейд», 2020. 132 с.
8. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести.
9. Svistov P. F., Pershina N. A., Polishchuk A. I. Annual data on the chemical composition of atmospheric precipitation for 1996–2000.: review of data // Rosgidromet. Glavnaya geofizicheskaya observatoriya im. A. I. Voeikova». М. : Meteoagentstvo Gosgidrometa, 2006. 227 p.
10. Оценка степени загрязнения снегового покрова в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината / С. Г. Скугорева, Т. А. Адамович, Г. Я. Кантор, В. П. Савиных, Т. Я. Ашихмина, А. В. Измestьева // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 1. С. 31–36. doi: 10.25750/1995-4301-2011-1-031-036

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ЧАСТИ г. ОМСКА НА ПРОРАСТАНИЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Л. В. Кубрина

*Омский государственный педагогический университет,
kubrina-lyudmila@mail.ru*

В статье рассматривается биоиндикация техногенного загрязнения в левобережной части города Омска на примере изучения всхожести сосны обыкновенной. Предпринята попытка оценить степень загрязнения левобережной части г. Омска с помощью биоиндикаторов.

Ключевые слова: биоиндикация, биотестирование, техногенное загрязнение, сосна обыкновенная.

В настоящее время главной проблемой для г. Омска является загрязнение воздуха техногенными загрязнениями. В г. Омске загрязнение атмосферы связано не только с большим числом передвижных средств (включая автомобильный, железнодорожный и воздушный транспорт), но и с высокой концентрацией различных производств [1].

Для выявления уровня загрязнения окружающей среды используется огромное количество экологических методов, но наиболее часто встречающимся из них является метод биоиндикации, представляющий собой оценку биотических и абиотических факторов местообитания при помощи биологических систем.

При оценке качества среды используются биоиндикаторы – это биологические объекты, которые имеют различия по уровню организации (от молекул и клеток, до экосистем и биосферы) [2].

Глобальная изменчивость в последние годы превратилась в основную проблему исследований в области окружающей среды, главным образом благодаря тому огромному влиянию, которое она будет оказывать на мировое сообщество [3].

Токсические вещества, которые длительное время, даже в малой концентрации вызывают изменения физиологических процессов (роста и развития, фотосинтеза и дыхания, и т.д.), снижают устойчивость древесных растений, что влечет за собой гибель растения.

Целью работы является – выявить влияние техногенного загрязнения г. Омска (левобережья) на всхожесть семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Объектом исследования являлись семена – сосны обыкновенной (*P. sylvestris*) 1-го класса качества, собранные в декабре 2020 г. в левобережной части г. Омска.

Для исследования было выбрано 3 пункта, в которых было отобрано 11 моделей сосны обыкновенной.

Пункт 2 – жилой комплекс «Кристалл».

Пункт 3 – 11 микрорайон.

Пункт 4 – Парк Победы.

От каждой модели были отобраны семена в количестве 90 штук, которые делились по 30 семян на 3 повторности. На дно чашки Петри помещали круг фильтровальной бумаги, который делился на 3 равной секции. Семена распределяли по секциям, увлажняли и закрывали крышками, в соответствии с ГОСТ 13056.6-97.

Опыты были заложены при постоянной температуре 20–22 °С с закрытыми крышками, при ежедневном увлажнении и подсчете прорастающих семян.

При анализе уровня всхожести можно отметить, что максимальная всхожесть характерна для контроля (95%). При этом вариант 4 имеет самый высокий показатель проросших семян – 91%. Семена в данном варианте прорастали синхронно с контролем, за короткий промежуток времени прорастало наибольшее количество семян.

В вариантах 2 и 3 наблюдалось большое сходство по всхожести семян – соответственно 89 и 88% (рис.).

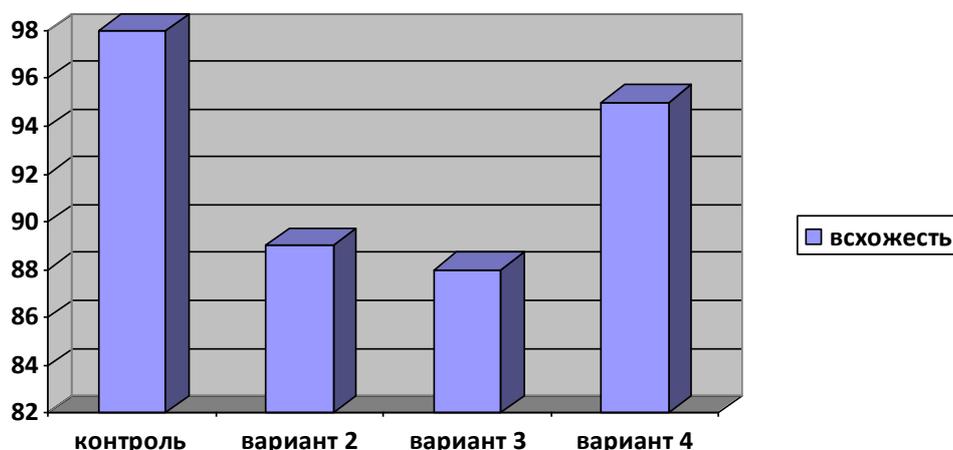


Рис. Динамика всхожести семян проростков сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения

Изучив влияние техногенного загрязнения на всхожесть семян сосны обыкновенной было установлено, что: в условиях техногенного загрязнения процент всхожести семян снижается, негативное влияние на всхожесть семян оказывают промышленные отходы.

Таким образом, в условиях техногенного загрязнения достоверно снижается всхожесть семян сосны обыкновенной.

Библиографический список

1. Кубрина Л. В. Биологический мониторинг малых рек // Научное обозрение. Биологические науки. 2019. № 4. С. 68–72. doi: 10.17513/srbs.1175

2. Ботвич А. С. Биоиндикация и биотестирование как методы контроля и оценки состояния окружающей среды // II Межрегиональная науч.-практ. конференция : материалы. / Ответственный ред. Л. В. Начева. Кемерово, 2019. С. 17–22.

3. Тюменцева Е. Ю., Штабнова В. Л. Контроль качества водохозяйственного комплекса как вклад в обеспечение экологической безопасности г. Омска // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2016. № 2 (22). С. 79–95.

РАСТИТЕЛЬНЫЕ АЛЛЕРГЕНЫ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ г. КАЗАНИ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ СБОРА И АНАЛИЗА

Б. Т. Ваганов, К. К. Ибрагимова

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,
grayradium@gmail.com*

Данная работа посвящена исследованию состава пыльцевого облака в атмосферном воздухе г. Казани за период наблюдений с 2018 по 2020 гг. На основе данных мониторинга была создана online-платформа, позволяющая аллергикам отслеживать изменения концентрации того или иного типа аллергенной пыльцы.

Ключевые слова: качество среды, аэропалинология, поллинозы, пыльцевой мониторинг.

Современные наблюдения указывают на то, что одними из наиболее распространенных факторов, вызывающих сезонные аллергические заболевания, поллинозы, являются пыльцевые зерна растений, а также споры грибов [1].

Данные эпидемиологических исследований указывают на то, что от 5 до 20% всего населения страдают от аллергических реакций на пыльцу [2]. Другие работы, выполненные на территории России, выявляют еще более высокую долю поллинозов – от 13 до 35% [3]. Вышеуказанные факты указывают на то, что сезонный аллергический ринит является крайне частым заболеванием, и, как и ряд заболеваний, его можно спрогнозировать.

В современном мире стало возможным предопределить начало и конец цветения того или иного растения благодаря методам аэропалинологического мониторинга. Данное направление биомониторинга позволяет изучить состав, а также закономерности формирования пыльцевого облака в воздухе.

Целью данного исследования были качественная и количественная оценки пыльцевого облака на территории г. Казани, а также создание online-платформы с использованием Google сервисов для предоставления актуальной информации о сезонах пыления и концентрации пыльцы в воздухе для населения, страдающего аллергией.

Исследования проводились с использованием пыльцевой ловушки типа Hirst фирмы Lanzoni VPPS 2010. Данная модель является широко примени-

мой в области аэропалинологии как в России, так и за рубежом [4]. Прибор был установлен на балконе жилого здания в г. Казани, ул. Восстания 36 на высоте 10 м. Аппарат улавливал пыльцевые частицы 6 месяцев в период с конца марта по конец августа в течение трехлетней мониторинговой работы. Пыльца, а также споры грибов осаждались на поверхность полиэфировой пленки Melinex, на которую была нанесена агрегирующая смесь на основе желатина, фенола и глицерина. Далее из ленты изготавливались препараты с использованием раствора фуксина в качестве красителя [5].

Изготовленные препараты далее просматривались под микроскопом и анализировались согласно общепринятой методики: просматривалось 25% от общей площади препарата четырьмя продольными трансектами при 400х увеличении [1]. Нами использовался тринокулярный микроскоп с модулем цифровой камеры для фотографирования объектов. Определялось количество пыльцевых зерен, а также их систематика с использованием палинологических атласов [6].

На основе полученного массива определялась концентрация пыльцы относительно суточного объема воздуха. Используя конечные данные, составлялся календарь пыления в виде Google таблицы, в которой каждая ячейка соответствует средней суточной концентрации за декаду и отмечена соответствующей заливкой [5]. Статистическая обработка массивов данных также была выполнена с использованием Google spreadsheets.

Для создания web-платформы использовалась система управления содержимым Wordpress в качестве движка, а также библиотека Google charts api для внедрения адаптивных графиков [7].

В течение аэропалинологического мониторинга, проводимого нами в период с 2018 по 2020 гг., был зарегистрирован 31 тип различных пыльцевых зерен, из которых достоверно определены 25 типов. Значительную долю обнаруженных объектов составила пыльца древесных растений, а именно 15 типов: *Betula*, *Alnus*, *Corylus*, *Acer*, *Populus*, *Salix*, *Quercus*, *Fraxinus*, *Ulmus*, *Pinus*, *Picea*, *Juniperus*, *Tilia*, *Elaeagnus*, *Castanea*. Остальные 10 типов пришлось на травянистые растения *Ambrosia*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Plantago*, *Poaceae*, *Rumex*, *Urtica*, *Asteraceae*, *Taraxacum*, *Glechoma*. Помимо пыльцевых зерен были также обнаружены 3 типа спор грибов, из которых достоверно определены 2 типа, принадлежащих к грибам рода *Alternaria* и *Cladosporium*, способным вызывать аллергические заболевания.

На основании данных об относительном содержании пыльцы и спор грибов в воздухе был составлен календарь цветения за 2020 год (рис. 1). В данный календарь вошли объекты, средняя концентрация пыльцевых зерен которых за декаду составила более 10 частиц/суточный объем воздуха. Данные пыльцевые зерна принадлежат ветроопыляемым растениям, остальные типы, относящиеся к насекомоопыляемым (*Rubiaceae*, *Castanea*, *Apiaceae*, *Fabaceae*, *Taraxacum*, *Asteraceae*, *Glechoma*), наблюдались в малых концентрациях, потому им был приписан статус «статистического выброса».

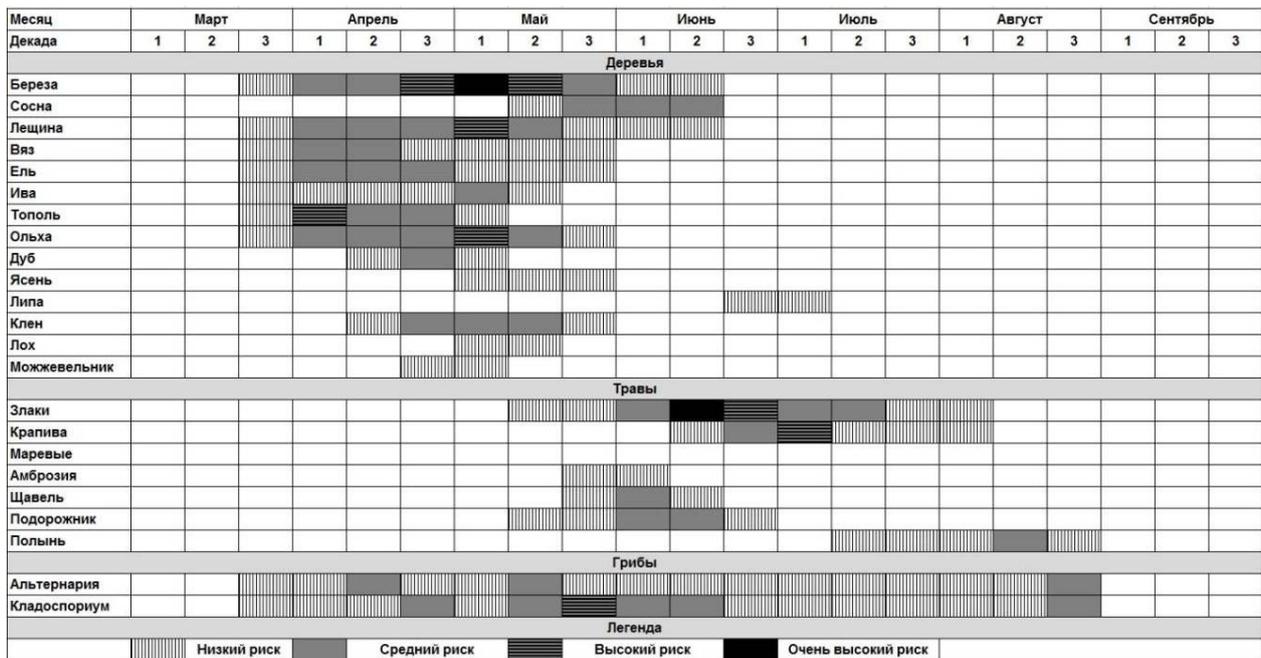


Рис. 1. Календарь цветения за 2020 г.

Особому контролю подвергалась динамика изменения концентрации пыльцевых зерен древесных рода *Betula* в виду ее высокого аллергического потенциала. Было установлено, что средняя концентрация пыльцы находится в наивысшем пике в период с 4 по 10 мая, причем пики, соответствующие максимуму концентраций, смещаются – в каждый последующий год мониторинга наблюдаемый максимум выявлялся раньше, что показано на рисунке (рис. 2). Подобная динамика, вероятно, вызвана изменениями, связанными с климатическими факторами, а именно с более ранними сроками начала весны.

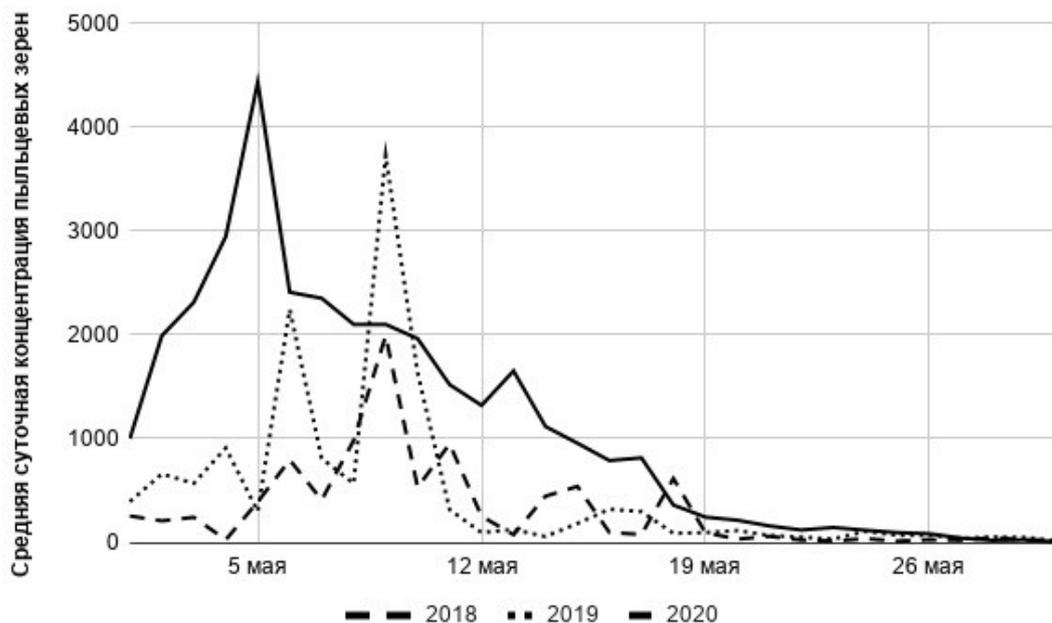


Рис. 2. Особенности динамики цветения растений рода *Betula* в период 2018–2020 гг.

Средняя концентрация пыльцы других типов растений в период мониторинга не отличалась значительными колебаниями во многом из-за меньшей площади насаждений данных растений.

Концентрация спор грибов рода *Alternaria* и *Cladosporium* также была вариабельна, так как повышение доли данных частиц во многом связано с влажностью и осадками.

Анализируя сроки пыления различных групп растений, нами были установлены 3 основных периода цветения растений. Первый период ознаменован началом сезона цветения древесных растений (*Betula*, *Acer*, *Populus*, *Salix*, *Alnus*, *Corylus*, *Ulmus*). Данный период охватывает цветение растений с конца марта до середины июня. Наибольшую активность пыления в данный период проявляют древесные растения рода *Betula*. Для второго периода, выпадающего на середину лета (начало июня – конец августа), характерно активное цветение травянистых растений, в особенности семейства *Poaceae*. Третий период связан с остаточным пылением травянистых растений рода *Artemisia*, *Chenopodioideae*.

Вся информация, накапливаемая нами за годы мониторинга, теперь стала доступной широкой общественности благодаря созданной нами web-площадки [8]. Созданный нами ресурс позволяет получить доступную информацию об аллергенном фоне на территории г. Казани, а именно: концентрацию пыльцы того или иного растения в текущий момент времени, календарь цветения, а также сводку динамики цветения наиболее распространенных типов аллергенов. Помимо этого, ресурс включает в себя палинологический атлас с фотографиями высокого разрешения, который является удобным и эффективным инструментом аэропалинологического мониторинга.

На основании результатов данного исследования, проводимого в период 2018–2020 гг. было достоверно зарегистрировано 25 типов пыльцевых зерен растений, а также 2 типа спор грибов. Наши наблюдения показали наличие тенденции к повышению концентрации пыльцевых зерен в воздушных массах, что в свою очередь может стать причиной роста уровня заболеваемости поллинозами. Данные факты указывают на необходимость продолжения аэропалинологических исследований. Календарь цветения, а также другие сводки наблюдений легли в основу web-ресурса, дающего возможность узнать актуальную информацию о составе пыльцевого облака на территории г. Казани.

Библиографический список

1. Елькина Н. А. Состав и динамика пыльцевого спектра воздушной среды г. Петрозаводска : автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб. : Петрозаводский государственный университет, 2008. 24 с.
2. Полей М. М. Поллиноз / под ред. М. М. Полей. Всевожск : Медиус, 2016. [Электронный ресурс] – URL: <https://medius-vs.ru/pollinoz/> (дата обращения: 01.04.21).
3. Адо В. А., Астафьева Н. Г. Поллинозы: Повышенная чувствительность к пыльце. М. : Знание, 1991. 224 с.

4. Campionatore pollini VPPS 2010. Lanzoni [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.lanzoni.it/campionatore-pollini> (дата обращения: 01.04.21).

5. Соколов С. М., Науменко Т. Е., Гриценко Т. Д. Методика аэриобиологических исследований пыльцы растений и спор грибов для составления календарей опыления. Рес-публика Беларусь, 2005. 27 с.

6. Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Ленинград : «Наука», 1972. 171 с.

7. How to use Spreadsheets with Charts [Электронный ресурс]. – URL: <https://developers.google.com/chart/interactive/docs/spreadsheets#gid> (дата обращения 01.04.21).

8. Pollenlab / под ред. Б. Т. Вагапова. 2020. [Электронный ресурс] – URL: <https://pollenlab.ru/> (дата обращения 01.06.20).

ИЗ ОПЫТА МИКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ

И. А. Коновалова, М. Н. Шаклеина
Вятский государственный университет,
S-dulcamara@yandex.ru, mariyashakleina@mail.ru

В статье представлен опыт проведения микологической экспертизы в помещениях жилого дома с целью выявления биологических деструкторов древесины. Определены виды грибов, наиболее агрессивно воздействующие на деревянные конструкции здания. Установлены причины их возникновения.

Ключевые слова: микологическая экспертиза, биологические деструкторы древесины, грибковые организмы.

Микологическая экспертиза подразумевает обследование зданий, помещений и материалов на наличие грибковых организмов, деструктивно влияющих на строительные конструкции. Объект настоящего исследования – частный жилой дом одного из районов г. Кирова. Цель исследования – выявить биологические деструкторы древесины и установить причины их возникновения.

Наличие биоповреждений строительных конструкций и отделочных материалов внутри жилых помещений определяли визуально, поврежденные участки фиксировали с помощью фотоаппарата Nikon D5300 Kit. Отбор проб проводили, используя медицинские перчатки, скальпель и пинцет. Пробы помещали в пакеты с замком ZIP-LOCK и подписывали. После каждого отбора проб используемое оборудование обрабатывали спиртом.

В лабораторных условиях определяли видовую принадлежность биологических агентов. Для уточнения некоторых особенностей строения, плодовые тела и гифы изучали при помощи биологического микроскопа Motic VA300 со встроенным видеоокуляр, стереоскопического микроскопа Микромед МС-2 Zoom, а также стереомикроскопа Nikon SMZ 1500. Объекты фотографировали под разным увеличением.

В ходе исследования установлено, что дом возведен из СИП панелей, облицовка здания выполнена виниловым сайдингом, внутренняя отделка – гипсокартоном. Отопление помещений производится с помощью электрических конвекторов, система вентиляции не установлена. Вероятно, именно в результате отсутствия в доме стационарных радиаторов отопления и системы вентиляции, в помещениях обнаружены повреждения отделочных материалов и деревянных конструкций различными грибковыми организмами. Последние возникли в условиях повышенной влажности воздуха и нестабильных положительных температур. Об этом указывают производители СИП панелей, предупреждая о герметичности построек из этого материала и необходимости установки вентиляционных конструкций.

Среди 11 отобранных проб выявлены плесневые грибы отдела *Ascomycota* Caval.-Sm., образующие темно-зеленые (*Trichoderma koningii* Oudem.) и черные (*Aspergillus niger* Tiegh.) колонии на стенах в области окон и под ними, на ОСП плитах под линолеумом. Поврежденные грибами поверхности были влажными, наблюдалось отслоение обоев от стен, набухание и осыпание верхних слоев гипсокартона, расслоение и разрушение структуры дерева ОСП-плит.

Также в пробах обнаружены представители *Basidiomycota* R.T. Moore и *Mucoromycetes*, которыми поражена нижняя ОСП-плита СИП панели пологового перекрытия дома, также выполняющего функцию потолка подвального помещения. В результате их жизнедеятельности структура древесины и ее физико-механические свойства существенно изменились. При взятии проб вместе с мицелием и плодовыми телами грибов беспрепятственно отслаивались части щепы ОСП-плиты.

Активное заселение и размножение грибов на деревянных конструкциях можно объяснить близким расположением грунта, на котором возведен дом. Расстояние от поверхности почвы до пола составляет всего 70 см. Вероятно, споры грибов, изначально находившиеся в почве, заселили древесину в виду благоприятных условий влажности и температуры.

На потолке подвала выявлен активно разросшийся мицелий и плодовые тела *Tapinella panuoides* (Batsch) E.-J.Gilbert (рис. 1). Это типичный облигатный непатогенный сапротроф, вызывающий влажную бурую гниль [1–3]. Его гифы внедряются в структуру древесных волокон, нарушают их плотность и физико-механические свойства. Наряду с другими дереворазрушающими базидиальными грибами, которые слагают сравнительно небольшую по таксономическому разнообразию экологическую группу грибов [4], он способен к полной деструкции лигноцеллюлоз. Сосудистые гифы *T. panuoides* срастаются и объединяются в ризоморфы толщиной до 1 мм, сконцентрированы в их центральной области [5]. Гифы периферии ризоморфа толщиной 2,5–4 мкм, толстостенные (0,5–1 мкм), параллельны направлению ризоморфа, отличимы от гиф нижних слоев. Скелетные гифы от бесцветных до бледно-желто-коричневатых, возникают из недифференцированных гиф. Внутрисубстрат-

ные гифы немного толще (4–6 мкм) окружающих недифференцированных гиф, поэтому лишь слегка заметны [6].

Шляпка гриба от 3,0–4,5 см [7] до 2–10 см [8] в диаметре, раковинчатая или лопатчатая, иногда воронкообразная со свернутым, лопастным и волнистым краем, от мелко войлочной до почти гладкой желтого или оранжевого цвета (рис. 1 г). Дифференцированный поверхностный слой шляпки с замысловатыми, септированными и фибулированными гифами [7, 9]. Споры от эллипсоидальных до почти шаровидных, гладкие, желтоватые или коричневатые под световым микроскопом, апикальные, гиалиновые, гутулированные $4,8-5,7 \times 3,6-4,3$ мкм [8]. Ножка боковая очень короткая (не длиннее 0,5–1 см) или отсутствует, более светлая [7, 8].

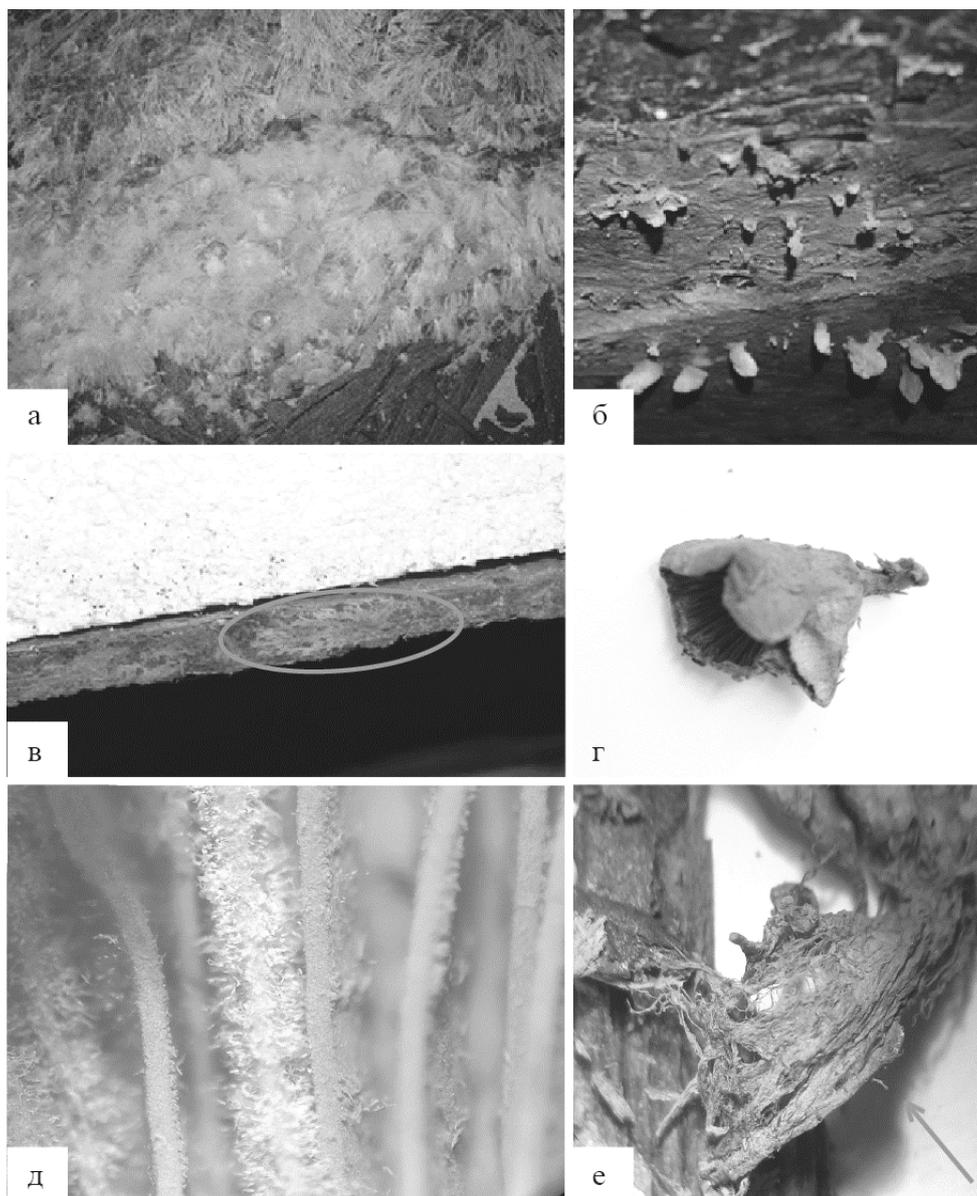


Рис. 1. Внешний облик *Tarinella ranuoides*, обнаруженного на потолке подвального помещения: а – мицелий, б – плодовые тела; в – гифы на ОСП-плите; г – воронкообразная шляпка на ножке; д – пластинчатый гименофор; е – гифы гриба, проникающие в волокна древесины

Рядом с мицелием и плодовыми телами *T. panuoides* обнаружен гриб, обитающий на разложившейся (гниющей) древесине, *Stemonitis fusca* Roth (рис. 2). Он имеет широкое распространение во всем мире (космополит), как и многие другие Мухомycetes, встречается на мягкой гниющей древесине хвойных и лиственных пород, а также других растительных остатках [10].

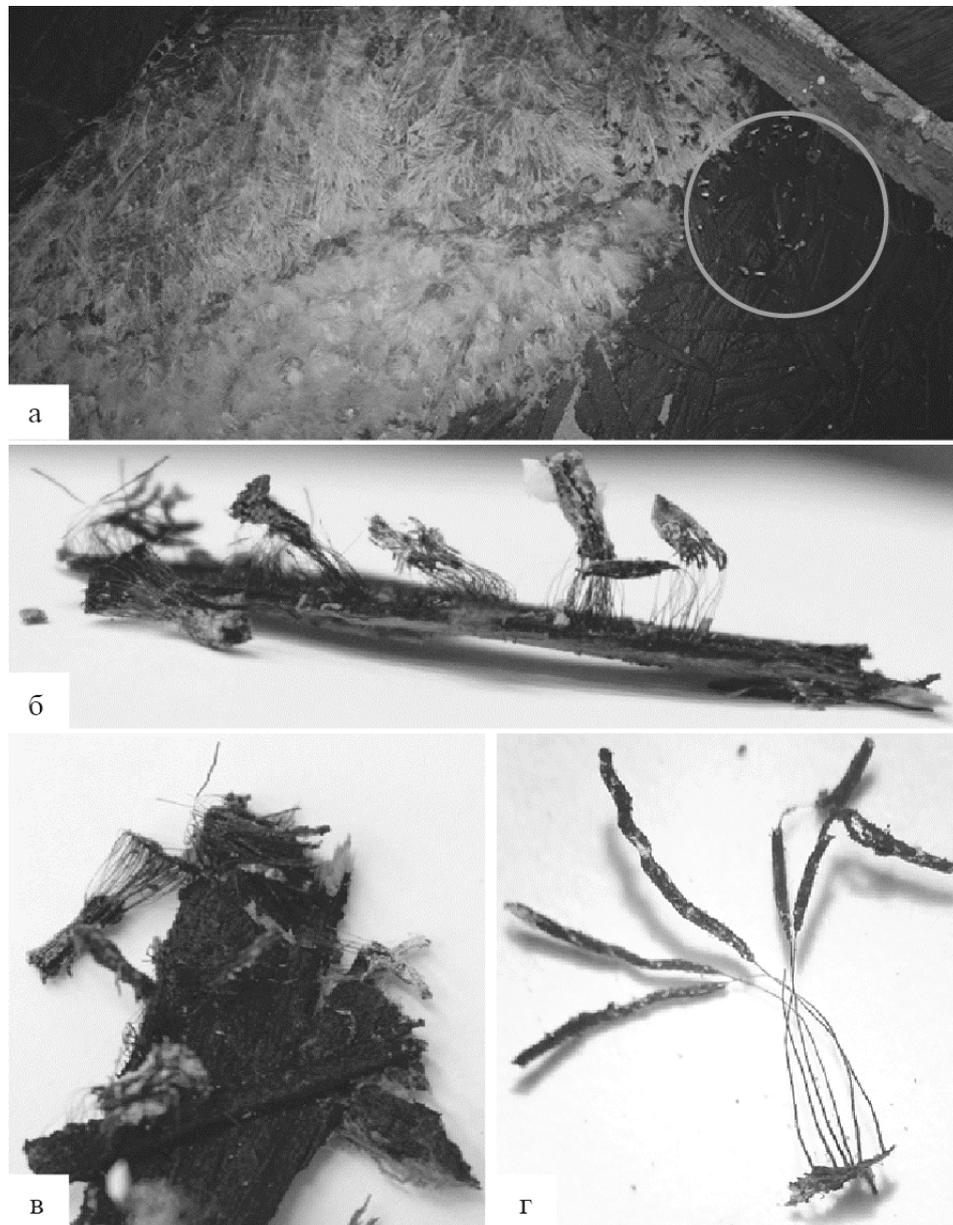


Рис. 2. Общий облик *Stemonitis fusca*: а – на потолке подвального помещения (колония обозначена кругом); б, в – на части древесной щепы ОСП-плиты; г – на части древесного субстрата в виде пяти особей

Стемонитис часто входит в состав «воздушного» опада, т.е. отмерших частей растений (листьев, веток, цветков, плодов), в тропических и субтропических лесах [11].

Спорангии *S. fusca* скученные, на ножках, часто образуют обширные колонии, красновато-коричневые, 6–20 мм высотой (рис. 2 г). Гипоталлус общий для всей колонии спорангиев, пленчатый, бурый. Перидий исчезает

после созревания спорангия. Ножка шиловидная, черная, блестящая. Колонка темно-коричневая или черная обычно достигает окончания спорангия [12]. Капиллиций состоит из нитей, отходящих от колонки по всей ее длине и образующих на периферии спорангия мелкочаеистую сеточку [13]. Споры в массе серо-фиолетовые, фиолетово-коричневые до 9 мкм в диаметре, одиночные, бородавчатые или шиповатые с недоразвитой сеточкой [11]. Плазмодий белый.

Таким образом, в результате микологической экспертизы, проведенной в жилом доме одного из районов г. Кирова, обнаружены грибковые организмы, оказывающие агрессивное воздействие на деревянные конструкции здания и отделочные материалы помещений. На стенах выявлены плесневые грибы, на потолке подвала – гриб–деструктор древесины *T. panuoides* и гриб, обитающий на разложившейся древесине, *S. fusca*. В результате их жизнедеятельности нижняя ОСП-плита СИП панели, служащая основой полового перекрытия, разрушена и требует замены. К возникновению грибов, вероятно, привело отсутствие систем вентиляции и стационарного отопления помещений.

Авторы выражают благодарность д-ру биол. наук, ведущему научному сотруднику ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого» А. А. Широких за помощь в определении объектов настоящего исследования.

Библиографический список

1. Davidson R. N., Patron R. F. Paxillus atrotomentosus causes brown root rot in dead jack pine in plantations in Wisconsin. Washington: Pl. Dis. Rep, 1961. P. 836–838.
2. Nilsson T., Ginns J. Cellulolytic activity and the taxonomic position of selected brown-rot fungi // Mycologia. 1973. Vol. 71. P. 170–177.
3. Fungi From Different Substrates / J. K. Mishra, J. P. Tewari, S. K. Deshmukh, C. Vagvölgyi. London, New York : CRC Press, 2014. 486 p.
4. Широких А. А., Злобина Ю. А., Широких И. Г. Биодegradация растительных отходов и получение плодовых тел при культивировании ежевика гребенчатого (*Hericium erinaceus*) // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 3. С. 86–92. doi: 10.25750/1995-4301-2018-3-086-092
5. Agerer R. Never change a functionally successful principle: The evolution of Boletales (Hymenomycetes. Basidiomycota) as seen from below-ground features // Sendtnera. 1999. Vol. 6. P. 5–91.
6. Hahn C., Agerer R. Systematical studies on Paxillaceae (Boletales, Basidiomycota) // Sendtnera. 1999. Vol. 6. P. 115–133.
7. Merino A. D. Setas de Dunas 3 // Micobotánica-Jaén. 2017. Vol. XII. No. 1. P. 109–203.
8. Šutara J. The genera *Paxillus* and *Tapinella* in Central Europe // Česká Mykologie. 1992. Vol. 46. P. 50–56.
9. Fungi of Switzerland. Vol. 3: Boletes & Agarics (1st. part) / edited by J. Breitenbach, F. Kranzlin. Edition Mycologia Lucerne, 1981. 360 p. doi: 10.1016/S0269-915X(09)80598-3
10. Takahashi K., Hara Y. Comparison of wood-inhabiting myxomycetes in subalpine and montane coniferous forests in the Yatsugatake Mountains of Central Japan // Plant Res. 2012. Vol. 125. P. 327–337. doi: 10.1007/s10265-011-0452-8
11. López A. R., García J. A. *Stemonitis fusca* // Funga Veracruzana. 2018. No. 163. 4 p.

12. Новожилов Ю. К. Класс Миксомицеты // Определитель грибов России: Отдел Слизевика Вып. 1. СПб.: Наука, 1993. 288 с.

13. Леонтьев Д. В. Миксомицеты из родов *Stemonitis*, *Stemonitopsis* и *Stemonaria* в Украине: идентификация и распространение // Микология и фитопатология. 2010. Т. 44. Вып. 5. С. 398–409.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕАГЕНТОВ НА АВТОДОРОГАХ И ТРОТУАРАХ

И. И. Башарин, Т. А. Мусихина, О. О. Ходырева, Е. В. Возженников

*Вятский государственный университет,
basharin97@gmail.com, usr04011@vyatsu.ru,
stud123976@vyatsu.ru, stud106278@vyatsu.ru*

Применение реагентов на автодорогах в зимний период усиливает антропогенное негативное влияние на окружающую среду, поскольку при таянии обработанного снега происходит сброс в водные объекты загрязненных талых вод и их инфильтрация в почву. Произведена оценка уровня влияния этого процесса для г. Кирова, для чего выполнены расчеты объемов загрязненного снега на оживленных транспортных потоках, выявлены и оценены основные источники загрязнения снега на автодорогах г. Кирова. Исследовано качество снега с обработанных реагентами тротуаров. Определенные в работе количественные и качественные показатели уровня загрязнения снега на дорогах и тротуарах г. Кирова позволяют обосновать создание обустроенных снежных свалок, а также применение дополнительных специальных устройств для организованного сброса загрязненных талых вод на очистные сооружения.

Ключевые слова: противогололедные реагенты, снежные свалки, талые воды, выбросы автотранспорта, загрязнение водных объектов.

Город Киров в силу географических особенностей является территорией, где в зимний период для обеспечения безопасности населения и участников дорожного движения подсыпка автодорог и пешеходных тротуаров необходима. При обработке дорог используются песок, галит и каленый песок, которые, являясь инертным материалом, увеличивают сцепление с поверхностью, тем самым снижают скольжение транспортных средств во время гололеда и гололедицы. В качестве реагентов используются различные противогололедные смеси, состоящие, в том числе, из хлоридов кальция и магния, которые загрязняют снег на автодорогах. Интенсивное движение автотранспорта также вносит свою лепту в загрязнение снега, поскольку выброшенные при сгорании топлива загрязняющие вещества оседают на автодорожном полотне.

При наступлении положительных температур загрязненный реагентами, взвешенными и другими химическими веществами снег, тает и происходит миграция внесенных химических компонентов с талыми водами в почву и

водные объекты. Вывезенный на снежные свалки снег при таянии оказывает влияние на почвенный покров территории их размещения. В черте города Кирова загрязненные талые воды: сбрасываются непосредственно в водотоки; попадают через люки в городскую канализацию и далее на очистные сооружения, а также в систему ливневой канализации и без очистки от загрязняющих веществ сбрасываются в водные объекты.

В данном исследовании были поставлены следующие задачи:

- расчет объемов накопления загрязненного снега;
- определение источников загрязнения снега и количественного содержания приоритетных химических веществ в талой воде;
- изучение технических возможностей водоочистных сооружений города Кирова для приема талых вод и разработка предложений по минимизации вредного воздействия загрязненных талых вод.

Расчета объемов вывозимого с автодорог снега выполнен с учетом СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99». Строительная климатология».

Расчет интенсивности движения автомашин и валового выброса загрязняющих веществ выполнен по ГОСТ 56162-2014 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктов».

Для определения содержания хлорид ионов в загрязненном снеге применялся титриметрический метод анализа. Проведение исследования было выполнено по ГОСТ 4245-72 «Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов». Для анализа требуется 100 мл отфильтрованной талой воды. К пробе прибавляют 0,3 мл смешанного индикатора, который состоит из дифенилкарбазона и бромфенолового синего в растворе 95% этанола. Затем к пробе добавляют 0,25 мл 0,2Н азотной кислоты для получения рН 2,5 и титруют 0,05Н раствором нитрата ртути (II) до перехода желтой окраски в фиолетовую.

Климат в городе Кирове – холодно-умеренный, со значительным количеством осадков в течение года. Среднегодовая температура составляет +3,4 °С, в год выпадает около 714 мм осадков. Среднемесячная температура воздуха и норма осадков представлены в (табл.).

Таблица

Среднегодовые показатели температуры воздуха и нормы осадков

Месяц	Янв	Фев	Март	Апр	Май	Июнь	Июль	Авг	Сент	Окт	Нояб	Дек
Т, °С	-11,6	-10,6	-4,5	3,1	11,4	16,0	19,1	16,4	10,7	3,4	-3,6	-8,8
Осадки, мм	50	39	47	43	59	77	74	72	63	76	58	56

Из приведенных выше данных берем количественные показатели осадков за месяцы с отрицательной среднемесячной температурой с ноября по март. Суммарное количество осадков за «зимний» период времени составит: 250 мм. По данным нормативных документов, норма осадков для г. Кирова в холодные периоды года – 167 мм. Высота снежного покрова достигает 0,7 м [1, 2].

В г. Кирове для передвижения пешеходов и обеспечения дорожного движения производится очистка тротуаров и дорог и регулярный вывоз снега. Объемы вывозимого снега с автодорог зависят от расчищаемой площади. К основным автомобильным потокам с плотным трафиком движения в г. Кирове можно отнести: улицы Ленина, Карла Маркса, Московская, Воровского, Лепсе и Октябрьский проспект.

На основании нормативных документов и данных «Программы комплексного развития транспортной инфраструктуры Кировской городской агломерации» протяженность улиц составляет: Ленина – 8 км 860 м; Карла Маркса – 4 км 50 м; Московская – 9 км 600 м; Воровского – 5 км 95 м; Лепсе – 3 км 300 м; Октябрьский проспект – 8 км 20 м. Суммарная протяженность участков дорожной сети составляет 38 км 925 м. Ширина проезжей части на данных улицах: Ленина – 21 м; Карла Маркса – 14 м; Московская – 21 м; Воровского – 14 м; Лепсе – 16 м; Октябрьский проспект – 21 м.

Приведенные участки автодорог имеют как правило прямоугольный профиль, значит для расчета площади участков дорожной сети используется формула площади прямоугольника, поэтому площади рассматриваемых участков составляют: ул. Ленина – 186 тыс. м²; ул. Карла Маркса – 56 тыс. 700 м²; ул. Московская – 201 тыс. 600 м²; ул. Воровского – 71 тыс. 330 м²; ул. Лепсе – 52 тыс. 800 м²; Октябрьский проспект – 168 тыс. 420 м². Суммарная площадь участков автодорог составит: 738 тыс. 850 м² или 0,737 км² [3].

Объем загрязненного в районе автодорог снега. Таким образом, объем среднегодовых осадков, выпавших в зимний период времени на автодороги города Кирова, рассчитаем по формуле 1, м³:

$$V_{осд} = S_{уч} \cdot h, \quad (1)$$

где $S_{уч}$ – площадь участка автодороги, м²; h – высота уровня осадков, м.
 $V_{осд} = 738850 \cdot 0,167 = 123387,95 \text{ м}^3$

Масса среднегодовых осадков в зимний период времени рассчитывается по формуле 2, т:

$$m_{осд} = V_{осд} \cdot \rho_{воды}, \quad (2)$$

где $\rho_{воды}$ – плотность воды.

$$m_{осд} = 123387,95 \cdot 0,997 = 123017 \text{ кг} = 123,017 \text{ т}$$

Таким образом, ориентировочное к вывозу количество загрязненного снега, составляет 123 т, не считая вывозимый снег с второстепенных автодорог.

При наступлении положительных температур снег начинает переходить в жидкое состояние. На урбанизированных территориях в силу антропогенной деятельности он значительно загрязнен, при этом наряду с реагентами и выбросами в атмосферу от стационарных источников в районе автодорог имеются и другие источники загрязнения снега. К ним относятся выхлопы автотранспорта, пролив нефтепродуктов [4].

Влияние реагентов. В зимний период в результате перепада температур происходит наступление природных явлений – гололед, либо гололедица, когда на поверхности тротуаров и автодорог образуется ледяная корка. Для борьбы с ледяной коркой применяют посыпку противогололедными реагентами, состоящими, в основном, из хлоридов кальция и натрия, которые образуют соляные растворы с водой в квазижидком состоянии. Образованные таким образом солевые системы повышают температуру замерзания талой воды, тем самым предотвращают появление ледяной корки при невысоких отрицательных температурах. Так, например, по данным справочника [5], при содержании хлорида натрия в количестве 23,1% температура замерзания достигает $-21,2$ °С.

По результатам исследования качества снега с тротуара, обработанного реагентами, содержание хлорид ионов в талой воде составило более 4000 мг/л, что превышает значения ПДК_{к.б.} в десятки раз. Суточное количество рассыпаемого по городу реагента составляет около 300 тонн. То есть вклад противогололедных реагентов в содержание хлорид-ионов, кальция и натрия в талой воде является значительным, поскольку наблюдается увеличение их концентрации более 10 раз в сравнении с нормативами качества воды и в сотни раз в сравнении с условным фоном (район Заречного парка).

Выхлопные газы также влияют на качество снега – происходит поступление тяжелых металлов, бенз(а)пирена, сажевых и взвешенных частиц, формальдегида, CO, NO₂, SO₂, углеводородов. При этом количество автотранспорта ежегодно увеличивается. Так на территории города Кирова на 01.01.2021 зарегистрировано около 180 тыс. автомобилей. Визуальные наблюдения показали, что интенсивность движения, например, по улице Карла Маркса в районе Театральной площади в пиковые утренние часы 05.03.2021 составила 2400 автомашин в час. При этом, в течение этого часа в районе светофора на перекрестке улиц Карла Маркса и Спасская 20 минут 600 автомобилей стояли с включенным двигателем. Валовый выброс загрязняющих веществ, от них за этот час составил 13,4 кг. Снег, являясь депонирующей поверхностью, во многом аккумулирует эти выбросы. Кроме того, на автодорожном полотне, и, особенно, на автозаправочных станциях снег зачастую дополнительно загрязнен нефтепродуктами [6, 7].

Пути миграции загрязняющих веществ с талыми водами. Вывезенный на снежные свалки снег при таянии загрязняет прилегающую к снежным свалкам территорию – талые воды инфильтруются в почвы и сбрасываются в ближайшие водные объекты. Загрязненные талые воды от оставшегося в городе Кирове снега: сбрасываются непосредственно в водотоки; попадают через люки в канализацию и далее на городские очистные сооружения; сбрасываются без очистки в водотоки по системе ливневой канализации. Размещенный на придорожных и притротуарных газонах снег при таянии частично инфильтруется в почву, загрязняя ее специфическими веществами.

Приток талых вод в системы городской канализации города Кирова можно проанализировать согласно официальным данным МУП «Водоканал»

на основании приведенных объемов фактического притока на технологические очистные сооружения МУП «Водоканал» по месяцам. Так, за 2019 год всего поступило 48308 тыс. м³ канализационных сточных вод. При этом в период интенсивного таяния снега в апреле 2019 года на очистные сооружения города поступило 5205 тыс. м³, а в июле – 3488 тыс. м³. Таким образом, приток сточных вод в апреле в период половодья в среднем на 33% превышает среднемесячные показатели.

Среднесуточное поступление сточных вод в минимальный по расходу месяц (июль) составляет 113 м³, а среднесуточное поступление в максимальный месяц (апрель) – 174 м³. В апреле за сутки сточной воды поступает на 33% больше за счет несанкционированного попадания талых вод в городскую канализацию. Эти данные, в принципе, могут послужить основанием для определения объемов возможного регулярного дополнительного сброса талых вод в течение всего зимнего периода в городской коллектор для последующей очистки на биологических очистных сооружениях перед сбросом в реку Вятку.

На основании выше изложенного можно заключить, что в городе Кирове необходимо и возможно организовать сбор и очистку наиболее загрязненной массы снега, как это сделано в крупных городах России. Например, в Москве предусмотрены специальные устройства – снегоплавильные станции, после которых сброс загрязненных талых вод производится в систему канализации для дальнейшей очистки и сброса в водные объекты.

Выводы: 1. В ходе данного исследования была рассчитан объем в размере 123 тыс. м³ наиболее загрязненного снега, выпадающего на поверхность оживленных транспортных потоков города Кирова, который требует надлежащей утилизации.

2. Приведены количественные характеристики талой воды и качественные показатели специфических при обработке реагентами снега загрязняющих веществ.

3. Показана необходимость обустройства снежных свалок, а также применение дополнительных устройств, например, снегоплавильных станций с регулируемым сбросом загрязненных талых вод в городские канализационные системы в зимний период.

Библиографический список

1. Кировской центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Электронный ресурс]. – URL: <http://pogoda43.ru> (дата обращения: 01.03.2021)
2. СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99». Строительная климатология: действ. с 29.05.2019. [Электронный ресурс]. – URL: <http://sniprf.ru/sp131-13330-2018> (дата обращения: 03.03.2021)
3. ГОСТ 33475-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Технические требования: действ. с 08.09.2016. [Электронный ресурс]. – URL: <https://gostexpert.ru/gost/gost-33475-2015> (дата обращения: 04.03.2021).
4. Химический состав снега на урбанизированных территориях в условиях Крайнего Севера / Н. В. Салтан, Е. П. Шлапак, В. К. Жиров, О. Б. Гонтарь, Е. А. Святковская // Вестник МГТУ. 2015. № 2. С. 328–334.

5. Чубик И. А., Маслов А. М. Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов. М. : Изд-во «Пищевая промышленность», 1970. 184 с.

6. ГОСТ Р 56162-2014 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктов: действ. с 01.07.2015. [Электронный ресурс]. – URL: <https://gostexpert.ru/gost/gost-56162-2014> (дата обращения: 10.03.2021).

7. ГОСТ 33389-2015 Дороги автомобильные общего пользования. Противогололедные материалы. Методы испытаний: действ. с 08.09.2016. [Электронный ресурс]. – URL: <https://gostexpert.ru/gost/gost-33389-2015> (дата обращения: 10.03.2021).

О НЕОБХОДИМОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ СОХРАНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФОЗЕМОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ

Н. А. Уланов

*Кировская лугоболотная опытная станция – филиал
ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии
имени В. Р. Вильямса», bolotoagro50@mail.ru
ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет»,
soil.science.vgsha@gmail.com*

В работе представлены данные по оценке эффективности погребения остаточной торфяной залежи торфоземов, в плане сохранения ее органического вещества и повышения продуктивности возделываемых культур. Приведена сравнительная оценка основных водно-физических свойств почвенных горизонтов, динамики категорий влаги в них в течение вегетационного периода и урожайности кормовых культур.

Ключевые слова: выработанные торфяники, торфозем, погребенная залежь, органическое вещество, режим влажности, кормопроизводство.

Согласно последней версии почвенной классификации почв России 2004 года, торфоземы выделяют на уровне отдела в стволе органогенного почвообразования, что говорит о присутствии органического материала в структуре их профиля. Эти природные объекты объединяют в себе почвы освоенных и, как правило, осушенных торфяников, поэтому органический материал в них представлен торфом различного ботанического состава и степени разложения. Торфоземы характеризуются наличием диагностического агрогоризонта, представленного (в зависимости от типа торфозема) агроторфяным или агроторфяно-минеральным горизонтом, залегающим на органогенной почвообразующей породе. Исходя из используемой в классификации терминологии относительно торфоземов, а именно: не «...торфяной горизонт», как в отделе торфяных почв, а «...агрогоризонт», видно, что оставшийся после осушения и освоения торфяной горизонт подвергается изменению

агрофизических свойств. В результате проведения осушительной мелиорации (попадание почвообразующей породы в результате прокладки осушительной сети) и последующего сельскохозяйственного освоения этих объектов (использование приемов пескования и глинования, припахивание почвообразующей породы, а также возделывание пропашных культур), торфяной горизонт обогащается минеральной примесью, что значительно ускоряет процесс биохимической сработки органического вещества торфа [1]. Потеря органического вещества в свою очередь приводит к резкому снижению уровня потенциального плодородия почвы [2]. Именно поэтому сохранение остаточного слоя торфа на выработанных торфяниках, замедление процессов его минерализации лежит в основе их любого разумного направления сельскохозяйственного использования.

Основные приемы по замедлению минерализации торфа, наиболее широко используемые в практике – увеличение в севообороте доли многолетних злаковых трав [3], а также обустройство систем двустороннего регулирования водного режима, обеспечивающих процесс подпочвенного увлажнения [4–6]. Однако, существуют и более технически сложные приемы, такие, например, как запахивание торфяной залежи слоем почвообразующей породы на определенную глубину [2, 7–9]. Наиболее популярна такая мелиорация была в 1960–1970 гг. в Германии и Белоруссии. Так называемая «консервация» залежи должна была способствовать более длительному ее сохранению. В мелиоративной практике России этот прием обычно осуществляется, в зависимости от технологической оснащенности и возможности организации: либо запахиванием оставшегося торфяного слоя специальными сверхглубокими плугами, либо внесением поверх залежи минерального грунта (песка, глины и др.) [10–12].

Цель работы: оценить эффективность погребения торфяной залежи выработанных торфяников, используемых в кормопроизводстве, с целью сохранения ее органического вещества.

В качестве объекта был выбран участок выработанного низинного торфомассива «Гадовское» в 30 км от г. Киров. Режим водного питания ослабленный грунтово-напорный, средняя глубина залегания грунтовых вод 40–200 см. Мощность остаточного слоя торфа на опытном участке варьирует от 0 до 1,5 м.

В результате проведения на торфомассиве осушительной мелиорации, на участке была оборудована система двустороннего регулирования водного режима. Процесс выкопки осушительных каналов сопровождался выносом на поверхность подстилающей и материнской пород. В результате чего, преимущественно вдоль транспортирующего собирателя (ТС), произошло погребение остаточного слоя торфа среднезернистым песком, перемешанным с мергелизованными карбонатными суглинками на расстоянии 5–10 м от ТС. Поэтому некогда оторфованные участки, в результате неплановой «консервации» торфяной залежи, перешли в категорию полностью сработанных с погребенным торфом. Таким образом, на некоторых участках, расположенных

непосредственно возле ТС, сформировался почвенный профиль аналогичный формируемому при запахивании торфяной залежи.

Для того чтобы оценить в каком состоянии находится погребенная залежь и как она сохранилась за период 40-летнего сельскохозяйственного использования опытного участка, мы сравнили некоторые ее водно-физические свойства со свойствами не погребенной торфяной залежи. Определялись следующие показатели: объемная (ОМ) и удельная масса (УМ) (пикнометрический метод), полная влагоемкость (ПВ) методом насыщения (лабораторный метод), наименьшая влагоемкость (НВ), влажность разрыва капилляров (ВРК), влажность завядания (ВЗ) методом вегетационных миниатюр, максимальная гигроскопическая влажность (максимальную гигроскопичность) (МГ).

Среди прочих наблюдений: динамика полевой влажности (термостатно-весовой способ), уровень грунтовых вод (УГВ) определяли с помощью специально оборудованных смотровых скважин, данные по атмосферным осадкам и температуре воздуха брались с местной метеостанции.

Для сравнения использовались рядом расположенные участки с торфяной залежью одинакового происхождения и состояния (по разные стороны от ТС), с той лишь разницей, что на одном из участков она была погребена минеральной породой. Основные данные, полученные в результате обследования почвенных профилей на участках с погребенной и не погребенной остаточной торфяной залежью, представлены в таблице 1.

Из данных таблицы видно, что за период многолетнего сельскохозяйственного использования водно-физические свойства торфяной залежи этих участков практически не отличаются. В севообороте обоих участков преобладала доля многолетних злаковых трав. Основное отличие погребенной торфяной залежи от не погребенной – это более высокое значение объемной массы, вследствие некоторого уплотнения залежи. Вероятно-возможное «утяжеление» торфяной прослойки минеральными илисто-глинистыми фракциями с нисходящим током атмосферных осадков нами не было установлено.

Таблица 1

**Водно-физические свойства почвенного профиля участков
с погребенным и не погребенным остаточным слоем торфа**

Горизонт, см	Порода	Удельная масса (УМ), г/см ³	Объемная масса (ОМ), г/см ³	Влажность, %					ВЗ:МГ
				полная вла- гоемкость (ПВ)	наименьшая влажгоемкость (НВ)	влажность разрыва ка- пилляров (ВРК)	влажность завядания (ВЗ)	максимальная гигроскопическая влажность (МГ)	
Участок с погребенным торфом									
0–35	Органо-минеральный субстрат, образовавшийся при выкопке канала	2,17±0,06	1,35±0,03	33,70±1,77	27,01±1,48	20,91±0,34	8,30±0,61	4,36±0,16	1,90
35–45	Торф гипново-осоковый уплотненный темно-коричневого цвета	1,12±0,05	0,22±0,02	390,24±7,42	339,09±4,67	226,75±10,05	81,15±4,29	22,75±1,77	3,57
45–60	Торф гипново-осоковый коричневого цвета, менее уплотнен	0,89±0,04	0,15±0,01	502,11±6,12	425,56±7,14	305,15±7,94	89,76±5,84	26,13±1,75	3,44
65–110	Среднезернистый песок серого цвета	2,77±0,07	1,63±0,06	24,00±1,48	19,60±0,53	2,70±0,07	0,95±0,15	0,67±0,05	1,42
Участок с непогребенным торфом									
0–20	Торф гипново-осоковый	1,11±0,05	0,18±0,01	400,25±8,42	350,06±5,17	230,71±11,05	82,00±4,69	23,77±1,87	3,45
20–55	Торф гипново-осоковый коричневого цвета	0,87±0,04	0,12±0,01	510,10±7,97	440,66±7,74	310,13±8,94	96,00±6,54	26,72±1,82	3,59
60–110	Среднезернистый песок серого цвета	2,78±0,06	1,65±0,06	24,09±1,51	19,65±0,55	2,74±0,08	0,99±0,16	0,71±0,06	1,39

Примечание: 95%-ный доверительный интервал для среднего значения.

Для того чтобы установить роль погребенного торфа в оптимизации формирующегося режима влажности почвенного профиля, мы сравнили участок с полностью сработанным слоем торфа и упомянутый выше участок с погребенным торфом (рис.). Характер возделываемых на них культур, норма осушения, а также строение профиля (за исключением прослойки погребенного торфа) схожи.

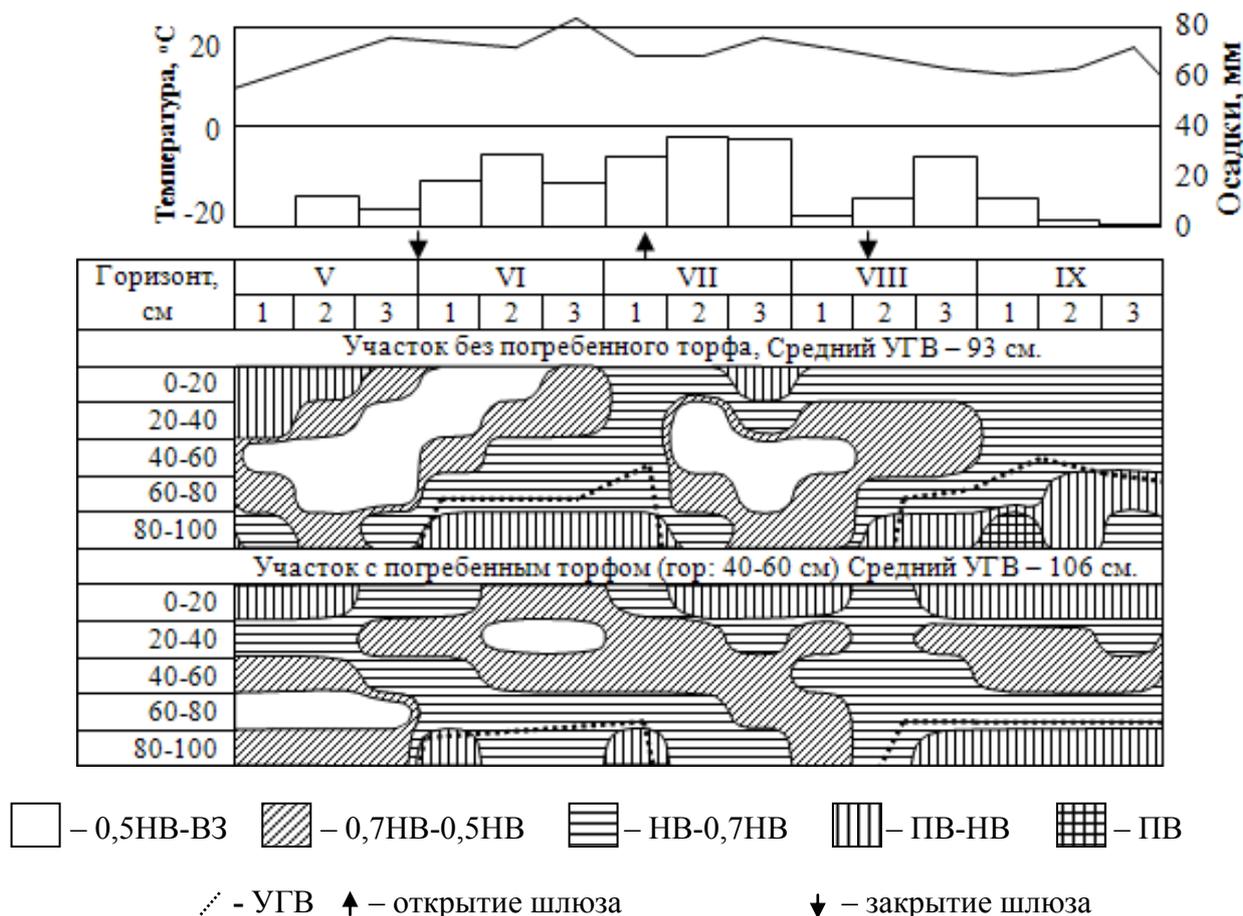


Рис. Динамика влажности почвенного профиля на сработанных участках с погребенным торфом и без него под многолетними злаковыми травами, 2015 г.

Особенностью участков с погребенным торфом является то, что в мае влажность этих торфяных горизонтов практически всегда выше, чем минеральных, даже при более глубоком залегании грунтовых вод. Торфяная прослойка здесь играет как бы аккумулялирующую роль, удерживая в себе влагу талых вод. Влажность погребенных торфяных горизонтов в течение вегетации более стабильна, чем в минеральных. Так, проникающая в торф влага атмосферных осадков, хотя и не приводит к существенному увеличению его влажности, однако перехватывается им и удерживается. В минеральных горизонтах этого не происходит, поскольку влага быстро стекает вниз по профилю и соединяется с капиллярно-подпертой влагой, в результате чего эти минеральные горизонты имеют более низкую, по сравнению с торфяными горизонтами, влажность. Благодаря этому количество дней с оптимальной влаж-

ностью (выше 0,5НВ) в погребенном торфяном горизонте составляет 153 дня (весь период вегетации), тогда как в минеральном горизонте на аналогичной глубине лишь 91 день, что составляет 59% времени от всего периода вегетации. Формирующийся таким образом более благоприятный в профиле режим влажности положительным образом сказывается и на урожайности возделываемых культур. Так, в сумме за два укоса урожайность многолетних злаковых трав на участке с погребенным слоем торфа была на 64% выше, чем на участке без погребенного торфа (табл. 2).

Таблица 2

Урожайность многолетних трав на участках со сработанным слоем торфа, ц/га воздушно сухого вещества, 2015 г.

Вариант	1-й укос		2-й укос		Сумма за 2 укоса	
	колебания УГВ, см (V–VI)	урожайность, ц/га	колебания УГВ, см (VI–IX)	урожайность, ц/га	колебания УГВ, см (V–IX)	урожайность, ц/га
Без погребенного торфа	$\frac{65-140}{85}$	32,9	$\frac{65-67}{65}$	11,2	$\frac{65-140}{74}$	44,1
С погребенным торфом	$\frac{74-150}{78}$	38,3	$\frac{73-74}{74}$	34,0	$\frac{73-150}{76}$	72,3
	НСР ₀₅ = 4,6 ц		НСР ₀₅ = 7,0 ц			

Примечание: УГВ – уровень грунтовых вод.

Выводы. Погребение остаточной торфяной залежи можно считать весьма эффективным приемом ее сохранения. Даже в результате длительного сельскохозяйственного использования таких земель, ее водно-физические свойства не ухудшаются. Кроме того, наличие таких прослоек в почвенном профиле способствует формированию в нем более благоприятного и стабильного режима влажности, делая его менее зависимым от резких скачков УГВ и выпадения обильных атмосферных осадков.

Аналогичная «консервация» торфяного слоя в отдельные засушливые периоды, благодаря оптимизации влажности профиля, способствует увеличению урожайности кормовых культур, а особенно корневищных злаковых трав.

Библиографический список

1. Уланов А. Н. Торфяные и выработанные почвы южной тайги Евро-Северо-Востока России. Киров, 2005. 320 с.
2. Белковский В. И. Структурная мелиорация мелкозалежных торфяников. Минск : Ураджай, 1985. 88 с.
3. Косолапов В. М., Зотов А. А., Уланов А. Н. Кормопроизводство на торфяных почвах России. М., 2009. 858 с.
4. Ивицкий А. И. Влияние шлюзования на водный режим торфяной почвы // Сельскохозяйственное освоение болот. М., 1941. С. 106–110.
5. Кожанов К. Я. Регулирование влажности торфяно-болотных почв // Труды института мелиорации, водного и болотного хозяйства АН БССР, Т. III. Минск : Изд-во АН БССР, 1953. С. 200–242.

6. Янголь А. М. Увлажнение осушенных болот подземным способом // Научные труды УкрНИИГиМ, Вып. 76/2. Киев : Госсельхозиздат УССР, 1954. С. 166–179.
7. Бамбалов Н. Н. Стадии антропогенной эволюции осушенных торфяных почв // Эколого-экономические принципы эффективного использования мелиорируемых почв : материалы конф. Минск, 2000. С. 7–11.
8. Gottlich K. Kuntze H. Moorund Torfkunde. – 2 Aufl. Stuttgart, 1980.
9. Okruszko H. Transformation of fen-peat soils under the impact of draining // Agrophysical bases of soils and cultivated plants productivity. Part. 3. Organic soils. Lublin, 1993. P. 3–73.
10. Калинина В. В. Пескование – эффективный прием улучшения торфяно-болотных почв // Вопросы мелиорации земель Новгородской области : труды Сев. НИИГиМ. Л. : Лениздат, 1971. С. 37–43.
11. Емельянова И. М., Малышева Г. А., Петрова М. П. Повышение плодородия торфяных почв. Л. : Колос, 1981. 96 с.
12. Влияние разных способов внесения песка в осушенные торфяные почвы на их физические свойства / Ф. Р. Зайдельман, А. С. Батраков, А. П. Шваров и др. // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2002. № 1. С. 33–39.

МИКРОБНАЯ БИОМАССА РЕКУЛЬТИВИРОВАННОЙ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ДЕРНОВОЙ ПОЧВЫ ПОД ПОСЕВАМИ РАЗЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

*А. А. Вершинин, Л. К. Каримуллин, А. А. Утомбаева,
Т. В. Кузнецова, А. М. Петров*

*Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан, A-vershinin@mail.ru*

Исследовано изменение содержания микробной биомассы рекультивированной после нефтяного загрязнения аллювиальной дерновой тяжелосуглинистой почвы после нескольких посевов различных культур. В почве под пшеницей повторный посев культуры приводил к снижению содержания микробной биомассы. Повторный посев гороха, напротив, сопровождался увеличением концентрации микробной биомассы. Вторичный посев обеих культур стабилизировал микробный пул почвы. Эколого-физиологическое состояние рекультивированной почвы под посевами гороха представляется более предпочтительным, чем под посевами пшеницы.

Ключевые слова: аллювиальная дерновая почва, рекультивация; микробный углерод, коэффициент микробного дыхания.

После механического удаления нефтепродуктов на загрязненных территориях осуществляется биологическая рекультивация. Она включает рыхление почв, внесение минеральных удобрений, микроорганизмов-деструкторов нефти, посев различных культур. Данные мероприятия способствуют ускорению выноса остатков нефтепродуктов из почвы и стимуляции почвенной микрофлоры – основного звена в процессе деструкции разнообразных поллю-

тантов [1, 2]. О величине микробной биомассы в почве можно судить по содержанию микробного углерода, определяемого на основании показателей субстрат-индуцированного дыхания [3]. Микробный углерод (Смик) считается важным показателем, характеризующим потенциал микробного пула и способность почвы сохранять нормальное функционирование системы почвенной микробиоты под воздействием неблагоприятных климатических и антропогенных факторов [4, 5]. Сведения о запасе микробного углерода и дыхательной активности почв важны для экологических исследований, в том числе и прогнозных сценариев [6].

Цель исследований состояла в изучении содержания микробной биомассы рекультивированной аллювиальной дерновой почвы при нескольких последовательных посевах различных типов растений.

Объектом исследований служила рекультивированная после нефтяного загрязнения аллювиальная дерновая тяжелосуглинистая почва (Ад) с разным остаточным содержанием нефтепродуктов (варианты В1-В4): 1,6; 3,1; 4,3; 5,7 г/кг сухой почвы соответственно. Рекультивированную почву засевали яровой пшеницей (*Triticum vulgare* L.) сорта «Йолдыз» и – горохом посевным (*Pisum sativum* L.) сорта «Казанец». Через 42 суток надземную часть растений и корни удаляли. Повторный посев этих же культур осуществляли через ... суток [7]. Содержание Смик определяли по методу [8]. Величину коэффициента микробного дыхания (Q_r) вычисляли согласно [9].

В контрольной Ад почве под посевами пшеницы после первичного посева содержание Смик составляло 364,18 мкг С/г. После вторичного посева эта величина увеличивалась до 414,20 мкг С/г. В рекультивированной почве после первичного посева пшеницы происходило снижение концентрации микробной биомассы по мере возрастания остаточного содержания Нп (В1→В4). Вторичный посев пшеницы приводил к еще большему уменьшению микробной биомассы во всех вариантах опыта. Содержание Смик в Ад почве после первого посева снижалось в 1,31 раза, тогда как после вторичного посева в 2,03 раза (рис. 1А).

Характер изменений содержания микробной биомассы в рекультивированной Ад почве после посевов гороха был иным. При той же тенденции уменьшения количества Смик в зависимости от остаточной дозы Нп, содержание микробной биомассы в почве после вторичного посева гороха, как в контроле, так и в опытных вариантах превышало соответствующие показатели после первичного посева. При максимальном остаточном загрязнении (В4) содержание микробной биомассы под горохом после первичного и вторичного посева было на одном уровне (рис. 1Б).

Во всех вариантах опыта, как при первичном, так и при вторичном посевах, абсолютные показатели содержания микробного углерода были выше в почве под посевами гороха.

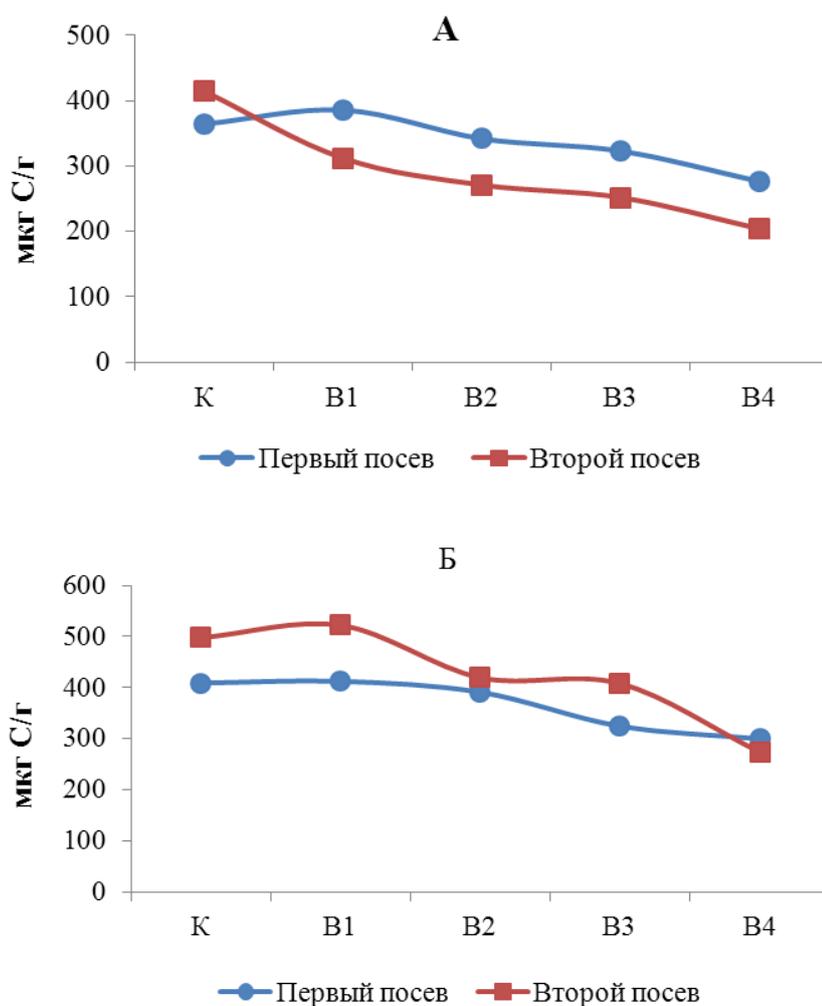


Рис. 1. Содержание микробного углерода (С_{мик}) после посева пшеницы (А) и гороха (Б)

О функциональном состоянии рекультивированной Ад почвы можно судить по величине коэффициента микробного дыхания. Считается, что величина Q_r в диапазоне 0,1–0,2 соответствует нормальному функционированию микробного пула и отсутствию неблагоприятных климатических или антропогенных воздействий. Чем ниже значение Q_r , тем более устойчива система почвенных микроорганизмов [8, 9]. Во всех исследованных вариантах величина Q_r не превышала значений 0,2.

Исключение составили образцы Ад почвы под посевами пшеницы при максимальном остаточном содержании нефтепродуктов, Q_r которых находился в пограничном значении (рис. 2А). Установленный в данном эксперименте диапазон Q_r показывает, что микробное сообщество рекультивированной Ад почвы преодолело негативное воздействие нефтепродуктов. Повторный посев культур снижал уровень Q_r , отражая возрастание устойчивости системы почвенных микроорганизмов. Предпочтительнее выглядит состояние почвы под посевами гороха, коэффициент микробного дыхания которых был ниже, чем в почве под посевами пшеницы (рис. 2).

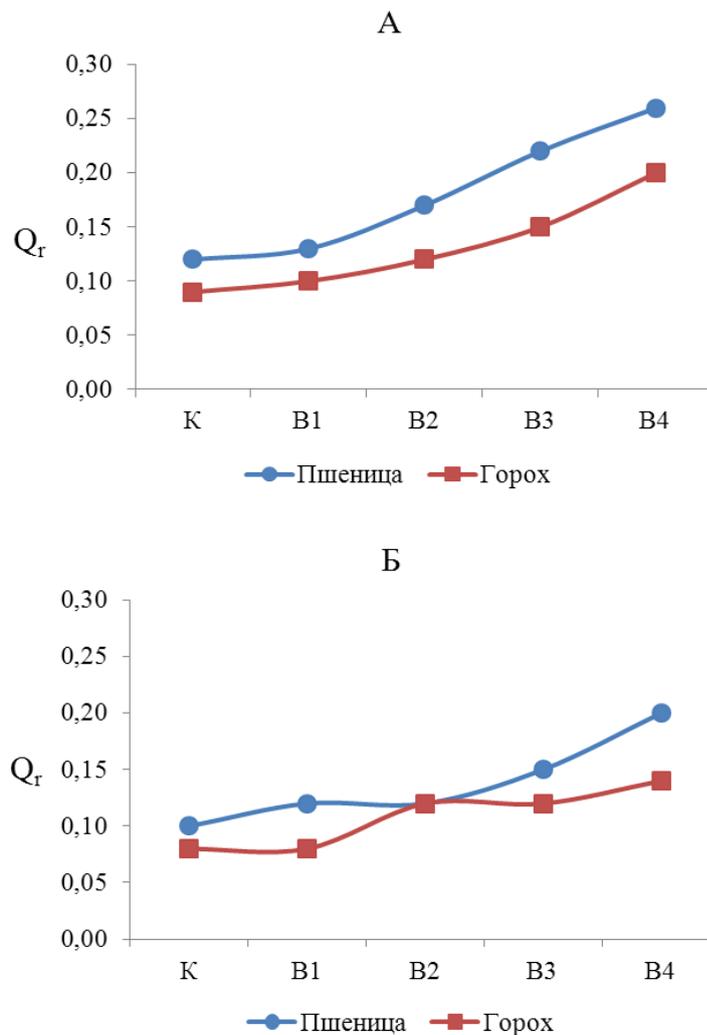


Рис. 2. Коэффициент микробного дыхания (Q_r) рекультивированной Ад почвы под посевами различных культур. А – первичный посев, Б – вторичный посев

Выводы. 1. В рекультивированной нефтезагрязненной аллювиальной дерновой почве под посевами пшеницы и гороха при слабом исходном загрязнении (5–10%) содержание микробной биомассы было таким же, как и в чистой почве. Превышение данного порога сопровождалось уменьшением содержания микробной биомассы.

2. Вторичный посев пшеницы вызывал снижение концентрации микробной биомассы в почве, тогда как повторный посев гороха приводил к увеличению содержания микробной биомассы.

3. Диапазон коэффициента микробного дыхания (Q_r) свидетельствует о восстановлении нормального функционирования микробного сообщества рекультивированной аллювиальной дерновой почвы. Повторный посев культур способствовал возрастанию стабильности микробного пула. Более устойчива система почвенных микроорганизмов под посевами гороха.

4. На основании показателей коэффициент микробного дыхания и содержания микробной биомассы более благоприятным является состояние почвы под посевами гороха. Использование гороха в процессе ремедиации нефтезагрязненной почвы представляется предпочтительным.

Библиографический список

1. Гилязов М. Ю., Гайсин И. А. Агроэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязненных черноземов Республики Татарстан. Казань : Фэн, 2003. 228 с.
2. Шабает В. П., Бочарникова Е. А., Остроумов В. Е. Ремедиация загрязненной кадмием почвы при применении стимулирующих рост растений ризобактерий и природного цеолита // Почвоведение. 2020. № 6. С. 738–750. doi: 10.31857/S0032180X20060118
3. Методические аспекты определения скорости субстрат-индуцированного дыхания почвенных микроорганизмов / Н. Д. Ананьева, Е. В. Благодатская, Д. Б. Орлинский, Т. Н. Мякшина // Почвоведение. 1993. № 11. С. 72–77.
4. Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в антропогенно-измененных экосистемах (Московская область) / К. В. Иващенко, Н. Д. Ананьева, В. И. Васенев, В. Н. Кудеяров, Р. Валентини // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1077–1088. doi: 10.7868/S0032180X14090056
5. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Н. В. Кудеяров, Г. А. Заварзин, С. А. Благодатский, А. В. Борисов, П. Ю. Воронин, В. А. Демкин, Т. С. Демкина, И. В. Евдокимов, Д. Г. Замолотчиков, Д. В. Карелин, А. С. Комаров, И. Н. Курганова, А. А. Ларионова, В. О. Лопес де Гереню, А. И. Уткин, О. Г. Чертов. М. : Наука, 2007. 315 с.
6. Углерод микробной биомассы в профиле леечных почв южной тайги / Е. А. Сусьян, Н. Д. Ананьева, Е. Г. Гавриленко, О. В. Чернова, М. В. Бобровский // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1233–1240.
7. Динамика роста высших растений на рекультивированных нефтезагрязненных аллювиальных луговых почвах разного гранулометрического состава / А. А. Утомбаева, А. М. Петров, Э. Р. Зайнулгабидинов, Ю. А. Игнатьев, Т. В. Кузнецова // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 1. С. 60–65.
8. Anderson T. H., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. Vol. 10. P. 215–221.
9. Hund K, Schenk B. The microbial respiration quotient as indicator for bioremediation processes // Chemosphere. 1994. Vol. 28, No. 3. P. 477–490.

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ БОЛОТНЫХ ПОЧВ РАЗНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА

Л. К. Каримуллин, А. М. Петров, И. В. Князев, Ю. А. Игнатьев
Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан, karlenar@yandex.ru

Исследована физиологическая активность почвенных микробсоценозов чистых и нефтезагрязненных аллювиальных болотных иловато-глеевых супесчаных и среднесуглинистых почв. Определено влияние различных остаточных концентраций нефтепродуктов на активность ферментов. Показано, что среднесуглинистая аллювиальная болотная почва менее чувствительна к действию поллютанта, ее ферменты имеют более высокую активность. Содержание нефтепродуктов в супесчаной почве незначительно влияет на ее каталазную, уреазную и протеазную активность.

Ключевые слова: нефть, нефтепродукты, аллювиальная болотная почва, каталаза, уреазы, протеазы.

Загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами до сих пор остается актуальной экологической проблемой. На сегодняшний день существует проблема методов оценки загрязнения почв и проблема прогноза изменений их свойств при нефтезагрязнении, а также проблема разработки экологически и экономически обоснованных мероприятий по рекультивации и восстановлению свойств нефтезагрязненных почв. Диагностика и рекультивация нефтезагрязненных земель невозможны без изучения изменения биологической активности почв под влиянием нефтяного загрязнения, без понимания основных принципов деструкции поллютантов, способности к их биодegradации почвенным микробным сообществом при различных остаточных концентрациях нефтяных загрязнений с учетом типа почв, климата и ландшафта.

Цель работы: определение влияния разного остаточного содержания нефтепродуктов в аллювиальной болотной почве на каталазную, уреазную и протеазную активность.

В работе использовалась аллювиальная болотная иловато-глиевая супесчаная (A_6^{cp}) и среднесуглинистая (A_6^{cc}) почва, отобранная у р. Меша в Республике Татарстан.

Отбор проб был выполнен в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 28168-89.

Подготовка проб к анализу осуществлялась в соответствии с ГОСТ 29269-91. Образцы почвы, после предварительного просушивания и удаления растительных остатков, просеивались через сита Винклера с диаметром ячеек 3 мм.

Суммарное содержание нефтепродуктов (НП) в почве определяли ИК-спектрофотометрическим методом на анализаторе КН-2м [1].

Опытные варианты (В1-В7) с заданным остаточным содержанием нефти готовились путем искусственного загрязнения почвы весовым методом с последующей ее шестимесячной условной технической рекультивацией (рыхление, увлажнение). Исходное содержание нефтепродуктов в полученных образцах представлено в таблице. Контролем служила незагрязненная A_6 почва. Уровень каталазной, уреазной и протеазной активности почв определяли согласно [2].

Таблица

Содержание нефтепродуктов в аллювиальной болотной почве

Подтипы почв	Нефтепродукты, г/кг							
	Контроль	В1	В2	В3	В4	В5	В6	В7
A_6^{cp}	<0,05	1,9	3,4	4,9	7,8	11,7	21,4	32,1
A_6^{cc}	<0,05	1,8	3,4	4,8	7,6	11,6	21,1	31,4

Как правило, на ферментативную активность почвенного микробиоценоза влияют содержание органического вещества, их гранулометрический состав, устойчивость микробного комплекса, уровень загрязнения поллютантом и продолжительность его воздействия [3–5].

Каталазная активность чистых образцов A_6 супесчаной и среднесуглинистой почвы находилась на уровне 0,1 мг H_2O_2 /г. Остаточное содержание нефтепродуктов в $A_6^{сп}$ почве практически не влияло на её оксидоредуктазную активность (рис. 1). Напротив, в $A_6^{сс}$ почве увеличение концентрации нефтепродуктов в почвенных образцах до 7,8-11,7 г/кг приводило к 10-кратному росту каталазной активности, (до 1,02 мг H_2O_2 /г). В вариантах $A_6^{сс}$ почвы с более высоким содержанием поллютанта интенсивность расщепления пероксида водорода снижалась до уровня сопоставимого с контролем (рис. 1).

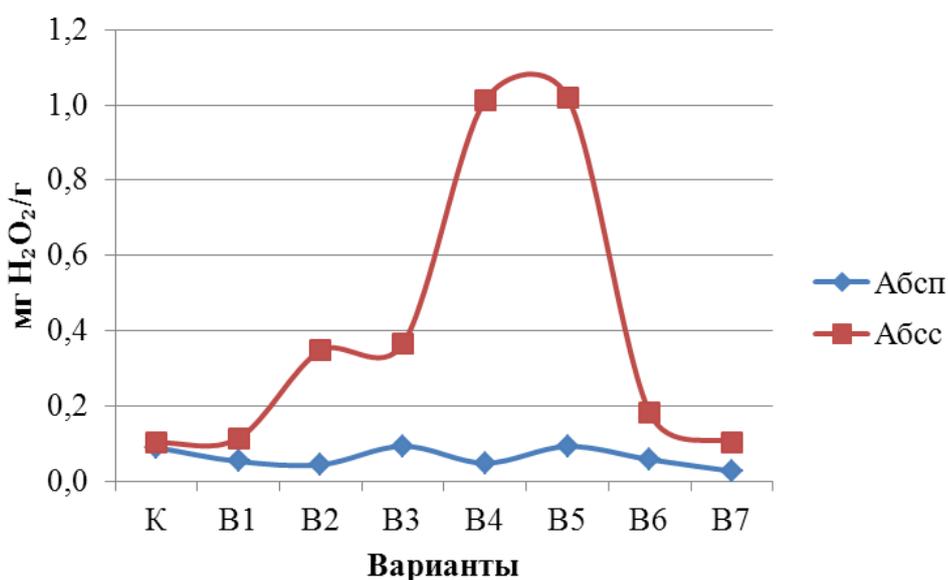


Рис. 1. Каталитическая активность A_6 почвы при разном остаточном содержании нефтепродуктов

Уреазная активность контрольных образцов A_6 супесчаной почвы составляла 0,1 мкг N /г*час, среднесуглинистой – 0,3 мкг N /г*час. При увеличении содержания нефтепродуктов в $A_6^{сп}$ почве до В4 наблюдался рост гидролазной активности до 1,4 мкг N /г*час, что в свою очередь было выше контроля в 12 раз. При дальнейшем повышении дозы поллютанта выше 7,8 г/кг активность уреазы незначительно снижалась, составляя 0,9 мкг N /г*час в варианте В7, что в 7,5 раз выше, чем в чистой $A_6^{сп}$ почве. В отличие от супесчаной почвы, в среднесуглинистой, в вариантах В1-В4 наблюдался практически линейный рост гидролазной активности, при повышении интенсивности ферментативной реакции при дальнейшем увеличении остаточного содержания поллютанта (рис. 2).

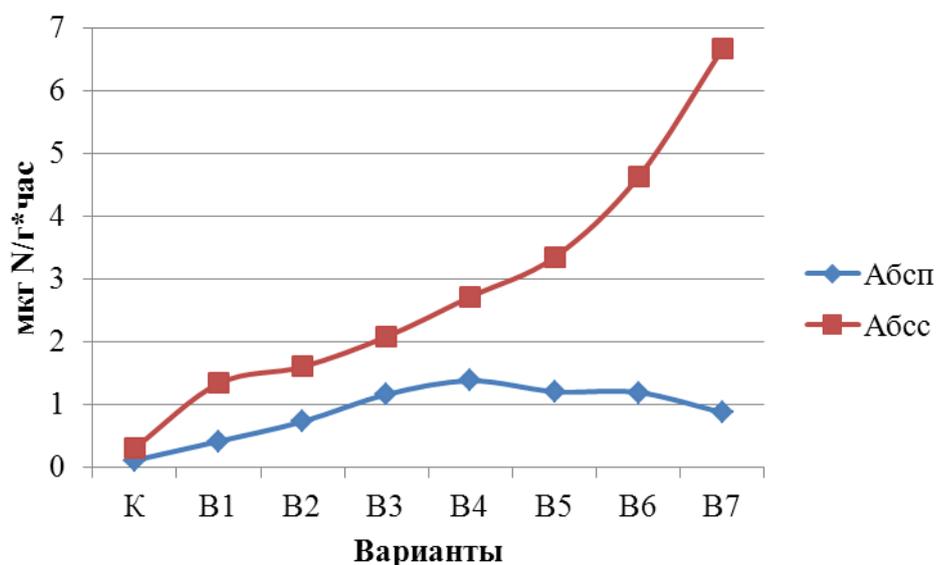


Рис. 2. Уреазная активность A_6 почвы при разном остаточном содержании нефтепродуктов

Что касается протеазы A_6 почвы, то в среднесуглинистой почве пик ее активности наблюдался при минимальной испытанной концентрации поллютанта (рис. 3). В супесчаной почве, наиболее высокая активность фермента была зарегистрирована в вариантах с содержащих поллютант в концентрации 11,7–32,1 г/кг.

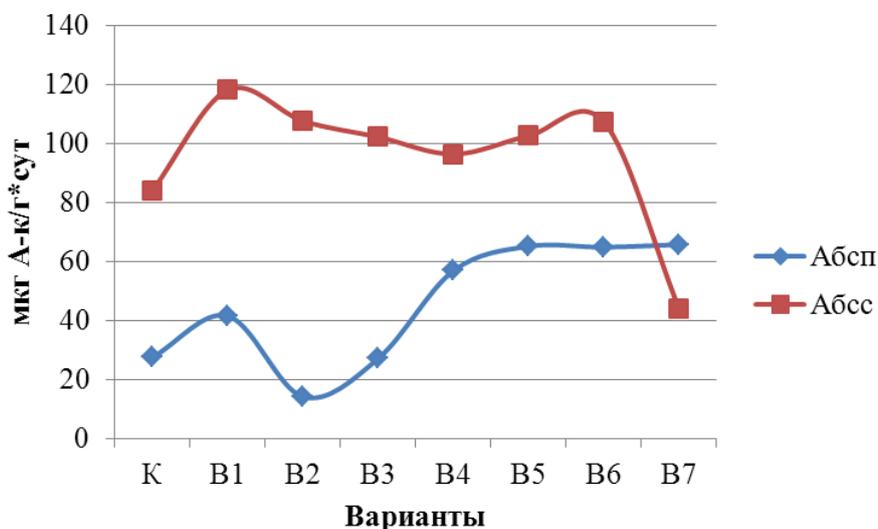


Рис. 3. Протеазная активность A_6 почвы при разном остаточном содержании нефтепродуктов

Выводы. 1. Ферментативная активность нефтезагрязненных A_6 почв определяется их гранулометрическим составом и остаточным содержанием нефтепродуктов.

2. Уровень содержания нефтепродуктов в аллювиальной болотной иловато-глеевой супесчаной почве незначительно влияет на ее каталазную, уреазную и протеазную активность.

3. Среднесуглинистая аллювиальная болотная почва менее чувствительна к присутствию нефтепродуктов. Наблюдалось увеличение ее каталазной активности в диапазоне концентраций 7,6–11,6 г/кг, уреазной во всем диапазоне испытанных концентраций.

Библиографический список

1. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии.
2. Влияние нефтяного загрязнения на эколого-биологическое состояние различных типов почв / А. А. Вершинин, А. М. Петров, Л. К. Каримуллин, Ю. А. Игнатъев // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 8, Т. 15. С. 207–211.
3. Каримуллин Л. К., Петров А. М., Вершинин А. А. Фиторекультивация и физиологическая активность нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы // Российский журнал прикладной экологии. 2016. № 1. С. 13–17.
4. Физиологическая активность почв при разных уровнях нефтяного загрязнения / Л. К. Каримуллин, А. М. Петров, А. А. Вершинин, Н. В. Шурмина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 4-4. С. 797–803.
5. Состав микробных сообществ при различном содержании нефтепродуктов в серых лесных почвах / Т. В. Кузнецова, А. М. Петров, И. В. Князев, Р. Э. Хабибуллин // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 14. С. 165–168.

ГЕНЫ УСТОЙЧИВОСТИ К АНТИБИОТИКАМ В ПОЧВАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Т. Н. Ажогина¹, М. А. Сазыкина²

¹ Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского,
² Южный федеральный университет, tazhogina@sfedu.ru

В данной работе рассмотрена распространенность детерминант устойчивости к карбапенемам (*blaVIM-1*), гликопептидам (*VanB*), тетрациклинам (*TetO3*), сульфаниламидам (*sul2*), макролидам (*mphA*), аминогликозидам (*aadA2*) в сельскохозяйственных почвах Ростовской области. В трех из 10 исследованных проб почв обнаружены все гены устойчивости к антибиотикам. 2 пробы были положительны по 2 генам. Во всех пробах обнаружен ген устойчивости к сульфаниламидам.

Ключевые слова: АРГ, почвы, *blaVIM-1*, *VanB*, *TetO3*, *sul2*, *mphA*, *aadA2*.

Гены устойчивости к антибиотикам (АРГ) рассматриваются как новые загрязнители и привлекают все большее внимание в связи с их широким присутствием в окружающей среде. Кроме сильного селективного отбора антибиотиками, АРГ также стали более распространенными из-за антропогенного воздействия [1]. Почвы являются наиболее значительными, но еще не иссле-

дованными резервуарами генов устойчивости к антибиотикам. Весьма разнообразный и богатый почвенный микробиом является резервуаром для множества генетических детерминант устойчивости. Антропогенная деятельность может способствовать переносу АРБ и АРГ в почвы, одновременно оказывая избирательное давление, которое может увеличивать количество почвенных АРГ. Кроме того, физические качества почвы могут оказывать существенное влияние на активность и стабильность как антибиотиков, так и АРГ в почвенных частицах. Например, хотя почвенно-модифицированные антибиотики, такие как тетрациклин и тилозин, плотно адсорбируются глинистыми частицами, они все еще биологически активны и способствуют селективному отбору АРБ [2].

В связи с вышесказанным, целью данной работы явилось определение наличия и распространенности генов устойчивости к антибиотикам в сельскохозяйственных почвах Юга России.

Образцы почв были отобраны на территории Ростовской области. Было отобрано 10 проб почв на полях с различными возделываемыми культурами. Пробы почв отбирали из почвенного разреза с глубины 0–20 см методом конверта [3], тщательно перемешивали, распределяли по пластиковым пробиркам Falcon 50 мл и хранили при -20 °С до выделения тотальной ДНК и приготовления экстрактов.

Из образцов почв была выделена тотальная метагеномная ДНК в соответствии с методикой [4, 5]. С помощью метода ПЦР-амплификации метагеномная ДНК была исследована для выявления генов резистентности к карбапенемам (*blaVIM-1*), гликопептидам (*VanB*), тетрациклинам (*TetO3*), сульфаниламидам (*sul2*), макролидам (*mphA*), аминогликозидам (*aadA2*).

Во всех исследованных пробах почв сельскохозяйственного назначения был обнаружен ген *sul2*, кодирующий устойчивость к сульфаниламидам. Ген устойчивости к карбапенемам (*blaVIM-1*) был обнаружен в 8 из исследованных проб. Гены устойчивости к тетрациклинам (*TetO3*) и макролидам (*mphA*) были обнаружены в 6 из 10 исследованных почв, при этом в 4 из них эти 2 гена были обнаружены одновременно. Ген *VanB*, отвечающий за устойчивость к гликопептидам, был обнаружен в половине из исследуемых проб сельскохозяйственного назначения и в 3-х из них был также обнаружен ген резистентности к аминогликозидам (*aadA2*).

Таким образом, все из исследуемых генов резистентности были обнаружены в 3 из 10 проб (почва, отобранная на поле ячменя в 200 м от пер. Сельмашевский, с. Круглое; поле пшеницы в 1160 м южнее от ул. Калинина с. Круглое; поле в 1500 м севернее ст. Николаевская). Наименьшее количество детерминант устойчивости (2) оказалось в пробах почв, отобранных на кукурузном поле по пути из Каменск-Шахтинска в Шахты (гены *sul2* и *mphA*) и поле в 1580 м северо-западнее п. Малый Лог (гены *blaVIM-1* и *sul2*).

Полученные результаты свидетельствуют о довольно высоком уровне загрязнения АРГ сельскохозяйственных почв Ростовской области и необходимости дальнейшего изучения распространенности детерминант устойчивости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90107.

Библиографический список

1. PAHs accelerate the propagation of antibiotic resistance genes in coastal water microbial community / J. Wang, Z. Zhao, J. Chen, H. Lu, G. Liu, J. Zhou, X. Guan // *Environmental pollution*. 2017. Vol. 231. P. 1145–1152. doi: 10.1016/j.envpol.2017.07.067
2. Cytryn E. The soil resistome: the anthropogenic, the native, and the unknown // *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. Vol. 63. P. 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.03.017>
3. ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почва. Методы отбора и подготовки проб почвы для химического, бактериологического и гельминтологического анализа», а также с учетом рекомендаций МУ 2.1.7.730-99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест».
4. Occurrence of antibiotic resistance genes in sewages of Rostov-on-Don and lower Don River / I. S. Sazykin, E. Y. Seliverstova, L. E. Khmelevtsova, T. N. Azhogina, E. M. Kudeevskaya, M. I. Khammami et al. // *Теоретическая и прикладная экология*. 2019. № 4. С. 76–82. doi: 10.25750/1995-4301-2019-4-076-082
5. Патент RU 2 696 052 С1. С12N 15/10 Способ выделения ДНК из почвы / М. А. Сазыкина, И. С. Сазыкин, Е. Ю. Селиверстова, Л. Е. Хмелевцова; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет». заявка № 2018140149. заявл. 13.11.2018. опубл. 30.07.2019. Бюл. № 22 – С. 13. табл. 2.

ВЛИЯНИЕ АММОФОСКИ НА ДЫХАТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННОЙ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

*А. А. Вершинин, А. А. Утомбаева, А. М. Петров,
О. А. Богданова, И. В. Князев*

*Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан, A-vershinin@mail.ru*

Изучено влияние аммофоски на дыхательную активность серой лесной почвы в условиях нефтяного загрязнения. В диапазоне содержания нефтепродуктов 2,9–10,8 г/кг не обнаружено воздействия нефти на параметры дыхательной активности почвы и устойчивость микробного пула. Превышение данного порога концентрации поллютанта сопровождалось резким ростом базального и субстрат-индуцированного дыхания, увеличением микробной биомассы в почве. Внесение аммофоски в процессе рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы оправдано лишь при высокой концентрации нефтепродуктов.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, аммофоска, дыхательная активность, микробная биомасса.

Для ликвидации негативного воздействия нефтепродуктов (НП) на загрязненных территориях реализуется комплекс мероприятий, направленных на восстановление нормального функционирования почв. Используются та-

кие агротехнические приемы как рыхление почв, внесение минеральных удобрений и микроорганизмов-деструкторов нефти, посев различных сельскохозяйственных культур. Важную роль в нейтрализации поллютантов различной химической природы, сокращении сроков восстановления свойств почвы и обеспечении устойчивого функционирования почвенных микробценозов играет аборигенная микрофлора [1, 2]. Стимуляция микробного сообщества загрязненных почв способствует ускорению процессов деструкции поллютантов [3].

Цель исследований состояла в изучении влияния аммофоски на биологическую активность загрязненной нефтью серой лесной почвы.

Объектом исследования являлась отобранная в ландышево-разнотравном липняке серая лесная среднесуглинистая почва (Республика Татарстан). Воздушно-сухую почву освобождали от механических примесей, остатков растений и помещали в контейнеры, в которые вносили различное количество сернистой нефти Ямашинского месторождения (Республика Татарстан). В качестве контроля (К) использовали чистую, незагрязненную нефтью почву. В опытных и контрольных контейнерах проводилась условная рекультивация почвы, включающая еженедельное перемешивание и увлажнение. Определенное ИК-спектрофотометрическим методом на анализаторе КН-2м [4], остаточное содержание НП в опытных почвенных образцах после 30 суточной инкубации составило: в варианте В1 – 2,9 г/кг, В2 – 6,1 г/кг, В3 – 10,8 г/кг, В4 – 15,0 г/кг.

Эксперимент проводили в двух параллелях: 1 – без внесения удобрений; 2 – с добавлением комплексного минерального удобрения аммофоски (Амм) $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4]$ во все образцы, включая контроль, с конечной концентрацией 3,6 мг/г воздушно-сухой почвы.

После добавления удобрения почвенные образцы обеих параллелей перемешивались, увлажнялись и выдерживались в течение 14 сут.

Для оценки эколого-физиологического состояния почв использовали показатели почвенного дыхания. При помощи газохроматографических измерений [5] были определены скорости базального ($V_{\text{базал}}$) и субстратиндуцированного дыхания ($V_{\text{сид}}$) [6], рассчитан коэффициент микробного дыхания ($Q_r = V_{\text{базал}}/V_{\text{сид}}$) [7]. Интенсивность почвенного дыхания устанавливали на газовом хроматографе «Хроматек Кристалл» 5000.2 [8]. Содержание углерода микробной биомассы ($S_{\text{мик}}$) вычисляли по уравнению: $S_{\text{мик}} (\text{мкг/г}) = V_{\text{сид}} (\text{мкл CO}_2/\text{г}\cdot\text{ч}) \cdot 40,04 + 0,37$ [9].

В нашем конкретном случае, внесение удобрения не приводило к изменению активности и стабильности микробценоза контрольной (чистой) почвы. Значения $V_{\text{базал}}$, $V_{\text{сид}}$ и Q_r в обеих параллелях практически не отличались (рис. 1).

В диапазоне концентрации НП 2,9–10,8 г/кг также не выявлено отличий в скорости базального дыхания почв в присутствии удобрения и без него. Однако, при более высоком остаточном содержании НП наблюдалось резкое (в 1,8 раза) возрастание $V_{\text{базал}}$ (рис. 1А). Подобным же образом менялась и

скорость субстрат-индуцированного дыхания (рис. 1Б). При максимальной концентрации поллютанта (14,8 г/кг) под воздействием аммофоски $V_{\text{сид}}$ увеличивалась в 1,3 раза (рис. 1Б).

Оценку эколого-физиологического состояния почвы производили по величине коэффициента микробного дыхания (Q_r). Принято считать, что значения Q_r в интервале 0,1–0,2 свидетельствуют об отсутствии неблагоприятных климатических или антропогенных воздействий сообщества почвенных микроорганизмов. Более высокие значения Q_r указывают на интенсивное протекание процессов деструкции органического вещества, нарушение стабильности микробного пула. Чем выше данный показатель, тем менее устойчива система микробного сообщества [1, 7, 9].

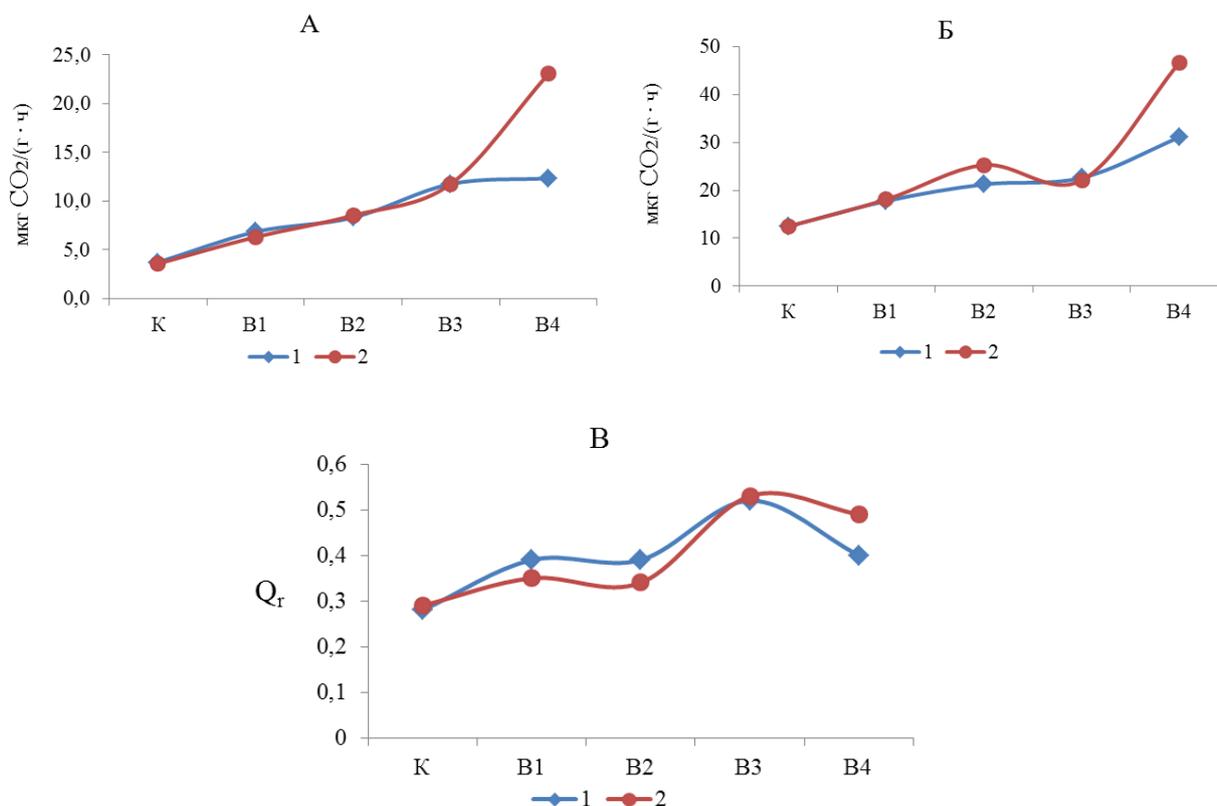


Рис. 1. Параметры дыхательной активности нефтезагрязненной серой лесной почвы: А – $V_{\text{базал}}$; $V_{\text{сид}}$; В – Q_r : 1 – без удобрения; 2 – с аммофоской

Коэффициент микробного дыхания чистой почвы имел значение 0,28. Характер изменения Q_r опытных почвенных образцов с аммофоской и без удобрения был одинаков (рис. 1В). Некоторое снижение Q_r почв в образцах с аммофоской в диапазоне содержания НП 2,9–10,8 г/кг (варианты В1–В3) и незначительное возрастание его значений при максимальной концентрации поллютанта (В4) не носят принципиального характера. Существенным обстоятельством является то, что даже при высокой концентрации НП не выявлен значительный рост значений Q_r (больше 0,5), что свидетельствует о том, что микробное сообщество серой лесной почвы способно компенсировать негативное воздействие нефтепродуктов и при внесении удобрений, и без них.

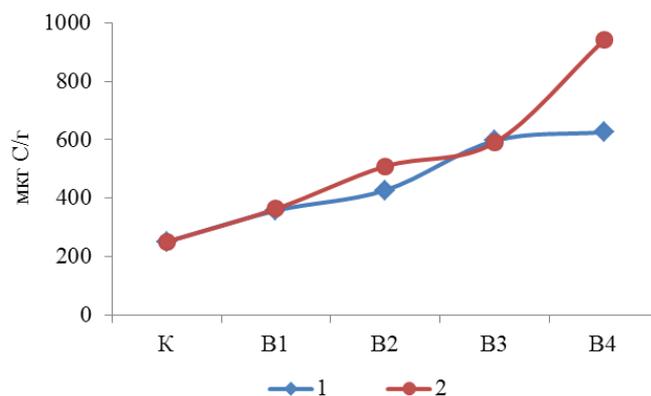


Рис. 2. Содержание микробной биомассы (Смик) в нефтезагрязненной серой лесной почве. 1 – без удобрения; 2 – с аммофоской

Влияние внесения аммофоски на величину микробной биомассы нефтезагрязненной почвы выявлялось лишь при максимальном испытанном нефтяном загрязнении (В4). Содержание Смик под воздействием аммофоски в нем возросло в 1,5 раза (рис. 2). Значимость данного факта состоит в том, что увеличение микробной биомассы означает повышение потенциала микробного пула почв и его способности к нейтрализации неблагоприятных воздействий на почву [6, 10].

Таким образом, проведенные эксперименты показывают, что влияние аммофоски на дыхательную активность нефтезагрязненной серой лесной почвы проявляется лишь при высоком остаточном содержании нефтепродуктов (14,8 г/кг). Существенное усиление скорости базального дыхания в присутствии удобрений в варианте В4 свидетельствует об интенсификации деструкции НП в почве. Возрастание скорости субстрат-индуцированного дыхания отражает рост активности почвенной микрофлоры и увеличение микробной биомассы почвы, означая повышение потенциала микробного пула под влиянием вносимого удобрения. Аммофоска не оказывала влияния на стабильность микробного сообщества нефтезагрязненной почвы. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что внесение аммофоски в загрязненную нефтью серую лесную почву целесообразно лишь при высоком остаточном содержании нефтепродуктов (14,8 г/кг и более). При более низких концентрациях поллютанта почвенная микрофлора способна самостоятельно, без дополнительных воздействий нейтрализовать негативное влияние нефтепродуктов.

Библиографический список

1. Благодатская Е. В., Ананьева Н. Д. Оценка устойчивости микробных сообществ в процессе разложения поллютантов в почве // Почвоведение. 1996. № 11. С. 1341–1346.
2. Состав микробных сообществ при различном содержании нефтепродуктов в серых лесных почвах / Т. В. Кузнецова, А. М. Петров, И. В. Князев, Р. Э. Хабибуллин // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 14. С. 165–168.

3. Роль микроорганизмов в экологических функциях почв / Т. Г. Добровольская, Д. Г. Звягинцев, И. Ю. Чернов, А. В. Головченко, Г. М. Зенова, Л. В. Лысак, Н. А. Манучарова, О. Е. Марфенина, Л. М. Полянская, А. Л. Степанов, М. М. Умаров // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1087–1096. doi: 10.7868/S0032180X15090038
4. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии.
5. Газовая хроматография в биологическом мониторинге почвы / А. В. Гарусов, Ф. К. Алимова, С. Ю. Селивановская, Н. Г. Захарова, С. Ю. Егоров. Казань : Изд-во КГУ, 2006. 90 с.
6. Влияние полихлорированных бифенилов на микробную биомассу и дыхание серой лесной почвы / Н. Д. Ананьева, Ф. И. Хакимов, Н. Ф. Деева, Е. А. Сусьян // Почвоведение. 2005. № 7. С. 871–876.
7. Anderson T. H., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. Vol. 10. P. 215–221.
8. Культивирование высших растений и дыхательная активность нефтезагрязненных почв / А. А. Вершинин, А. М. Петров, Л. К. Каримуллин, Н. В. Шурмина // Российский журнал прикладной экологии. 2016. № 3. С. 46–51.
9. Hund K., Schenk B. The microbial respiration quotient as indicator for bioremediation processes // Chemosphere. 1994. Vol. 28, No. 3. P. 477–490.
10. Биомасса и дыхательная активность почвенных микроорганизмов в антропогенно-измененных экосистемах (Московская область) / К. В. Иващенко, Н. Д. Ананьева, В. И. Васенев, В. Н. Кудеяров, Р. Валентини // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1077–1088. doi:10.7868/S0032180X14090056

ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ ФОСФОРА И СЕРЫ В ПОЧВЕ В МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ С УДОБРЕНИЯМИ

З. М. Галимуллина¹, Т. Я. Ашихмина^{1,2}, Т. И. Кутявина¹
¹ Вятский государственный университет,
² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, ecolab2@gmail.com

Различное содержание подвижных форм фосфора и серы в почве зависит от вида внесённого удобрения, его количества, кислотности почвы. Добавление в подкисленную со значением рН 5,48 почву фосфоритной муки, нового комбинированного удобрения и простого суперфосфата в отношениях 0,05 г/кг и 0,2 г/кг приводит к увеличению в ней подвижного фосфора за исключением внесения простого суперфосфата массой 0,05 г/кг. Фосфоритная мука под действием кислотности почвы подвергается разложению и переходит в более подвижные формы фосфора, в то время как фосфорная кислота суперфосфата переходит в менее растворимые формы, что сопровождается понижением подвижных форм фосфора в почве. Наибольшее накопление в почве сульфатной серы выявляется при внесении в неё нового комбинированного удобрения, а наименьшее при внесении фосфоритной муки. Сероторфяная суспензия по сравнению с исследуемыми удобрениями подкисляет почву и способствует наибольшему накоплению серы в почве.

Ключевые слова: фосфоритная мука, суперфосфат, серо-торфяная суспензия, комбинированное удобрение, подвижный фосфор и сера в почве.

В современных экономических условиях, в связи с диспаритетом цен на удобрения, применение их в нашей стране резко сократилось. Это касается как фосфорных, так и серосодержащих удобрений. В результате, баланс фосфора, серы, азота и калия в земледелии страны является отрицательным, с превышением выноса этих элементов урожаями сельскохозяйственных культур над поступлением в почву [1].

Фосфор удобрений в почве малоподвижен, так как весьма быстро взаимодействует с различными соединениями ее органической и минеральной частями. При внесении в почву фосфорных удобрений, независимо от того, применяются ли легкорастворимые или труднорастворимые фосфаты, они претерпевают определенные превращения, характер которых зависит от свойств почвы и удобрений. Превращения внесенных в почву фосфатов весьма разнообразны и связаны как с биологической деятельностью почвы, так и с протекающими в ней химическими и физико-химическими процессами. Сера в почве находится в основном в составе органических соединений, представленных растительными остатками и гумусом. Существует целый ряд комплексных органических соединений серы, однако корни растений не могут поглощать серу в данной форме. Сера становится доступной растениям только в сульфатной форме – в процессе минерализации органических соединений, протекающем с участием микроорганизмов. Процесс иммобилизации представляет собой включение сульфатной формы серы в микробную биомассу почвы [2]. Валовое содержание серы в почвах варьирует от 0,01 до 2,05%. Дерново-подзолистые почвы содержат 0,01–0,1%, сероземы – 0,05–0,07%, черноземы – 0,2–0,5%, каштановые почвы – 0,1–0,3%, солонцы – 0,1–2,1% [3].

В различных удобрениях сера содержится в достаточно разных количествах: в сульфате аммония 23–24%, сульфате магния – 18,6%, сульфате калия – 17–18%, сульфате натрия – 22,6%, каините – 13%, простом суперфосфате 9–13%, калимагнезии – 15%, гипсе – 18–20%, сланцевой золе – 1,6–2,9%, цементной пыли – 1%, фосфоритной муке – 0,02%, навозе – 0,02–0,06%, торфе – 0,1–0,3% [4].

Цель исследования заключается в выявлении влияния внесённых в почву различных фосфор- и серосодержащих удобрений в разных их количествах на образование подвижных форм фосфора и серы в почве.

Для изучения поведения в почве различных составов фосфорных удобрений были взяты: фосфоритная мука (ФМ), простой суперфосфат и приготовлено новое комбинированное удобрение (КУ). Фосфоритная мука была приготовлена методом простого размола обогащенных фосфоритов из Вятско-Камского месторождения. В лабораторных условиях были получены образцы комбинированного органоминерального удобрения, включающего фосфоритную муку, глауконит и серо-торфяную суспензию в соотношениях

фосфор 18%, сера и торф по 6% и глауконит 18,4% [5]. Состав серо-торфяной суспензии был приготовлен методом кавитационной обработки водной пульпы серы и торфа в соотношениях: сера молотая – 20%; торф низинный – 20% и вода – 60%. Гидродинамическая кавитация способствовала переходу гуминовых компонентов торфа в водорастворимое состояние (активация торфа), что существенно повышало агрохимическую ценность готовой формы удобрения. Содержание гумусовых кислот в серо-торфяной суспензии достигало 50 г/кг [5, 6].

Эксперимент был заложен в 9 контейнерах, в каждом из которых было по 1 кг почвы, отобранной на пахотном поле с глубины 5–20 см. Удобрения (фосфоритная мука, простой суперфосфат и новое комбинированное удобрение) вносились в почву в количестве 0,05 г и 0,2 г на 1 кг воздушно-сухого грунта. Кроме того, для сравнения в таких же количествах в контейнер с почвой в качестве отдельного органоминерального удобрения была внесена серо-торфяная суспензия.

В отдельном контейнере находилась почва, без внесения удобрений (контроль), которая была проанализирована по следующим показателям: измерены потенциметрическим методом по ГОСТ 26483-85 рН водной и по ГОСТ 26483-85 рН солевой вытяжек, определена фотометрическим методом по ГОСТ Р 54650-2011 подвижная форма фосфора (P_2O_5) и определено турбидиметрическим методом по ГОСТ 26426-85 содержание серы подвижной в виде сульфатов (табл. 1).

Таблица 1

Данные по исследованию пробы почвы контрольного образца сравнения

№	Показатель	Значение
1	рН _{водн}	5,48
2	рН _{КСl}	4,33
3	Подвижная форма фосфора (P_2O_5), мг/кг	155±31
4	Сера, подвижная в виде сульфатов, мг/кг	6,88±1,26

Важным показателем почв является кислотность, которая влияет на структуру и агрохимические показатели почвы. На кислых почвах многие питательные вещества переходят в трудноусвояемое состояние, в повышенных количествах накапливаются растворимые алюминий, железо, марганец, что может оказывать вредное влияние на растения и микроорганизмы [7]. В подкисленных почвах соединения фосфора ведут себя по-разному, или переходят в более подвижные, растворимые соединения фосфора, или в менее растворимые формы. Все контейнеры с исследуемыми образцами почв в течение 21 дня находились в одинаковых условиях, полив проводился одновременно. По истечении 3-х недель в пробах почвы были измерены рН водной и солевой вытяжек (табл. 2).

Анализ данных (табл. 2) свидетельствует о том, что во всех исследуемых образцах почва относится к слабокислой, внесение комбинированного удобрения в пробы почвенных образцов практически не изменяет рН почвы, а серо-торфяная суспензия несколько подкисляет почву.

Таблица 2

Данные по кислотности почв в исследуемых пробах

Проба почвы с внесением удобрения	pH _{водн}	pH _{KCl}
Контроль	5,48	4,33
Фосфоритная мука 0,05 г/кг	5,86	4,50
Фосфоритная мука 0,2 г/кг	5,91	4,61
Простой суперфосфат 0,05 г/кг	5,80	4,52
Простой суперфосфат 0,2 г/кг	5,93	4,50
Серо-торфяная суспензия 0,05 г/кг	5,14	4,16
Серо-торфяная суспензия 0,2 г/кг	5,02	4,11
Комбинированное удобрение 0,05 г/кг	5,54	4,45
Комбинированное удобрение 0,2 г/кг	5,54	4,42

В ходе экспериментальных исследований изучено содержание сульфатов и фосфатов в исследуемых образцах почвы с внесением в них различных доз и видов удобрений (табл. 3). Химический анализ по определению подвижных форм фосфора и серы проводился в трёх повторностях.

Таблица 3

Данные по накоплению в почве подвижного фосфора, после внесения различных удобрений

Вид удобрения	P ₂ O ₅ , мг/кг	% от контроля
Контроль	155±31	
Фосфоритная мука 0,05 г/кг	173±35	12
Фосфоритная мука 0,2 г/кг	209±42	34
Комбинированное удобрение 0,05г/кг	196±35	26
Комбинированное удобрение 0,2 г/кг	206±55	33
Простой суперфосфат 0,05 г/кг	144±29	-7
Простой суперфосфат 0,2 г/кг	189±38	22
Серо-торфяная суспензия 0,05 г/кг	133±27	-14
Серо-торфяная суспензия 0,2 г/кг	140±28	-10

Анализ полученных результатов (табл. 3) свидетельствует о том, что добавление в почву фосфоритной муки, нового комбинированного удобрения и простого суперфосфата в отношениях 0,05 г/кг и 0,2 г/кг приводит к увеличению в ней подвижного фосфора за исключением внесения простого суперфосфата массой 0,05 г/кг. В тоже время содержание подвижного фосфора при внесении простого суперфосфата значительно ниже, чем при внесении фосфоритной муки и комбинированного удобрения. Полученные результаты вполне согласуются с литературными данными [8, 9] и свидетельствуют о том, что фосфоритная мука под действием кислотности почвы подвергается разложению и переходит в более подвижные формы фосфора, в то время как фосфорная кислота суперфосфата переходит в менее растворимые формы и частично связывается с оксидами железа и алюминия, что сопровождается понижением подвижных форм фосфора в почве при внесении в неё суперфосфата. При внесении серо-торфяной суспензии в почву за счёт её подкисления происходит уменьшение содержания в ней подвижного фосфора.

В таблице 4 представлены данные по накоплению в почве подвижной серы, после внесения фосфоритной муки, комбинированного удобрения, простого суперфосфата и серо-торфяной суспензии и выдерживании образцов в течение 21 суток.

Таблица 4

**Данные по накоплению в почве подвижной серы,
после внесения различных удобрений**

Вид удобрения	SO ₄ ²⁻ , мг/кг	% от контроля
Контроль	6,88±0,96	
Фосфоритная мука 0,05 г/кг	6,92±0,97	0,6
Фосфоритная мука 0,2 г/кг	6,94±0,97	0,8
Комбинированное удобрение 0,05г/кг	8,64±1,21	25,5
Комбинированное удобрение 0,2 г/кг	8,01±1,12	16,5
Простой суперфосфат 0,05 г/кг	6,99±0,98	1,6
Простой суперфосфат 0,2 г/кг	7,72±1,08	11,2
Серо-торфяная суспензия 0,05 г/кг	8,67±1,21	26,1
Серо-торфяная суспензия 0,2 г/кг	8,78±1,23	27,7

По литературным данным почвы подразделяются по содержанию сульфатной серы на 4 группировки: 6 мг/кг – низкое содержание серы, 6–12 мг/кг – среднее, 12–18 мг/кг – высокое и более 18 мг/кг очень высокое. При этом отмечается, что при содержании серы в почве 7 мг/кг злаковые растения уже не испытывают в ней дефицита [10]. Содержание серы в контрольном образце (табл. 4) составляет 6,88 мг/кг, что свидетельствует о достаточно низком количестве серы в исследуемой нами почве. Внесение в почву разного количества удобрений (0,05 г/кг или га 225 кг/га), а также (0,2 г/кг или 900 кг/га), с достаточно различным содержанием серы: серо-торфяная суспензия (20% S), простой суперфосфат (10% S), комбинированное удобрение (6% S), фосфоритная мука (0,02% S) позволило выявить через 21 сутки эксперимента различное накопление подвижной серы в исследуемых образцах почвы. Наибольший накопительный эффект подвижной серы выявляется при внесении в почву серо-торфяной суспензии и комбинированного удобрения (табл. 4). Значительно меньшие значения по накоплению сульфатов в почве выявляются при внесении в почву простого суперфосфата, в особенности при внесении 0,05 г/кг. Внесение фосфоритной муки практически не влияет на процессы накопления серы в почве. Кроме того, следует сделать вывод о том, что доза 0,05 г/кг (225 кг/га), вносимых серо-торфяной суспензии и комбинированного удобрения, способствует поддержанию в почве подвижной формы серы для многих растений на бездефицитном уровне [10].

Таким образом, полученные результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что новый состав комбинированного удобрения, включающего фосфоритную муку, серо-торфяную суспензию и глауконит позволяет в сравнении с контролем и другими удобрениями увеличить в ней содержание подвижных форм фосфора и серы, при этом кислотность почвы в сравнении с контролем практически не изменяется. Серо-торфяная суспензия несколько

подкисляет почву и способствует большему накоплению сульфатной серы в почве.

Библиографический список

1. Бельдяева К. Ю. Изучение доступности растениями фосфора и калия подпахотных горизонтов дерново-подзолистых почв : дис. ... канд. биол. наук : 06-01-04 Агрохимия. М. : ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016. 152 с.
2. Миккельсен Р., Нортон Р., Дженсон Т. Сера в почвах и серосодержащие удобрения // Питание растений. № 3. 2014. С. 6–9.
3. Валовое содержание серы и ее формы в черноземе выщелоченном Западного Предкавказья в условиях агрогенеза / А. Х. Шеуджен, В. Н. Слюсарев, Т. Н. Бондарева, О. А. Гуторова, М. А. Осипов, С. В. Есипенко // Плодородие. 2014. № 4 (79). С. 29–30.
4. Аристархов А. Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. М., 2000. 524 с.
5. Состав и технология производства серного удобрения с активированным торфом и глауконитным эфелем / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 134–141. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-134-141
6. Оптимизация состава удобрений на основе молотых фосфоритов / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Бутлеровские сообщения, 2019. Т. 60, № 12. С. 133–139.
7. Догадина М. А. Экологическая оценка влияния не традиционных удобрений на свойства тёмно-серых лесных почв // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 1. С. 69–76. doi: 10.25750/1995-4301-2017-1-069-076
8. Теучеж А. А. Изучение роли подвижного фосфора в системе почва – удобрения-урожай // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 127. С. 905–917.
9. Теучеж А. А. Динамика подвижного фосфора в системе агроландшафта: на примере агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» ленинградского района Краснодарского края : дис. ... канд. биол. наук. 03-00-16 Экология. 2007, 129 с.
10. Методические указания по применению удобрений, содержащих серу / Л. М. Державин, Ж. С. Рафаелян, П. А. Баранов, М. П. Школь и др. М., 1983. С. 3–10.

РАЗНООБРАЗИЕ МИКРОМИЦЕТОВ В ОЗЕРЕ «ЛА ИЗВОР» (ГОРОД КИШИНЕВ)

К. Е. Молдован

*Институт микробиологии и биотехнологии Республика Молдова,
tina--92@mail.ru*

В работе было изучено разнообразие микромицетов в воде озерной системы «Ла Извор». Для определения таксономической принадлежности грибов были использованы методы оптического микроскопирования и описания согласно определителям. Из образцов было выделено 247 микромицетов, принадлежащих к разным родам. Наиболее распространенными оказались представители р. *Aspergillus* и *Penicillium*.

Ключевые слова: микромицеты, вода, ил, биопленка, методы определения.

Невозможно представить жизнь на планете без грибов. Они встречаются повсюду и составляют неотъемлемую часть Земли и воды, контролируя широкий спектр биосферных процессов. На данный момент отсутствует информация о числе видов грибов, обитающих на нашей планете. По большинству оценок, их около 1,5 миллиона, но ученые пока описали только 100000 видов [1, 2].

Микромицеты – постоянный компонент водных экосистем. Первые таксономические исследования этих грибов в воде стартовали только в начале XIX века, с тех пор сотни ученых из десятков стран изучали разнообразие грибов в различных морях, пресных водах и реках. К настоящему времени знания о грибах значительно расширились. Но, как и прежде, грибы наименее изучены среди таксономических групп водных организмов [3, 4]. Функциональное значение водных грибов, которых зарегистрировано всего от 3000 до 4000 видов, остается плохо изученным. В основном они известны как разлагатели листьев в реках, мангровых зарослях и водно-болотных угодьях, а также как паразиты фитопланктона и зоопланктона в озерных экосистемах [5, 6].

Пробы воды, ила и биопленки были взяты из 3-х озер системы «Ла Извор». Отбор образцов производился в стерильные сосуды. Воду отбирали в бутылки емкостью 1 л на глубине 30 см от поверхности воды. Для выделения культур использовался метод глубинного посева: один мл водной суспензии стерильно распределяли с помощью градуированной пипетки в пустые стерильные чашки Петри, над которыми распределяли агаризованную питательную среду, охлажденную до 45 °С. Чашки инкубировали в термостате при температуре 27±0,5 °С.

Для выделения микромицетов использовали 5 специфических сред, а именно: сусло-агар, Райстрик, Сабуро, питательный агар и Чапек, в среду также добавляли раствор гентамицина и левомицетина для подавления роста и развития бактерий. Идентификацию таксономической принадлежности микроорганизмов в отобранных образцах проводили с помощью оптических микроскопов (Ломо Микмед - 2; В-292) с использованием определителей [7, 8].

Исследование заключалось в отборе проб воды, биопленки и ила из озерной системы «Ла Извор» и выделении из них микромицетов на агаризованных средах. Так, для выделения микромицетов, из образцов высевали разведения 10^{-2} и 10^{-4} на различных питательных средах: питательный агар, Сабуро, сусло-агар, Чапек (рН 10, рН 5, рН 7) и Райстрик, в которые добавляли растворы гентамицина или левомицетина для блокирования роста бактерий. Выращенные колонии микромицетов пересевали до получения чистой культуры. Из общего количества образцов было выделено более 300 изолятов (колоний). Для классификации изолятов по родам штаммы пересевали на сусло-агаре – универсальная среда для выделения штаммов микромицетов. Все изолированные колонии исследовали визуально и под микроскопом [9].

В результате исследования было установлено, что некоторые из изолятов идентичны, а остальные являются представителями разных родов и видов микромицетов. Таким образом, большинство изолятов было обнаружено в образцах ила (87 штаммов), далее в образцах воды (85 штаммов) и меньше всего в биопленке (75 штаммов) (табл.). Выявлены и изолированы штаммы родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Botrytis*, *Monilinia*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Acremonium*, *Cladosporium*, *Trichocladium*, *Phoma*, *Chaetomium*, *Stachybotrys*, *Arthrinium*, *Ulocladium*, *Talaromyces*.

Таблица

Штаммы микромицетов, выделенные из озерной системы «Ла Извор»

№	Микромицеты	Вода	Ил	Биопленка
1	<i>Trichoderma</i>	8	5	4
2	<i>Alternaria</i>	8	8	7
3	<i>Aspergillus</i>	12	12	17
4	<i>Penicillium</i>	18	12	10
5	<i>Fusarium</i>	5	5	2
6	<i>Botrytis</i>	4	2	2
7	<i>Monilinia</i>	2	2	2
8	<i>Ulocladium</i>	1	1	1
9	<i>Acremonium</i>	3	5	1
10	<i>Mucor</i>	2	4	3
11	<i>Rhizopus</i>	2	4	3
12	<i>Chaetomium</i>	1	2	2
13	<i>Cladosporium</i>	2	2	2
14	<i>Talaromyces</i>	1	2	2
15	<i>Sordariales</i>	2	1	1
16	<i>Phoma</i>	1	2	1
17	<i>Ambrosiella</i>	2	2	2
18	<i>Trichocladium</i>	1	1	1
	Всего	85	87	75

Первый этап исследований заключался в отборе проб воды из водохранилища озера «Ла Извор» и выделении из них микромицетов на агаризованных средах. В результате исследований было выделено более 100 колоний. Все колонии исследовали визуально и под микроскопом для определения таксономической принадлежности. В результате исследования было определено, что присутствуют представители разных родов и видов микромицетов. Из общего числа изолированных микромицетов преобладали представители родов *Aspergillus* и *Penicillium*. Итак, выделено 18 штаммов *Penicillium*; 12 штаммов *Aspergillus*; *Trichoderma* и *Alternaria* – по 8 штаммов; *Fusarium* – 5 штаммов; *Botrytis* – 4 штамма; *Acremonium* – 3 штамма. Обнаружены также представители родов *Monilinia*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Sordariales* – по 2 штамма и рода *Arthrinium*, *Ulocladium*, *Chaetomium* – по 1 штамму.

Принцип выделения микромицетов из образцов биопленки аналогичен принципу выделения из воды: в результате исследований было выделено 75 штаммов микромицетов, принадлежащих к разным родам и видам.

Большинство видов относится к родам *Aspergillus* – 17 штаммов и *Penicillium* – 10 штаммов, за которыми следуют виды рода *Alternaria* – 7 штаммов и *Trichoderma* – 4 штамма. Меньшее количество видов относится к родам *Mucor*, *Rhizopus*, *Chaetomium* – по 3 штамма и к родам *Fusarium*, *Monilinia*, *Arthrimum* – по 2 штамма.

В иле озера «Ла Изор» было определено и выделено 87 штаммов различных родов. Наиболее распространены роды *Aspergillus* и *Penicillium* – по 12 штаммов, за которыми следуют *Alternaria* – 8 штаммов, *Trichoderma* – 5 штаммов. Меньше видов у микромицетов рода *Mucor*, *Rhizopus* – по 3 штамма; *Fusarium*, *Botrytis*, *Monilinia*, *Arthrimum*, *Cladosporium*, *Stachybotrys*, *Ambrosiella* – по 2 штамма и по одному представителю родов *Ulocladium*, *Acremonium*, *Sordariales*, *Phoma*, *Trichocladium*.

В результате исследований было идентифицировано 247 штаммов, принадлежащих к 18 родам микромицетов. Наиболее распространенными в иле и биопленке являются микромицеты р. *Aspergillus* и *Penicillium*. Из воды определены 12 штаммов *Aspergillus* и 18 штаммов *Penicillium*, по 12 штаммов *Penicillium* и *Aspergillus* в иле, 10 штаммов *Penicillium* и 17 штаммов *Aspergillus* были определены в биопленке. Все штаммы были исследованы под микроскопом и классифицированы согласно различным определителям. Штаммы поддерживаются для дальнейшего исследования их биохимических свойств.

Исследования выполнены в рамках проекта 20.80009.7007.09 при поддержке ANCD.

Библиографический список

1. Черняковская Т. Ф., Воронин Л. В. Распространение грибов-деструкторов растительных субстратов в эвтрофирующемся водоеме // Ярославский педагогический вестник (Естественные науки). 2013. Т. 3. № 4. С. 161–165.
2. Hageskal G., Lima N., Skaar I. The study of fungi in drinking water // Mycological Research. 2009. Vol. 113. P. 165–172. doi:10.1016/j.mycres.2008.10.002
3. Микромицеты – мигранты Мингячевирского водохранилища / М. А. Салманов, А. А. Манафова, А. Г. Ансарова, А. Т. Гусейнов // Юг России: экология, развитие. 2017. Т. 12. № 1. С. 54–60. doi.org/10.18470/1992-1098-2017-1-54-61
4. Wurzbacher C., Baerlocher F., Grossart H.-P. Fungi in lake ecosystems // Aquatic Microbial Ecology. 2010. Vol. 59. No. 3. P. 125–149. doi: 10.3354/ame01385
5. Composition and diversity of fungal decomposers of submerged wood in two lakes in the Brazilian Amazon State of Pará / E. S. M. Canto, A. C. A. Cortez, J. S. Monteiro, F. R. Barbosa // International Journal of Microbiology. Vol. 2020. P. 1–9. doi.org/10.1155/2020/6582514
6. Diversity, spatial distribution and activity of fungi in freshwater ecosystems // C. Lepère, I. Domaizon, J.-F. Humbert, J.L. arduin // PeerJ. 2019. Vol. 7. P. e6247. doi: 10.7717/peerj.6247
7. Билай В. И. Методы экспериментальной микологии. Справочник. Киев : «Наукова думка», 1982. 550 с.
8. Еремеева С. В. Плесневые грибы. Методы выделения, идентификации, хранения: учеб, пособие. Астрахань. гос. техн. ут-т. Астрахань : Изд-во АГТУ, 2011. 112 с.

9. Кириленко Т. С. Атлас родов почвенных грибов. Киев : « Наукова думка», 1977. 127 с.

СОСТАВ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП ГИДРОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ ЗООГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

***М. В. Сиротина, Т. Л. Соколова, Л. В. Мурадова,
М. С. Котова, А. Л. Сиротин***

Костромской государственной университет, tl.sokol@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы таксономического и экологического состава сообществ зоопланктона и бентоса в условиях влияния на водоток бобровых поселений. Отмечено повышение показателей численности и биомассы зоопланктона и бентоса в бобровых прудах. Показано соотношение различных таксономических и экологических групп в составе зоопланктона и бентоса бобровых прудов на разных стадиях «бобрового цикла».

Ключевые слова: зоопланктон, бентос, Костромская область, заповедник «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына, р. Черная, мониторинг.

Обыкновенный (речной) бобр (*Castor fiber* L., 1758) на территории Костромской области является видом-реинтродуцентом. До XVI века эти животные были широко распространены в подзоне южной тайги Верхневолжья, с XVII века их численность снижалась, а в начале XX века бобры были полностью уничтожены человеком. В 1958 г. была начата реинтродукция бобра на территорию Костромской области, и в настоящее время этот вид широко распространился, заняв большинство пригодных для обитания средних и малых рек региона. Деятельность бобра приводит к изменению гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик водотоков, к трансформации фитоценозов в поймах рек, а зачастую и к изменениям рельефа местности. Особо охраняемые природные территории также подвержены зоогенной трансформации, причем, здесь бобры не страдают от фактора беспокойства и могут успешно наращивать свою численность пока это позволяют пищевые ресурсы.

Целью работы являлось рассмотрение таксономической структуры и экологических групп зоопланктона и бентоса, формирующихся в условиях зоогенной трансформации гидроценозов малой реки. Исследования проводились на кологривском кластере государственного природного заповедника «Кологривский лес» им. М. Г. Сеницына (Костромская область) в период с 2014 по 2020 гг., изучен состав сообществ зоопланктона и бентоса некоторых участков реки Чёрной. Река Чёрная имеет длину 7 км (незначительная) и является левым притоком р. Сеха. Вытекает из болота в 28 квартале заповедника. По берегам реки располагаются преимущественно ельники с участием березы, в подлеске присутствуют рябина, липа, в травянистом ярусе таволга, осоки и другая растительность. Вода реки имеет тёмную окраску, что связано

с болотным происхождением и высоким содержанием гуминовых веществ, вода, в качестве природного фона, содержит повышенные концентрации железа и марганца [1]. Многие участки реки Черной подвергнуты зоогенной трансформации, на протяжении реки перемежаются, отгороженные плотинами бобровые пруды, и участки свободного русла с наличием течения.

Пробы зоопланктона отбирались с помощью сети Апштейна путем фильтрования 50 литров воды с последующей фиксацией 4% формалином. Обработка проб зоопланктона проводилась по общепринятым методикам [2].

Пробы бентоса отбирались при помощи бентосного скребка и разбирались в почвенных ситах и в лаборатории [3]. Организмы фиксировались в склянках 4 % формалином.

В составе сообщества зоопланктона р. Черной за период наблюдений было обнаружено 42 вида, из них: *Cladocera* – 21 вид, *Copepoda* – 11 видов, *Rotifera* – 10 видов.

В июне 2014 г. на мониторинговой станции в верхнем течении реки (N 58.92646 E 043.83098) при замедленном течении, вследствие подпруживания участка реки бобровой плотиной, в составе зоопланктона доминировали ветвистоусые – 68% по численности и 96% по биомассе (при общей численности 10000 экз./м³, биомассе – 399,20 мг/м³). В составе сообщества присутствовали *Simocephalus vetulus* (O. F. Müller, 1776) и *Polyphemus pediculus* (L., 1761). В июне 2015 г. плотина бобров имела значительную промоину, и в составе зоопланктона преобладали веслоногие ракообразные, составляя 72,7% по численности и 54,5% по биомассе (общая численность составила 4400 экз./м³, общая биомасса – 70,96 мг/м³). *Copepoda* большей частью были представлены ювенильными стадиями и взрослыми особями *Eucyclops macrurus* (Sars G.O., 1863) и *Eucyclops serrulatus* (Fischer, 1851). В июне 2016 г. течение на этом участке реки сохранялось, что обуславливало низкие количественные показатели зоопланктона (240 экз./м³ и 11,79 мг/м³). Эта же тенденция отмечена и в июне 2017 г. – в составе зоопланктона преобладали ювенильные стадии *Copepoda* при показателях численности и биомассы 2100 экз./м³ и 13,76 мг/м³ соответственно, аналогичная ситуация складывалась и в 2018 и 2019 гг. В 2020 г. несколько выше по течению относительно станции отбора проб был обнаружен каскад из 3 бобровых плотин, сложенных из стволов и ветвей березы и ольхи, и укрепленных землей. Первая и третья плотины имели промоины, вторая (N 58.91681 E 043.75116) имела длину 6 м, высоту 0,4 м и замедляла течение воды на участке отбора проб. В этих условиях развивалось сообщество зоопланктона, представленное, наряду с науплиями и копеподами, ветвистоусыми ракообразными (*Chydorus sphaericus* (O. F. Müller, 1776), *Alona rectangula* Sars, 1861, *Acroperus harpae* (Baird, 1834), *Polyphemus pediculus*) и коловратками (*Notholca foliacea* (Ehrenberg, 1838), *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851), *Polyarthra dolichoptera* Idelson, 1925). Численность зоопланктона составила 18700 экз./м³, биомасса – 156,78 мг/м³, при чем ветвистоусые ракообразные составляли 34,22% по численности и 76,76% по биомассе.

Бобровый пруд в нижнем течении р. Черной (N 58.92525° E 043.82697°) был образован в 2009 г., имеет овальную форму, вытянутую вдоль русла реки и площадь около 0,05 га. В 2014–2016 гг. плотина поддерживалась бобрами и здесь наблюдалось сильное бобровое поселение. В июне 2014 г. численность зоопланктона составила 3600 экз./м³, биомасса – 401,12 мг/м³. Ветвистоусые ракообразные были представлены: *Eurycercus lamellatus* (O. F. Müller, 1776), *Polyphemus pediculus*, *Simoccephalus vetulus*. В июне 2015 г. численность зоопланктона составила 2400 экз./м³, биомасса – 230,72 мг/м³, в июне 2016 г. – 1120,0 экз./м³ и 421,1 мг/м³ соответственно. Одновременно наблюдалось чередование в ряду лет преобладания первичных фильтраторов и их хищных потребителей. Так, например, в 2014 г. первичные фильтраторы в структуре зоопланктона составляли 55,55% в среднем по численности и 82,27% по биомассе, в 2015 г. представители экологической группы, характеризующейся активным захватом, составляли 83,33% по численности и 98,63% по биомассе, в июне 2016 г. – опять преобладали первичные фильтраторы (73,21% по численности и 98,33% по биомассе) [4]. Хотя, наблюдения проводились в одну и ту же декаду июня, возможно, что преобладание той или иной экологической группы связано с температурными особенностями каждого года. При этом сезонная сукцессия зоопланктонного сообщества протекает от преобладания весной ювенильных стадий веслоногих к развитию летом сообщества, представленного первичными фильтраторами, которые постепенно выедаются активными хищниками [4]. Весной 2017 г. плотина была разрушена паводком и в зоопланктоне отмечены только представители ювенильных *Copepoda*. В 2018 г. в составе зоопланктона отмечены только веслоногие ракообразные, в июне численность составила всего 200 экз./м³, биомасса – 6,45 мг/м³. В дальнейшем пруд функционировал как полупроточный водоем, незаселенный бобрами.

В составе сообществ макрозообентоса реки Черной за период исследований выявлено 32 вида, из них: *Insecta* – 26 видов, *Bivalvia* – 2 вида, *Gastropoda* – 4 вида, *Hirudinea* – 2 вида, также отмечены представители класса *Clitellata*. Наибольшее биоразнообразие характерно для класса *Insecta*, что является типичным для пресных водоемов. Среди насекомых выявлены представители (личинки) отрядов *Odonata* (8 видов), *Megaloptera* (1 вид), *Plecoptera* (3 вида), *Ephemeroptera* (5 видов), *Trichoptera* (7 видов), *Diptera* (2 вида).

В 2018–2019 гг. на мониторинговой станции в нижнем течении р. Черной в нежилом бобровом пруду в составе проб бентоса преобладали насекомые (в среднем – 77,8% от общей численности). В качестве субдоминант выступали брюхоногие моллюски и пиявки (в среднем по 11,11%). Среди насекомых отмечены представители отрядов *Diptera*, *Odonata*, *Ephemeroptera*, *Megaloptera*, *Trichoptera*. Доминирующими видами являются *Chironomus plumosus* (L., 1758), вислоккрылки рода *Sialis*, *Ephemerella vulgata* L., 1758, *Coenagrion hastulatum* Vander Linden, 1825, среди пиявок – *Herpobdella octoculata* (L., 1758), моллюсков – *Lymnaea (Myxas) glutinosa* Müller, 1774.

Численность макрозообентоса в пруду составила 82,74 экз./м² в 2018 г. и 106,25 экз./м² в 2019 г, биомасса – 57,97 г/м² и 44,12 г/м² соответственно. Большую долю в биомассе занимают представители *Hirudinea* – до 25,75 г/м².

Для сравнения – численность бентосных организмов на проточном участке реки составила в 2018 г. – 68,95 экз./м², а в 2019 г. – 100,00 экз./м². Среди насекомых здесь доминировали представители отрядов *Trichoptera*, *Ephemeroptera*, *Odonata*, наиболее распространенными видами были: *Phryganea grandis* L., 1758, *Limnephilus flavicornis* (Fabricius, 1787), *Ephemera vulgata*, *Coenagrion hastulatum*. Также, здесь встречалось большее количество двустворчатых моллюсков – до 12,50 экз./м² при доминировании *Pisidium amnicum* (Müller, 1774).

В сформировавшемся жилом бобровом пруду в верхнем течении р. Черной в 2020 г. численность макрозообентоса составила 186,2 экз./м², биомасса – 44 г/м². В его составе 62,91% от численности составляли моллюски, среди которых 55,5 % приходилось на представителей *Gastropoda*.

По способу питания макрозообентос согласно классификации В. А. Яковлева [5] разделяется 6 трофических групп: грунтозаглатыватели, собиратели-детритофаги и факультативные фильтраторы, облигатные собиратели-фильтраторы, соскребатели, размельчители, активные хищники. Однако следует учитывать, что некоторые виды имеют смешанное питание – соскребатели-детритофаги и облигатные собиратели-фильтраторы, или соскребатели и размельчители. За период 2018–2020 гг. в составе макрозообентоса р. Черной выявлены представители таких групп как собиратели-детритофаги, облигатные собиратели-фильтраторы, активные хищники, соскребатели и размельчители. Наибольшим таксономическим разнообразием в сообществах макрозообентоса исследованной реки отличались активные хищники, которые составляли от 29,41 до 37,5%. Следующими по встречаемости являлись собиратели-детритофаги и облигатные собиратели-фильтраторы, которые составляли от 18,75 до 23,53% каждая группа. Наименьшее биоразнообразие характерно для группы размельчителей.

Следует отметить, что в нежилом бобровом пруду в нижнем течении реки активные хищники составили 37,5%, собиратели-детритофаги – 18,75%, облигатные собиратели-фильтраторы – 18,75%, соскребатели и размельчители по 12,5%. Одновременно на проточном участке реки доля активных хищников была значительно ниже – 29,41%, а увеличились доли облигатных собирателей-фильтраторов – 23,53% и собирателей-детритофагов – 23,53%.

Таким образом, жизнедеятельность бобров приводит к изменениям в составе гидроценозов. В условиях формирования бобровых прудов, сопровождающегося замедлением течения реки, создаются благоприятные условия для развития сообществ зоопланктона и бентоса. Увеличиваются показатели численности и биомассы зоопланктона и бентоса. В составе зоопланктона начинают преобладать крупные ветвистоусые ракообразные, а повышение трофического статуса водоёмов приводит к развитию там видов-индикаторов эвтрофирования водоёмов. Среди *Cladocera* встречаются как первичные фильт-

раторы, так и хищные формы. В отдельные периоды, выедая первичных фильтраторов, хищники могут доминировать (прежде всего по биомассе). Разрушение бобровых плотин вследствие гибели или ухода бобров с данной территории, приводит к увеличению доли собирателей, вертикаторов, детритофагов, которые зачастую локализуются на оставшихся малопроточных участках и в зарослях макрофитов. После разрушения бобровых плотин и восстановления проточности в зоопланктоне преобладают ювенильные и взрослые веслоногие. В составе бентоса, при доминировании на всех участках реки насекомых, в бобровых прудах наибольшей встречаемостью характеризуются отряды *Diptera*, *Odonata*, *Ephemeroptera*. Причем, широко распространенный представитель *Ephemeroptera* – *Ephemerula vulgata* является видом, часто встречающимся в водоемах с иловатым дном и замедленным течением. В бобровых прудах, даже нежилых, более высокими являются доли *Gastropoda* и *Hirudinea* по сравнению с проточными участками реки, свободными от зоогенной трансформации. Также в составе донных организмов отмечено увеличение доли активных хищников.

Библиографический список

1. Сиротина М. В. Гидрохимические особенности малых рек на территории государственного природного заповедника «Кологривский лес» // Природа Костромского края: современное состояние и экомониторинг: материалы межрегиональной науч.-практ. конф. Кос. гос. ун-т; ОГБУК «Музей природы Костромской области». Кострома, 2017. С. 71–76.
2. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоёмах. Зоопланктон и его продукция. Л. : Изд-во ГосНИОРХ, 1982. 33 с.
3. Биоиндикация водных экосистем : учеб.-метод. пособие / сост. М. В. Сиротина, Л. В. Мурадова, И. Г. Криницын, Г. А. Семенова. Кострома : Костром. гос. ун-т, 2018. 224 с.
4. Сиротина М. В. Изменения структуры сообществ зоопланктона бобровых прудов под воздействием зоогенного фактора // Вода. Химия и экология. 2019. № 7–9. С. 72–80.
5. Яковлев В. А. Пресноводный зообентос северной Фенноскандии (разнообразие, структура и антропогенная динамика) в 2-х ч. Апатиты : Изд-во Кольского НЦ РАН, 2005. Ч. 2. 145 с.

РОЛЬ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ

Е. Н. Гинатуллина¹, З. А. Мустафаева²

¹ *НИИ Рыбоводства, Узбекистан, e-ginatullina@yandex.ru*

² *Институт зоологии Академии наук Республики Узбекистан, zuri05@mail.ru*

В статье рассматриваются результаты изучения сообществ фито- и зоопланктона, проведенные в марте 2020 г. на Южно-Голодностепском канале реки Сырдарья в Узбекистане.

Ключевые слова: фитопланктон, зоопланктон, видовой состав, численность, биомасса, сапробность, трофность.

Южно-Голодностепский канал (ЮГК) расположен в начале среднего течения р. Сырдарья. Зарегулирование стока одной из крупнейших рек Центральной Азии оказывает сильное влияние на сообщества гидробионтов. Цель нашего исследования состояла в определении современного видового состава фито- и зоопланктонных сообществ и оценки экологического состояния ЮГК с помощью показателей сапробности и трофности.

Исследование фитопланктона и зоопланктона было проведено 20 марта 2020 г. на 4-х выбранных станциях вдоль правого берега на расстоянии 250–400 м друг от друга. Пробы фитопланктона отбирали однолитровым батометром Рутнера; сливали в 500 мл посуду и обрабатывали в соответствии с методами [1, 2].

Пробы зоопланктона отбирали с помощью конической сети Джеди ($d=14$ см, № 72) и фиксировали в 4% формалине и обрабатывали в соответствии с методами [3, 4].

В ходе рекогносцировочного обследования на ЮГК в марте 2020 г. было обнаружено 111 видов, разновидностей и форм фитопланктона, из которых синезеленых (Cyanophyta) – 13 видов, диатомовых (Bacillariophyta) – 85 видов, зеленых (Chlorophyta) – 10 видов и эвгленовых (Euglenophyta) – 3 вида (табл. 1). Доминантный комплекс фитопланктонных сообществ ЮГК был представлен, в основном, продуцентами, наибольшего развития и разнообразия среди которых достигают диатомовые, синезеленые и зеленые водоросли, а также с небольшим видовым разнообразием эвгленовые водоросли.

Таблица 1

Таксономический состав сообществ и количественное развитие фитопланктона ЮГК

Группа	Количество видов	<u>Численность</u> <u>Биомасса</u>
Cyanophyta	13	<u>893,750</u> 8,456
Bacillariophyta	85	<u>1262,500</u> 1366,163
Euglenophyta	3	<u>6,250</u> 3,513
Chlorophyta	10	<u>50,00</u> 6,075
Общее количество	111	<u>2212,500</u> 1384,207

Примечание: численность в кл*10³, биомасса в мг/л.

Синезеленые водоросли (Cyanophyta) в пробах фитопланктона представлены 13 видами (11,71%) от общего числа форм и разновидностей и представлены широко распространенными b-, b-a- и a-сапробными планктонными колониальными и нитчатыми формами водорослей из родов *Microcystis*,

Merismopedia, Dactylococcopsis, Gloeocapsa, Oscillatoria, Phormidium, Lyngbya, Spirulina.

В весенних пробах фитопланктона численность синезеленых колебалась от $187,500 \cdot 10^3$ кл/л до $1456,250 \cdot 10^3$ кл/л, а биомасса соответственно – от 1,988 мг/л до 39,188 мг/л. (табл. 1).

Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) по таксономическому разнообразию занимают доминирующее положение в фитопланктоне – 85 видов, что составило 76,58% от общего числа видов, форм и разновидностей (табл. 1). Представлены диатомеи в основном широко распространенными пресноводными о-, о-б-, б- сапробными планктонными формами из родов *Melosira, Cyclotella, Synedra, Fragilaria, Diatoma (D. elongatum), Asterionella* и пресноводно-солонатоводными б-а-мезосапробными формами из фитобентоса родов *Cocconeis, Achnanthes, Amphora, Navicula, Rhoicosphenia, Surirella*, также а- б-, а-сапробными солонатоводными и солонатово-морскими видами, характерными для водоемов с несколько повышенной минерализацией воды: *Gyrosigma acuminatum, G. spenseri, Navicula Kolbei, N. spicula, Hantzschia virgata, Nitzschia sigma, N. sigmoidea, N. palea, Amphora proteus, Amphiprora paludosa, Surirella Capronii* и др.

Диатомовые водоросли, как правило, имеют крупные размеры клеток, поэтому при единичной встречаемости они создают повышенную численность. Численность диатомей в весенних пробах колеблется от $462,500 \cdot 10^3$ кл/л до $2181,250 \cdot 10^3$ кл/л, биомасса составила – от 388,350 мг/л до 2574,706 мг/л (табл. 1).

Зеленые водоросли (Chlorophyta) на исследованных участках развивались слабо и представлены 10 видами (табл. 1) или 9,01% от общего числа видов, форм и разновидностей, которые в основном являются широко распространенными б-мезосапробными видами из родов *Ankistrodesmus, Oocystis, Chlorella, Chlamidomonas, Dictyosphaerium, Scenedesmus, Cosmarium*, нитчатками из родов *Cladophora, Spirogyra* и др. Численность зеленых водорослей в весенних пробах колеблется от $50,00 \cdot 10^3$ кл/л до $237,500 \cdot 10^3$ кл/л, биомасса составила – от 6,075 мг/л до 1965,288 мг/л (табл. 1).

Также в пробах фитопланктона одиночно были отмечены эвгленовые (Euglenophyta) водоросли, которые представлены в основном родами *Euglena, Phacus, Astasia*. Численность их в весенних пробах колеблется от $6,250 \cdot 10^3$ кл/л до $18,750 \cdot 10^3$ кл/л, биомасса составила – от 1,800 мг/л до 71,088 мг/л (табл. 1).

В ходе исследования зоопланктонных сообществ ЮГК обнаружено 8 видов зоопланктона: 2 вида Rotifera: *Euchlanis dilatata, Brachionus quadridentatus*; 3 вида Cladocera: *Alona rectangula, Chydorus sphaericus, Daphnia pulex*; 3 вида Copepoda: *Megacyclops viridis, Paracyclops affinis, Harpacticoida g. sp.* Видовой состав, количественные характеристики и индексы сапробности обнаруженных видов зоопланктона показаны в (табл. 2).

Таблица 2

Видовой состав зоопланктона исследованных станций ЮГК

Виды	Численность, экз./м ³ (N)	Биомасса, мг/м ³ (B)	Сапробность и (обилие) вида
<i>Brachionus quadr.</i>	380	0,36	β -2,0 (3)
<i>Euchlanis dilatata</i>	2250	1,68	β-о - 1,75 (7)
<i>Chydorus sphaericus</i>	1600	56,00	β-о - 1,75(5)
<i>Alona rectangula</i>	400	14,00	о-β - 1,3 (3)
<i>Daphnia pulex</i>	8000	1360,00	β -2,0 (9)
<i>Megacyclops viridis</i>	350	38,90	β-о - 1,6(3)
<i>Paracyclops affinis</i>	3900	385,30	о-β - 1,25(7)
<i>Harpacticoida g.sp.</i>	410	20,60	–
Суммарно	18000	1753,60	S=1,67

В соответствии с различием в характеристике биотопов станций зоопланктон был представлен планктонно-бентическими *Harpacticoida g.sp* и литорально-фитофильными видами *Alona rectangula*, *Chydorus sphaericus* *Megacyclops viridis*, а также эупланктонным видом – *Daphnia pulex*. Все обнаруженные виды являются широко распространенными, эвритопными палеарктической фауны.

Вычисленные индексы сапробности находятся в пределах 1,47 (олиго сапробная – бета мезосапробная зона) до 1,67 (бета мезосапробная – олигосапробная зона), что соответствует качеству от слабо-загрязненных до умеренно-загрязненных вод. Не смотря на достаточное количество растворенной органики (мезосапробная зона), благодаря достаточному количеству кислорода (быстрое течение), происходит ее быстрое разложение, а присутствующие в сообществе зоопланктона виды-фильтраторы (обильное развитие планктонного вида *Daphnia pulex*) характеризуют исследованные станции, как станции водоема, имеющие большой потенциал для быстрого самоочищения.

В сообществе зоопланктона исследованных станций, кроме истинного фильтратора дафнии (отфильтровывает фитопланктон и растительные и животные отмершие остатки), отмечены группа планкто-бентических видов, которые обладают собирательным типом питания (*Chydorus sphaericus* и *Alona rectangula* *Harpacticoida g.sp.*), а также циклопы: хищники-фильтраторы (*Megacyclops viridis* и *Paracyclops affinis*). Они встречаются в непосредственной близости от растительных сообществ и также способствуют уменьшению уровня органического загрязнения водоема, хотя и в меньшей степени, чем дафнии.

По развитию биомассы зоопланктона водоем характеризуется как олиго-мезотрофный с биомассой от 0,32 г/ м³ (олиготрофный уровень) до 1,75 г/ м³ (мезотрофный) уровень, что способствует развитию ихтиомассы от 2,5 до 10 г/м².

Достаточная биомасса зоопланктона и бентоса на исследованных станциях значит, что канал обладает достаточным потенциалом для поддержания естественной рыбопродуктивности, и благодаря хорошему качеству воды, а

также развитию кормовой базы (зоопланктон и бентос) может использоваться в качестве территории для рыбоводного туризма.

Анализ экологических характеристик обнаруженных на ЮГК планктонных пресноводных и пресноводно-солонатоводных видов характеризуют его экологическое состояние, в основном, как о-(олиго), о-б-(олиго-бета), б (бета)-сапробное, то есть чистые или умеренно-загрязненные воды.

Обильное количественное развитие первичной продукции (диатомовые, зеленые водоросли), а также зоопланктона, которые являются кормовыми объектами для рыб, характеризуют исследованные станции, как водоем олиго-мезотрофный.

Библиографический список

1. Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов. В 2-х т. Л. : Наука, 1969. Т. 1. С. 123–258; Т. 2. С. 658.
2. Рекомендации. Методы гидробиологического мониторинга водных объектов региона Центральной Азии / Под ред. В. Н. Тальских. РУз 52.25.32-97. Ташкент, 1997. С. 67.
3. Кутикова Л. А. Коловратки фауны СССР (Rotatoria). Подкласс Eurotatoria (отряды Ploimida, Monimotrochida, Paedotrochida). Л. : Наука, 1970. 742 с.
4. Салазкин А. А., Иванова М. Б., Огородникова В. А. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Л. : АН СССР, 1984. С. 33–38.

РАКООБРАЗНЫЕ ПРУДА В КОТТЕДЖНОМ ПОСЕЛКЕ г. САМАРА

Ю. Л. Герасимов

Самарский университет, yuger55@list.ru

Изучен зоопланктон небольшого безымянного пруда в г. Самаре. Обнаружено 17 идентифицированных видов ракообразных и не определённые до вида представители подкласса Ostracoda. По численности доминировали *Ceriodaphnia pulcella* и личиночные стадии копепод. По видам – индикаторам пруд относится к слабозагрязнённым водоемам.

Ключевые слова: пруд, ракообразные, видовой состав, численность.

Один из многочисленных прудов г. Самары находится на северо-западной окраине города, в центральной части поселка, недавно застроенного 2–3 этажными жилыми домами с приусадебными участками. Пруд небольшой (длина до 40 м, ширина до 30 м, глубина до 1,4 м), прямоугольной формы. Берега невысокие (20–50 см выше уровня воды), покрыты рудеральной травянистой растительностью и кустарниками, здесь сохранилось около десятка деревьев. Западный берег – кирпичная подпорная стена террасы, на которой построено здание, восточный берег засыпан песком, здесь небольшой пляж. Мелководья сплошь заросли водо-воздушными и погружёнными макрофитами, нет растительности только у берега с пляжем. Дно илистое с раститель-

ными остатками. Вода мутная, но неприятного запаха нет. Питание пруда, вероятно, родниковое, так как уровень воды с весны до осени почти не менялся, а также атмосферными осадками. Жители окружающих домов пытались приспособить пруд для отдыха – помимо сооружения пляжа они расчистили берега, оборудовали возле пляжа детскую площадку, сделали причал для лодок. В пруду водится карп, вероятно, его запустили туда жители. Пруд не находится на частной территории, но попасть к нему можно только через запирающиеся ворота. С проходящего рядом проезда пруд не виден из-за заборов, о нём знают и посещают его только жители находящихся рядом домов.

Поскольку пруд используется в рекреационных целях, его санитарное состояние имеет существенное значение. Мы провели изучение зоопланктона данного пруда с целью выявить видовой состав обитающих там гидробионтов и оценить потенциал самоочищения. Сведений об изучении зоопланктона данного пруда в доступной литературе не обнаружено [1–3].

Обследование зоопланктона проводили по стандартным гидробиологическим методикам [4]. Пробы отбирали на 3-х станциях 2 раза в месяц с конца апреля до конца октября планктонной сетью (сито № 64) и 2-литровым батометром. Для определения видовой принадлежности ракообразных использовали общепринятые определители [5, 6]. Гидрохимический анализ не проводили. Микробиологический анализ воды проведен в лаборатории кафедры Биохимии, биотехнологии и биоинженерии Биологического факультета Самарского национального исследовательского университета.

В пруду было обнаружено 17 видов ракообразных, относящихся к 3-м отрядам, 5-ти семействам и 15-ти родам. Список видов приводится ниже.

- Eucyclops macruroides* (Lilljeborg, 1901)
- Macrocyclops albidus* (Jurine, 1820)
- Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857)
- Paracyclops fimbriatus* (Fisher, 1853)
- Thermocyclops crassus* (Fisher, 1853)
- Eudiaptomus graciloides* (Lilljeborg, 1888)
- Bosmina longirostris* (O. F. Muller, 1785)
- Alona costata* (Sars, 1862)
- Alona quadrangularis* (O. F. Muller, 1785)
- Chydorus ovalus* Kurz, 1874
- Chydorus sphaericus* (O. F. Muller, 1785)
- Pleuroxus aduncus* (Jurine, 1820)
- Ceriodaphnia pulcella* (Sars, 1862)
- Daphnia longispina* (O. F. Muller, 1785)
- Scapholeberis mucronata* (O. F. Muller, 1785)
- Simocephalus vetulus* (O. F. Muller, 1776)
- Moina macrocopa* (Straus, 1820)
- Ostracoda spp.)

Наибольшая частота встречаемости в пробах была у личиночных стадий копепод (науплии – 94% проб, копеподиты – 100% проб) и *Chydorus sphaericus* (84%). *Mesocyclops leuckarti* и *Ceriodaphnia pulcella* присутствовали более, чем в половине проб. Встречаемость 10-ти видов составляла от 10 до 50% проб. Единично обнаруживались 6 видов, из них *Paracyclops fimbriatus* один раз и *Chydorus ovalus* – 2 раза за все время исследования.

Наибольшей численности сообщество ракообразных достигало в мае (за счет личиночных стадий копепод и *Chydorus sphaericus*) и в августе вследствие массового размножения *Ceriodaphnia pulcella* (табл. 1). Наблюдалась достаточно типичная для средней полосы сезонная динамика численности с двумя максимумами, но при этом летняя депрессия численности ракообразных была выражена довольно слабо.

Таблица 1

Сезонная динамика численности (экз./л) ракообразных

апрель	май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
34	809	484	376	2384	136	72

По численности в сообществе доминировали представители семейства Daphniidae (табл. 2).

Таблица 2

Доли (%) семейств ракообразных в суммарной численности за сезон

Семейство	Доля (%)	Семейство	Доля (%)
Daphniidae	49,99	Cyclopoidae	1,92
Chydoridae	25,12	Bosminidae	0,02
Науплии и копеподиты	20,19	Moinidae	0,02
Ostracoda	2,74		

Наибольший вклад в суммарную численность внесли 2 вида: *Ceriodaphnia pulcella* (максимальная численность 1954 экз/л) и *Chydorus sphaericus* (186 экз./л), а также науплии (207 экз./л) и копеподиты циклопов (168 экз./л). Среди ветвистоусых значительно преобладали представители малоразмерных видов, доля *Daphnia longispina* была очень мала. Все эти виды планктонные, численность придонных и зарослевых видов была значительно меньше.

Большинство видов ракообразных, обнаруженных нами в безымянном пруду, обычны для прудов г. Самары [7]. Только *Chydorus ovalus* найден всего в 5-ти городских прудах. Все виды обитают в Саратовском водохранилище [8]. По количеству видов ракообразных данный пруд сходен с большинством бесхозных прудов среди жилых домов, в прудах парков и скверов видов вдвое больше [7].

Из 17-ти видов ракообразных 15 видов являются индикаторами слабозагрязнённых и умеренно загрязнённых вод, 2 вида – индикаторами загрязнённых вод. Мы не проводили химический анализ прудовой воды, но, исходя из соотношения видов-индикаторов с учётом их численности, состояние изучавшегося нами пруда можно считать удовлетворительным. Это подтвер-

ждают и ранее опубликованные данные по коловраткам [9] и результаты микробиологического исследования [10]. Мутность воды, возможно, связана с ветровым перемешиванием, т.к. деревьев возле пруда мало и они не препятствуют движению воздуха.

Территория вокруг пруда покрыта травой, много отходов строительных материалов, оставшихся после сооружения коттеджей. Бытового мусора на берегах пруда очень мало, видимо, местные жители поддерживают чистоту. Во всяком случае, этот пруд выглядит чище соседнего, более крупного пруда расположенного примерно в 200 м к югу, который также пытались благоустроить, но с гораздо меньшим успехом.

Результаты нашего исследования дают возможность полагать, что процессы самоочищения в изучаемом пруду происходят достаточно полноценно. Если местные жители продолжают заботиться о водоёме, его санитарное состояние не будет ухудшаться.

Библиографический список

1. Матвеев В. И., Гейхман Т. В., Соловьева В. В. Самарские пруды как объект ботанических экскурсий. Самара, 1995. 44 с.
2. Синицкий А. В. Особенности структурной организации зоопланктоценозов малых водоемов урбанизированных территорий : дис. ... канд. биол. наук. Самара, 2004. 167 с.
3. Голубая книга Самарской области. Самара : СамНИЦ РАН, 2007. 199 с.
4. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 246 с.
5. Мануйлова Е. Ф. Ветвистоусые рачки (Cladocera) фауны СССР. М.-Л. : Наука, 1964. 326 с.
6. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т.2. Ракообразные. СПб. : ЗИН, 1995. 627 с.
7. Герасимов Ю. Л., Теньгаев Е. И. Ракообразные прудов урбанизированных территорий (г. Самара) // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. Т. 11, № 1 (4). С. 699–701.
8. Попов А. И. Современная структура зоопланктона Саратовского водохранилища и экология биоинвазийных видов : дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2007. 101 с.
9. Герасимов Ю. Л. Коловратки пруда в коттеджном посёлке г. Самара // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : материалы междунар. науч. конф. (г. Киров, 16–18 апреля 2019 г.). Киров : ВятГУ, 2019. С. 169–172.
10. Клёнова Н. А., Орлова С. А., Герасимов Ю. Л. Бактериопланктон городских прудов // materiály IX mezinárodní vědecko — praktická konference «Dny vědy – 2013» 27 března - 05 dubna 2013 roku Díl 31 Ekologie Zeměpis a geologie Zemědělství. Praha : Publishing House «Education and Science», 2013. P. 17–18.

ВЛИЯНИЕ ДЕКОМПОЗИЦИИ МАКРОФИТОВ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

А. Ф. Нигматуллина, А. Н. Ипполитова, Н. Ю. Степанова
Казанский (Приволжский) федеральный университет,
albina.nigmatullina.97@mail.ru, nstepanova.kazan96@gmail.com

В статье обсуждается влияние отмирающих частей тростника обыкновенного *Phragmites australis* на качества воды при низких температурах в условиях лабораторного моделирования. Выявлено значимое повышение содержания в воде органических веществ, общего фосфора, марганца, железа и свинца в присутствии тростника по сравнению с контролем.

Ключевые слова: макрофиты, органические вещества, азот- и фосфорсодержащие соединения, металлы.

Макрофиты играют важную роль в процессах изменения содержания химических элементов и поддержании гидрохимического баланса. Многие водные растения выступают в роли накопителей азота и фосфора, влияют на содержание кислорода в воде [1]. Макрофиты играют как положительную, так и отрицательную роль в формировании качества воды. На протяжении вегетативного этапа, макрофиты обогащают воду кислородом, накапливают органические вещества и биогенные элементы, а в конце сезона роста, при отмирании и разложении, выделяют накопленные в них вещества.

Разложение макрофитов в регионах с умеренным климатом наступает в зимнее время. Зимой для поверхностных водоемов умеренного пояса характерен ледяной покров, который исключает газообмен и изолирует теплопередачу [2, 3]. Имеется много исследований, посвященных влиянию макрофитов на качество воды, но недостаточно данных о процессах, происходящих в зимнее время при отмирании растений [4]. Особую актуальность данной проблеме придает тот факт, что большинство водоемов Среднего Поволжья характеризуются большими площадями зарастания макрофитами.

Цель данного исследования: выявить влияние отмирающих частей тростника обыкновенного *Phragmites australis* на качество воды при низких температурах в условиях лабораторного моделирования.

Моделирование процессов влияния макрофитов на качество воды в зимних условиях проводили по заранее разработанному алгоритму. В 1,5 литровые бутылки заливали природную воду из реки Казанки (контроль) и природную воду с кусочком зеленой части тростника массой 1,5 г, помещенным в мешочек из планктонного газа. Бутылки закрывали крышкой так, чтобы вытеснить излишек воды и помещали в камеру холодильника с контролируемой температурой 4 °С в отсутствии освещения, тем самым моделируя подледные условия.

Контролировали следующие параметры: содержание растворенного кислорода, органических веществ по перманганатной окисляемости, азота аммонийного, нитратного, общего фосфора, железа, марганца, алюминия, кобальта, хрома общего, меди, никеля, мышьяка, свинца в начале эксперимента 0-й и далее на 3-й, 7-й, 10-й, 15-й, 25-й, 45-й, 72-й и 107-й день эксперимента. Все определения проводили по гостированным методикам [5–9], элементный состав определяли на атомно-эмиссионном спектрометре ICPE-9000 [10].

Значимость различий между контролем и опытом проводили с использованием непараметрической статистики по критерию Вилкоксона (парный) с доверительной вероятностью 0,95 в программе AtteStat.

Установили, что масса растительного образца не менялась значительно в течение 15 дней эксперимента, после чего произошло резкое уменьшение массы со стабилизацией к 25-му дню.

Содержание легкоокисляемых органических веществ в контроле снижалось в начале эксперимента и стабилизировалось к 10-му дню. В опыте наблюдалась обратная картина: начиная с первого дня, наблюдался рост содержания органических веществ в воде, который не остановился и на конец эксперимента, что характеризует длительность процесса разложения растительных тканей тростника в опыте (рис. 1).

Можно было предположить, что поступление в воду органических веществ должно сопровождаться уменьшением содержания растворенного кислорода. Однако, как показано на рисунке 2, прослеживается общая тенденция снижения концентрации кислорода в первые 15 дней и стабилизация показателей после 45 дней эксперимента, при этом разница значений между показателями в контроле и опыте статистически незначима.

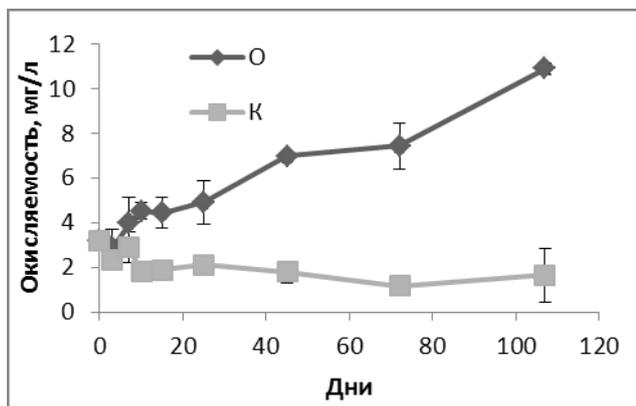


Рис. 1. Изменение содержания легкоокисляемых органических веществ в воде по перманганатной окисляемости

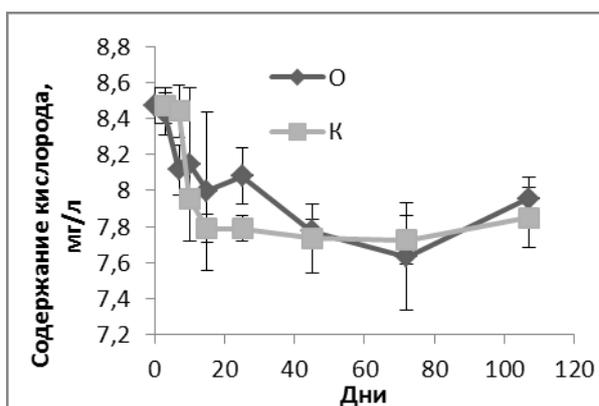


Рис. 2. Изменение содержания растворенного кислорода в воде

Для азота аммония отмечено увеличение содержания, как в контроле, так и в опыте. В контроле рост концентрации азота аммонийного наблюдали в течение 25 дней, после чего отмечено снижение до исходных значений. В опыте рост содержания аммонийных соединений также имел экспоненциаль-

ный вид, но снижение концентрации началось быстрее, после 10 суток (рис. 3), отличие от контроля незначимо.

Динамика содержания нитратов в контроле и опыте имеет разный характер. В контроле наблюдалось увеличение содержания на 7–10 сутки, после чего снизилось до исходных значений (рис. 4). В опыте наблюдалось резкое снижение нитратов в воде в течение 15 дней и в конце эксперимента увеличилось, достигнув 60% исходного значения. По-видимому, в начале эксперимента тростник поглощал нитраты из воды, а после отмирания произошел выход нитратов из растения в воду.

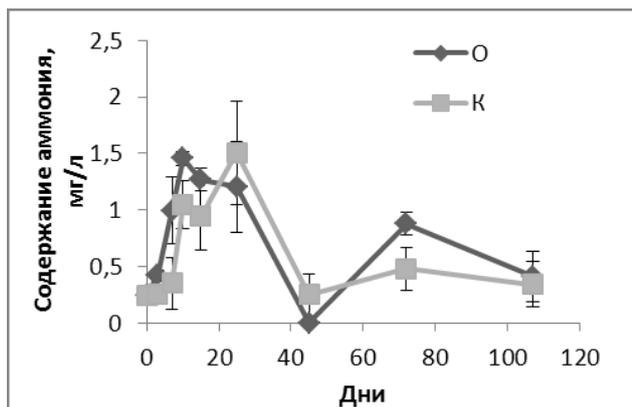


Рис. 3. Изменение содержания азота аммонийного в воде

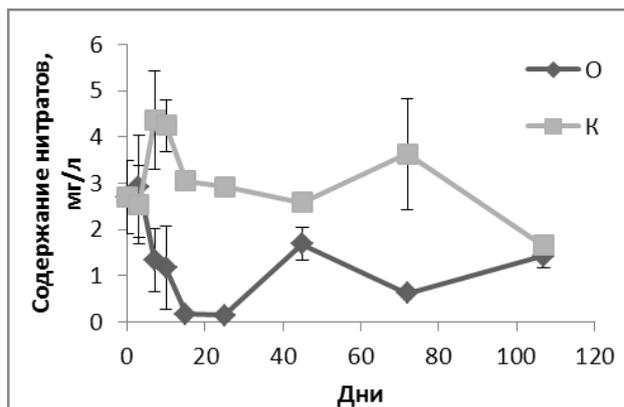


Рис. 4. Изменение содержания азота нитратного в воде

Изменение концентрации общего фосфора в опыте и контроле было практически симметричным в течение 25 суток (рис. 5). А после отмирания клеток тростника и выхода органического фосфора в воду произошел всплеск содержания общего фосфора в опыте. Повышенное содержание общего фосфора в опыте по сравнению с контролем сохранялось до конца эксперимента.

Статистически значимое влияние макрофитов на качество воды было отмечено в отношении железа, марганца и свинца. Если выход железа и марганца в воду можно объяснить тем, что они являются эссенциальными элементами и играют важную роль в функционировании клеток растения (рис. 6–7), то резкое повышение содержания свинца (рис. 8) в воде в опыте связано с его накоплением макрофитами из окружающей среды.

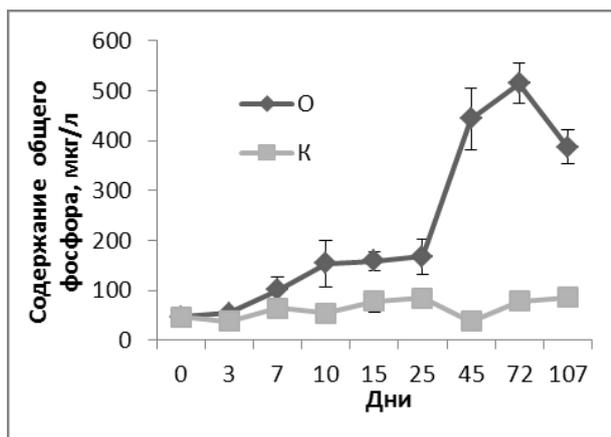


Рис. 5. Изменение содержания общего фосфора в воде

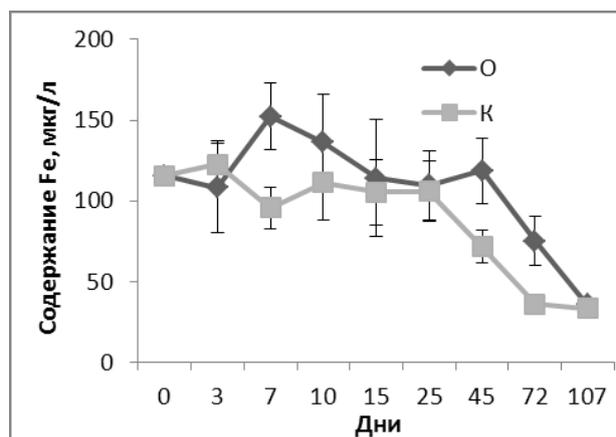


Рис. 6. Изменение содержания ионов железа в воде

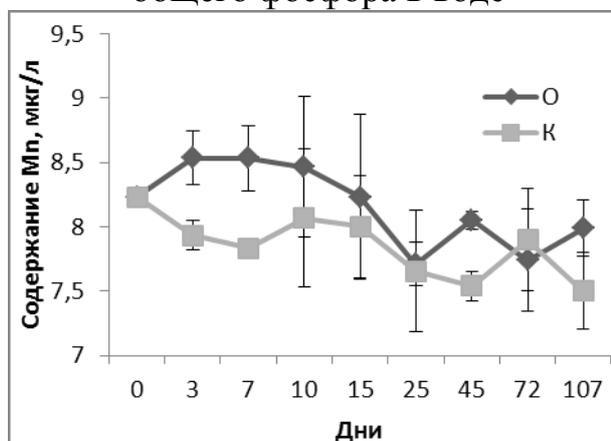


Рис. 7. Изменение содержания ионов марганца в воде

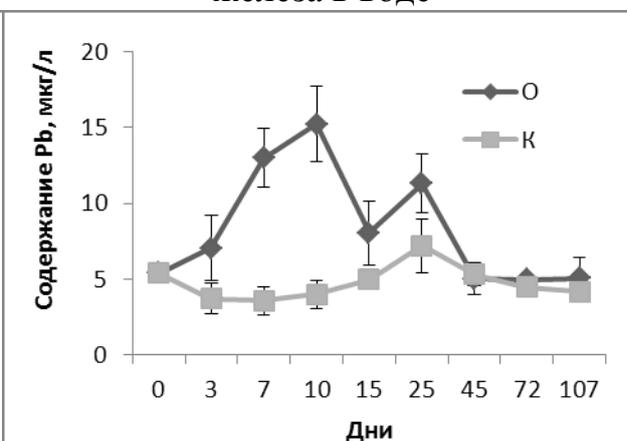


Рис. 8. Изменение содержания ионов свинца в воде

Результаты проведенного эксперимента показали, что качество воды значительно меняется в первые две недели, в течение которых происходит отмирание клеток тростника. При его отмирании в зимний период в воде увеличивается содержание легкоокисляемых органических веществ, а также общего фосфора, железа, марганца и свинца. Изменение содержания аммония и растворенного кислорода в воде не связано с влиянием тростника, а обусловлено деятельностью бактериопланктона.

Библиографический список

1. Алимов А. Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем. М. : Наука, 2000. 142 с.
2. Banks L. K., Frost P. C. Biomass loss and nutrient release from decomposing aquatic macrophytes: effects of detrital mixing // *Aquat. Sci.* 2017. Vol. 79. Iss. 4. P. 881–890 doi: 10.1007/s00027-017-0539-y
3. Christensen J. R., Crumpton W. G., Valk A. G. Van Der. Estimating the breakdown and accumulation of emergent macrophyte litter: A mass-balance approach // *Wetlands.* 2009. Vol. 29. P. 204–214. doi.org/10.1672/08-27.1

4. Winter decomposition of emergent macrophytes affects water quality under ice in a temperate shallow lake / Y. Wei, M. Zhang, L. Cui, X. Pan, W. Liu, W. Li and Y. Lei // Water. 2020. Vol. 12. P. 2640. doi:10.3390/w12092640

5. РД 52.24.419-2005. Массовая концентрация растворенного кислорода в водах. Методика выполнения измерений йодометрическим методом.

6. ПНД Ф 14.1:2.4.154-99. Методика измерений перманганатной окисляемости в пробах питьевых, природных и сточных водах титриметрическим методом.

7. ПНД Ф 14.1:2.1-95. МВИ массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера.

8. ПНДФ 14.1:2.4-95. МВИ Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрат-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом с салициловой кислотой

9. ПНД Ф 14.1:2.4.248-07. Методика выполнения измерений массовых концентраций ортофосфатов, полифосфатов и фосфора общего в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом.

10. ПНД Ф 14.1:2.4.135-98. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой.

СОВРЕМЕННЫЙ АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫЙ ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ФОН, СЛОЖИВШИЙСЯ В АКВАТОРИИ р. КАЗАНКИ

Р. Н. Сабанаев¹, О. В. Никитин¹, В. З. Латыпова^{1,2}, Н. Ю. Степанова¹

¹ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,

*² Институт проблем экологии и недропользования Академии и наук
Республики Татарстан, ruslans_90@mail.ru*

В статье на основе ежемесячного мониторинга воды р. Казанки в 2014–2017 гг. дана оценка современного антропогенно-измененного содержания приоритетных загрязняющих веществ (фосфора, азота, БПК₅, нефтепродуктов), сложившегося в акватории реки в зонах полного смешения под влиянием природных геохимических особенностей территории и нарастающих во времени антропогенных факторов в точках, исключаящих прямое воздействие организованных источников. Современный антропогенно-измененный гидрохимический фон, сложившийся в акватории внутригородских водных объектов, может являться основным критерием оценки их состояния и управления качеством водных ресурсов.

Ключевые слова: внутригородской водный объект, биогенные элементы, взвешенное вещество, нефтепродукты, антропогенное эвтрофирование.

Учет региональных природных особенностей конкретного водного объекта положен в основу управления качеством водных ресурсов [1–4]. Гидрохимический фон, формируемый в пресноводных экосистемах под влиянием как природных геохимических особенностей территории, так и нарастающих во времени антропогенных факторов, является антропогенно-измененным [1–7].

Целью данной работы является оценка на основе результатов многолетних экспедиционных и лабораторных исследований 2014–2017 гг. современного антропогенно-измененного содержания приоритетных загрязняющих веществ, сложившегося в акватории реки в зонах полного смешения в точках, исключающих прямое воздействие организованных источников загрязнения.

В ходе экспедиционных выездов и ежесезонных натурных обследований в течение 2014–2017 гг. отбирали пробы поверхностных вод р. Казанки в пунктах полного смешения, исключающих воздействие выпусков поверхностных стоков с территории г. Казани и сбросов сточных вод промышленных предприятий.

Отбор проб поверхностных вод проводили в акватории реки в фоновых створах (табл. 1), исключающих воздействие выпусков поверхностных стоков с территории г. Казани и сточных вод предприятий (ОАО «КМПО», ПАО «Туполев» Казанский авиационный завод им. С. П. Горбунова, ОАО «КОМЗ», ГАУЗ «Казанский противотуберкулезный диспансер», «Казанская ТЭЦ-3»), то есть в зонах полного смешения.

В указанных фоновых створах поверхностных вод р. Казанки вне черты г. Казани в период 2014–2017 гг. ежемесячно отбирали по 3 пробы поверхностных вод. Определение концентрации приоритетных загрязняющих веществ (фосфат-, нитрат-, нитрит-ионов, ионов аммония, нефтепродуктов, а также показателя БПК₅) выполняли с использованием унифицированных, либо стандартных методик.

Таблица 1

Расположение фоновых створов в акватории р. Казанки

№ п/п	Географические координаты (с.ш., в.д.)
1	55.885826, 49.164515
2	55.873475, 49.183055
3	55.857226, 49.168380

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Statistica 8.0.

На основе результатов системного мониторинга были рассчитаны среднемесячные концентрации веществ в воде р. Казанки (табл. 2), при этом месяц с наибольшим значением концентрации вещества принимали за основной (опорный).

Таблица 2

Среднемесячные концентрации приоритетных загрязняющих веществ в воде р. Казанки (на примере 2016 г.)

Месяцы											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PO ₄ ³⁻ , мгP/дм ³											
0,040	0,041	0,040	0,035	0,034	0,032	0,009	0,008	0,039	0,044	0,044	0,046
NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³											
0,667	0,813	1,13	0,872	0,700	0,728	0,841	1,024	0,820	0,539	0,577	0,659

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NO ₂ ⁻ , мгN/дм ³											
0,077	0,062	0,054	0,066	0,108	0,098	0,114	0,100	0,092	0,080	0,072	0,080
NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³											
0,703	0,759	0,332	0,737	0,949	1,059	1,025	0,910	0,733	0,685	0,307	0,692
БПК ₅ , мгO ₂ /дм ³											
1,256	1,154	1,198	1,473	1,675	1,583	1,614	1,619	1,417	1,487	1,359	1,279
Нефтепродукты, мг/дм ³											
0,031	0,027	0,048	0,084	0,088	0,082	0,076	0,083	0,074	0,051	0,037	0,035

Фоновые концентрации (C_{ϕ}^*) приоритетных загрязняющих веществ были рассчитаны в соответствии с «Методическими рекомендациями» [8] по формуле: $C_{\phi}^* = C_{\phi(\text{ср})} + \frac{\sigma_{St}}{\sqrt{n}}$, где $C_{\phi(\text{ср})}$ – средняя концентрация вещества в основном (опорном) месяце; σ – среднеквадратическое отклонение значений концентрации в этом месяце; n – число данных в градации. Непоказательные экстремальные значения $C_{\phi(\text{ср})}$ были исключены при соблюдении условий, прописанных в рекомендациях [8].

Проведенный статистический анализ с использованием метода дисперсионного однофакторного анализа и непараметрического метода проверки данных по критерию Вилкоксона (парный) при сравнении полученных данных продемонстрировал отсутствие значимых отличий межгодовых значений показателей качества воды с доверительной вероятностью $P=0,95$, что позволяет [8] объединить полученные данные. Рассчитанные значения C_{ϕ}^* в сравнении с соответствующими величинами ПДК_{р/х} представлены на рисунке.

Выявлено, что значения C_{ϕ}^* фосфат-, нитрат-ионов и легко-окисляемых органических соединений (по БПК₅) ниже установленных нормативов (ПДК_{р/х}). Использование более «мягких» действующих нормативов ПДК_{р/х} в этих случаях теряет смысл как официально разрешающее поступление биогенов до достижения в воде нормативного значения. Современный антропогенно-измененный гидрохимический фон, сложившийся в акватории внутригородских водных объектов, может являться основным критерием оценки их состояния и управления качеством водных ресурсов.

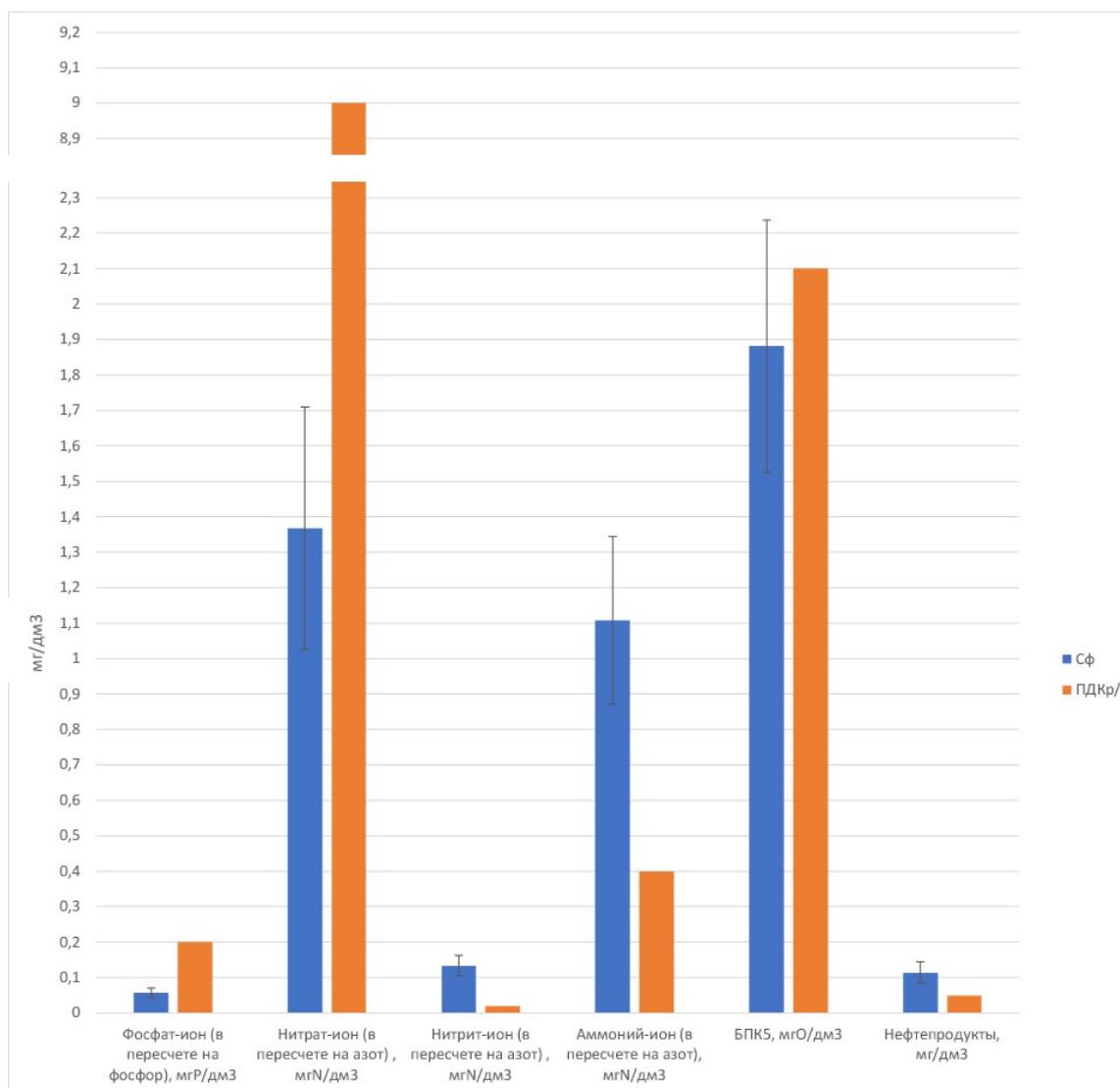


Рис. Фоновые концентрации приоритетных загрязняющих веществ в поверхностных водах р. Казанки и ПДК_{р/х}

Библиографический список

1. Никаноров А. М., Брызгалов В. А., Черногаева Г. М. Антропогенно-измененный природный фон и его формирование в пресноводных экосистемах России // Метеорология и гидрология. 2007. № 11. С. 62–79.
2. Куйбышевское водохранилище: экологические аспекты водохозяйственной деятельности / под ред. В. З. Латыповой. Казань : Изд-во ФЭН, 2007. 320 с.
3. Шагидуллин Р. Р. Формирование системы эколого–аналитического контроля равнинного водохранилища : дис. ... д-ра хим. наук. Казань : КНИТУ, 2012. 376 с.
4. Региональные среднемноголетние значения показатели качества поверхностных вод Куйбышевского водохранилища / В. З. Латыпова, Н. Ю. Степанова, О. В. Никитин, Ф. М. Шакирова, С. А. Удачин, О. Ю. Тарасов, Е. Г. Мухаметшина // Труды ГосНИОРХ. 2016. № 14. С. 39–48.
5. Савичев О. Г. Метод оценки допустимых антропогенных изменений химического состава поверхностных вод // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 4. С. 51–55.
6. Никаноров А. М., Емельянова В. П. Комплексная оценка качества поверхностных вод суши // Водные ресурсы. 2005. Т. 32. № 1. С. 61–69.

7. Новый подход к оценке состояния запасов рыб на примере леща / В. Г. Терещенко, Ф. М. Шакирова, В. З. Латыпова, Н. Ю. Степанова, Ю. А. Северов, О. К. Анохина, А. Р. Гайсин, А. В. Гранин, Р. Р. Нуретдинов // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 57–64. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-097-104

8. РД 52.24.622-2017 «Порядок проведения расчетов условных фоновых концентраций химических веществ в воде водных объектов для определения нормативов допустимых сбросов сточных вод». 2017.

АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ РЕКИ ХУДОЛАЗ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Г. Г. Бускунова, Г. Р. Ильбулова

Сибайский институт (филиал)

Башкирского государственного университета, gulsina_busk@mail.ru

Изучено содержание тяжелых металлов в воде реки Худолаз протекающей по территории г. Сибай Республики Башкортостан. Содержание Cu (8–19 раза), Zn (3,4–12,4 раза), Fe (1,63 раза), Ni (1,5–32,8 раза), Mn (1,1–2,4 раза), Pb (13,3 раза), Co (1,2–1,8 раза) в воде превышали предельно-допустимые концентрации рыбохозяйственного назначения, за исключением Cd.

Ключевые слова: тяжелые металлы, предельно-допустимые концентрации, максимально допустимые уровни

Город Сибай Республики Башкортостан (РБ) является наиболее крупным населенным пунктом Зауралья РБ и одним из наиболее значимых промышленных, культурных и образовательных центров. Для Зауралья РБ, где развитым является горнорудное производство, характерны экологические проблемы, связанные с загрязнением объектов окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ). Характерными загрязнителями являются Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Ni, Co Pb. Основным источником загрязнения окружающей среды г. Сибай является Сибайский филиал Учалинского горно-обогатительного комбината (СФ УГОК). В связи с этим изучение содержания ТМ в воде р. Худолаз является актуальным.

Исследования проводились в июле 2020 г. вдоль реки Худолаз (рис. 1), протекающий в окрестностях г. Сибай РБ на 5 пробных площадках (ПП).

Для отбора образцов воды подготовили чистую емкость объемом 0,5 л, в которой была питьевая негазированная вода без добавок. Перед наполнением емкости воды в исследуемых точках, промыли той же водой, которая была собрана для изучения. Емкости с соответствующими надписями отправили на анализы в центральную лабораторию СФ УГОК г. Сибай (№ РОСС RU.000155358). Содержание Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Pb, Cd, Co (мг/кг) в образцах воды определяли методом атомной абсорбции.

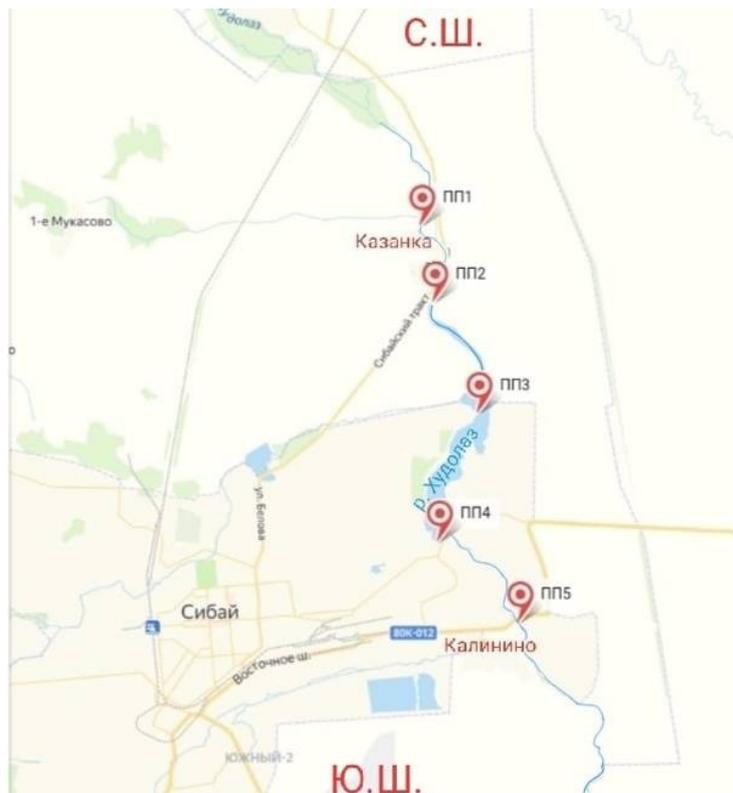


Рис. 1. Карта-схема расположения пробных площадок вдоль реки Худолаз

Для оценки качества воды р. Худолаз руководствовались следующими нормативными документациями: ГН [1] и Приказ Министерства сельского хозяйства РФ [2].

Согласно [2] предельно допустимые концентрации вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рыб.хоз}) для Cu установлен на уровне 0,001 мг/дм³, Zn – 0,01 мг/дм³, Fe – 0,1 мг/дм³, Ni – 0,01 мг/дм³, Mn – 0,01 мг/дм³, Pb – 0,006 мг/дм³, Cd – 0,005 мг/дм³, Co – 0,01 мг/дм³.

Для выяснения изменчивости содержания ТМ в образцах воды был вычислен коэффициент вариации (C_v, %). Если C_v до 10% – низкая; от 11% до 20% – средняя; от 21% и выше высокая изменчивость признаков [3].

Для выявления связей между содержанием ТМ в воде был выполнен корреляционный анализ [4]. Оценку силы влияния факторов проводили по Н.А. Плохинскому [5]: если r до 0,25 – слабая, от 0,25 до 0,5 – средняя, от 0,6 до 0,8 – сильная связь. Коэффициент корреляции считался достоверным при значимости $p \geq 0,05$ [4].

Содержание Cu (35,4%), Zn (51,9%), Fe (47,0%), Ni (195,3%), Mn (60,8%), Pb (196,8%), Cd (47,5%), Co (76,2%) в воде реки Худолаз характеризовались высокой изменчивостью (C_v более 21%).

Среднестатистические значения тяжелых металлов (мг/дм³) в воде убывали в ряду: Fe (0,09) > Ni (0,073) > Zn (0,071) > Pb (0,018) > Cu (0,012) > Mn (0,012) > Co (0,0084) > Cd (0,00024).

Содержание Cu (8–19 раза), Zn (3,4–12,4 раза), Fe (1,63 раза), Ni (1,5–32,8 раза), Mn (1,1–2,4 раза), Pb (13,3 раза), Co (1,2–1,8 раза) в воде превышали ПДКрыб.хоз. Концентрация Cd в воде находились в пределах ПДКрыб.хоз. (рис. 2).

Концентрации Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Co в воде р. Худолаз не превышали ПДКкульт.быт., за исключением Ni (16,4 раза) и Pb (2,6 раза) в ПП4.

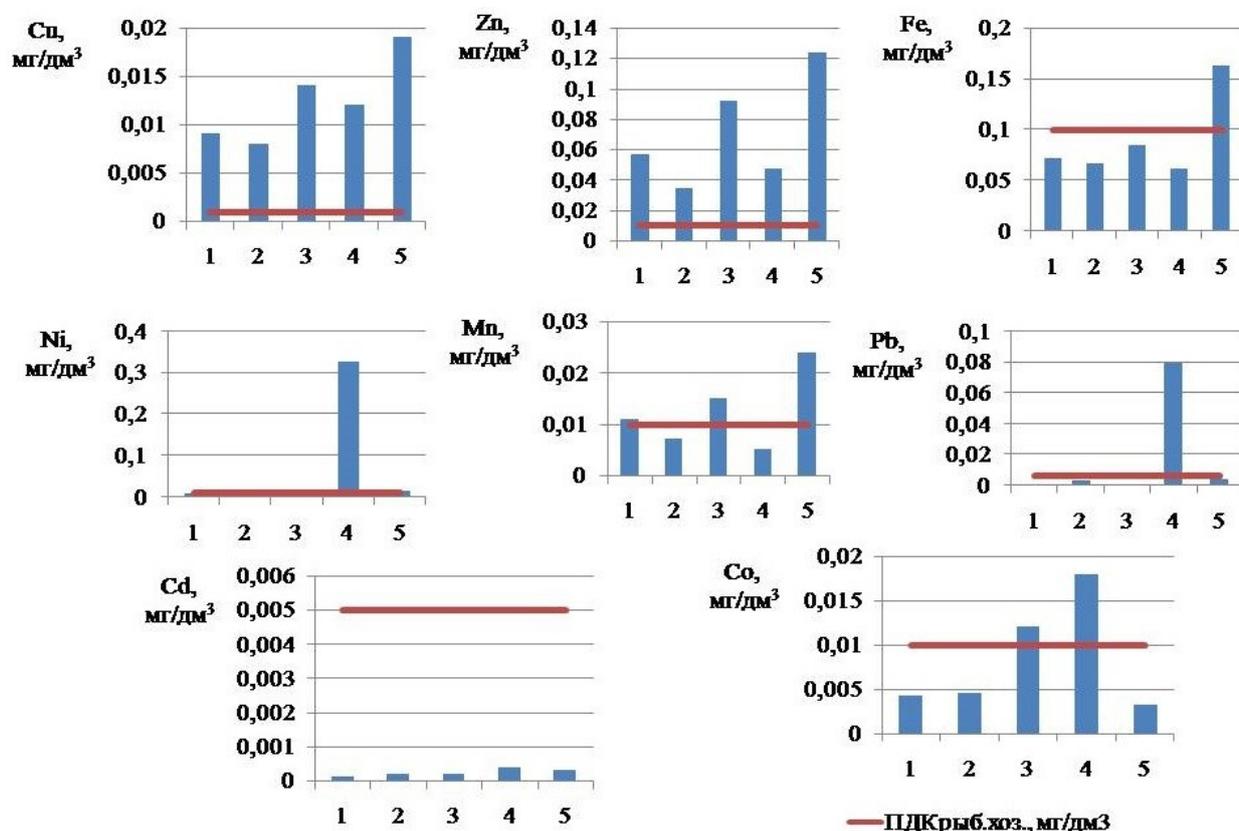


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в воде реки Худолаз

Корреляционный анализ показал, что между содержанием цинка в воде и содержанием меди ($r = 0,90$; $p = 0,04$), железа ($r = 0,90$; $p = 0,04$), марганца ($r = 0,90$; $p = 0,04$) в воде наблюдается положительная достоверная корреляционная связь (рис. 3). Цинк усиливает токсичность меди, железа и марганца проявляется синергизм.

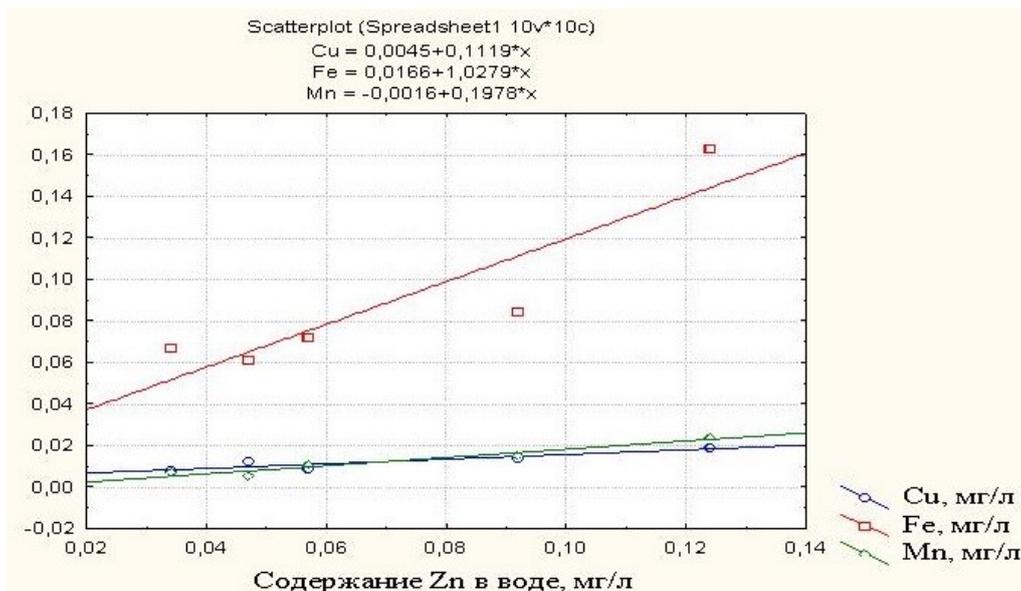


Рис. 3. Взаимозависимость тяжелых металлов в воде реки Худолаз

Таким образом, водоемы расположенные вблизи городов и промышленных предприятий испытывают на себе антропогенную нагрузку, которая выражается в повышении содержания ТМ на исследуемых площадках, следовательно, и в превышение предельно-допустимых концентраций.

Библиографический список

1. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М., 2003. 23 с.
2. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ № 552 от 13.12.2016 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
3. Зайцев Г. Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М. : Наука, 1973. 424 с.
4. Лакин Г. Ф. Биометрия. М. : Высшая школа, 1980. 293 с.
5. Плохинский Н. А. Биометрия. М. : МГУ, 1970. 360 с.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ В р. РОЙКЕ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Ю. П. Полатаева, Т. И. Кутявина

Вятский государственный университет, kutyavinati@gmail.com

В статье представлены результаты химического анализа проб воды из р. Ройки, протекающей по территории Уржумского района Кировской области. Отмечено, что содержание органических веществ, определяемое по показателям ХПК и БПК₅, и содержание фосфат-ионов уменьшается в 2 и 7 раз соответственно в пробах воды, отобранных в среднем течении реки, по срав-

нению с пробами, отобранными вблизи истока реки. Содержание минеральных форм азота и показатель рН на разных участках р. Ройки изменяются незначительно.

Ключевые слова: качество воды, река Ройка, химическое потребление кислорода, биохимическое потребление кислорода, азот, фосфор.

Главной водной артерией Кировской области является р. Вятка. Вода из неё используется для питьевого водоснабжения около 40% населения области, проживающего в крупных населённых пунктах региона [1]. Природоохранные и научные организации региона осуществляют регулярные наблюдения за качеством воды в р. Вятке и некоторых её крупных притоках (общее количество притоков более 80), данные наблюдений публикуются в ежегодных региональных докладах, например, в [1]. В то же время, сведения о качестве воды многих рек региона, впадающих в Вятку, в научной литературе немногочисленны, требуют уточнения и дополнения.

Цель данной работы – оценка качества воды в р. Ройке, притоке р. Вятки, по содержанию соединений азота и фосфора, а также органических веществ.

Река Ройка (Воложка) протекает по территории Уржумского района Кировской области. Длина реки составляет 31 км, площадь водосбора 217 км². Исток р. Ройки находится у с. Лазарево (население 1257 чел.), недалеко от границы с Марий Эл, далее река протекает через дер. Танабаево (население 187 чел.) и с. Большой Рой (население 617 чел.). Устье реки расположено у дер. Шишкино (население 18 чел.), в 208 км по правому берегу р. Вятки.

Для исследования были отобраны пробы воды на четырёх участках р. Ройки (рис.). Участки 1 и 2 находятся вблизи с. Лазарево, участки 3 и 4 – ниже по течению реки, в районе дер. Танабаево. Участок 1 находится у истока реки, его условно приняли за фоновый. Участок 2 находится примерно в 500 м ниже по течению р. Ройка. В 50 м от этого участка располагается отстойник Ройского спиртзавода. Участки 3 и 4 находятся в 8,5 км ниже по течению р. Ройка, на расстоянии 700 м друг от друга. Участок 3 располагается выше по течению реки от дер. Танабаево, участок 4 – ниже. В реку впадает несколько ручьёв, используемых местными жителями для культурно-бытовых целей. На участках 1, 3 и 4 дно реки песчаное, на участке 2 – илистое.

Пробы на участках 1 и 2 отбирали в осенний период 2018–2020 гг., пробы на участках 3 и 4 – в осенний период 2019, 2020 гг. Расположение участков отбора проб воды в р. Ройка представлено на рисунке. Отбор проб проводили с глубины 0,3 м. Во время пробоотбора определяли запах, цветность, наличие плавающих примесей в воде, что позволяет предварительно оценить качество воды в реке по органолептическим показателям.



Рис. Участки отбора проб воды в р. Ройка

Химический анализ проб воды проводили на базе лабораторий института химии и экологии Вятского государственного университета в соответствии с аттестованными методиками измерений. В ходе проведения анализа определяли водородный показатель (рН), содержание ионов аммония, нитритов и нитратов, фосфат-ионов. Также были определены химическое и биохимическое потребление кислорода (ХПК и БПК₅ соответственно). Два последних показателя позволяют оценить содержание органических веществ в воде и в целом экологическое состояние водного объекта. Полученные результаты гидрохимического анализа сравнивали с нормативами СанПиН 2.1.5.980-00, установленными для водных объектов, находящихся в черте населённых мест, а также использующихся в рекреационных целях.

При определении органолептических показателей в 2019–2020 гг. отмечали интенсивный сероводородный запах (от 2 до 5 баллов) в пробах воды, отобранных на участке 2. На остальных участках запах характеризовался слабой интенсивностью (менее 2 баллов). Цветность воды на участке 2 была выше по сравнению с другими участками. Во всех отобранных пробах присутствовали плавающие примеси различного происхождения. В пробах воды, отобранных на участках 3 и 4, в малом количестве были обнаружены растительные остатки, на участке 4 – единичные экземпляры низших ракообразных. Интенсивный запах и высокая цветность воды на участке 2, возможно, связаны с процессами разложения органических веществ в воде, о высоком содержании которых можно судить по значениям показателей ХПК и БПК₅ (табл.).

По показателю рН (7,1–7,2 ед.) вода на всех участках в 2018–2020 гг. относилась к группе «нейтральные воды», за исключением проб, отобранных в осенний период 2019 г. на участке №2 (рН = 5,9 ед., «слабокислые воды»).

Содержание ионов аммония, нитрит- и нитрат-ионов на всех исследуемых участках было небольшое, ниже ПДК_{к-б.}. В 2018 г. в воде р. Ройки из минеральных форм азота преобладала нитратная форма. В 2019 г. наблюдали такую же ситуацию, за исключением участка 2, в воде которого преобладали ионы аммония. По сравнению с 2018 г., в 2019 г. содержание аммонийного

азота на этом участке возросло с 0,35 до 3,22 мг/дм³, а содержание нитрат-ионов снизилось с 15,8 до 0,1 мг/дм³. Высокое содержание аммонийного азота, по сравнению с участками 1, 3, 4, может быть связано как с поступлением ливневых сточных вод с территории с. Лазарево, так и с поступлением воды из отстойника Ройского спиртзавода.

Концентрация фосфат-ионов в воде отличалась на всех участках пробоотбора: максимальная была зафиксирована на участке 2 (7,5 мг/дм³), минимальная – на участке 1 (менее 0,05 мг/дм³). Отмечено увеличение содержания фосфат-ионов на участке 2, по сравнению с участком 1, и на участке 4, по сравнению с участком 3. Возможно, на увеличение содержания фосфат-ионов в воде р. Ройки повлияло поступление ливневых сточных вод, остатков моющих средств, фосфорных удобрений [2], воды из отстойника Ройского спиртзавода. Стоит отметить, что концентрация фосфат-ионов в воде р. Ройки вблизи дер. Танабаево была на порядок ниже, чем на втором участке пробоотбора, ниже с. Лазарево. Известно, что уменьшение содержания соединений фосфора в воде связано с потреблением его водными организмами, а также переходом в донные отложения при образовании нерастворимых фосфатов [3].

Согласно классификации качества вод по А. А. Былинкиной и С. М. Драчеву, представленной в [4], по величине БПК₅ (табл.) вода на участке 3 относится к категории чистых вод, на участке 4 – умеренно загрязнённых, на участке 1 – загрязнённых, а на участке 2 – грязных вод. На участке 2 величина БПК₅ превышает установленный СанПиН 2.1.5.980-00 норматив (табл.). Величина БПК позволяет оценить количество легкоокисляемых органических веществ в воде. В незагрязнённых природных водах источниками таких веществ могут быть прижизненные выделения обитающих в воде организмов и их посмертные остатки. В водных объектах, испытывающих антропогенную нагрузку, значительным источником нестойкого органического вещества могут быть также попадающие в водоёмы и водотоки сточные воды (хозяйственно-бытовые, пищевой промышленности и т.д.) [3], поверхностный сток с сельскохозяйственных угодий. Более низкие значения БПК₅ на участках 3 и 4, в сравнении с участками 1 и 2, могут быть связаны как с разбавлением воды в р. Ройка водами её притоков (р. Одинурки и ручьёв), так и с самоочищающей способностью р. Ройки.

Таблица

Результаты определения показателей ХПК и БПК₅ в пробах воды из р. Ройки в 2020 г.

Место отбора	ХПК, мгО/дм ³	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³
Участок 1 (фон)	73±15	3,0±0,4
Участок 2	74±15	5,0±0,7
Участок 3	30±9	1,30±0,18
Участок 4	35±11	2,22±0,31
Норматив по СанПиН 2.1.5.980-00	30	4

По показателю ХПК, так же, как и по БПК₅, отмечены более высокие значения на участках, ближе расположенных к истоку реки (табл.). В районе дер. Танабаево содержание трудноокисляемых органических веществ, косвенно определяемое по ХПК, снижется в 2 раза, что также может быть связано как со смешением воды р. Ройка с водой её притоков, так и с процессами самоочищения воды в реке. На всех участках, кроме участка 3, в 2020 г. зафиксировано превышение норматива по ХПК. Обобщая данные таблицы, можно сказать, что для р. Ройки в районе с. Лазарево и дер. Танабаево характерно довольно высокое содержание органических веществ в воде, что может быть связано как с природными особенностями территории, так и с антропогенным воздействием.

Таким образом, нами проведена оценка качества воды на четырёх участках р. Ройка Уржумского района. Наиболее загрязнённой водой по содержанию минеральных форм азота и фосфора, органических веществ характеризуется участок 2. При продвижении от истока реки (с. Лазарево) к её среднему течению (дер. Танабаево) содержание органических веществ в воде уменьшается почти в 2 раза, содержание минеральных форм фосфора – в 7 и более раз, концентрация минеральных форм азота и показатель рН изменяются незначительно. Качество воды в р. Ройке связано как с природными особенностями территории, так и с антропогенным воздействием: использованием воды в реке для культурно-бытовых целей, поступлением с водосбора ливневых сточных вод, остатков удобрений и моющих средств.

Работа по обобщению результатов выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных – кандидатов наук (МК-5830.2021.1.5).

Библиографический список

1. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2019 году: Региональный доклад / Под общей редакцией А. В. Албеговой. Киров : Министерство охраны окружающей среды Кировской области, 2020. 208 с. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kirovreg.ru/econom/ecology/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%202019.pdf> (дата обращения: 16.03.2021)
2. Башкот Е. Н., Ижаев И. А.-Ю. Оценка экологической ситуации на реках Тебердинского заповедника // Теоретическая и прикладная экология. 2007. № 3. С. 39–43. doi: 10.25750/1995-4301-2007-3-039-043
3. Никаноров А. М., Иваник В. М. Словарь-справочник по гидрохимии и качеству вод суши (понятия и определения). Ростов-на-Дону : Институт водных проблем, 2014. 548 с.
4. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.

СОВРЕМЕННОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОСБОРА р. НОКСА

*Р. А. Рыков, О. Н. Урбанова, Ю. В. Мутыгуллина,
А. Т. Горшкова, Н. В. Бортникова*

*Институт проблем экологии и недропользования Академии наук
Республики Татарстан,
Rykov97@gmail.com*

Оценка современного экологического состояния водосбора р. Нокса основана на анализе большого количества природных факторов, формирующих сток р. Нокса, и антропогенной нагрузки на территорию бассейна, включающую данные статистической отчетности 2-ТП(водхоз).

Ключевые слова: экологическое состояние, бассейн, река Нокса, антропогенная нагрузка.

Для оценки экологического состояния бассейна малой реки необходимо наличие определенного объема исходной информации как природного, так и водохозяйственного характера. Методы оценки такого состояния связаны со спецификой бассейнов, заключающейся в небольших размерах водосбора, его невысоком энергетическом потенциале, низкой способности противостоять антропогенной нагрузке, что в итоге приводит к количественным и качественным изменениям и, как следствие, к возникновению экологических проблем.

Одним из подходов к оценке современного экологического состояния водосбора р. Нокса является комплексный анализ максимально большого количества природных и хозяйственных факторов формирования стока реки, детальное изучение гидрометеорологических процессов и явлений на водосборе в совокупности с анализом данных сетевых и специальных гидрологических наблюдений.

Река Нокса является 41 левым притоком р. Казанка, протекающей по территории Пестречинского и Высокогорского муниципальных районов Республики Татарстан (РТ), а также по территории г. Казани. Исток реки расположен в 5 км к северо-востоку от с. Старое Коцаково, в одном из оврагов в чаще Барского леса, в своеобразном гроте, верхний свод которого сформирован свисающими корнями деревьев. Устье реки находится у жилого массива Малые Дербышки (Советский район г. Казани). Длина р. Нокса равна 42,0 км, площадь водосбора 215 км² [1]. По основным гидрографическим характеристикам р. Нокса относится к категории «самые малые реки» как по длине (20–100 км) и площади водосбора (50–500 км²), так и по величине расхода воды (0,1–1,0 м³/сек). Река Нокса принимает 7 притоков, длина которых от 1,7 до 7,4 км. Густота речной сети в бассейне составляет 0,22 км/км².

В Государственном водном реестре р. Нокса значится под кодом 11010000112112100003397. Водоохранная зона реки составляет 100 м.

По характеру рельефа территория водосбора реки представляет собой возвышенное плато, расчлененное длинными (4–5 км), покрытыми лесными массивами, балочными системами и балками с луговой растительностью. Долина Ноксы асимметричная, с левыми крутыми склонами в верховьях реки и правыми крутыми склонами в среднем и нижнем течении. На склонах долины распространены карстовые озерца и воронки, особенно в истоках реки, формирование которых связано с близко залегающими к поверхности доломитово-известняковыми толщами. Кроме карста, в долине Ноксы очень сильно развита овражная эрозия, средняя густота которой достигает 0,9–1,1 км/км². Большое количество крупных глубоких оврагов сформировалось по правому берегу р. Нокса у поселков Вишневка, Вознесенское (овр. Каменный), Самосырово (овр. Малютка), Константиновка (овр. Зимний). Имеются овраги и по левому берегу реки между пос. Куюки и Салмачи (овр. Медянский, овр. Салмачинский), в самом пос. Салмачи, а также в пределах города в районе ул. Минская.

Такое количество оврагов говорит о непрочности почвенного покрова водосбора, который в значительной степени подвержен эрозионным процессам, возникающим в результате воздействия как природных, так и антропогенных факторов. В бассейне Ноксы преобладают светло-серые лесные и дерново-подзолистые почвы с вкраплениями серых лесных. Пойма реки сложена аллювиальными дерновыми почвами, преимущественно песчаными, слоистыми, слабо переработанными почвенной фауной и корневыми системами растений. Водораздельные участки и верхние склоны долины покрыты дерново-подзолистыми почвами. На средних и низких участках выровненных склонов преобладают светло-серые лесные почвы [2].

Одним из основных природных факторов, способствующих развитию почвенной эрозии, является климат (количество, интенсивность и величина капель дождевых осадков, мощность снегового покрова и интенсивность его таяния). Климат бассейна умеренно континентальный с теплым летом и умеренно холодной зимой. Период с положительными средними месячными температурами воздуха длится с апреля по октябрь. Самым теплым месяцем является июль, средняя температура воздуха которого составляет +20 °С при абсолютном максимуме в +38 °С. Период с отрицательными средними месячными температурами воздуха продолжается с ноября по март. Наиболее холодный месяц года – январь с температурой -13°С при абсолютном минимуме -44°С. Годовое количество осадков составляет 508 мм. За теплый период выпадает 373 мм осадков, а за холодный – 135 мм. Количество осадков, выпадающих в жидком виде (дожди) составляет 69%, в твердом виде (снег) – 21%, смешанные осадки – 10%. Образование устойчивого снежного покрова отмечается 18 ноября. Средняя дата схода снега приходится на 12 апреля. Образовавшийся снежный покров на территории водосбора, наибольшие запасы воды в котором достигают 126 мм, является основным источником питания реки.

Нокса имеет извилистое, неразветвленное русло, ширина которого составляет 2–8 м. Река мелководна (0,8–1,5 м на плесах и 0,3–0,5 м на перекатах), с небольшими скоростями течения (0,3–0,4 м/с на перекатах и 0,1–0,2 м/с на плесах).

Режим реки изучался непродолжительное время на водомерных постах у сел Троицкая Нокса (1934 г.) и Малые Дербышки (1945–1946 гг.), но результаты этих наблюдений не были опубликованы в виду того, что посты были открыты для решения конкретных хозяйственных задач (строительство мостов). В гидрологическом режиме реки четко выделяются весеннее половодье, за время которого проходит до 80% годового стока, и неустойчивая и очень низкая межень. Весеннее половодье проходит быстро и бурно. Средне-многолетние расходы половодья изменяются по длине реки от 5,2 до 7,5 м³/сек. Наибольшая высота половодья над предвесенним уровнем воды равна 474 см. Максимальная многолетняя интенсивность подъема воды в реке составляет 214 см в сутки. Средне-многолетние расходы межени возрастают по длине реки от 0,06 м³/сек в истоках до 0,20 м³/сек в устье. Ввиду того, что подземные воды, питающие реку в летний период, поглощаются рыхлыми отложениями русла и карстовыми пустотами, река в летнее время часто пересыхает, распадаясь на цепочку плесовых озер. Зимняя межень на реке наступает с момента появления ледовых образований, обычно в первой половине ноября. Средняя продолжительность ледостава составляет 140–150 дней. Толщина льда к концу зимы достигает 55 см. Отдельные участки реки, где имеются выходы подземных вод или сбросы промышленных предприятий, не покрываются льдом.

В бассейне любой реки формируется специфический бассейновый водохозяйственный комплекс (ВХК), включающий в себя взаимоувязанные и взаимозависимые природные ресурсы и социально-хозяйственные структуры и образования, в совокупности создающие условия для жизнеобеспечения проживающего населения и функционирования экономики. Стержневой основой этого комплекса является река, а связующим звеном – водные ресурсы.

Протекая через г. Казань, р. Нокса испытывает множество эффектов современной цивилизации. Здесь водными ресурсами бассейна пользуются 15 водопользователей, официально отчитывающихся об использовании воды по форме статистической отчетности 2-ТП(водхоз).

Поскольку р. Нокса маловодна и не может обеспечить такое количество предприятий водными ресурсами, ее используют как приемник сточных и ливневых вод. Сброс загрязненных вод непосредственно в реку осуществляют ООО «Инженерные сети Кошачовские» (38,64 тыс. м³ в год) и ООО Строительная компания «УнистройДом» (114,75 тыс. м³ в год). Еще 7 водопользователей (ООО «Техстрой», ООО «Энерго сервис», АО «Керамик», АО «ЦемМаркет», ООО «Газовик», ООО СХП «Кошачовский», «ИК Богородского СП») осуществляет сброс ливневых и сточных вод в накопители в общем объеме 27,52 тыс. м³ в год, которые после отстаивания сбрасываются в р. Нокса.

12 водопользователей осуществляют забор воды из собственных подземных скважин в общем объеме 493,0 тыс. м³ в год, что отражается на подземном питании реки. Среди этих водопользователей – ООО «Инженерные сети Кошачовские», ООО «Газпром трансгаз Казань» Управление аварийно-восстановительных работ, Казанский филиал АО «Девелоперская корпорация «Антей», ООО «Энерго сервис», АО «Керамик», ООО СХП «Кошачовский», Филиал ООО УК «ПРОСТО МОЛОКО» «Казанский молочный комбинат», АО «ЦемМаркет», ООО «Газовик», «ИК Богородского СП», фирма «Никос и Мари» и даже индивидуальный предприниматель Латыпов Ильмир Галиахметович.

Отдельно отметим Константиновское ЛПУМГ ООО «Газпром трансгаз Казань», которое сбрасывает ливневые (14,1 тыс. м³ в год) и сточные (12,40 тыс. м³ в год) воды своего предприятия в р. Вертелевка (7 правый приток р. Нокса). Для производственных и хозяйственных нужд предприятие забирает воду из собственной скважины (6,20 тыс. м³ в год) и городского водопровода (24,41 тыс. м³ в год).

Все эти водопользователи расположены в нижнем течении реки, в пределах города с населением более миллиона человек. В верхней же части бассейна хорошо развито сельскохозяйственное производство. Распаханность водосбора в верхнем и среднем течении реки достигает 65–70%. Близость Казани оказывает влияние на специализацию сельскохозяйственных предприятий бассейна. Они производят, в основном, малотранспортабельные продукты питания – молоко и молочные продукты, мясо, а также картофель и овощи.

В бассейне р. Нокса расположено 14 населенных пунктов, цепочкой тянущихся вдоль реки, 6 из которых входят в состав Казани. Хозяйственно-бытовые стоки этих населенных пунктов попадают в реку и ее притоки, загрязняя их. Через реку перекинуто несколько мостов как в г. Казань (в т.ч. и железнодорожный), так и селах Кошачово (Мамадышский тракт), Гильдеево, Богородское (автодорога М-7), Вишневка, Салмачи, Вознесенское, Малые Клыки (Мамадышский тракт).

Увеличивают антропогенную нагрузку на бассейн и наличие в его пределах крупных городских кладбищ, очистных сооружений с. Самосырово, свалки твердых бытовых отходов и промышленных отходов (Константиновка, «Самосырово»), нескольких скотомогильников, летних лагерей скота, складов минеральных удобрений, многолетних фруктовых садов (н.п. Салмачи) и садовых товариществ [3].

Такая антропогенная нагрузка на данной территории является достаточно высокой, что сказывается на качестве воды в р. Нокса, в которой наблюдается превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) по 13 из 23 определяемых загрязняющих веществ (ЗВ). Основными ЗВ с превышением ПДК в 2–3 раза являются аммоний, нитриты, сульфаты, фосфаты. Данные загрязнители являются компонентами разложения органических удобрений, применяемых на землях сельхозугодий, которые окружают речную долину

Ноксы в верхнем и среднем течении. Общий уклон склонов и плоскостной смыв с сельхозугодий способствуют попаданию этих ЗВ в русло реки. Значительные превышения ПДК наблюдаются и по железу, марганцу, ртути и фенолам. Наличие данных ингредиентов в речной воде всецело связано с антропогенным прессингом промышленных объектов. ПДК фенольных соединений является следствием ливневых стоков с территории промышленных предприятий.

Индекс загрязненности воды (ИЗВ) р. Нокса, рассчитанный по суммарному составу ЗВ, позволяет охарактеризовать ее как чрезвычайно грязную, VII класса качества. Данную воду не рекомендуется использоваться в хозяйственно-бытовых целях. В целом же вода в реке Нокса гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевая, мягкая (1,5–3 мг-экв/л) весной и жесткая (6–9 мг-экв/л) зимой и летом. Общая минерализация 200–300 мг/л весной и 700–1000 мг/л в летнюю межень.

Таким образом, можно лишь свидетельствовать о плачевном состоянии речной системы р. Нокса и ее притоков. Зажатые промышленными объектами, водохозяйственными предприятиями, распаханными землями и жилой застройкой, притоки и сама Нокса являются маловодными и очень загрязненными.

Несмотря на такое состояние водосбора р. Нокса в пределах города в районах крупных жилых застроек проводится благоустройство территории вдоль правого берега. Так в 2017 г. был создан городской парк «Весна» с зонами активного и семейного отдыха, с детскими площадками и обустроенной набережной. Намечено благоустройства территории и в микрорайоне М-1 жилого комплекса «Светлая Долина».

Библиографический список

1. Водные объекты Республики Татарстан. Гидрографический справочник. Издание второе, переработанное и дополненное. Казань : Изд-во «Фолиант», 2018. 512 с.
2. Мозжерин В. И., Ермолаев О. П., Мозжерин В. В. Река Казанка и ее бассейн. Казань : МедДок, 2012. 280 с.
3. Денмухаметов Р. Р., Фадеева С. Г. Оценка влияния Казани на качество вод реки Ноксы // Чистая вода. Казань : труды VI Международного Конгресса. Казань : ООО «Куранты», 2015. С. 68–72.

ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ ХУДОЛАЗ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСТИТЕЛЬНЫХ ТЕСТ-СИСТЕМ

Г. Ш. Кужина, Г. А. Ягафарова
Сибайский институт (филиал) Башкирского государственного
университета, kuzhina_gsh77@mail.ru

В статье представлен опыт применения биотестирования для оценки токсичности донных отложений р. Худолаз с использованием растительных

тест-систем. Грунты всех створов реки загрязнены тяжелыми металлами (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd, Ni, Co). По суммарному показателю загрязнения осадки водотока относятся к чрезвычайно опасной степени загрязнения. Наиболее чувствительной тест-системой следует считать редис. При этом грунты зоны промышленного освоения реки обладают токсичным действием на растительные тест-системы.

Ключевые слова: биотестирование, тяжелые металлы, река Худолаз, донные отложения, суммарный показатель загрязнения.

Малые реки Башкирского Зауралья испытывают систематическое воздействие со стороны предприятий горнодобывающего и горноперерабатывающего комплекса, являющихся источниками тяжелых металлов (ТМ) [1]. Соединения этих загрязнителей способны мигрировать по звеньям водной экосистемы и накапливаться в наиболее инерционном её звене - донных отложениях (ДО). При этом грунты становятся вторичными загрязнителями водоема [2].

Для населения небольшого горняцкого города Сибай особый интерес представляет р. Худолаз (Туяляс). Состояние грунтов реки во многом определяется природными геохимическими условиями территории и гидрологическими характеристиками исследуемого водотока, особенностями промышленного её освоения (известковый карьер, хвостохранилища и системы сброса сточных вод градообразующего предприятия города Сибайского филиала Учалинского горно-металлургического комбината (СФ УГОК)) [3].

Река Худолаз является правым притоком р. Урал, длина которой 81 км с площадью бассейна 1060 км². Она берет свое начало на восточном склоне хребта Ирендык и течет в пределах Баймакского района Республики Башкортостан (РБ) и части Челябинской области Российской Федерации (РФ). На реке есть трехкаскадный водопад «Гадельша» (Ибрагимовский), являющийся памятником природы. В начале XX в. именно в его окрестностях добывали золото и другие металлы [4].

Для экологической оценки ДО традиционно применяют физико-химические методы анализа, а для интегральной и объективной оценки воздействия не только ТМ, но и других загрязняющих веществ на отдельные звенья экосистемы более применимо проведение процедуры биотестирования грунтов с использованием растительных тест-систем [5].

Цель работы – оценка токсичности отложений р. Худолаз с использованием различных растительных тест-систем *Lepidium sativum* L. и *Raphanus sativus*.

Материалом для лабораторных исследований послужили осадки р. Худолаз, отобранные в соответствии с МУ РД 52.18.685 в летний период 2019–2020 гг. Точки отбора проб находились, как выше, так и ниже по течению от потенциальных и реальных источников загрязнения: 1 – исток реки, – казанкинский мост, 3 – городской пляж г. Сибай, 4 и 5 – до и после д. Калинино.

Валовое содержание ТМ (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd, Ni, Co) в образцах ДО определяли с помощью метода атомной абсорбции [6] и сравнивали с геохимическими фоновыми концентрациями металлов [7].

Определение токсичности грунтов проводили на основе измерения всхожести семян и длины корней проростков таких растительных тест-систем, как кресс-салат (*Lepidium sativum*) сорта «Дукат» и редис (*Raphanus sativus*) сорта «Дуро краснодарское» [8]. В качестве контрольного образца был взят промытый речной песок.

Физико-химический анализ показал, что грунты всех створов реки загрязнены изученными металлами. Превышение геохимического фона зафиксировано для всех ТМ по исследованному участку реки и составило в среднем для Cu до 145 раз, Zn и Co – 27 раз, Cd – 6,9 раз, Pb, Fe и Ni – до 2,1 раз, Mn – 1,6 раз. При этом изученные металлы образуют убывающий ряд элементов по их среднему содержанию в ДО: Fe > Mn > Cu > Zn > Ni > Co > Cd > Pb. По суммарному показателю загрязнения исследуемые образцы грунтов реки следует отнести к чрезвычайно опасной степени загрязнения ($Z_c = 289-1190$) [9].

Результаты исследования показали, что величина средней всхожести семян кресс-салата изменялась в пределах от 30 до 93%, а редиса – от 67 до 87%. Контрольное значение для модельных растений равнялось 94% и 81%, соответственно. Видно, что отложения р. Худолаз для семян обеих тест-систем обладали токсичным эффектом на данный тест-отклик, за исключением осадков створа 1 в случае кресс-салата.

В ходе фиксирования средней длины корня проростка выявлено, что для кресс-салата данный показатель изменялся от 18 до 33 мм, редиса – от 20 до 41 мм. Полученные значения показателя биотестирования находились ниже контроля (32 мм и 56 мм, соответственно), за исключением семян кресс-салата, пророщенных на образцах грунтов створа 3 (городской пляж). Полученные результаты показали, что ДО реки проявляют фитотоксичность по данному тест-отклику. При этом наибольший ингибирующий эффект проявлялся в случае редиса.

На основании определения всхожести семян и длины корней проростков кресс-салата и редиса осадки р. Худолаз могут быть отнесены к различным степеням токсичности (табл.) [8].

Таблица

Уровень токсичности донных отложений р. Худолаз

Точка отбора	Тест-система	Степень токсичности по всхожести	Степень токсичности по длине корня	Степень токсичности
1	2	3	4	5
1	кресс-салат	V	V	практически не токсичные
	редис	III	IV	умеренно токсичные
2	кресс-салат	III	V	умеренно токсичные
	редис	III	V	умеренно токсичные
3	кресс-салат	III	IV	умеренно токсичные
	редис	V	IV	малотоксичные

1	2	3	4	5
4	кресс-салат	III	V	умеренно токсичные
	редис	V	IV	малотоксичные
5	кресс-салат	III	IV	умеренно токсичные
	редис	V	II	опасно токсичные

В соответствии с принципом избыточной экологической безопасности целесообразно оценивать токсичность ДО реки, загрязнёнными исследованными металлами, по всхожести семян для кресс-салата, для редиса – по длине корня проростка. Наиболее чувствительной тест-системой следует считать редис. В зоне промышленного освоения осадки р. Худолаз относятся по редису категориям – малотоксичной (створ 4) и опасно токсичной (створ 5).

Библиографический список

1. Суюндуков Я. Т., Янтурин С. И., Сингизова Г. Ш. Накопление и миграция тяжелых металлов в основных компонентах антропогенных экосистем Башкирского Зауралья в зоне влияния объектов горнорудного комплекса. Уфа : АН РБ, Гилем, 2013. 156 с.
2. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. М. : Мир, 1987. 288 с.
3. Сибай: энциклопедия / гл. ред. Х. Х. Сулейманов. Уфа : Башк. энцикл., 2015. 560 с.
4. Гареев А. М. Реки и озера Башкортостана. Уфа : Китап, 2001. 260 с.
5. Багдасарян А. С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов : дис. ... канд. биол. наук. Ставрополь, 2005. 159 с.
6. Методические указания «Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии». СПб. : Гидрометеиздат, 2006. 30 с.
7. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. СПб. : Изд-во «Глобус», 2012. 140 с.
8. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв. СПб., 2009. 19 с.
9. Ахтямова Г. Г. Антропогенная трансформация состава донных отложений бассейна р. Пахра (Московская область) // Метеорология и гидрология. 2009. № 2. С. 80–88.

МОРФОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ПОКАЗАТЕЛИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ОЗЕРЕ БАЙКУЛЬ (ВОЛЖСКО-КАМСКИЙ ЗАПОВЕДНИК)

И. И. Зиганшин, Д. В. Иванов, Р. Р. Хасанов

Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, water-rf@mail.ru

В статье представлены морфометрические характеристики и результаты грунтовой съемки озера Байкуль, расположенного в охранной зоне Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного

заповедника. Определена мощность донных отложений и современная скорость осадконакопления, которая находится в интервале типичных значений, характерных для озер региона.

Ключевые слова: озера, донные отложения, осадконакопление, заиление, Волжско-Камский заповедник.

Озеро Байкуль – одно из немногочисленных озер охранной зоны Саралинского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника. Оно расположено на левом берегу Куйбышевского водохранилища (рис.), в пределах II надпойменной террасы р. Волги с абсолютными отметками рельефа 55–60 м. Озеро образовано в результате постепенного отчленения глубоко вдающегося в сушу залива Куйбышевского водохранилища абразионно-аккумулятивными пересыпями в 1957–1960 гг. Полная изоляция озера и прекращение его питания волжскими водами произошло в 1962 г. Питание озера обеспечивается грунтовыми и атмосферными водами.

Водоем имеет удлинённую форму и по степени развития береговой линии относится к слабоизрезанным озерам. Береговая область западной и северной части озера пологая и характеризуется развитием массивно-зарослевого типа зарастания. Восточный берег представляет собой крутой склон III надпойменной террасы р. Волги, который сложен преимущественно желто-бурыми делювиальными суглинками, в нижней части сменяющимися песками.

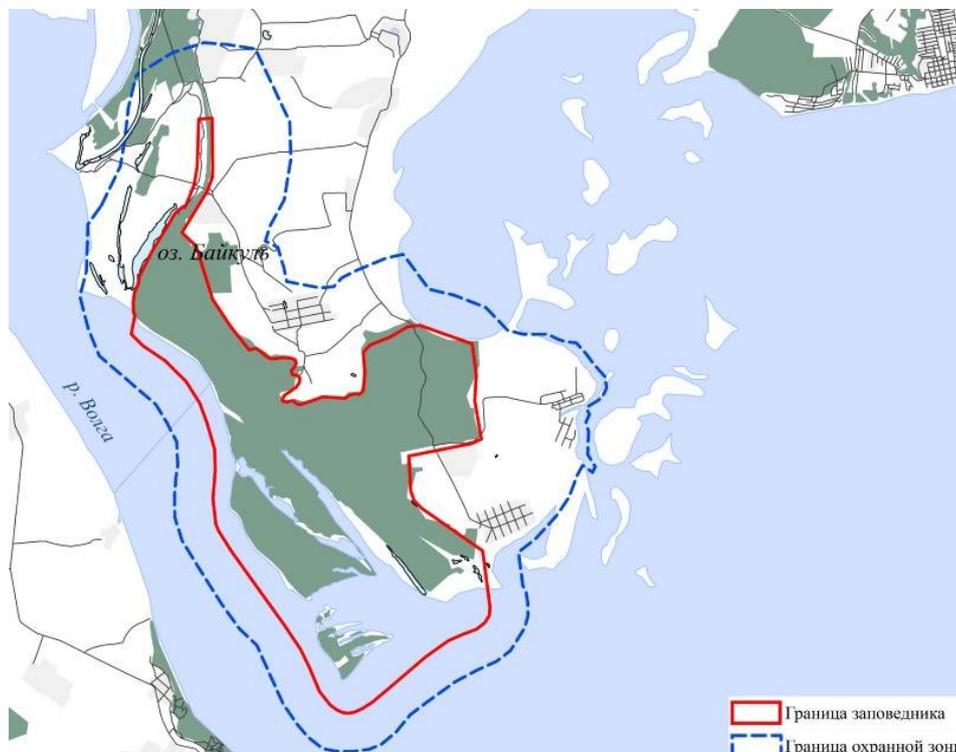


Рис. 1. Местоположение озера Байкуль

По площади водного зеркала Байкуль относится к классу малых озер, являясь крупнейшим водоемом на территории Саралинского участка Волжско-Камского заповедника и его охранной зоны. Озеро не отличается большой глубиной, что обусловлено его гидрогенным генезисом. Максимальных отметок оно достигает в центральной и северной части (табл. 1).

Таблица 1

Морфометрические параметры оз. Байкуль

Площадь, га	Объем, тыс. м ³	Длина, м	Ширина, м		Глубина, м		Длина береговой линии, м
			сред.	макс.	сред.	макс.	
52,2	747,5	2707,0	192,7	305,9	1,4	2,7	5822,3

Батиметрическая и грунтовая съемки озера были выполнены в августе – сентябре 2020 г. Для определения мощности отложений и оценки скорости осадконакопления по профилям, охватывающим различные интервалы глубин, гравитационной трубкой ГОИН–1 и буром Гиллера было отобрано 17 кернов ненарушенного сложения.

Донные отложения оз. Байкуль сформированы минеральными осадками с содержанием органического вещества 1,3–3,5% и отнесены к типу песчаных илов с долей пелитовой фракции 11–13%.

Вторичные отложения озера, сформировавшиеся уже после его отчленения от материнского водоема, заметно отличались от подстилающих их грунтов, представленных аллювиальными отложениями разнообразного гранулометрического состава – от песков до глин, а также затопленными торфяно-болотными и серыми лесными почвами, хорошо сохранившими свои морфологические признаки. Озерные осадки имели более рыхлую структуру, а также несколько более темную окраску, обусловленную изменением продукционных характеристик водного объекта в результате его изоляции.

Наличие практически во всех исследованных кернах маркерных слоев позволило оценить мощность собственно озерных отложений, накопленных в озере за период с 1957 по 2020 гг. В среднем по озеру она составила 16 см. Мощность осадков растет по мере увеличения глубины водоема и в профундали достигает своего максимума – 27 см. Согласно расчетам, скорость осадконакопления в оз. Байкуль в различных интервалах глубин варьирует в диапазоне от 1 до 5 мм в год.

Суммарный объем донных отложений, аккумулярованных в озере за 63 года, оценивается величиной 63611 м³, что составляет ~9% от исходного объема озера при текущей отметке уровня воды (табл. 2).

Таблица 2

Показатели накопления донных отложений в оз. Байкуль

Глубина отбора, м	Площадь, м ²	Средняя мощность отложений, см	Объем отложений, м ³
< 1	123187,2	6	6159,4
1–2	310484,2	16	31048,4
> 2	88011,4	27	26403,4
Всего	521682,8	16	63611,2

В целом показатели интенсивности накопления донных отложений в оз. Байкуль лежат в интервале среднемноголетних значений, характерных для озер Республики Татарстан [1, 2], и отражают универсальные закономерности формирования осадков в водоемах, расположенных в сходных физико-географических условиях. Темпы современного осадконакопления в озере не вызывают значительных опасений при анализе перспектив его заиления и существования как водного объекта.

Библиографический список

1. Иванов Д. В., Осмелкин Е. В., Зиганшин И. И. Исследование современного и исторического осадконакопления в водоемах Приволжской возвышенности и Низменного Заволжья // Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Лимнология и океанология. 2018. № 9. С. 31–43.

2. Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Осмелкин Е. В. Оценка скорости осадконакопления в озерах Казани и Приказанья // Георесурсы. 2011. № 2. С. 46–48.

ГЕНЫ АНТИБИОТИКОУСТОЙЧИВОСТИ БАКТЕРИОЦЕНОЗОВ ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕГО ДОНА

Л. Е. Хмелевцова, Е. М. Кудеевская, А. В. Гильдебрант, И. С. Сазыкин
Южный федеральный университет,
lehmelevcova@sfnu.ru, kudeevskaya@sfnu.ru
gildebrant@sfnu.ru, issa@sfnu.ru

В данной работе представлены результаты исследования клинически значимых генов антибиотикорезистентности в поверхностных водах и донных отложениях Нижнего Дона. Были обнаружены гены устойчивости к карбапенемам (*VIM* и *OXA-48*), а также тетрациклину (*TetO/TetM*).

Ключевые слова: антибиотикорезистентность, поверхностные воды, донные отложения.

Распространение антибиотикоустойчивости в современном мире представляет значительную проблему и привлекает внимание исследователей из разных стран. Объекты окружающей среды (поверхностные и грунтовые воды, почва, донные отложения, сточные воды) могут служить «горячими точками», в которых происходит масштабный обмен детерминантами резистентности между клиническими штаммами и природными бактериями. Важную роль в появлении и распространении антибиотикоустойчивости играют водные экосистемы [1]. Присутствующие в воде автохтонные бактерии смешиваются и обмениваются генетическим материалом (гены, мобильные элементы) с аллохтонной микрофлорой различного происхождения, в результате чего развивается устойчивость к антибиотикам. Антропогенная нагрузка может способствовать загрязнению водных объектов генами антибиотикорезистент-

ности (АРГ) [2]. Показано, что различные поллютанты (тяжелые металлы, ПАУ, моющие средства, антибиотики), попадая в водную среду, способствуют распространению генов резистентности и отбору наиболее устойчивых штаммов [3]. Донные отложения способны аккумулировать поллютанты, в результате чего их концентрация становится намного выше, чем в водной толще. В дальнейшем это может привести к вторичному загрязнению придонных слоев воды в ходе десорбции загрязняющих веществ [4].

Необходимо изучение устойчивости к антибиотикам микроорганизмов водных объектов, поскольку это может указывать на степень изменения водных экосистем в результате антропогенного воздействия. В нашей стране устойчивость к антибиотикам исследуется в основном для условно-патогенной микрофлоры водных экосистем [5–9], в меньшей степени – для автохтонной микрофлоры [10–13], при этом резистентность бактерий определяется фенотипически. Количество работ по определению непосредственно АРГ в воде и донных отложениях крайне мало. Таким образом, исследование резистомы поверхностных вод и донных отложений водных объектов Нижнего Дона является актуальной задачей.

Были исследованы 22 пробы воды и 5 проб донных отложений, отобранные из следующих водоемов Ростовской области: родники «Александровский», «Парамоновский», «Сурб-Хач», «Первомайский», «Водопадный», «Серафима Саровского», «Мамаин-деран», родник у асфальтового завода, «Мец Чорвах»; реки (Дон, Темерник, Кагальник, Мечетка), озеро Пеленкино, Ростовское море.

Из образцов была выделена тотальная ДНК с помощью модифицированного фенол-хлороформного метода [14]. Наличие клинически значимых генов антибиотикорезистентности оценивали с помощью проведения реакции ПЦР. Были использованы наборы реактивов производства НПФ «Литех» (Россия) для определения генов устойчивости к карбапенемам (*VIM*, *NDM*, *OXA-48*), цефалоспорином (*CTX-M*), эритромицину (*ErmB*), тетрациклином (*TetO/TetM*). Детекцию продуктов амплификации осуществляли методом электрофореза в 1,2% агарозном геле.

Изучение образцов воды и донных отложений показало отсутствие генов *NDM* (New Delhi metallo-beta-lactamase), обеспечивающих устойчивость бактерий практически ко всем антибиотикам β-лактаминового ряда (включая карбапенемы), во всех пробах. Также не были обнаружены гены *CTX-M*, кодирующие β-лактамазу расширенного спектра (БЛРС) класса А, а также гены *ErmB*, обеспечивающие устойчивость к макролидам, в частности – эритромицину.

Гены устойчивости к карбапенемам *VIM* были выявлены в пробах воды из родника Парамоновский (Парамоновские склады) и из реки Дон в районе набережной г. Ростова-на-Дону.

Гены *OXA-48*, кодирующие один из кластеров OXA-β-лактамаз с карбапенемазной активностью, также были детектированы в пробе воды из реки Дон в районе набережной г. Ростова-на-Дону в воде из р. Кагальник.

Детерминанты устойчивости к тетрациклину были обнаружены в воде реки Дон в районе набережной г. Ростова-на-Дону и в пробе донных отложений, отобранной на Северном водохранилище (в черте города).

Таким образом, преобладающими детерминантами антибиотикорезистентности в водных объектах Нижнего Дона являлись гены, кодирующие устойчивость к карбапенемам.

Наиболее свободными от генов антибиотикоустойчивости оказались родники. Только в одном из них, роднике «Парамоновский», расположенном в историческом центре города и несущем значительную рекреационную нагрузку, были обнаружены детерминанты устойчивости к карбапенемам (*VIM*).

Также незначительно, вопреки ожиданиям, было содержание генов резистентности и в донных отложениях рек и озер Нижнего Дона. Всего в одном образце, отобранном в Северном водохранилище, были выявлены гены устойчивости к тетрациклину. Данный объект расположен в густонаселенном жилом массиве города и подвержен значительной антропогенной нагрузке.

Наиболее загрязненной генами антибиотикорезистентности оказалась вода реки Дон в районе городской набережной - там были обнаружены 3 гена устойчивости из 6 исследованных. Вероятно, это также связано с высокой антропогенной нагрузкой, обусловленной интенсивным судоходством и большим количеством рекреационных объектов в этом районе.

Таким образом, водные объекты Нижнего Дона, в наибольшей степени подверженные воздействию деятельности человека, оказались наиболее загрязненными генами антибиотикорезистентности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № 0852-2020-0029.

Библиографический список

1. Marti E., Variatza E., Balcazar J. L. The role of aquatic ecosystems as reservoirs of antibiotic resistance // *Trends in Microbiology*. 2014. Vol. 22. No. 1. P. 36–41.

2. Pruden A., Arabi M., Storteboom H. N. Correlation between upstream human activities and riverine antibiotic resistance genes // *Environmental Science & Technology*. 2012. Vol. 46. P. 11541–11549.

3. Gorovtsov A. V., Sazykin I. S., Sazykina M. A. The influence of heavy metals, polyaromatic hydrocarbons, and polychlorinated biphenyls pollution on the development of antibiotic resistance in soils // *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1465-9>

4. Количественная и качественная оценка роли донных отложений в процессах формирования состава контактирующих с ними водных масс / Т. Н. Михеева, Г. Ф. Шайдулина, А. Н. Кутлиахметов, В. И. Сафарова // *Георесурсы*. 2012. Т. 8. № 50. С. 51–56.

5. Антибиотикорезистентность бактерий, выделенных из воды открытых водоемов / П. В. Журавлёв, О. П. Панасовец, В. В. Алешня, И. П. Казачок // *Здоровье населения и среда обитания*. 2015. № 5 (266). С. 24–26.

6. Биоразнообразие и антибиотикорезистентность условно патогенных энтеробактерий, выделенных из поверхностных водоемов Ростова-на-Дону / А. В. Тришина, Е. А. Бе-

резняк, И. Р. Симонова, Л. М. Веркина // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2017. № 4. С. 17–23.

7. Ларцева Л. В., Истелюева А. А., Менькова А. В. Мониторинг антибиотикорезистентности энтеробактерий, изолированных во внутренних водотоках города Астрахани // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 1(6). С. 1350–1353.

8. Microbiological monitoring of opportunistic Enterobacteriaceae of the Lena river / E. V. Anganova, M. F. Savchenkov, L. A. Stepanenko, E. D. Savilov // *Gigiena i Sanitaria*. 2016. Vol. 95(12). P. 1124–1128.

9. Профиль антибиотикорезистентности условно-патогенных энтеробактерий реки Ангары / М. Ф. Савченков, Е. В. Анганова, Н. Н. Чемезова, А. В. Духанина // Сибирский медицинский журнал. 2013. № 6. С. 120–122.

10. Гетерогенность микробных сообществ поверхностных водоемов по показателям антибиотикорезистентности бактерий / Е. В. Анганова, Е. Д. Савилов, М. Ф. Савченков, Н. Н. Чемезова // Гигиена и санитария. 2014. № 4. С. 19–22.

11. Анализ микробиального сообщества в литоральной зоне южной части экосистемы озера Байкал / Е. В. Верховина, В. А. Верховина, В. В. Верхотуров, Ю. С. Букин // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 3 (71). С. 100–114.

12. Zimens E. A., Sukhanova E. V., Belykh O. I. Antibiotic resistance of heterotrophic bacteria isolated from various habitats of the litoral area of lake Baikal // *Bulletin of Baikal State University*. 2019. № 29(4). С. 513–522.

13. Проявление патогенных свойств у морских бактерий под влиянием антропогенного загрязнения / Л. С. Бузолева, А. В. Ким, Г. Г. Компанец, Е. А. Богатыренко // Экология человека. 2016. № 3. С. 30–36

14. Occurrence of antibiotic resistance genes in sewages of Rostov-on-Don and lower Don River / I. S. Sazykin, E. Yu. Seliverstova, L. E. Khmelevtsova, T. N. Azhogina // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 4. С. 76–82. doi: 10.25750/1995-4301-2019-4-076-082

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ г. КИРОВА И АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РАЗЛИЧНЫХ МИКРОРАЙОНАХ ГОРОДА ПО ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Т. А. Мусихина, Л. Н. Зыкина, М. В. Малышкина, Т. А. Труфанова
Вятский государственный университет,
usr04011@vyatsu.ru, usr00688@vyatsu.ru,
stud097441@vyatsu.ru, stud126031@vyatsu.ru

Система водоснабжения г. Кирова имеет свои особенности, поскольку в разных микрорайонах водозабор осуществляется из различных источников. Так, центральная часть города, где проживает около 70% населения, обеспечивается водой из р. Вятки, пос. Лянгасово снабжается водой из р. Быстрицы, остальные микрорайоны – из автономных подземных источников, где вода более защищена от сезонных колебаний химического состава. Сравнительный анализ качества питьевой воды по химическим показателям в Нововятском районе, микрорайонах «Вересники», «Коминтерн», «Ганино» показал соответствие содержания санитарно-эпидемиологическим требованиям по исследуемым веществам. Вода родника у Трифонова монастыря не пригодна к использованию для питьевых нужд.

Ключевые слова: водозабор, качество воды, водные объекты, водоснабжение.

Водоснабжение – водоподготовка, транспортировка и подача питьевой или технической воды абонентам с использованием централизованных или нецентрализованных систем холодного водоснабжения [1]. Целями водоснабжения наряду с количественными показателями, большое значение имеет и качество подаваемой воды, которое во многом зависит от типа водоисточника, уровня водоподготовки и состояния разводящей сети.

В данном исследовании была поставлена задача – отобрать пробы и оценить качество воды из подземных источников в тех районах города, где водоисточниками являются подземные воды. Кроме того, для оценки отобрана также проба воды из самоизливающегося родника в районе Трифонова монастыря.

Цель работы – выявить соответствие (не соответствие) качества воды из подземных источников по химическим показателям СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению...».

Для определения содержания химических веществ использовался метод: капиллярный электрофорез. Прибор – Капель 105М.

Отбор простых проб производился разово в зимний период из централизованной водопроводной сети в микрорайонах в Нововятском районе, микрорайонах «Вересники», «Коминтерн», «Ганино» и воды родника у Трифонова монастыря. В таблице представлены результаты исследования состава воды из подземных источников.

Таблица

Результаты исследования водопроводной воды по химическим показателям в микрорайонах г. Кирова

Показатель	Микрорайоны г. Кирова					Норматив**
	Вересники	Ганино	Нововятск	Коминтерн	Трифонов монастырь	
1	2	3	4	5	6	7
рН	7,2	8,58	7,54	7,98	7,12	6–9
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	5,86	0,19	3,48	1,9	8,98	7
Хлор остаточный свободный, мг/дм ³	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	0,3–0,5
Аммиак и аммоний-ион, мг/дм ³	менее 0,01*	*	*	*	*	0,1
Фториды, мг/дм ³	*	0,59	*	*	*	1,5

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7
Хлориды, мг/дм ³	26,8	5,01	6,23	11,55*	63,8	350
Бромиды, мг/дм ³	*	*	*	*	*	0,2
Фосфаты, мг/дм ³	*	*	*	*	*	
Сульфаты, мг/дм ³	42,6	6,43	27,79	13,49	111,87	500
Нитраты, мг/дм ³	23,99	*	5,77	*	55,24	45
Нитриты, мг/дм ³	*	*	*	*	*	3,0
Стронций, мг/дм ³	*	*	1,5	*	*	7,0
Барий, мг/дм ³	*	*	*	*	*	0,1
Железо, суммарно, мг/дм ³	*	*	*	*	*	0,3
Кобальт, мг/дм ³	*	*	*	*	*	0,1
Марганец, мг/дм ³	*	*	*	*	*	0,1
Медь, суммарно, мг/дм ³	*	*	*	*	*	1,0
Никель, суммарно, мг/дм ³	*	*	*	*	*	0,1
Хром (Cr ⁶⁺), мг/дм ³	*	*	*	*	*	0,05
Кадмий, суммарно, мг/дм ³	*	менее 0,001	менее 0,001	менее 0,001	менее 0,001	0,001
Свинец, суммарно, мг/дм ³	менее 0,001	0,03				
Калий, мг/дм ³	*	*	*	0,4	*	
Натрий, мг/дм ³	44,2	160	41,3	7,07	44,6	200
Литий, мг/дм ³	*	*	*	*	*	0,03
Кальций, мг/дм ³	62,9	2,1	23,5	27,3	103	180
Магний, мг/дм ³	32,6	1,08	27,7	6,35	46	50

Примечание: * – соответствует «менее 0,01». **СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

Результаты анализа показали, что качество воды во всех пробах из водопровода по исследуемым веществам соответствует санитарно-эпидемиологическим требованиям питьевого водоснабжения [2].

Наиболее жесткая вода отмечается в Вересниках (5,86 мг-экв/дм³), наименее – в Ганино (0,19 мг-экв/дм³). При этом в Ганино содержание натрия в воде наибольшее – 160 мг/дм³ (при норме 200 мг/дм³), равно как и значение рН – 8,58 при норме 9.

Остаточного хлора во всех пробах не обнаружено.

В роднике у Трифонова монастыря, расположенного в прибрежной зоне реки Вятки юго-восточной части города, качество воды по жесткости и нитратам превышает соответствующие нормативы качества к питьевой воде [2].

На основании проведенных исследований, можно сделать вывод, что водопроводная вода в Нововятском районе г. Кирова, микрорайонах «Вересники», «Коминтерн» и «Ганино», где забор производится из подземных вод, соответствует санитарно-эпидемиологическим требованиям по исследуемым химическим показателям. Вода родника у Трифонова монастыря не вполне соответствует санитарно-эпидемиологическим требованиям по нитратам и жесткости, поэтому не рекомендуется ее использование для питьевых нужд.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 07.12.2011 N 416-ФЗ «О водоснабжении и водоотведении». [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902316140>. (дата обращения: 01.03.2021).
2. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

СПЕКТРАЛЬНО-РЕЗОНАНСНЫЕ МЕТОДЫ – АКТУАЛЬНЫЙ ВЕКТОР РАЗВИТИЯ СКРИНИНГ-ТЕХНОЛОГИЙ МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

***В. В. Петраш, Л. В. Ильина**
Университет «РЕАВИЗ, vlapetrash@yandex.ru*

На основании анализа источников научно-технической информации и материалов собственных исследований в статье рассмотрены возможности применения явлений резонанса волновых процессов в качестве основы для разработки скрининг-технологий медико-экологического мониторинга состояния здоровья населения и содержания поллютантов в природной среде, включая радиоактивные изотопы и различные токсические вещества.

Ключевые слова: резонанс, поверхностные плазмоны, медико-экологический мониторинг, скрининг, экспресс-диагностика заболеваний, поллютанты, природная среда.

Актуальность объективной оценки и мониторинга медико-экологической ситуации на территориях различных по географическому положению и концентрации промышленности регионов обусловлена важностью прогнозирования изменений состояния окружающей среды и здоровья населения для своевременного проведения санитарно-гигиенических мероприятий [1–3]. По своей сути это скрининг (отбор) объектов наблюдения для выявления претендентов на включение в зону риска: либо по заболеваемости, либо по концентрации и токсичности поллютантов в воде, воздухе или почве. Ранее в работе [1] авторами были рассмотрены концептуальные направления интегрального эколого-гигиенического мониторинга в общем виде.

Целью данного сообщения является углублённый анализ перспектив использования спектрально-резонансных явлений для задач развития технологий медико-экологического мониторинга в совокупном единстве здоровья человека и природной среды (ПС) его обитания.

Прежде всего, следует отметить, что традиционная схема мониторинга ПС, сфокусированная на контроле предельно допустимых концентраций (ПДК) токсичных веществ и ограниченного числа действующих физико-химических факторов, является недостаточно эффективной. Опасность возникает вследствие неконтролируемого совокупного действия различных поллютантов и их соединений, миграции и аккумуляции поллютантов в ПС с включением их в пищевые цепочки животных и человека [1, 4].

Материалом для медико-экологического мониторинга служит, прежде всего, сам человек и его биологические среды (кровь, моча, слюна и др.) [5]. Одним из наиболее чувствительных методологических подходов, который может быть использован для оценки интегрального техногенного загрязнения территорий и акваторий является цитогенетический скрининг – клеточный уровень, и это касается всей биоты [6].

Поскольку веществам косной и живой материи присуще свойство поглощать и излучать индивидуально характерные спектры энергии [7], одним из основных методов исследований во многих областях современной науки является спектральный анализ. При этом в различных диапазонах спектра волновых процессов, присущих веществам, имеют место явления резонанса. Электронный парамагнитный резонанс, ядерный магнитный резонанс (ЯМР), плазмонный поверхностный резонанс (ППР) [8, 9] и др. лежат в основе многих методов фундаментальных и прикладных исследований.

Использование явления ЯМР для исследования внутреннего строения материальных тел, впервые предложенное в 1960 г. В. А. Ивановым [10], открыло новую эру в медицинской визуализации внутренних органов и ныне повсеместно применяется под названием магнитно-резонансной томографии (МРТ).

В НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Н. Ф. Гамалеи, (Москва) разработан способ детекции эндотоксинов грамотрицательных бактерий по спектру частот их собственных электромагнитных излучений. В проведённых исследованиях было установлено, что резонансно-частотный способ выявляет липополисахариды (ЛПС) различных энтеробактерий в концентрации 0,1 пикограмма и бактерии, в состав которых входит ЛПС. Наряду с этим, общепринятый иммуноферментный анализ (ИФА) обнаруживал препараты ЛПС только в концентрации не ниже 10 нг в 1 мл, т.е. чувствительность ИФА в 10^5 раз ниже. Отмечено, что резонансно-частотный способ не требует предварительной обработки образцов крови и может быть использован для диагностики эндотоксинемии, обнаружения эндотоксинов в образцах крови и в инъекционных растворах [11].

В последние десятилетия прошлого века в медицинской диагностике начали применяться методы резонансного скрининг-тестирования. В России получило распространение название: вегетативный резонансный тест (ВРТ), для проведения которого были утверждены методические рекомендации Минздрава РФ [12].

Тестирование методом ВРТ позволяет достоверно в экспрессном режиме диагностировать нарушения дыхательной, сердечно-сосудистой, пищеварительной, эндокринной, иммунной и нервной систем, выявлять локализацию воспалительных процессов с прогнозированием динамики их развития. Процент диагностических данных ВРТ полностью соответствующих клиническим диагнозам составлял по разным источникам более 90%. Результаты исследований диагностических возможностей ВРТ, проведённые в ФГУП НИИ промышленной и морской медицины ФМБА России (Санкт-Петербург), показали 91,4%, что говорит о высокой степени согласованности результатов ВРТ с объективными результатами клинических исследований [13]. Кроме того, у лиц, имевших длительный стаж работы с радиоактивными препаратами, ВРТ выявлял присутствие в их организмах следов тех или иных изотопов, в том числе: урана, стронция, цезия, йода, америция и др. [14].

В середине прошлого века в квантовую физику прочно вошли понятия квазичастиц (плазмоны, экситоны, фононы и др.). Плазмон – квазичастица, представляющая собой результат квантования коллективных (плазменных) колебаний свободного электронного газа в приповерхностном слое проводящего материала. Термин «плазмон» был введён в 1952 г. американскими физиками Дэвидом Пайнсом и Дэвидом Бомом. Резонансное возбуждение таких колебаний электромагнитной волной в тонком слое проводящего материала получило название «поверхностный плазмонный резонанс» (ППР) [8, 9]. ППР-детекция, как универсальный метод, применяется в различных технических решениях для регистрации процессов от молекулярного до клеточного уровня, т.к. «позволяет регистрировать взаимодействия как низкомолекулярных объектов, так и макромолекул, их агрегатов, вирусов и даже целых клеток» [16]. Это обусловило интенсивное применение метода в фундамен-

тальных исследованиях, медицине, экологическом мониторинге и других областях [17, 18].

Наряду с ППР в физику твёрдого тела вошло понятие «поверхностные электрозвуковые волны» [19], которые можно трактовать как совокупность плазмонов со звуковыми (акустическими) квазичастицами (фононами), также присутствующими в многообразии волновых процессов биологической жизнедеятельности организмов. Регистрация электроакустического сигнала (фонового шума) с участка тела человека с последующей его математической обработкой на основе wavelet-преобразования, позволяет получать объёмные фазовые характеристики с их количественным представлением в процессе экспресс-диагностики широкого спектра заболеваний. Примером технической реализации указанных положений может служить комплекс медицинский экспертный CME SWISS AG, Швейцария – Словакия [20].

Использование данного экспертного комплекса на клинической базе кафедры пропедевтики внутренних болезней СЗГМУ им. И. И. Мечникова у больных гастроэнтерологического профиля показало возможность оперативно (время сканирования сигнала – менее одной минуты) оценивать клиническую ситуацию и выявлять органы-мишени развивающейся патологии на различных стадиях заболевания. Кроме того, благодаря специальному программному обеспечению диагностического комплекса последующая углублённая развёртка результата скрининга позволяла определять причинно-следственные взаимоотношения психофизиологических звеньев в развитии заболевания с выявлением патогенетически значимых факторов. Исследование показали, что, например, при целиакии (глютеновой энтеропатии) характерно формирование реакций с тревожной, тревожно-фобической, неврастенической, ипохондрической симптоматикой. Постепенное прогрессирование заболевания приводит к появлению различных симптомов, которые способствуют формированию и фиксации у больных патологических личностных изменений [21]. В этом аспекте наличие скрининг-технологии мониторинга функционального и психического состояния больных, несомненно, значимо для проведения лечебно-профилактических мероприятий.

Следует отметить, что результаты проводимого скрининга находили своё подтверждение в клинических исследованиях общепринятыми методами функциональной диагностики, биохимических, бактериологических и других анализах. Выявлена высокая корреляция оценок психоэмоционального состояния пациентов по данным скрининга с результатами параллельно выполнявшихся комплексных психофизиологических исследований [22].

В экологическом направлении апробация ППР-детекции почв и воды в пробах, взятых с территорий, загрязнённых радиоактивными веществами, показала наличие в их спектрах характерных признаков ряда радиоактивных изотопов, тем самым подтвердив перспективность дальнейшей разработки метода для экологического скрининга радиационно-опасных территорий и акваторий [23].

Таким образом, анализ современного развития технических средств обеспечения интегрального медико-экологического мониторинга демонстрирует постепенное выдвигание на лидирующие позиции технологий, базирующихся на спектральном анализе излучений объектов наблюдения с широким использованием резонансных явлений, включая поверхностные резонансы квантовых квазичастиц (плазмонов, экситонов, фононов и др.). При этом математическая обработка объёмных фазовых характеристик сигналов опирается на постоянно совершенствующееся программное обеспечение систем «искусственного интеллекта».

Библиографический список

1. Концептуальные направления интегрального эколого-гигиенического мониторинга / В. В. Петраш, Л. В. Ильина, С. М. Хазагеров, П. Н. Сухонин // Утилизация и рециклинг отходов производства и потребления : I Всерос. форум. Утилизация отходов производства и потребления: Инновационные подходы и технологии : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (Киров, 04 дек. 2019 г.) Киров, 2019. С. 189–193.
2. Сальникова Е. В., Бурцева Т. И., Скальный А. В. Региональные особенности содержания микроэлементов в биосфере и организме человека // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98, № 2. С. 148–152.
3. Система объективной оценки медико-экологической ситуации на территориях риска развития заболеваний населения для задач последующего мониторинга / В. Л. Филиппов, В. Р. Рембовский, Н. В. Криницын, Ю. В. Филиппова, Д. С. Медведев, Е. С. Касьяненко // Анализ риска здоровью. 2014. № 4. С. 27–36.
4. Матвеева И. В. Радиоёмкость различных типов экосистем и принципы их экологического нормирования // Scientific Journal Science Rise. 2014. № 4/2 (4). С. 11–17.
5. Луковникова Л. В., Сидорин Г. И. Биомониторинг в системе оценки риска химического воздействия : материалы IV съезда токсикологов России. М., 2013. С. 299–301.
6. Биологический контроль окружающей среды: генетический мониторинг / под ред. С. А. Гераськина, Е. И. Сарапульцевой. М. : Изд. Центр «Академия», 2010. 208 с.
7. Журавлев А. И. Квантовая биофизика животных и человека: учебное пособие. 4-е изд., перераб. и доп. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 398 с.
8. Князев Б. А., Кузьмин А. В. Поверхностные электромагнитные волны: от видимого диапазона до микроволн // Вестник НГУ. Серия: Физика. 2007. Т. 2, вып. 1. С. 108–122.
9. Schasfoort R. V. M., Tudos A. J. Handbook of Surface Plasmon Resonance. Cambridge : The Royal Society of Chemistry, 2008. 403 p.
10. Иванов В. А. Внутривидение (ЯМР-томография). Л. : Знание, 1989. 32 с.
11. Детекция эндотоксинов грамотрицательных бактерий по спектру частот электромагнитных излучений / В. Г. Лиходед, Н. В. Кулешова, Н. В. Сергиева, Ю. В. Конев, И. А. Трубникова, Е. В. Суджян // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. 2007. № 3. С. 3–10.
12. Электропунктурный вегетативный резонансный тест: методические рекомендации № 99/96 / А. М. Василенко, Ю. В. Готовский, Е. Е. Мейзеров, Н. А. Королёва, В. С. Каторгин. М., 2000. 27 с.
13. Вегетативный резонансный тест – диагностическая информативность / В. В. Петраш, Л. В. Ильина, А. В. Червинская, Л. Н. Милиневская, И. Е. Никитюк // Профилактическая и клиническая медицина. 2011. № 4 (41). С. 56–60.
14. Комплексная система медико-гигиенического экспресс-контроля состояния здоровья персонала, выполняющего работы по утилизации кораблей с ЯЭУ: методические рекомендации № 57-08 / Л. В. Ильина, Е. А. Брновицкая, И. И. Жильцова, А. А. Синицкий, Л. Н. Милиневская, В. В. Петраш. СПб. : ФГУП НИИ ПММ ФМБА России, 2008. 32 с.

15. Nanoparticle-enhanced surface plasmon resonance detection of proteins at attomolar concentrations: comparing different nanoparticle shapes and sizes / M. J. Kwon, J. Lee, A. W. Wark, H. J. Lee // *Analytical Chemistry*, 2012. Vol. 84. P. 1702–1707. doi: 10.1021/ac202957h
16. Сотников Д. В., Жердев А. В., Дзантиев Б. Б. Детекция межмолекулярных взаимодействий, основанная на регистрации поверхностного плазмонного резонанса // *Успехи биологической химии*. 2015. Т. 55. С. 391–420.
17. Иванов А. С., Медведев А. Е. Оптический плазмонно-резонансный биосенсор в молекулярном фишинге // *Биомедицинская химия*. 2015. Т. 61, № 2. С. 231–238.
18. Mariani S., Minunni M. Surface plasmon resonance applications in clinical analysis // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2014. Vol. 406. P. 2303–2323. doi: 10.1007/s00216-014-7647-5
19. Гуляев Ю. В. Поверхностные электрорезонансные волны в твёрдых телах // *Письма в ЖЭТФ*. 1969. Т. 9, № 1. С. 63–65.
20. Петраш В. В., Литаева М. П. Скрининг диагностическая система «КМЭ» – пассивная РЛС медицинского назначения // *Междун. журнал экспериментального образования*. 2015. № 11. С. 112 (Материалы Междун. науч. конф. «Fundamental research», Тель-Авив, 16–23 окт. 2015 г.).
21. Психофизиологический статус при целиакии / Л. В. Ильина, В. В. Петраш, Е. И. Ткаченко, Л. С. Орешко, М. П. Литаева, Е.А. Соловьева // *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*. 2015. Вып. 124, № 12. С. 50–52.
22. Ильина Л. В., Литаева М. П., Петраш В. В. Оценка психоневрологических проблем у больных с гастроэнтерологической патологией // *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ» (реабилитация, врач и здоровье)*. 2016. № 2 (22). С.102–106.
23. Петраш В. В., Литаева М. П. Оценка возможности применения спектрально-динамического экспресс-анализа для биомониторинга и контроля химического загрязнения окружающей среды // *Закономерности функционирования природных и антропогенных трансформированных экосистем : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Киров : Изд-во ООО «ВЕСИ», 2014. С. 333–335.*

ИММОБИЛИЗОВАННЫЕ В КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МАТРИЦЫ БАКТЕРИАЛЬНЫЕ И ДРОЖЖЕВЫЕ КЛЕТКИ, КАК БИОРЕЦЕПТОРНЫЙ ЭЛЕМЕНТ БИОСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БПК

*П. В. Рыбочкин, М. С. Тимошина, Р. Г. Гончарова
ФГБОУ ВО Тульский государственный университет,
rybochkin.pavel.vl@mail.ru*

В работе рассматривается совместная иммобилизация клеток бактерий и дрожжей в кремнийорганический материал и применение данных гетерогенных биокатализаторов в качестве биорецепторного элемента биосенсора для определения величины биохимического потребления кислорода образцов водной среды.

Ключевые слова: биохимическое потребление кислорода, золь-гель, бактерии, дрожжи, метилтриэтоксисилан, тетраэтоксисилан.

В ходе деятельности человека в окружающую среду поступает большое количество различных веществ. Не все они подвержены биологическому разложению и являются безвредными для человека и природы. К сожалению, о наличии загрязнения веществами – токсикантами человек узнаёт слишком поздно, когда уже нанесён ущерб окружающей среде и человеку. Поэтому мониторинг и анализ состояния объектов окружающей среды должен быть оперативным, своевременным, быстрым и точным. Для чего выделяют ряд параметров, отслеживая которые составляют объективное мнение о состоянии экосистемы. Одним из таких параметров является биохимическое потребление кислорода [1].

Биохимическое потребление кислорода (БПК) – количество кислорода, затраченное микроорганизмами на аэробное биохимическое окисление органических веществ, содержащихся в воде. По значению БПК оценивают загрязнённость водной среды легкоокисляемыми органическими веществами. Стандартный метод БПК занимает от пяти до двадцати суток, что не позволяет вовремя получать актуальные данные о содержании органических веществ в водной среде. Был предложен альтернативный метод анализа БПК посредством биосенсора. Данный способ позволяет получать данные о содержании органических веществ в пробе за 5–10 минут [2]. Возможность определения БПК при помощи биосенсора ограничивается: профилем субстратной специфичности микроорганизмов и способностью клеток сохранять каталитическую активность в неблагоприятных условиях среды [3].

В нашем научном коллективе ведутся работы по использованию зольгель метода для иммобилизации живых клеток микроорганизмов в органосиликатные материалы. В качестве веществ предшественников используют эфиры кремниевой кислоты, алкоксисиланы [4]. Для получения более гибкой структуры и увеличения эффективности иммобилизации клеток наряду с тетраэтоксисиланом (ТЭОС) применяют вещество – гидрофобную добавку – со связью углерод-кремний метилтриэтоксисилан (МТЭС) [5]. Помимо разных соотношений алкоксисиланов и алкилалкоксисиланов на структуру получаемого материала влияют вещества структуроуправляющие агенты поливиниловый спирт (ПВС) или полиэтиленгликоль (ПЭГ), поливиниловый спирт стимулирует образование плёночных структур, а полиэтиленгликоль можно использовать для варьирования размер пор [6–7]. Иммобилизованные клетки сохраняют свою каталитическую активность, а формируемый слой кремний-органического материала защищает их от воздействия вредных факторов среды [8].

Применение таких гетерогенных биокатализаторов позволит создать системы для анализа БПК в водных средах. Так как селективность данных биокатализаторов зависит от профиля субстратной специфичности иммобилизуемых клеток, то для его расширения было предложено иммобилизовать одновременно два штамма микроорганизмов бактерий *Paracoccus yeei* ВКМ В-3302 и дрожжей *Debaryomyces hansenii* ВКМ У-2482 [9, 10]. Данные штаммы окисляют широкий набор веществ и обладают сходными по времени фа-

зами роста, это позволяет предположить, что их совместная иммобилизация приведёт к созданию гетерогенных биокатализаторов с более широким профилем окисляемых субстратов и постоянным клеточным составом.

Для анализа каталитической активности иммобилизуемых клеток применяли биосенсорный подход. Полученные гетерогенные биокатализаторы использовали в качестве биорецепторного элемента биосенсора. При внесении в кювету субстрата происходит падение концентрации кислорода, что регистрируется прибором. Полученные данные обрабатывают и получают характеристики биорецепторных элементов на основании которых делают вывод о том, как соотношение силановых прекурсоров влияет на каталитическую активность иммобилизованных клеток. Характеристики биорецепторных элементов, изученных в работе представлены в таблице.

Таблица

Характеристики биорецепторных элементов, полученных в ходе работы

Характеристика биорецепторного элемента	Содержание гидрофобной добавки МТЭС, об. %		
	10	20	30
Предел обнаружения, мг/дм ³	3	1	2
Диапазон определяемых содержаний, мг/дм ³	4–46	2–9	2–28
Коэффициент чувствительности ·10 ⁻³ , мин ⁻¹	13±1	21±2	27±1
Операционная стабильность, % (n=10; P=0.95)	9	8	2
Долговременная стабильность, сутки	11	17	28

Из изученных соотношений наибольшей каталитической активностью обладает образец с содержанием гидрофобной добавки, метилтриэтоксисилана, 30 % об., так как биорецепторный элемент на его основе отличается высокой чувствительностью, длительным сроком службы и стабильной работой.

Вероятнее всего это связано с тем, что при иммобилизации двух разных штаммов микроорганизмов необходима более гибкая структура с большим числом алкильных заместителей, которую можно получить, увеличивая содержание гидрофобной добавки. Такая структура обеспечивает более эффективную иммобилизацию клеток, однако, следует ещё провести дополнительные исследования по совместной иммобилизации дрожжевых и бактериальных клеток в золь-гель матрицы с разными соотношениями силановых прекурсоров и различными методами получить данные о характеристиках, получаемых материалов.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых – кандидатов наук договор № МК-1349.2020.3.

Библиографический список

1. Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): A review / S. Jouanneau, L. Recoules, M. J. Durand, A. Boukabache, V. Picot, Y. Primault, G. Thouand // *Water research*. 2014. Vol. 49. P. 62–82.
2. Mediator BOD Biosensor Based on Cells of Microorganisms Isolated from Activated Sludge / A. S. Kharkova, V. A. Arlyapov, A. D. Turovskaya, A. N. Avtukh, I. P. Starodumova, A. N. Reshetilov // *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2019 Vol. 55. No. 2. P. 189–197.
3. Use of biocompatible redox-active polymers based on carbon nanotubes and modified organic matrices for development of a highly sensitive BOD biosensor / V. A. Arlyapov, A. S. Kharkova, S. K. Kurbanaliyeva, L. S. Kuznetsova, A. V. Machulin, S. E. Tarasov, P. V. Melnikov, O. N. Ponamoreva, V. A. Alferov, A. N. Reshetilov // *Enzyme and Microbial Technology*. 2021. Vol. 143. № 109706.
4. Synthesis of organosilicon sol-gel matrices and preparation of heterogeneous biocatalysts based on them / O. A. Kamanina, D. G. Fedoseeva, T. V. Rogova, O. N. Ponamoreva, I. V. Blokhin, A. V. Machulin, V. A. Alferov // *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2014. Vol. 87, No. 6. P. 761–766. doi.org/10.1134/S1070427214060160
5. Yeast-based self-organized hybrid bio-silica sol-gels for the design of biosensors / O. N. Ponamoreva, O. A. Kamanina, V. A. Alferov, A. V. Machulin, T. V. Rogova, V. A. Arlyapov, E. P. Ivanova // *Biosensors and Bioelectronics*. 2015. Vol. 67(0). P. 321–326.
6. Irani M., Keshkar A., Moosavian M. Removal of cadmium from aqueous solution using mesoporous PVA/TEOS/APTES composite nanofiber prepared by sol-gel/electrospinning // *Chemical Engineering Journal*. 2012. Vol. 200–202. P. 192–201.
7. Pereira A. P. V., Vasconcelos W. L., Oréface R. L. Novel multicomponent silicate-poly(vinyl alcohol) hybrids with controlled reactivity // *J. Non. Cryst. Solids*. 2000. Vol. 273. No. 1. P. 180–185.
8. Silica sol-gel encapsulated methylotrophic yeast as filling of biofilters for the removal of methanol from industrial wastewater / O. A. Kamanina, D. G. Lavrova, V. A. Arlyapov, V. A. Alferov, O. N. Ponamoreva // *Enzyme and Microbial Technology*. 2016. Vol. 92. P. 94–98.
9. BOD biosensor based on the yeast *Debaryomyces hansenii* immobilized in poly(vinyl alcohol) modified by N-vinylpyrrolidone / V. A. Arlyapov, N. Yu. Yudina, L. D. Asulyan, S. V. Alferov, V. A. Alferov, A. N. Reshetilov // *Enzyme and Microbial Technology*. 2013 No. 53. P. 257–262.
10. Registration of BOD using *Paracoccus yeei* bacteria isolated from activated sludge / V. A. Arlyapov, N. Yu. Yudina, L. D. Asulyan, O. A. Kamanina, S. V. Alferov, A. N. Shumsky, A. V. Machulin, V. A. Alferov, A. N. Reshetilov // *3 Biotech*. 2020. Vol. 10. Iss. 5. No. 207.

ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМА СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОСТРОГО ТОКСИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ВОЗДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ НА ПРИМЕРЕ РАКООБРАЗНЫХ *DAPHNIA MAGNA* STRAUS

Е. В. Гюльмисарян, Д. М. Гершкович

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
liza.gyulmisaryan@yandex.ru, papirus451@yandex.ru*

В работе определены в серии повторений полулетальные концентрации референтных токсикантов (ЛК₅₀) за 24 и 48 часов для *Daphnia magna* Straus. Показано сходство показателей острой токсичности для ряда химических веществ различной природы при проведении испытаний в соответствии с реко-

мендациями двух методик проведения биотестирования с использованием дафний.

Ключевые слова: биотестирование, бихромат калия, пентахлорфенол, додецилсульфат натрия, *Daphnia magna* Straus

В связи с возрастающей антропогенной нагрузкой, увеличиваются выбросы в окружающую среду соединений различной химической природы: тяжелых металлов, органических пестицидов, синтетических поверхностно-активных веществ. Компоненты загрязнения поступают из различных источников, таких как химические производства, сельское хозяйство, горнодобывающие и металлургические предприятия. Потенциально токсичные вещества попадают в атмосферу, почву и водоемы, но в процессе миграции основная их масса аккумулируется в водной среде. Накопление загрязняющих веществ не только в окружающей среде, но и в организмах животных и растений, может привести к тяжелым экологическим последствиям, в том числе оказать влияние на здоровье человека [1].

Таким образом, лимитирование содержания потенциально токсичных веществ в водной среде остается актуальной задачей, решение которой невозможно без постоянной работы над стандартами проведения экотоксикологических исследований и совершенствования методов биотестирования. В связи с этим целью нашей работы стала оценка сходства показателей острой токсичности ряда химических веществ для дафний, полученных в результате проведения экспериментов в соответствии с указаниями двух стандартных методик [2, 3].

В качестве референтных токсикантов был выбран бихромат калия, который рекомендован различными методиками [2, 3] для установления соответствия чувствительности лабораторной культуры ракообразных установленным нормам, а также пентахлорфенол и додецилсульфат натрия, рекомендованные в качестве токсикантов сравнения методическими указаниями по биотестированию Агентства по охране окружающей среды США [4].

Пентахлорфенол (ПХФ) относится к хлорорганическим соединениям и находит применение как пестицид широкого спектра действия и дезинфектант. В частности, он является промышленным консервантом древесины, используется как биоцид для борьбы с моллюсками и термитами. В литературных источниках описано его токсическое воздействие на водные организмы и пчел, а также оценены риски вреда здоровью сотрудников, работающих на деревообрабатывающих предприятиях [5].

Додецилсульфат натрия (SDS) представляет собой синтетическое органическое соединение, анионное поверхностно-активное вещество. Додецилсульфат натрия применяют в качестве детергента в промышленности, фармакологии, косметологии. Согласно литературным данным, это соединение может оказывать влияние на клетки и ткани растений и животных, на жизнедеятельность микроорганизмов. При достаточно высоких концентрациях SDS

может нанести серьезный ущерб здоровью человека и привести к летальному исходу. При прямом контакте человека с додецилсульфатом натрия в высоких концентрациях были отмечены различные заболевания кожи и дыхательных путей [6].

Как уже было сказано, большая часть веществ аккумулируется в водной среде, поэтому в качестве объекта исследования были выбраны пресноводные ветвистоусые рачки *Daphnia magna* Straus. Ветвистоусые рачки являются типичными пелагическими обитателями многих пресноводных экосистем и играют ключевую роль в пищевых цепях. Их преимуществами является сравнительная простота культивирования, наглядность функциональных изменений при экстремальных воздействиях и легкость их учета, сравнительно высокая чувствительность к токсическим воздействиям и высокая изученность вида, позволяющая анализировать механизмы воздействия токсиканта на организм [1]. Таким образом, исследование эффектов воздействия потенциально токсичных веществ на дафний остается одной из наиболее востребованных экотоксикологических методик, а ее развитие и стандартизация остается актуальной задачей.

Эксперименты были проведены в соответствии с указаниями двух методических рекомендаций, параллельно, в серии из трех повторений. Основным различием в схеме проведения опытов является объем среды. Растворы с исследуемыми концентрациями токсикантов готовили общие для дальнейшей работы по обоим методикам. Таким образом, на каждую концентрацию тестируемого раствора приходилось по 8 групп, в каждой из которых было по 5 особей. Из них 4 группы были помещены в сосуды по 10 мл, по методике [2] («вариант 1»), на каждую особь приходилось по 2 мл тестируемого раствора. Другие 4 группы дафний помещали в стандартный объем раствора 50 мл (по 10 мл на одну особь) [3] («вариант 2»). В соответствии с вариантом 1 малый объем среды может выступать в качестве дополнительной физиологической нагрузки, влияя на результаты испытаний. Наблюдения продолжали в течение 48 часов, учет погибших рачков проводили на 24 и 48 часы от начала воздействия. Во время проведения исследования дафний не кормили.

По результатам оценки острой токсичности бихромата калия для дафний были получены следующие данные (табл. 1).

Таблица 1

Полулетальные концентрации бихромата калия для дафний за 24 и 48 часов экспозиции, мг/л

Номер повторности	ЛК ₅₀ (за 24 часа)		ЛК ₅₀ (за 48 часов)	
	Вариант 1 (2 мл среды на 1 особь)	Вариант 2 (10 мл среды на 1 особь)	Вариант 1 (2 мл среды на 1 особь)	Вариант 2 (10 мл среды на 1 особь)
1	1,61	1,00	1,00	0,85
2	1,36	1,32	1,04	1,08
3	1,10	0,87	0,90	0,83

Дафнии во всех случаях проявили несколько большую чувствительность к бихромату калия за 24 часа экспозиции при варианте 2, чем при варианте 1. Таким образом, снижение объема среды, приходящегося на одну дафнию, с 10 до 2 мл, не оказывает дополнительной физиологической нагрузки на рачков на фоне интоксикации хромом. Напротив, увеличение объема среды и, соответственно, количества доступного для каждой особи токсического агента, может увеличить процент гибели животных в опытных выборках. Тем не менее, значения полулетальных концентраций бихромата калия для дафний при работе в соответствии с обеими методиками получились близкими, и во всех случаях соответствуют рекомендованному диапазону чувствительности тест-культуры дафний к бихромату калия (ЛК₅₀ за 24 часа должна находиться в диапазоне 0,9–2,0 мг/л). Анализ статистической значимости различий при помощи парного критерия Стьюдента показал, что отличия статистически не значимы.

Таблица 2

Полулетальные концентрации пентахлорфенола для дафний за 24 и 48 часов экспозиции, мг/л

Номер повторности	ЛК ₅₀ (за 24 часа)		ЛК ₅₀ (за 48 часов)	
	2 мл среды на 1 особь	10 мл среды на 1 особь	2 мл среды на 1 особь	10 мл среды на 1 особь
1	>1,25	>1,25	1,56	1,32
2	1,51	1,56	0,96	1,05
3	1,99	2,39	1,26	1,76

Согласно данным, приведенным в таблице 2, дафнии в большинстве случаев проявили несколько большую чувствительность к воздействию пентахлорфенола при использовании варианта метода 1, чем варианта 2. При этом значения полулетальных концентраций пентахлорфенола для дафний при работе в соответствии с обеими методиками оставались близкими, анализ статистической значимости различий при помощи парного критерия Стьюдента показал, что отличия статистически не значимы.

Таблица 3

Полулетальные концентрации додецилсульфата натрия для дафний за 24 и 48 часов экспозиции, мг/л

Номер повторности	ЛК ₅₀ (за 24 часа)		ЛК ₅₀ (за 48 часов)	
	2 мл среды на 1 особь	10 мл среды на 1 особь	2 мл среды на 1 особь	10 мл среды на 1 особь
1	25,30	23,57	22,42	16,65
2	17,29	17,50	12,30	<10,00
3	16,95	12,33	10,82	<10,00

При воздействии додецилсульфата натрия на ракообразных (табл. 3), дафнии в большинстве случаев проявили несколько большую чувствительность к воздействию поверхностно активного вещества при использовании варианта 2 [3], чем варианта 1 [2]. Тем не менее, значения полулетальных

концентраций додецилсульфата натрия для дафний при работе в соответствии с обеими методиками получились сходными, анализ статистической значимости различий при помощи парного критерия Стьюдента показал, что отличия статистически не значимы.

Таким образом, обе методики [2, 3], предполагающие использование разных объемов исследуемых растворов, показывают по результатам оценки острой токсичности веществ различной химической природы близкие значения полумлетальных концентраций.

Для подтверждения возможности использования метода [2] для исследования различных типов проб в дальнейшем планируется расширение спектра исследуемых соединений и увеличение количества повторений экспериментов.

Библиографический список

1. Филенко О. Ф., Михеева И. В. Основы водной токсикологии. М. : Колос, 2007. 144 с.
2. ГОСТ 32536-2013 «Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для дафний». Стандартинформ, 2014.
3. Приказ Федерального Агентства по Рыболовству от 4 августа 2009 года № 695 «Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».
4. U.S. Environmental Protection Agency. Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms. Final Report. 2002. Office of Water, Washington DC. 5th ed. EPA/821/R-02/012
5. Toxicity of pentachlorophenol to native aquatic species in the Yangtze River / X. Jin, J. Zha, Y. Xu, J. P. Giesy, Z. Wang// Environ Sci Pollut Res. 2012. Vol. 19. P. 609–618. doi: 10.1007/s11356-011-0594-1
6. Kumar S., Kirha T. J., Thonger T. Toxicological effects of sodium dodecyl sulfate // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. 2014. Vol. 6. No. 5. P. 1488–1492.

ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ ИЗ СОСТАВА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ НА ТЕСТ-КУЛЬТУРУ МОРСКОЙ ВОДОРОСЛИ *DUNALIELLA TERTIOLECTA*

Ю. С. Григорьев, Я. А. Ивченко, Н. К. Артына
Сибирский федеральный университет, gr2897@gmail.com

Исследовано влияние солей, входящих в состав буровых растворов, на рост тест-культуры морской водоросли *Dunaliella tertiolecta*. Показано, что среде Гольдберга, приготовленной на искусственной морской воде, вносимые соли оказывают незначительное воздействие на ростовые характеристики водоросли, тогда как в среде на дистиллированной воде ее рост почти полностью подавляется.

Ключевые слова: биотестирование, *Dunaliella tertiolecta*, буровые растворы, соли, искусственная морская вода, среда Гольдберга.

В настоящее время на территории Российской Федерации идет активное освоение нефтяных месторождений [1]. В результате этой деятельности образуется значительное количество отходов в виде буровых шламов и отработанных буровых растворов. Токсичность этих отходов во многом зависит от первоначальной рецептуры бурового раствора, физико-химический состав и технологические параметры которого определяются условиями бурения. Среди них встречаются растворы с высокими концентрациями солей [2].

Для оценки токсичности отработанных буровых растворов применяют метод биотестирования. При этом проблемой тестирования высокоминерализованных сред остается выбор тест-объектов, которые в уже сложившейся практике биологического контроля представлены в основном пресноводными формами организмов [3].

Согласно приказа Минприроды России от 04.12.2014 №536 «О подтверждении критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду», при исследовании водных вытяжек из отходов с повышенным содержанием (сухого остатка в исследуемой водной вытяжке более 6 г/дм³) применяются тест-объекты, устойчивые к повышенному содержанию солей [4].

Для биотестирования морских вод используют такие одноклеточные солоноводные водоросли как *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin, *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve, *Dunaliella tertiolecta* Butcher, *Dunaliella salina* [5].

В последние годы в качестве тест-объекта при оценке качества морских вод, донных отложений и веществ применяют другую микроводоросль – *Dunaliella tertiolecta* Butcher [6, 7]. Для этого вида характерен достаточно быстрый рост тест-культуры [8].

Вместе с тем, при биотестировании соленосодержащих отходов остается не ясным характер воздействия солей, в том числе и тех, что входят в состав буровых растворов, на рост самой тест-культуры морской водоросли. Кроме того, согласно методике [5], при биотестировании соленосодержащих отходов в качестве тест-объекта должна использоваться морская водоросль, а вытяжку из такого отхода необходимо производить искусственной морской водой. Понятно, что устанавливая эти требования, исходили из того, что солевым компонентом пробы не должен оказывать влияние на тест-организм, а токсичность обуславливают только другие вещества анализируемой пробы. Однако в реальных условиях соленосодержащие отходы, в том числе буровые растворы и шламы, при хранении подвергаются воздействию атмосферных осадков, близких по составу к дистиллированной воде. В этой ситуации воздействие на окружающую природную среду солевого компонента таких отходов будут оказывать эти вещества, растворенные уже не в морской водой, а в воде жидких осадков с очень низкой минерализацией. Эти условия могут оказаться не пригодными для жизнедеятельности самого солоноводного тест-объекта.

В связи с этим, целью данной работы является оценка влияния солей буровых растворов на рост культуры водоросли *Dunaliella tertiolecta* в среде Гольдберга, приготовленной на искусственной морской воде и дистиллированной воде.

Культура водоросли для проведения экспериментов выращивалась на среде Гольдберга (в модификации Кабановой) на основе искусственной морской воды с минерализацией 33 ‰. Состав питательной среды Гольдберга и искусственной морской воды приведен в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Состав среды Гольдберга

Реактив	Количество реактива, в мг/дм ³ морской воды
KNO ₃	202
NaH ₂ PO ₄ × 2 H ₂ O	38
MnCl ₂ × 4H ₂ O	4
CoCl ₂ × 6H ₂ O	4
FeCl ₃ × 6H ₂ O	6

Таблица 2

Состав искусственной морской воды с минерализацией 33‰

Наименование реактива	Масса реактива, вносимая на 1 дм ³ дистиллированной воды, г
Натрий хлористый (NaCl)	22
Магний хлористый 6-водный (MgCl ₂ × 6H ₂ O)	9,7
Натрий сернокислый (Na ₂ SO ₄) безводный	3,7
Кальций хлористый (CaCl ₂) безводный	1
Калий хлористый (KCl)	0,65
Натрий углекислый кислый (NaHCO ₃)	0,2
Борная кислота (H ₃ BO ₃)	0,023

Выращивание водоросли производилось в культиваторе KB-08 при температуре 25±1 °С и непрерывном световом облучении. Биотестирование выполнялось в климатостате ВЗ при по температуре (24–26 °С) и облучении белым светом (3000 люкс). Пробирки с пробами и тест-культурой водоросли в объеме 30 см³ устанавливали в кассету устройство УЭР-03. За счет вращения кассеты с образцами обеспечивался активный газообмен с внешней воздушной средой, способствующий более быстрому росту культуры водоросли. Численность клеток определялась путем измерения ее оптической плотности при длине волны 560 нм в кювете толщиной 2 см в приборе ИПС-03. Исходная оптическая плотность клеток при засеве составляла 0,005 единиц. После 48 часов непрерывного светового облучения плотность тест-культуры водоросли в контрольном варианте увеличивалась до величины 0,150±0,030, т.е. возрастала в 30 раз.

В качестве солей, применяемых в буровых растворах, исследовались NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂. Оценка воздействия этих солей на рост культуры

водоросли дуналиелла проводился в питательной среде Гольдберга, приготовленной на искусственной морской воде и дистиллированной воде.

Результаты опытов по воздействию различных концентраций NaCl, представленные на рисунке 1, свидетельствуют, что на фоне искусственной морской воды внесение этой соли слабо сказывается на росте водоросли. Эффект проявляется только при максимальной концентрации (80 г/дм³) в виде сильного подавления прирост тест-организма. Иной характер действия хлорида натрия наблюдается в дистиллированной воде. В этих условиях малые концентрации этой соли значительно тормозят рост водоросли. С увеличением содержания NaCl в такой среде прирост хотя и несколько возрастает, однако далеко не достигает контрольного варианта.

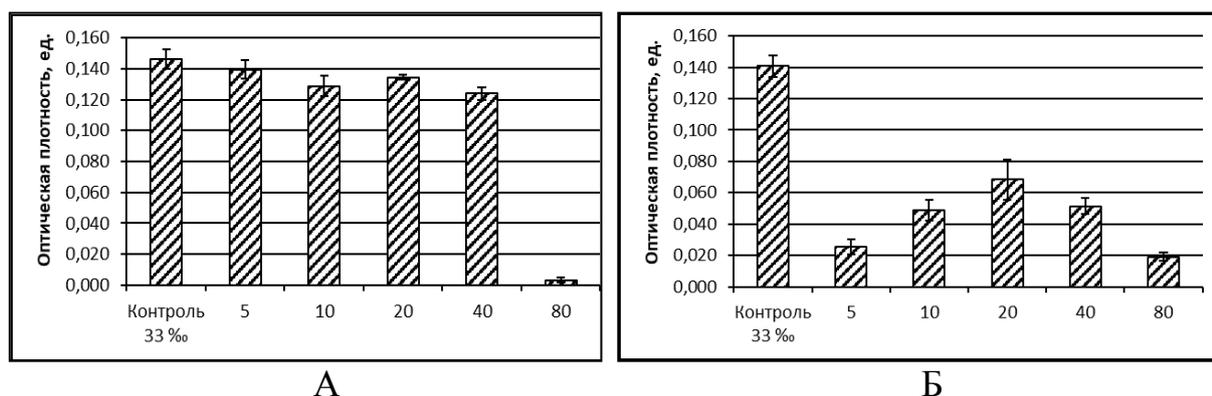


Рис. 1. Оптическая плотность культуры водоросли *Dunaliella tertiolecta* после 48 часов культивирования на среде Гольдберга в искусственной морской воде 33 ‰ (А) и дистиллированной воде (Б) в присутствии различных концентраций NaCl (в г/дм³)

Похожее действие на рост тест-культуры водоросли в искусственной морской воде характерно и при внесении других исследованных солей (рис. 2–4). В тоже время растворы этих солей в дистиллированной воде даже в присутствии питательной среды Гольдберга полностью подавляют рост водоросли при всех исследованных концентрациях.

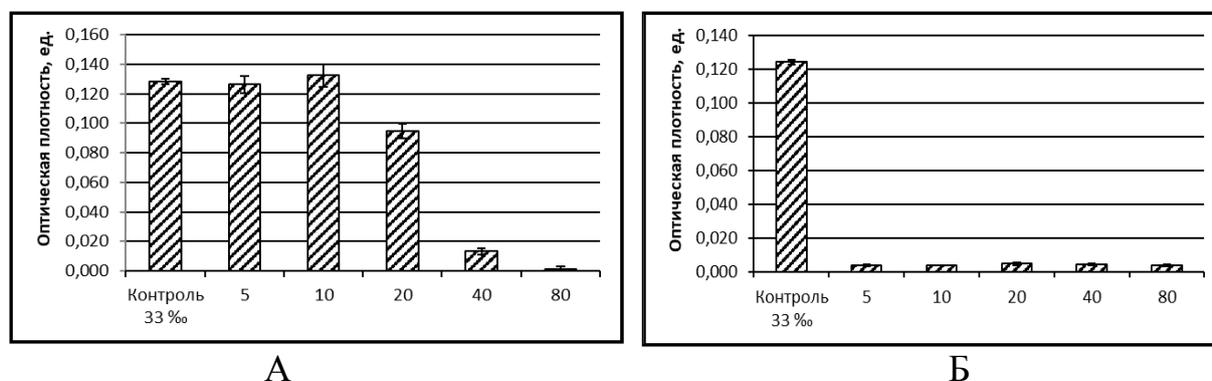


Рис. 2. Оптическая плотность культуры водоросли *Dunaliella tertiolecta* после 48 часов культивирования на среде Гольдберга в искусственной морской воде 33 ‰ (А) и дистиллированной воде (Б) в присутствии различных концентраций KCl (в г/дм³)

Вероятно, для жизнедеятельности морской водоросли необходима не только требуемая осмотичность среды, но и соответствующий ее состав.

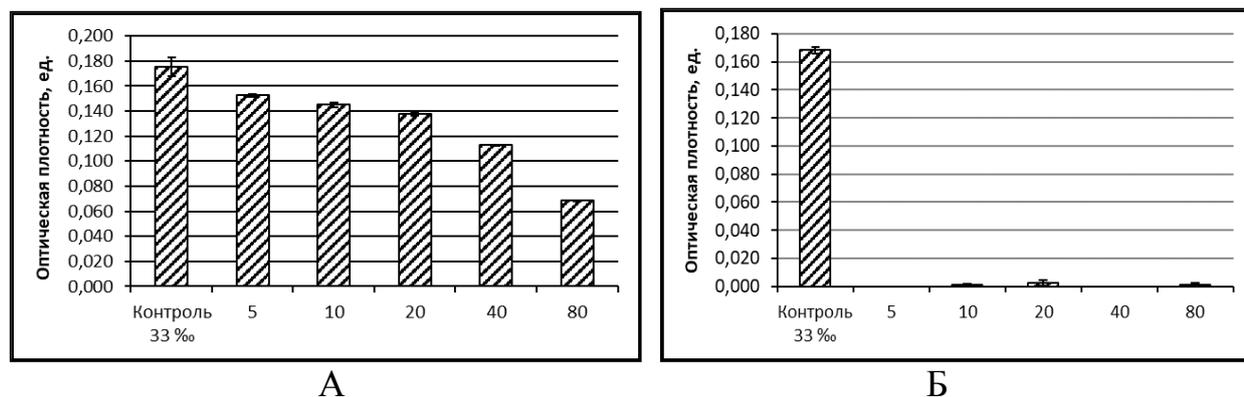


Рис. 3. Оптическая плотность культуры водоросли *Dunaliella tertiolecta* после 48 часов культивирования на среде Гольдберга в искусственной морской воде 33 ‰ (А) и дистиллированной воде (Б) в присутствии различных концентраций $MgCl_2$ (в г/дм³)

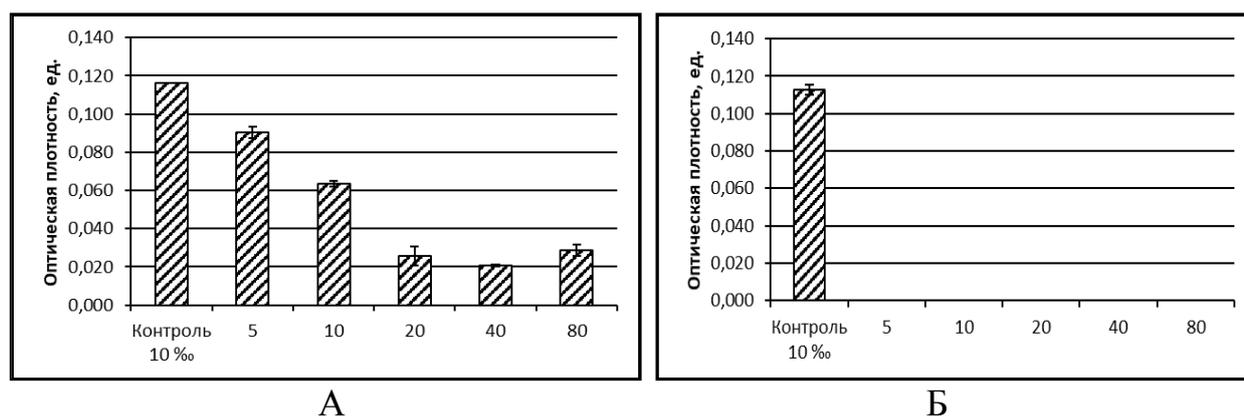


Рис. 4. Оптическая плотность культуры водоросли *Dunaliella tertiolecta* после 48 часов культивирования на среде Гольдберга в искусственной морской воде 33 ‰ (А) и дистиллированной воде (Б) в присутствии различных концентраций $CaCl_2$ (в г/дм³)

Для проверки данного предположения был поставлен эксперимент с внесением в обе среды сразу всех исследованных солей ($NaCl$, KCl , $MgCl_2$, $CaCl_2$) в соотношении 1:1:1:1. Полученные результаты (рис. 5) показывают, что в искусственной морской воде добавление смеси этих солей вызывает небольшое снижение роста водоросли. В дистиллированной воде прирост тест-культуры, практически отсутствующий при малых концентрациях, начинает проявляться с увеличением содержания данной солевой смеси в среде. Последнее, вероятно, связано с тем, что одновременное присутствие всех 4 солей, входящих в состав искусственной морской воды, создает более благоприятную среду для развития данной морской водоросли.

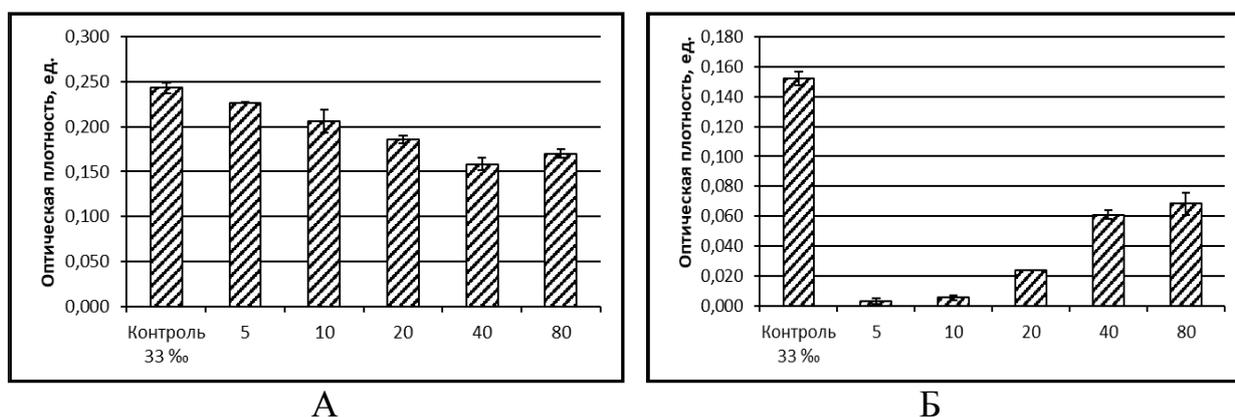


Рис. 5. Оптическая плотность культуры водоросли *Dunaliella tertiolecta* после 48 часов культивирования на среде Гольдберга в искусственной морской воде 33 ‰ (А) и дистиллированной воде (Б) в присутствии смеси различных концентраций NaCl, KCl, MgCl₂, CaCl₂, вносимых соотношении 1:1:1:1

Таким образом, сами соли, содержащиеся в отходах бурения, при проведении биотестирования могут влиять на рост тест-культуры морской водоросли. Эффект будет зависеть как от состава солей в отходах, так и от состава среды культивирования. При хранении соледержащих отходов эти обстоятельства могут по-разному сказаться и на степени их воздействия на окружающую природную среду.

Библиографический список

1. Оценка токсичности отходов нефтедобычи методами биотестирования / Р. Б. Сипулинов, Ю. В. Карагайчева, Н. А. Шилова, С. М. Рогачева // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. 2015. № 5–2. С. 695–699.
2. Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин. Т. 2 / под ред. Е. А. Козловского. М. : Недра, 1984. 437 с.
3. Михеев Н. Н. Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов // РЭФИА, НИА – Природа. М., 2002. 132 с.
4. Об утверждении Критериев отнесения отходов к I – V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду: Приказ Минприроды России от 04 дек. 2014. № 536. 2015. 11 с.
5. ГОСТ 31960-2012 Вода. Методы определения токсичности по замедлению роста *Phaeodactylum tricornutum* Bohlin и *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve. 44 с.
6. Wong C. K. C. Cheung R. Y. H., Wong M. N. Toxicological assessment of coastal sediments in Hong Kong using a flagellat, *Dunaliella tertiolecta* // Environmental Pollution. Vol. 105. 2012. P. 175–183.
7. Стравинскене Е. С., Григорьев Ю. С., Тарасова А. Н. / Оперативный метод биотестирования морских вод на водоросли *Dunaliella tertiolecta* // Соврем. проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод : материалы науч. конф. с междунар. участием. Ростов-на-Дону, 2015. С. 121–125.
8. Фотодвижение клеток *Dunaliella* Теод. (*Dunaliellales*, *Chlorophyceae*, *Viridiplantae*) / Н. П. Масюк, Ю. И. Посудин, Г. Г. Лилицкая // Национальная академия на-

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КУЛЬТИВАЦИОННОЙ СРЕДЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВОДОРΟΣЛИ ХЛОРЕЛЛА К ТЯЖЕЛЫМ МЕТАЛЛАМ

Т. О. Смирнова, А. А. Уланова, Н. К. Артына, Ю. С. Григорьев
Сибирский федеральный университет,
smirnovatanya565656@gmail.com

Исследован характер действия тяжелых металлов (меди, цинка, никеля) на рост тест-культуры водоросли хлорелла при различных концентрациях питательной среды Тамия и температуре 36 и 25 °С. Показано, что чувствительность водоросли возрастает при снижении концентрации питательной среды. Влияние температуры на чувствительность тест-культуры водоросли к отдельным тяжелым металлам проявляется по-разному.

Ключевые слова: тяжелые металлы, водоросль хлорелла, биотестирование, токсичность, среда Тамия, температура.

Поверхностные воды отличаются относительно малой загрязненностью и поэтому методы, применяемые при оценке их качества, должны обладать достаточной чувствительностью для выявления токсического действия невысоких концентраций поллютантов. На кафедре экологии и природопользования СФУ разработана и широко используется в Российской Федерации методика биотестирования различных пресных вод на термофильном штамме водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer [1]. Методика предусматривает световое экспонирование проб с тест-культурой водоросли в течение 22 часов при температуре 36 градусов. Поскольку тестирование природных вод при температуре 36 °С может сопровождаться изменением их физико-химических свойств, то возникла необходимость провести культивирование данной культуры водоросли при более низкой температуре и определить ее чувствительность в этих условиях. Кроме того, по методике [1] культивирование водоросли проводится на 2% питательной среде Тамия, тогда как известно [2, 3], что чувствительность биотеста, в результате повышения биодоступности токсикантов, увеличивается при снижении концентрации питательной среды.

В связи с этим целью работы явилось исследование чувствительности водоросли *Chlorella vulgaris* Beijer к тяжелым металлам при выращивании тест-культуры при различной концентрации питательной среды и температуре 36 и 25 °С.

Водоросль хлорелла выращивалась в культиваторе КВ-05 на 50% среде Тамия при 36 °С. Биотестирование проводилось в 24-кюветном культиваторе КВМ-05 в течение 22 часов при 36 °С и 45 часов при температуре 25 °С. В ка-

честве питательной среды использовалась среда Тамия в концентрации 2%, 1% и 0,5%. Засев водоросли производился в количестве 70×10^3 клеток/см³, что соответствует начальной оптической плотности тест-культуры 0,005. За время культивирования численность клеток в контрольном варианте опыта возрастала в 30–35 раз (до оптической плотности 0,150–0,170). Измерение оптической плотности суспензии водоросли выполнялось на приборе ИПС-03 при длине волны 560 нм, в кювете толщиной 20 мм.

В качестве токсикантов были использованы соли тяжелых металлов, список которых и ряд использованных концентраций приведен в таблице 1.

Таблица 1

Соли тяжелых металлов и их концентрации, использованные в экспериментах (расчет сделан на ион металла, для бихромата калия – на соль)

Токсикант	Концентрация, мг/дм ³				
CuSO ₄ ×5H ₂ O	0,001	0,002	0,004	0,008	0,016
K ₂ Cr ₂ O ₇	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4
ZnSO ₄ ×7H ₂ O	0,063	0,125	0,25	0,5	1
NiSO ₄	0,093	0,187	0,375	0,75	1,5
3CdSO ₄ ×8H ₂ O	0,01	0,02	0,04	0,08	0,160

На первом этапе исследования были изучены ростовые характеристики культуры водоросли хлореллы при снижении концентрации питательной среды.

Результаты эксперимента, представленные на рисунке 1, показывают, что при разбавлении среды Тамия с 2% до 1% и 0,5% прирост водоросли снижается незначительно, не превышая 15% при обеих температурах культивирования. Полученные данные свидетельствуют, что в исследованном диапазоне концентрации среды Тамия лимитирование роста со стороны элементов питания проявляется лишь в малой степени.

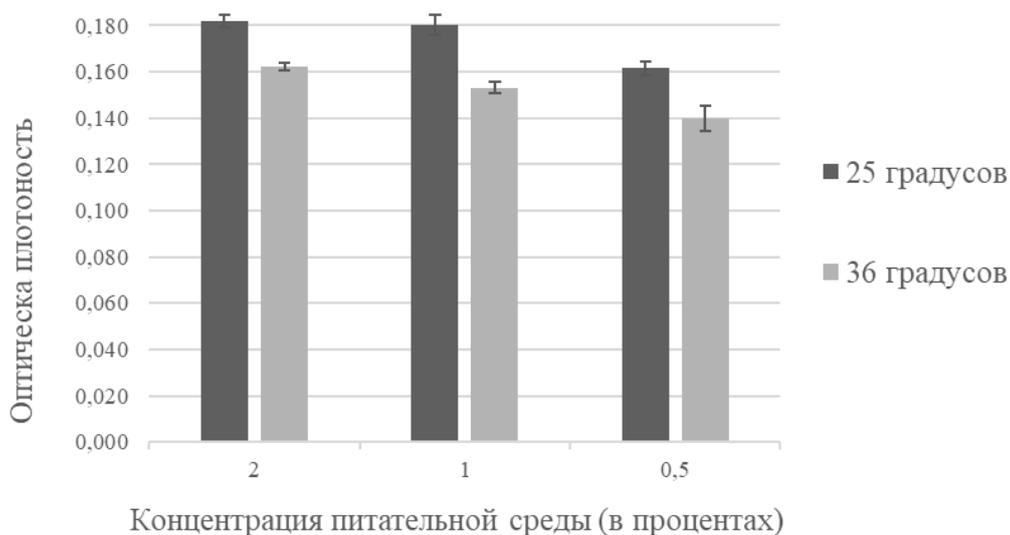


Рис. 1. Оптическая плотность контрольных образцов культуры водоросли хлорелла после 45 часов культивирования при 25 °С и 22 часов при 36 °С в 2, 1 и 0,5 % среде Тамия

В этих условиях было поставлено эксперименты с солями тяжелых металлов. На рисунке 2 представлен характер действия бихромата калия на рост водоросли хлорелла в 2%, 1% и 0,5%-ной среде Тамия при температуре 25 и 36 градусов.

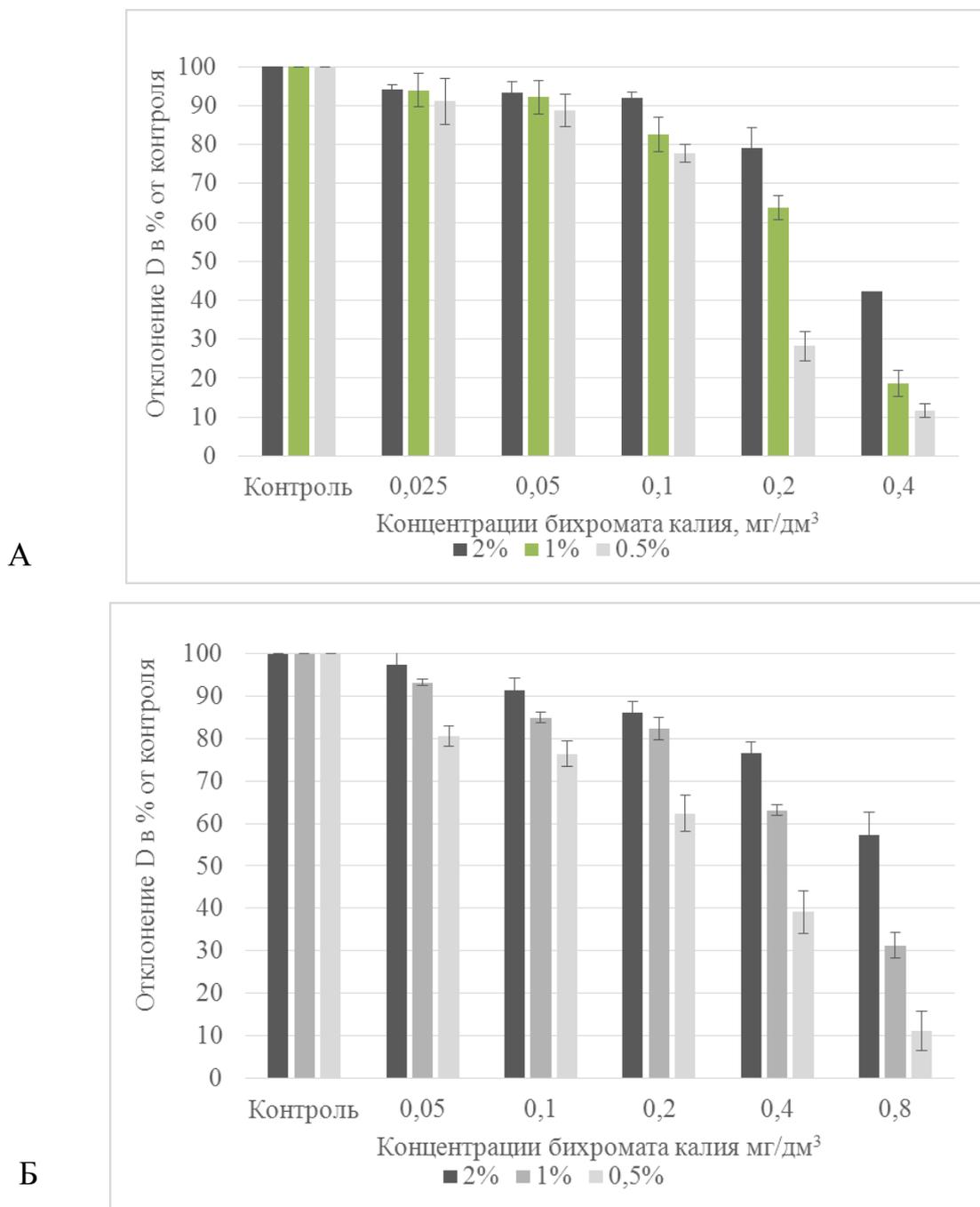


Рис. 2. Отклонение величины оптической плотности (D) суспензии водоросли хлорелла в процентах от контрольного варианта после культивирования при температуре 25 °С (А) и 36 °С в среде Тамия (2, 1 и 0,5%) в присутствии различных концентраций бихромата калия

Хорошо видно, что при разбавлении среды Тамия от 2 до 0,5% степень воздействия концентраций бихромата калия на рост водоросли увеличивается.

Аналогичные опыты были проведены с солями других тяжелых металлов. Их результаты, выраженные в величинах концентраций, оказывающих 50% подавления роста тест-культуры водоросли хлорелла (EC_{50}), представлены в таблице 2.

Таблица 2

Значение EC_{50} для исследованных тяжелых металлов по воздействию на рост водоросли хлорелла при температуре 25 °С. Концентрации приведены в расчете на ион металла (кроме бихромата калия)

Токсикант	Значение EC_{50} при температуре 25 и 36 градусов, и различной концентрации питательной среды					
	2%		1%		0,5%	
	25 °С	36 °С	25 °С	36 °С	25 °С	36 °С
Cu^{+2}	0,0026	0,004	0,0014	0,0043	0,0016	0,003
$K_2Cr_2O_7$	0,35	0,5	0,25	0,5	0,15	0,3
Zn^{+2}	>1	>1	0,45	0,55	0,43	0,39
Ni^{+2}	0,88	0,48	0,45	0,18	0,43	0,18
Cd^{+2}	0,118	0,03	0,109	0,018	0,054	0,01

Приведенные данные (табл. 2) свидетельствуют, что для всех других исследованных тяжелых металлов четко прослеживается тенденция в повышении их токсичности при уменьшении концентрации среды Тамия.

Что касается температуры культивирования, то действия тяжелых металлов на тест-культуру водоросли при 25 и 36 градусах проявляется разнонаправленно (табл. 2). Для ионов меди и бихромата оно выше при низкой температуре и поэтому 50% подавление роста наблюдается при более низких концентрациях этих токсикантов. Ионы никеля и кадмия оказывают большее воздействие при температуре 36 градусов.

Библиографический список

1. Григорьев Ю. С. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных, природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. ПНД ФТ 14.1:2:3:4.10-04, Т 16.1:2:2.3:3.7-04. М., 2014. 19 с.
2. Тютюкова, Е. А., Григорьев Ю. С. Чувствительность биотестов на основе водорослей хлорелла и сценедесмус к тяжёлым металлам // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 2. С. 57–60. doi: 10.25750/1995-4301-2014-2-057-060
3. Стравинскене Е. С. Биодоступность тяжелых металлов в экологическом мониторинге природных вод (методологические аспекты) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2011. 18 с.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ЭКСПРЕСС-БИОТЕСТОВ К КОМПЛЕКСНОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

М. А. Сысолятина, А. В. Пенелеева, Г. И. Березин
Вятский государственный университет, fostmarimi@gmail.com

В статье рассмотрен опыт применения методов биотестирования с использованием *Paramecium caudatum* Ehrenberg и тест-системы «Эколюм» для оценки острой токсичности тяжёлых металлов и редкоземельных элементов (как потенциальных загрязнителей окружающей среды) при их совместном воздействии на тест-организмы.

Ключевые слова: биотестирование, тяжёлые металлы, редкоземельные элементы, биодиагностика, токсичность.

В связи с развитием современных технологий, редкоземельные элементы (РЗЭ), как и тяжёлые металлы (ТМ), становятся источником загрязнения окружающей среды. Ранее нами было изучено индивидуальное действие ТМ и РЗЭ на биотест-организмы [1]. Но в окружающей среде изучаемые элементы поступают и влияют на живые организмы комплексно, поэтому и оцениваться их экотоксический эффект должен при совместном воздействии.

Цель работы – изучение чувствительности экспресс-биотестов к комплексному воздействию смесей РЗЭ и ТМ.

В качестве токсикантов были использованы соли ТМ и РЗЭ, имеющих в своем составе одинаковый анион: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{La}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. В России из изучаемых нами элементов установлены ПДК для питьевой воды только для меди (1 мг/л) [2]. Для церия и лантана нет утвержденных ПДК, однако по литературным данным опасными концентрациями для церия считаются от 0,05 мг/л [3], для лантана от 0,01 мг/л [4].

В качестве исследуемых концентраций нами были выбраны следующие сочетания: 0,75 мг/л Cu^{2+} (0,75 ПДК) и 1 мг/л РЗЭ; 0,5 мг/л Cu^{2+} (0,5 ПДК) и 0,5 мг/л РЗЭ; 0,25 мг/л Cu^{2+} (0,25 ПДК) и 0,25 мг/л РЗЭ. Исследуемые концентрации получали путем последовательного разведения артезианской водой концентрированных растворов каждого изучаемого вещества (1 мг/см³), приготовленного на дистиллированной воде. Эксперименты проводили в 3-х кратной повторности.

Для оценки острой токсичности полученных растворов токсикантов использовали аттестованную методику с использованием в качестве тест-организмов *Paramecium caudatum* Ehrenberg и тест-систему «Эколюм», представляющую собой лиофилизированную культуру люминесцентного штамма генно-инженерных бактерий *Escherichia coli* M-17, возможности которого в биодиагностике достаточно хорошо изучены [5]. Эксперименты проводили в соответствии со стандартными методиками [6, 7].

Индекс токсичности для тест-системы «Эколюм» вычисляли по формуле:

$$T = 100 \times (I_0 - I) / I_0,$$

где I_0 и I – интенсивность свечения контроля и опыта, соответственно, при экспозиции 30 мин.

Индекс токсичности для *P. caudatum* определяли по формуле:

$$T = (T_{\text{ср.к}} - T_{\text{ср.а}}) / T_{\text{ср.к}},$$

где $T_{\text{ср.к}}$, $T_{\text{ср.а}}$ – средние показания прибора для контрольных и анализируемых проб соответственно.

Данные представляли в виде средних значений и их ошибок ($\bar{x} \pm SE$).

Как видно из таблицы 1, для тест-системы «Эколюм» воздействие смеси меди и лантана характеризовалась III группой токсичности (пробы сильно токсичны), причем выраженной разницы между разными концентрациями не наблюдается. Инфузории же показали несколько иной результат: в первых двух концентрациях индекс токсичности закономерно не уменьшался, только при действии наименьшей концентрации индекс токсичности незначительно снизился.

Таблица 1

Чувствительность тест-организмов к комплексам солей Cu^{2+} и La^{2+}

Концентрация (медь + лантан), мг/л	Индекс токсичности, ср.	
	Инфузории	«Эколюм»
0,75+1,0	0,995±0,001 III группа	89,95±0,94 III группа
0,5+0,5	0,981±0,004 III группа	93,50±0,84 III группа
0,25+0,25	0,799±0,090 III группа	93,24±4,48 III группа

При биотестировании смеси солей меди и церия с помощью тест-системы «Эколюм» индексы токсичности варьировались от 0,98 до 0,99 (табл. 2), что соответствовало III группе токсичности – «высокая степень токсичности». Закономерного уменьшения токсического эффекта с понижением концентрации не наблюдалось. Максимальный токсический эффект прослеживался и на инфузориях. Индексы токсичности всех исследуемых концентраций находятся в III группе токсичности. Однако, значения индекса токсичности достоверно уменьшались с понижением концентрации.

Таблица 2

Чувствительность тест-организмов к комплексам солей Cu^{2+} и Ce^{3+}

Концентрация (медь + церий), мг/л	Индекс токсичности, ср.	
	Инфузории	«Эколюм»
0,75+1,0	0,948±0,001 III группа	98,66±0,19 III группа
0,5+0,5	0,841±0,073 III группа	98,90±0,11 III группа
0,25+0,25	0,768±0,035 III группа	99,12±0,13 III группа

Таким образом, чувствительность инфузорий и тест-системы «Эколюм» оказалась высокой к исследуемым смесям солей меди и РЗЭ, причем наибольший вклад в токсический эффект, вероятно, вносят ионы меди, а не РЗЭ. Чувствительность тест-системы «Эколюм» к ионам меди выражена сильнее чем у культуры *Paramecium caudatum* Ehrenberg. Это может быть обусловлено тем, что такие металлы, как медь или серебро, имеют выраженный противомикробный эффект и эффективны против клеток *E. coli*. – биотест-организма тест-системы «Эколюм» [8]. В значениях индекса токсичности прослеживалось закономерное уменьшение негативного действия с понижением концентрации только для методики с использованием инфузорий для вариантов смеси солей «медь + церий».

Библиографический список

1. Сысолятина М. А., Ложкина Р. А., Олькова А. С. Чувствительность экспресс-биотестов к тяжелым металлам и редкоземельным элементам // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : материалы междунар. науч. конф. Киров : ВятГУ, 2019. С. 200–204.
2. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М., 2021. 469 с.
3. Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating 1st and 2nd addenda, Vol.1, Recommendations. – 3rd ed [Электронный ресурс]. – URL: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/guidelines_for_drinking_water_quality_3v.pdf (дата обращения: 02.04.2021).
4. Рыбальский Н. Г. Экологические аспекты экспертизы изобретений: справочник эксперта и изобретателя. М. : ВНИИПИ, 1989. Ч.1. 139 с.
5. Люминесцентные цельноклеточные биосенсоры в детекции экотоксикантов (обзор) / Э. Ш. Шемшединова, Э. Р. Абдураманова, Е. В. Морозкина, А. М. Кацев // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 6–13. doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-006-013
6. ФР.1.39.2015.19244 (взамен ФР. 1.31.2005.01883(ред. 2010 г.)). Методика определения токсичности отходов производства и потребления экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер». СПб. : ООО «СПЕКТР-М», 2015. 20 с.
7. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04. Токсикологические методы контроля. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «ЭКОЛЮМ». М. : ООО НЦ «Экологическая перспектива», 2010. 22 с.
8. Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles / J. P. Ruparelia, A. K. Chatterjee, S. P. Duttagupta, S. Mukherji // Acta Biomaterialia. 2008. Vol. 4, Iss. 3. P. 707–716.

ОЦЕНКА РАЗМНОЖЕНИЯ ПОЛЕВОК-ЭКОНОМОК, ОБИТАВШИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА И У ИХ ЛАБОРАТОРНЫХ ПОТОМКОВ (F₁)

Н. Н. Старобор, О. В. Раскоша

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
starobor@ib.komisc.ru, raskosha@ib.komisc.ru*

Представлены результаты размножения в условиях вивария полевок-экономок, отловленных на участках с различным уровнем радиоактивного фона, а также их потомков F₁. Обнаружено сокращение количества послеродовых спариваний у самок, отловленных с радиоактивно загрязненного участка, а у их потомков (F₁) зафиксирована высокая ранняя смертность детенышей.

Ключевые слова: полевки-экономки, ионизирующее излучение, размножение в условиях вивария

В качестве объектов экологического мониторинга на техногенно нарушенных территориях широко используют мелких грызунов, которые соответствуют основным требованиям, предъявляемым к видам-индикаторам: широкое распространение в природе, высокая численность и плодовитость, быстрая смена поколений. Важнейшими характеристиками, которые необходимо регистрировать при изучении токсичности среды обитания для животных, являются репродуктивные показатели, определяющие ход процессов популяционного воспроизводства.

Цель работы – оценить в лабораторных условиях показатели размножения у полевок-экономок (*Alexandromys oeconomus* Pallas), обитавших на радиоактивно загрязненном (уровень экспозиционной дозы – 50–2000 мкР/ч) и контрольном (10–15 мкР/ч) участках (Республика Коми, Россия), и у их потомков первого поколения (F₁).

Исследуемые участки находятся на территории пос. Водный Ухтинского района Республики Коми в среднем течении р. Ухта. Оба участка идентичны по экологическим условиям, но отличаются по уровню гамма-фона и содержанию радионуклидов в почве и воде. Животные (F₀), отловленные на участках, были доставлены в виварий Института биологии Коми НЦ УрО РАН (<http://www.ckp-rf.ru/usu/471933/>) для изучения показателей размножения. У полевок-экономок (F₀ и F₁) определяли общую интенсивность размножения (число родивших самок за месяц к общему числу самок) и индивидуальную интенсивность размножения (отношение числа теоретически возможных пометов к фактическому числу пометов), общую плодовитость самок, число рожденных детенышей, младенческую смертность (в течение первых 30 дней жизни), а также рассчитывали репродуктивный индекс (отношение общего числа выживших в течение первых 30 дней жизни детенышей к об-

щему числу полевов). Для расчета показателей размножения были использованы формулы [1, 2].

Полученные результаты показали, что в лабораторных условиях у полевок-экономок с радиоактивно загрязненного участка общая интенсивность размножения составляла 86,4%, индивидуальная интенсивность размножения была 80,0%, что было близко к значениям, полученных на самках с контрольного участка (85,5% и 85,0% соответственно). При этом обнаружены некоторые различия между животными с исследуемых участков, которые проявлялись у самок с радиоактивно загрязненного участка в удлинении периода отсутствия послеродовой беременности (в среднем на 4 дня), в снижении доли послеродовых спариваний (на 25%; $p \leq 0,05$) и в увеличении общей плодовитости (на 16%) по сравнению с контрольными животными. Выявлено, что у полевок, отловленных на радиоактивно загрязненном участке, в пометах преобладали самки (58%), а у животных с контрольного участка – самцы (56%). По количеству погибших детенышей в течение первых 30 дней жизни отличий у животных с обоих участков не обнаружено. Следует отметить, что значение репродуктивного индекса, характеризующего увеличение численности животных в условиях вивария за период исследования, у облученных полевок было 6,45 усл. ед., у контрольных полевок – 5,81 усл. ед.

Между потомками (F_1) полевок, отловленных на радиоактивно загрязненном и контрольном участках, статистически значимых отличий по изученным показателям размножения не обнаружено. У потомков с обоих участков общая интенсивность размножения составляла около 93%, индивидуальная интенсивность размножения самок – 78%, доля послеродовых спариваний – 56%, период между беременностями составлял в среднем 8 дней, общая плодовитость – 12 детенышей. Отмечено, что у потомков полевок, с радиоактивно загрязненного участка, в пометах преобладали самцы (58%), у потомков с контрольного участка соотношение самцов и самок в пометах было равным (1:1). Значения репродуктивных индексов у потомков полевок с радиоактивно загрязненного и контрольного участков также были близки (5,40 и 5,55 усл.ед., соответственно). Исключение составляла ранняя смертность детенышей, рожденных потомками F_1 , которая была статистически значимо выше у потомков облученных животных (14,8%, в контроле – 8,9%; $p \leq 0,05$). Возможно, высокая ранняя смертность детенышей у потомков животных с радиоактивно загрязненного участка, является результатом проявления трансгенерационной нестабильности генома. В исследованиях И. Ю. Нефедова с соавторами [3] показано, что нарушения в половых клетках облученных родителей передаются их необлученным потомкам, при этом летальные эффекты у потомства F_1 реализуются преимущественно в эмбриогенезе, а у F_2 – в раннем постнатальном онтогенезе.

Таким образом, у полевок-экономок, отловленных на участке с повышенным радиационным фоном, обнаружено значительное понижение частоты послеродовых спариваний, а у их потомков (F_1), родившихся в лабораторных

условиях при нормально радиационном фоне выявлена высокая ранняя смертность детенышей.

Работа выполнена в рамках ГЗ ФИЦ ИБ Коми НЦ УрО РАН, № ГР АА-АА-А18-118011190102-7.

Библиографический список

1. Reproductive Features of the Russian Vole in Laboratory Breeding / D. T. Widayati, K. Mekada, S. Oda, E. Zholnerovskaya, S. M. Zakiyan, K. Fukuta // *Experimental Animals*. 2003. Vol. 52. P. 329–334. doi: 10.1538/expanim.52.329

2. Reproductive characteristics of the Yangtze vole (*Microtus fortis calamorum*) under laboratory feeding conditions / M. Zhanga, Q. Hana, G. Shena, Y. Wanga, B. Lia, C. Guob, X. Zhou // *Animal Reproduction Science*. 2016. Vol. 164. P. 64–71. doi.org/10.1016/j.anireprosci.2015.11.013

3. Нефёдов И. Ю., Нефёдова И. Ю., Палыга Г. Ф. Некоторые методологические аспекты экспериментального моделирования и оценки наследственных последствий облучения одного и обоих родителей // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 1996. Т. 36. № 6. С. 912–920.

ОЦЕНКА ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*М. В. Климова, Ш. К. Карчава, Т. Н. Ажогина, Л. Е. Хмелевцова,
М. И. Хаммами*

*Южный федеральный университет,
mzhuravleva@sfedu.ru, skarchava@sfedu.ru,
tazhogina@sfedu.ru, lehmelevcova@sfedu.ru, mars@sfedu.ru*

В статье представлен материал по определению генотоксичности почв естественных и урбанизированных территорий Ростовской области при помощи lux-биосенсора *E. coli* MG1655 (pColD-lux). Проведенные исследования показали, что наиболее загрязненными по количеству проб и по величине генотоксического эффекта оказались экстракты почв, выделенные из проб почв сельскохозяйственных земель с химической нагрузкой (п. Рассвет) и проб сельскохозяйственной почвы без обработки (пос. Песчанокопский).

Ключевые слова: биотестирование, поллютанты, генотоксичность, lux-биосенсоров.

В Ростовской области высокий процент земель сельскохозяйственного назначения, промышленного назначения, а также земель с высокой плотностью населенных пунктов [1]. Традиционные методы интенсивной обработки почвы рано или поздно приводят к снижению запаса почвенного гумуса, уменьшению почвенно-биологической активности, эрозии вплоть до деградации почвы, а также снижению урожайности. Прямой посев (или No-till), т. е. полный отказ от любой обработки почвы, является такой системой, при которой повышается плодородие почвы [2]. Антропогенному воздействию под-

вержена практически вся территория области, что ведет к серьезным нарушениям почвенного покрова. Поэтому проблема мониторинга загрязнения почв Ростовской области является актуальной. В условиях активного развития сельскохозяйственного производства, промышленности и урбанизации поддержание биопродуктивности почвенных ресурсов возможно только при хорошо налаженном экотоксикологическом мониторинге.

Учитывая многообразие антропогенных поллютантов, сложность, а также скорость их трансформации в экосистемах, многократно увеличиваются требования к тест-системам, используемым для мониторинга загрязнения окружающей среды [3, 4]. В связи с этим целью работы, стало изучение генотоксичности почв естественных и урбанизированных территорий Ростовской области с использованием бактериальных люминесцентных биосенсоров. Материалом исследования служили образцы почв особо охраняемых природных территорий (Ботанический сад (пашня, залежь), пос. Персиановский (целина, пашня)), с/х земли с химической нагрузкой (п. Рассвет Аксайского р-на (предшественник нут культурный, с внесением гумата, с внесением средств химической защиты, с внесением «Био-Дон»), с высокой антропогенной нагрузкой (озеро Атаманское (4 точки в различных местах озера)), с/х почвы без обработки (пос. Песчанокопский (целина, вспашка, No-till (2-3 года), No-till (10 лет), минимальная, предшественник лен). Для определения присутствия прямых мутагенов использовался биосенсор *E. coli* MG1655(pColD-lux), реагирующий на вещества, вызывающие повреждения ДНК [5]. Мерой токсичности служил фактор индукции (I), рассчитываемый как отношение биolumинесценции опытной пробы к биolumинесценции контрольной пробы. При достоверном отличии опыта от контроля $I < 2$, обнаруженный токсический эффект оценивался как «слабый». При $2 \leq I \leq 10$ - как «средний». При $I > 10$ - как «сильный».

Биolumинесцентный ответ наблюдался в 10 из 18 исследованных образцах почв. Был зафиксирован генотоксический эффект слабой и средней силы.

В экстрактах почв, отобранных в п. Рассвет Аксайского р-на, зарегистрирован генотоксический эффект средней силы. Фактор индукции составил 1,91 в точке отбора с внесением препарата «Био-Дон» и 1,69 в пробе почвы с внесением средств химической защиты.

Довольно высокие генотоксические эффекты выявлены в почвах озера Атаманское (2,10 и 1,78). Этот факт можно объяснить тем, что озеро долгое время использовали как резервуар для промышленных стоков предприятия «Химволокно», однако на данный момент оно пересохло.

Наибольшее количество эффектов наблюдалось в пробах почв, отобранных в пос. Песчанокопский. Максимальные факторы индукции составили 2,52 и 2,08 в почвах после вспашки и после посева льна соответственно (средний токсический эффект). Также наблюдался слабый токсический эффект в пробах почв с минимальной обработкой и целины, фактор индукции составил 1,90 и 1,76 соответственно.

Результаты проведенного тестирования с помощью lux-биосенсора реагирующего на вещества, вызывающие повреждения ДНК, показали, что по уровню загрязнения пробы почв далеко не однородны, так как для каждого исследуемого объекта характерны свои доминирующие токсичные вещества, которые и создают определенный уровень загрязнения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания научной деятельности № 0852-2020-0029.

Библиографический список

1. Экологический вестник Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2009 году» / под ред. С. Г. Курдюмова, Г. И. Скрипки, М. В. Парашенко. Ростов н/Д. : «Синтез технологий», 2010. 365 с.
2. Агроэкологическая оценка технологии No-till в условиях Белгородской области / С. Д. Лицуков, А. В. Ширяев, Л. Н. Кузнецова, С. А. Линков, А. Н. Сегидин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 9. С. 46–48.
3. Сазыкина М. А., Мирина Е. А., Сазыкин И. С. Использование биосенсоров для детекции антропогенного загрязнения природных вод // Вода: Химия и экология. 2015. № 10. С. 67–79.
4. Оценка загрязнения донных отложений Нижнего Дона методами биотестирования и химического анализа / И. С. Сазыкина, И. С. Сазыкин, Л. Е. Хмелевцова, Е. Ю. Селиверстова, Ш. К. Карчава, М. В. Журавлева, Е. М. Кудеевская // Валеология. 2016. № 4. С. 5–12.
5. Biosensor-based comparison of the ecotoxicological contamination of the wastewaters of Southern Russia and Sourthern Germany / I. S. Sazykin, M. A. Sazykina, L. E. Khmelevtsova, E. A. Mirina, E. M. Kudееvskaya, E. A. Rogulin, A. V. Rakin // Int. J. Environ. Sci. Technol. 2016. Vol. 13. No. 3. P. 945–954. doi: 10.1007/s13762-016-0936-0

ГЕНОТОКСИЧНОСТЬ ТКАНЕЙ ПИЛЕНГАСА (*MUGIL SOIUU*)

***Ш. К. Карчава¹, М. В. Климова¹, А. А. К. Аль-Раммахи²,
И. С. Сазыкин¹***

¹ Южный федеральный университет,

skarchava@sfedu.ru, mzhuravleva@sfedu.ru, issa@sfedu.ru

² Технологический университет им. Аль-Фурат Аль-Авсат,
ameer.iraq1982@gmail.com

В статье представлен материал по определению генотоксичности различных тканей пиленгаса (*Mugil soiuu*) при помощи lux-биосенсоров *E. coli* MG1655 (pColD-lux) и *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux). Проведенные исследования показали, что наиболее загрязненными по количеству проб и по величине генотоксического эффекта оказались экстракты, выделенные из печени пиленгаса.

Ключевые слова: биотестирование, поллютанты, генотоксичность, lux-биосенсоры.

Систематическое антропогенное загрязнение оказывает растущее негативное воздействие на биологические ресурсы и является одним из главных факторов, обуславливающим ущерб рыбному хозяйству [1]. В результате разных видов хозяйственной деятельности ежегодно большое количество поллютантов попадают в водные экосистемы, что приводит к их значительному загрязнению токсичными соединениями. Обитание в загрязненной среде приводит к аккумуляции поллютантов гидробионтами, что в результате приводит к неблагоприятным последствиям как для самих организмов, так и в дальнейшем – для пищевых цепей. Рыбы, являясь верхним уровнем трофической структуры водной экосистемы, накапливают поллютанты различной природы в своем организме в течение всего жизненного цикла, отражая тем самым картину загрязнения среды их обитания [2].

Как известно, одним из наиболее опасных следствий загрязнения среды в том числе и водной, является накопление в компонентах экосистем веществ, способных повреждать генетический аппарат клетки [3]. Это всевозможные сельскохозяйственные ядохимикаты, тяжелые металлы, полихлорированные бифенилы, диоксины и т. д. Данные вещества ядовиты для большинства организмов, их отличает высокая персистентность и способность к аккумуляции [4]. Поступление подобных веществ в организм инициирует множество клеточных, тканевых и системных ответов, в результате чего возникают необратимые патологические изменения [5, 6]. Особая опасность таких веществ заключается в том, что их действие распространяется на будущие поколения. Они могут вызывать рост генетического груза популяций за счет значительного увеличения числа вредных рецессивных мутаций. Не проявляясь в первом поколении, эти генетические изменения могут через несколько поколений вызвать взрыв заболеваемости [7].

Учитывая все вышеперечисленное, проблема мониторинга генотоксичности водных экосистем является весьма актуальной задачей. Активно используемые аналитические методы исследования не позволяют обнаруживать биологические эффекты с помощью химического анализа, поэтому необходимо использование методов биотестирования.

На данный момент особенно перспективен метод биотестирования на основе люминесцентных бактериальных сенсоров [8, 9]. Высокая чувствительность подобных тест-систем и их способность определять широкий спектр токсичных веществ в образцах окружающей среды позволяет использовать биолюминесцентные тесты для первичного анализа большого массива природных образцов [10]. В качестве биологической основы биосенсоров – биоэлектронных систем, позволяющих в режиме on-line регистрировать гибель, либо изменение параметров метаболизма живых систем, используются природные штаммы бактерий, либо генно-инженерные конструкции.

Целью работы была оценка генотоксичности различных тканей пиленгаса (*Mugil soiuu*), который является одним из промысловых видов рыб Азовского моря.

Материалом исследований служили 18 образцов пиленгаса, выловленного в Азовском море. Для тестирования генотоксичности были приготовлены спиртовые экстракты из различных тканей рыбы (жабры, мышцы и печень). В работе были использованы цельноклеточные бактериальные сенсоры на основе люминесцентных бактерий. *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux) и *E. coli* MG1655 (pColD-lux), реагирующие на вещества, вызывающие повреждения ДНК. Мерой токсичности служил фактор индукции (I), рассчитываемый как отношение биолюминесценции опытной пробы к биолюминесценции контрольной пробы. При достоверном отличии опыта от контроля $I < 2$, обнаруженный токсический эффект оценивался как «слабый». При $2 \leq I \leq 10$ – как «средний». При $I > 10$ – как «сильный».

В результате проведенных исследований при помощи *E. coli* MG1655 (pColD-lux) генотоксический эффект был зарегистрирован без использования метаболической активации в двух исследуемых образцах экстрактов печени и оценивался как слабый – фактор индукции составил 1,52 и 1,82. В условиях метаболической активации слабый генотоксический эффект наблюдался в тех же пробах (I составил 1,68 и 1,59). Ответная реакция *E. coli* MG1655 (pColD-lux) как с метаболической активностью, так и без нее, свидетельствует о содержании в тканях веществ и прямого и промутагенного действия.

При тестировании образцов с сенсорным штаммом *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux) генотоксический эффект слабой и средней силы наблюдался практически во всех исследуемых образцах. Слабый генотоксический эффект был зарегистрирован в 7 образцах экстрактов (3 – в жабрах, 2 – в печени, 2 – в мышцах). В 34 образцах экстрактов был зарегистрирован средний эффект (11 – в жабрах, 12 – в печени, 11 – в мышцах). Максимальные факторы индукции составили 6,16 в печени, 5,54 - в мышцах и 5,37- в жабрах. Ответная реакция *E. coli* MG1655 (pAlkA-lux) говорит о присутствии в тканях рыб алкилирующих агентов, которые вызывают повреждение ДНК.

Проведенные исследования показали, что наиболее загрязненными по количеству проб и по величине генотоксического эффекта оказались экстракты, выделенные из печени пиленгаса.

Таким образом, анализ генотоксичности пиленгаса Азовского моря свидетельствует о неблагоприятной экологической ситуации в водоеме обитания и постепенном накоплении генотоксикантов тканями рыб.

Исследование выполнено при финансовой поддержке науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания научной деятельности № 0852-2020-0029.

Библиографический список

1. Воловик С. П. Проблемы рыбного хозяйства Азово-Черноморского бассейна как составная часть комплексными управлениями прибрежными зонами // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоемов Азово-Черноморского бассейна : сб. науч. трудов (1998–1999) / под ред. Э. В. Макарова. Ростов/нД. : ООО «Батайское книжное издательство», 2002. С. 323–325.

2. Экологический мониторинг: шаг за шагом / под ред. Е. А. Заики. Е. В. Веницианов, В. Н. Виниченко, Т. В. Гусева, С. Д. Дайман, Е. А. Заика, Я. П. Молчанова, В. А. Сурнин, М. В. Хотулева. М. : Изд-во РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2003. 252 с.
3. Сазыкина М. А. Генотоксичность донных отложений реки Дон и Азовского моря // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия Естественные науки. 2012. Т. 12. № 1. С. 92.
4. Estimating levels of micropollutants in municipal wastewater / V. F. Rowsell, P. Tangney, C. Hunt, N. Voulvoulis // Water Air Soil Pollut. 2010. Vol. 206. P. 357–368.
5. Andersson P. L., Haglund P., Tysklind M. Ultraviolet absorption characteristics of all 209 polychlorinated biphenyls evaluated by principal component analysis // Fresenius' Journal of Analytical Chemistry. 1997. Vol. 357. Issue 8. P. 1088–1092.
6. Jacobson J. L., Jacobson S. W., Humphrey H. Effects of in utero exposure to polychlorinated biphenyls and related contaminants on cognitive functioning in young children // The Journal of Pediatrics. 1990. Vol. 116, No. 1. P. 38–45.
7. Исследование динамики генотоксичности донных отложений Нижнего Дона с использованием биолюминесцентных сенсоров / М. А. Сазыкина, И. С. Сазыкин, М. И. Хаммами, М. В. Журавлева, Ш. К. Карчава // Валеология. 2015. № 3. С. 47–51.
8. Сазыкина М. А., Мирина Е. А., Сазыкин И. С. Использование биосенсоров для детекции антропогенного загрязнения природных вод // Вода: Химия и экология. 2015. № 10. С. 67–79.
9. Оценка загрязнения донных отложений Нижнего Дона методами биотестирования и химического анализа / И. С. Сазыкина, И. С. Сазыкин, Л. Е. Хмелевцова, Е. Ю. Селиверстова, Ш. К. Карчава, М. В. Журавлева, Е. М. Кудеевская // Валеология. 2016. № 4. С. 5–12.
10. Biosensor-based comparison of the ecotoxicological contamination of the wastewaters of Southern Russia and Southern Germany / I. S. Sazykin, M. A. Sazykina, L. E. Khmelevtsova, E. A. Mirina, E. M. Kudееvskaya, E. A. Rogulin, A. V. Rakin // International Journal of Environmental Science and Technology. 2016. №13. P. 945–954.

ФОРМИРОВАНИЕ БАКТЕРИАЛЬНЫХ БИОПЛЕНОК ПРИРОДНЫМИ ШТАММАМИ МИКРООРГАНИЗМОВ В ПРИСУТСТВИИ ГЕРБИЦИДОВ

А. В. Гильдебрант, Е. М. Кудеевская, М. И. Хаммами, М. А. Сазыкина
Южный федеральный университет,
gildebrant@sfedu.ru, kudееvskaya@sfedu.ru, mars@sfedu.ru, samara@sfedu.ru

В статье рассмотрено влияние глифосата и клопиралида на формирование бактериальных биопленок штаммами *Acinetobacter calcoaceticus* ВКПМ В-10353 и *Pseudomonas putida*. Установлено, что в присутствии глифосата в одной из исследованных концентраций снижается как интенсивность образования биопленок изученными штаммами, так и количество живых клеток в их составе. В присутствии клопиралида в концентрациях 0,3 и 30 мкг/мл снижается количество жизнеспособных клеток в составе биопленки штамма *A. calcoaceticus* ВКПМ В-10353.

Ключевые слова: биопленка, глифосат, клопиралид, микроорганизм, *Pseudomonas putida*, *Acinetobacter calcoaceticus*.

Гербициды – это химические вещества, которые используются для подавления роста или уничтожения нежелательных, преимущественно сорных растений, которые могут поставить под угрозу рост и урожайность желаемых культур, находящихся в непосредственной близости [1]. Широкое применение гербицидов в сельском хозяйстве может приводить к загрязнению окружающей среды, а уровни остаточных количеств в пище или воде, а также воздействие на человека возрастают. Имеются данные, подтверждающие опасность гербицидов для здоровья человека. Так, глифосат обладает тератогенным, канцерогенным эффектами и способен поражать печень [2], а клопиралид может оказывать влияние на репродуктивную систему млекопитающих [3].

Биопленка представляет собой сообщество микроорганизмов, в составе которого бактериальные клетки прикреплены друг другу, границы раздела фаз, либо поверхности и погружены в синтезированный ими экзополимерный матрикс [4]. В сравнении с планктонными клетками микроорганизмы в составе биопленок обладают рядом преимуществ – они лучше защищены от влияния факторов окружающей среды, а также обладают способностью к межклеточной коммуникации и обмену генетическим материалом [5]. Биопленки широко распространены в природе и принимают участие во множестве биологических процессов, в связи с чем возникает необходимость в изучении влияния загрязняющих веществ на их формирование.

Целью данной работы являлось изучить влияние гербицидов, а именно глифосата (глифосата кислоты изопропиламинная соль, «Агрокиллер») и клопиралида («Лонтрел») на образование бактериальных биопленок штаммами *Acinetobacter calcoaceticus* ВКПМ В-10353 и *Pseudomonas putida*. Для проведения исследования были приготовлены растворы с концентрацией, указанной в инструкции к данным препаратам, а также растворы, разведенные в 10 и в 100 раз. Формирование биопленок осуществлялось в лунках 96-лучночного полистиролового планшета («NUOVA ARTASA», Италия). Для количественного определения образования биопленки использовали метод окрашивания кристаллическим фиолетовым [6]. Интенсивность образования биопленки (%) рассчитывали по следующей формуле: $(T-B)/(C-B) \times 100$, где С – оптическая плотность положительного контроля, В – оптическая плотность отрицательного контроля, и Т – оптическая плотность опыта [7].

Для определения количества жизнеспособных клеток в составе биопленки использовали метод окрашивания флуоресцеин диацетатом [6] и рассчитывали по отношению к положительному контролю, принятому за 100%.

В ходе настоящего исследования установлено, что глифосат оказал подавляющее действие на интенсивность образования биопленки штаммом *A. calcoaceticus* ВКПМ В-10353 в концентрации 6700 мкг/мл – интенсивность образования биопленки составила 27,62% (рис. 1А).

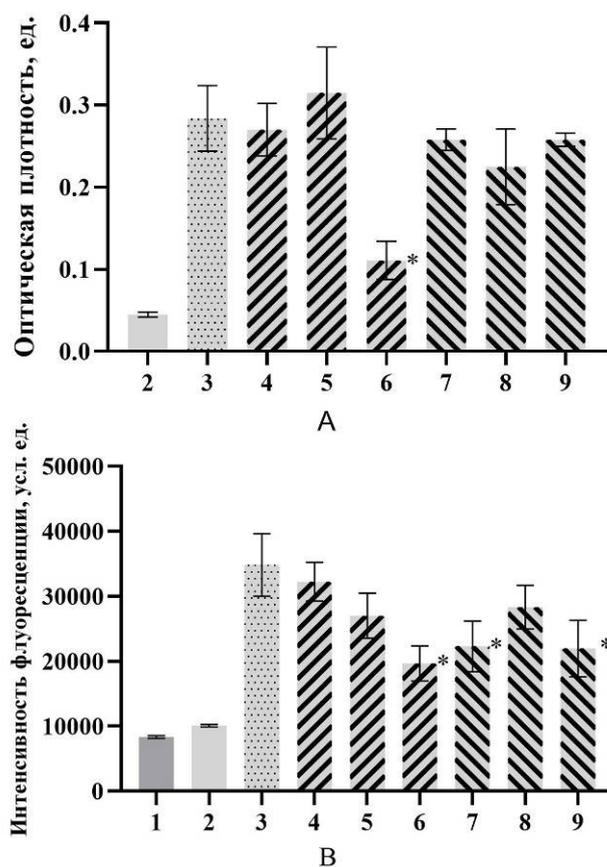


Рис. 1. Влияние гербицидов на образование биопленки штаммом *A. calcoaceticus* ВКПМ В-10353: А – интенсивность образования биопленки (Ед. ОП 570), полученная при окрашивании кристаллическим фиолетовым; В – интенсивность флуоресценции (lex: 485 нм и lem: 520 нм), полученная при окрашивании флуоресцеин диацетатом. 1 – фоновое свечение; 2 – отрицательный контроль; 3 – положительный контроль; 4 – глифосат (67 мкг/мл); 5 – глифосат (670 мкг/мл); 6 – глифосат (6700 мкг/мл); 7 – клопиралид (0,3 мкг/мл); 8 – клопиралид (3 мкг/мл); 9 – клопиралид (30 мкг/мл). *Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$

При этом количество жизнеспособных клеток в составе биопленки также снижалось в данной концентрации – интенсивность флуоресценции составила 56,47% по отношению к контролю (рис. 1В).

Клопиралид не оказал статистически значимого действия на интенсивность формирования биопленки штаммом *A. calcoaceticus* ВКПМ В-10353 во всех исследованных концентрациях, однако количество живых клеток было ниже значений положительного контроля в концентрациях 0,3 и 30 мкг/мл (63,98 и 63,028%, соответственно) (рис. 1). Это может свидетельствовать о том, что для защиты от токсического действия клопиралид, бактерии, входящие в состав биопленки, усилили синтез компонентов экзополимерного матрикса.

Глифосат оказал подавляющее действие на интенсивность образования биопленки штаммом *P. putida* в концентрации 67 мкг/мл – интенсивность образования биопленки составила 68,78% (рис. 2А), количество живых клеток было ниже значений положительного контроля (52,57%) в концентрации 670 мкг/мл (рис. 2В).

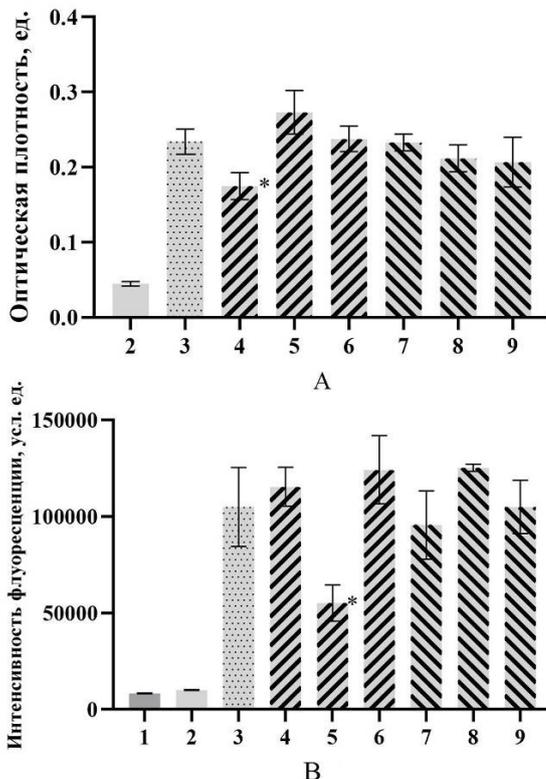


Рис. 2. Влияние гербицидов на образование биопленки штаммом *P. putida*:

А – интенсивность образования биопленки (Ед. ОП 570), полученная при окрашивании кристаллическим фиолетовым; В – интенсивность флуоресценции (лех: 485 нм и лем: 520 нм), полученная при окрашивании флуоресцеин диацетатом. 1 – фоновое свечение; 2 – отрицательный контроль; 3 – положительный контроль; 4 – глифосат (67 мкг/мл); 5 – глифосат (670 мкг/мл); 6 – глифосат (6700 мкг/мл); 7 – клопиралид (0,3 мкг/мл); 8 – клопиралид (3 мкг/мл); 9 – клопиралид (30 мкг/мл).

*Различия статистически значимы при $p \leq 0,05$

Вероятно, при действии глифосата в концентрации 670 мкг/мл усиливается синтез компонентов экзополимерного матрикса, что является проявлением защитных функций.

При воздействии клопиралида во всех исследованных концентрациях не наблюдалось статистически значимых различий как в интенсивности образования биопленки, так и в числе жизнеспособных клеток в сравнении со значениями положительного контроля во всех исследованных концентрациях (рис. 2А, 2В).

Таким образом, глифосат может представлять большую опасность для природных сообществ микроорганизмов, так как он оказал подавляющий эф-

фект на биопленкообразование всеми исследованными штаммами. При этом в концентрации 6700 мкг/мл он вызвал как снижение интенсивности образования, так и количества живых клеток в составе биопленки штамма *A. calcoaceticus* ВКПМ В-10353, что может свидетельствовать о цитотоксическом действии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности № 0852-2020-0029.

Библиографический список

1. Holt J. S. Herbicides. Encyclopedia of Biodiversity (Second Edition) / Edited by S. A. Levin, New York : Academic Press, 2013. P. 87–95.
2. Potential toxic effects of glyphosate and its commercial formulations below regulatory limits / R. Mesnage, N. Defarge, J. S. De Vendômois, G. E. Seralini // Food and Chemical Toxicology. 2015. Vol. 84. P. 133–153. doi: 10.1016/j.fct.2015.08.012
3. Шиш Н. В. Повреждающее действие при длительном поступлении клопиралида на репродуктивную систему крыс самцов // Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії. 2006. Т. 6. №. 3 (15). С. 19–22.
4. Flemming H. C., Wuertz S. Bacteria and archaea on Earth and their abundance in biofilms // Nature Reviews Microbiology. 2019. Vol. 17. No. 4. P. 247–260.
5. Bacterial extracellular polysaccharides involved in biofilm formation / B. Vu, M. Chen, R. J. Cvawford, E. P. Ivanova // Molecules. 2009. Vol. 14. No. 7. P. 2535–2554.
6. Влияние поверхностно-активных веществ на формирование биоплёнки штаммом *Acinetobacter calcoaceticus* ВКПМ В-10353 / А. В. Гильдебрант, Л. И. Домрачева, В. А. Выростков, И. С. Сазыкин, Е. М. Кудеевская, М. А. Сазыкина // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 3. С. 30–35. doi: 10.25750/1995-4301-2020-3-052-057
7. Salari S., Seddighi N. S., Almani P. G. N. Evaluation of biofilm formation ability in different Candida strains and anti-biofilm effects of Fe₃O₄-NPs compared with Fluconazole: an in vitro study // Journal de mycologie medicale. 2018. Vol. 28. No. 1. P. 23–28. doi: 10.1016/j.mycmed.2018.02.007

АНТИСЕПТИКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ КАК ФАКТОР ФИТОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВЫ

С. А. Котельников

*Вятский государственный агротехнологический университет,
svyatoslav.kotelnikov@mail.ru*

Исследовали эффективность семи антисептиков, используемых для сохранения древесины. Установлено, что антисептик ФН-20 стандартной концентрации оказался самым неэффективным для защиты древесины и наименее токсичным для высшего растения. Показано, что ячмень сорта Изумруд можно использовать в качестве тест-организма для анализа токсичности почвы искусственно загрязненной антисептиками и *Trichoderma* sp.

Ключевые слова: фитотестирование, антисептик, микромицеты, древесина, ячмень.

С ростом строительства промышленных и жилых объектов с использованием современных материалов и высоких технологий остается спрос на материалы и сооружения из древесины. Древесина – это легкий, прочный и хорошо обрабатываемый строительный и поделочный материал, в то же время она является источником углерода для бактерий и микромицетов. Микроорганизмы разрушают древесину, снижают её прочность и долговечность, а так же могут провоцировать сильнейшие аллергические заболевания у человека [1]. Для защиты древесины рекомендуют использовать специальные антисептики. Многие из них способны создавать надежную защиту, так как обладают бактерицидными, фунгицидными и инсектицидными свойствами [2–4].

В связи с этим задача по увеличению прочности и срока службы деревянных конструкций является актуальной. Антисептики, существующие на рынке, способны решить эту задачу. Состав антисептиков часто засекречен производителями, но, как правило, в него входят токсичные вещества, такие как соли содержащие Pb, Cu, Cr, Cl, кислоты и т. д. Ингибируя жизнедеятельность микроорганизмов в зоне применения, антисептики угнетают не только вредные, но и полезные микроорганизмы в радиусе более значительном, чем объект обработки.

Известно несколько тысяч биоцидов, относящихся к разным классам химических соединений, и все они требуют исследований по оценке их вероятного негативного воздействия на объекты окружающей среды [5]. Существует несколько методов биодиагностики определения токсичности почв с помощью живых организмов. В качестве тест-организмов используют бактерии, водоросли, высшие растения, планктонные рачки и др. [6, 7]. Для своих исследований мы выбрали метод фитотестирования почвы с помощью высшего растения.

Цель работы: определение фитотоксичности почвы загрязненной антисептиками и интродуцированной грибом *Trichoderma* sp. с помощью ячменя сорта Изумруд.

В работе использовали:

1. Семена ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare*) сорта Изумруд.
2. Для интродукции использовали суспензию *Trichoderma* sp. с титром $2,4 \cdot 10^6$ пропагул/мл, который подсчитывали методом прямого счета в камере Горяева. Суспензию микромицетов готовили следующим образом: грибы культивировали на среде Чапека, затем смывали с газонов дистиллированной водой.
3. 7 антисептиков: ФН-20 стандартной концентрации, ХМ-11 10%, Экобио (Colorika&Tex), Woodmaster (усиленный), Goodhim (extra), ХМББ, Белмастер.
4. Образцами древесины, используемой для определения эффективности антисептиков, служили палочки размером 12x0,5 см из березы.

Деревянные палочки пропитывали антисептиками в течение 24 суток (согласно инструкции) и высушивали в термостате при температуре 80 °С в течение 12 часов до постоянного веса. Затем взвешивали и помещали в пла-

стиковые контейнеры с дерново-подзолистой среднесуглинистой почвой объемом 2 дм³ на 2/3 их длины (рис. 1). В течение 4х месяцев почву увлажняли артезианской водой. При снятии опыта палочки вынимали из почвы, промывали, высушивали в термостате. Затем взвешивали.

Для фитотестирования использовали почвенную суспензию, которую готовили путем добавления 1 г почвы на 100 мл воды и взбивали в течение 10 минут на качалке марки WSTRZASARKA UNIWERSALNA typ WU-3 при средних оборотах. Опыт проводили методом рулонных культур в 3х кратной повторности по стандартной методике. Перед закладкой опыта семена замачивали на 30 минут в почвенной суспензии.

Биометрические показатели и количество пораженных растений определяли после семисуточной экспозиции.



Рис. 1. Внешний вид экспериментальных образцов

Анализ результатов по потере массы палочек после 4-х месячной экспозиции показал, что из семи испытанных антисептиков только один ФН-20 стандартной концентрации не обладал достаточно высокими защитными свойствами, что привело к потере массы древесины по отношению к первоначальному весу. Все остальные антисептики проявили стойкое защитное действие и могут быть использованы для сохранности древесины (табл.).

Таблица

**Влияние антисептиков на сохранность древесины в почве
интродуцированной *Trichoderma* sp.**

Варианты	Потеря веса, от первоначального, г	Потеря веса, %
ФН-20 стандартной концентрации	0,14	16,10
ХМ-11 10%	0,00	0,00
Экобио (Colorika&Tex)	0,03	3,41
Woodmaster (усиленный)	0,00	0,00
Goodhim (extra)	0,00	0,00
ХМББ	0,03	3,43
Белмастер Био	0,00	0,00

Три антисептика Goodhim Extra, ХМББ и Белмастер Био проявили максимальную антигрибную активность, так как только в этих вариантах не было обнаружено пораженных проростков ячменя (рис. 2). Показатели антагонистической активности вполне удачно сочетаются с их антисептическими свойствами.

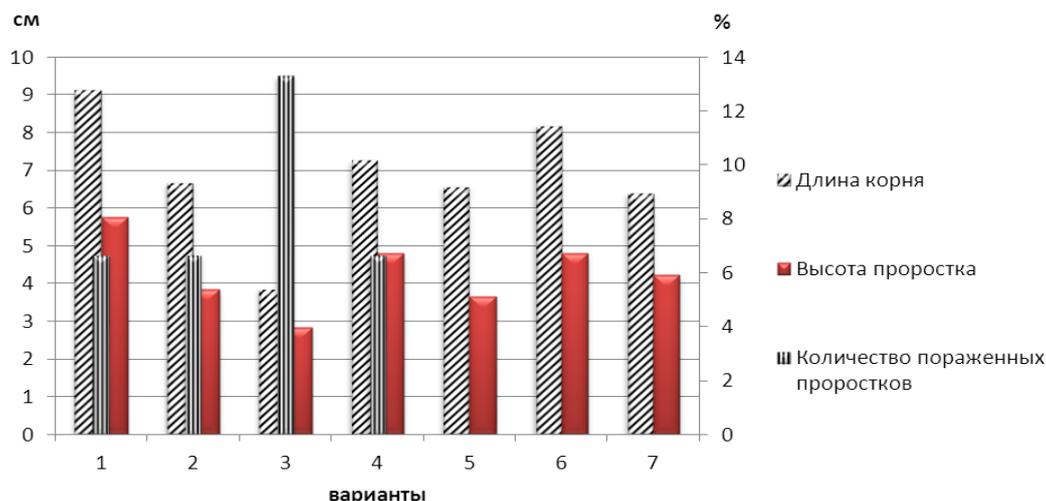


Рис. 2. Влияние почвы инфицированной *Trichoderma* sp и контактной с различными антисептиками на рост и развитие ячменя сорта «Изумруд». Варианты: 1 – ФН-20; 2 – ХМ-11; 3 – Экобио (Colorika&Tex); 4 – Woodmaster (усиленный); 5 – Goodhim Extra; 6 – ХМББ; 7 – БелмастерБио

Таким образом, определение антисептической активности различных препаратов, применяемых для сохранности древесины, и их влияния на фитотоксичность почвы с использованием в качестве тест-организма ячменя сорта Изумруд показало:

1. Препарат ФН-20 стандартной концентрации обладает минимальными антисептическими свойствами. Все остальные препараты демонстрируют вполне удовлетворительное защитное действие, предотвращая развитие фитопатогенов.

2. Показано, что ячмень сорта Изумруд можно использовать в качестве тест-организма для анализа токсичности почвы искусственно загрязненной антисептиками и *Trichoderma* sp.

3. Установлено, что антисептик ФН-20, обладающий минимальными защитными свойствами является наименее токсичным для высшего растения.

4. В опытах по фитотестированию почвы показано, что 3 антисептика – Goodhim Extra, ХМББ, БелмастерБио полностью подавляют развитие фитопатогенных грибов, не вызывая существенного снижения морфометрических показателей.

Библиографический список

1. Домрачева Л. И., Фокина А. И., Трефилова Л. В. Фузари: биологический контроль, сорбционные возможности. LAP LAMBERT Academic Publishing. Германия, 2013. 182 с.

2. Совершенствование способа защитной обработки древесины водными составами антипиренов и антисептиков для применения в строительных конструкциях / И. В. Супрунова, Т. Ю. Малеткина, В. А. Павлюк, В. И. Петрашко // Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики : материалы VIII Международ. науч.-практ. конф. В 2-х частях. / под ред. Т. Ю. Овсянниковой, И. Р. Салагор. 2018. С. 453–455.

3. Изотова В. А., Трефилова Л. В. Оценка эффективности использования антифунгальных препаратов // Интеграционные взаимодействия молодых ученых в развитии аграрной науки : материалы Национальной науч.-практ. конф. молодых уч. в 3 томах. ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. 2020. С. 100–105.

4. Куницкая О. А. Биотехнологический способ защиты древесины от грибных поражений // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 4–3 (9-3). С. 440–444.

5. Воробьева М. В. Исследование токсичности и защищающей способности соединений фтора и бора в качестве антисептиков для древесины : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ур. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург, 2003.

6. Комплексный подход в оценке экологического состояния городских почв / С. Г. Скугорева, Т. И. Кутявина, С. Ю. Огородникова, Л. В. Кондакова, В. С. Симакова, А. Л. Блинова, Ю. Н. Зыкова, Л. И. Домрачева, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 57–65. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-057-065

7. Methodological approaches toward chemico-biological diagnostics of the state of soils in technogenically transformed territories / A. I. Fokina, S. G. Skugoreva, E. I. Lyalina, T. Y. Ashikhmina, E. V. Dabakh, L. I. Domracheva, Y. N. Zyкова, K. A. Leonova // Eurasian Soil Science. 2018. Vol. 51. No. 5. P. 550–560.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОГО МЫЛА

В. И. Огнёва, Е. В. Береснева

*Вятский государственный университет,
kotjonokw@rambler.ru, evberesneva@mail.ru*

В статье представлены результаты анализа качества и безопасности 3-х образцов антибактериального мыла отечественных производителей. Был проведен качественный анализ на тяжелые металлы, микробиологический анализ мыла и смывов с рук и количественное определение водородного показателя и хлорид-ионов. Результаты исследования могут быть интересны широкому кругу потребителей.

Ключевые слова: антибактериальное мыло, качественный анализ, микробиологический показатель.

Мыло – это самое распространенное и доступное гигиеническое средство, без которого в быту не обходится практически ни один человек. Активно развивается сектор жидкого мыла, растет его популярность. Для него характерна высокая конкуренция среди отечественных и зарубежных предприятий-

изготовителей. Современный ассортимент жидкого мыла очень широк, разнообразен и постоянно совершенствуется [1].

Жидкое мыло имеет ряд преимуществ, такие как практичность, удобство в применении, гигиеничность, экономичность, стабильность pH [2, 3]. Популярность жидкого мыла показывает и статистика. Производство мыла туалетного жидкого в октябре 2020 года увеличилось на 55,0% к уровню октября прошлого года и составило 6 588,7 тонн [4].

Среди различных видов жидкого мыла антибактериальное мыло представляет особый интерес, потому что оно имеет широкий спектр действия, препятствуя развитию таких недугов, как кишечные инфекции, стафилококк, сальмонеллез, кожные инфекции [5, 6]. Антибактериальные свойства жидкого мыла обеспечиваются обогащением его синтетическими или натуральными антисептиками – к примеру, триклозаном, экстрактами череды, календулы, эфирным маслом чайного дерева и др. [7]. Но последнее время ведутся споры о том, так ли оно эффективно, как обещают производители. Например, на территории США запрещена безрецептурная продажа моющих средств, содержащих триклозан, триклокарбан и еще 17 других антисептических компонентов [8].

Объектами исследования явились: жидкое мыло «Русское поле» (образец 1); жидкое мыло «Невская косметика» антибактериальное натуральное с экстрактом ромашки (образец 2); жидкое мыло «Невская косметика» Дегтярное для рук и тела (образец 3).

Исследование данных объектов начали с качественного анализа, в ходе которого проводили обнаружение ионов железа двух и трех валентного, катионов висмута, ртути, свинца, серебра, аммония, стеариновой кислоты и глицерина [9].

Обнаружение катионов ртути, свинца и серебра проводили добавлением 2н соляной кислоты к исследуемому образцу. Все три образца дали отрицательную реакцию, что указывает на отсутствие данных катионов.

Железо (II) определяли добавлением в пробы гексацианоферрат (III) калия, а железо (III) – гексацианоферрат (II) калия. При положительной реакции выпадают синие осадки. Все результаты дали отрицательную реакцию, что согласуется с тем, что заявлено на этикетке.

Качественной реакцией на ионы висмута является реакция с раствором хлорида натрия с выпадением белого осадка хлорида висмута (III). Все три образца дали отрицательную реакцию, что согласуется с данными на упаковке.

Стеариновую кислоту определяли добавлением в пробы концентрированной соляной кислоты. Все результаты были отрицательными (отсутствие белого осадка), что согласуется с тем, что заявлено на этикетке.

Ионы аммония обнаруживали добавляем в образцы раствора гидроксида натрия и последующей реакцией с индикатором фенолфталеином. В образцах 1 и 2 фенолфталеиновая бумажка окрасилась в малиновый цвет, образец 3 не изменил цвет индикатора, что согласуется с данными на упаковке.

Обнаружение глицерина проводили добавлением свежеприготовленного гидроксида меди (II) к исследуемому образцу. При положительной реакции (образец 1) образовывался сине-фиолетовый комплекс. В образце 2 и 3 был отрицательный результат (отсутствие сине-фиолетового комплекса). Результаты подтверждают то, что заявил производитель. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты качественного анализа

Объект исследования	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Ионы железа (III)	–	–	–
Ионы железа (II)	–	–	–
Ионы висмута	–	–	–
Ионы серебра, ртути, свинца	–	–	–
Глицерин	+	–	–
Стеариновая кислота	–	–	–
Ионы аммония	+	+	–

Количественный анализ включал определение водородного показателя и хлорид-ионов.

Измерение водородного показателя проводили согласно ГОСТ 29188.2-2014 потенциометрическим методом, который основан на измерении разности потенциалов между двумя электродами (измерительным и сравнения), погруженными в исследуемую пробу. Отбор проб и подготовку их к анализу проводили в соответствии с ГОСТ 29188.0-91.

Для определения хлорид-ионов использовался метод argentометрии, который основан на титровании раствором нитрата серебра. Отбор проб, их подготовку к анализу проводили по ГОСТ 26878-86 (СТ СЭВ 5186-85).

Результаты количественного анализа представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты количественного анализа

Показатель	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Норма по ГОСТ
Значение pH	6,69	5,71	6,01	5,0–8,5
Хлорид ионы, %	3,4285	1,8096	1,9234	Не более 6

Из таблицы видно, что показатели pH и количество хлорид-ионов всех образцов мыла соответствуют нормам ГОСТ 31696-2012 [10]. На этикетках объектов величина этих количественных показателей не указана.

С целью определения безопасности продукции в соответствии с требованиями технического регламента таможенного союза (ТР) мы провели микробиологический анализ методом посева на питательные среды (чашечный метод) в соответствии с МУК 4.2.801-99, а также микробиологический анализ смывов рук для проверки антибактериальных способностей мыла. Посев осуществляли одним поверхностным агаровым методом. При этом из каждого разведения производили посев на набор чашек с плотной мясо-питательной средой (МПА). При учете результатов определяли среднее коли-

чество колоний, выросших при посеве каждого разведения. Рассчитывали среднее количество колониеобразующих единиц КОЕ (N) в 1 мл (табл. 3). Полученные результаты соответствуют требованиям ТР [11].

Таблица 3

Результаты микробиологического анализа

Объект исследования	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Норма по ТР
Колониеобразующие единицы	1,9	$1,5 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^2$	не более 10^3
Колониеобразующие единицы смывов рук	$5 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	50	не более $5 \cdot 10^2$

Исследование показало, что все образцы соответствуют нормам ГОСТ и нормам, заявленным производителем, что говорит о том, что их можно применять в быту.

Библиографический список

1. Локтева К. И. Жидкое мыло: состояние, тенденции рынка Республики Беларусь, особенности ассортимента // Современное материаловедение и товароведение: теория, практика, образование : материалы VI междунар. науч.-практ. интернетконф. 2019. С. 160–163.
2. Разновидности жидкого мыла [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kosmetichka.ru/> (дата обращения: 22.09.2019).
3. Чем отличается твердое мыло от жидкого? [Электронный ресурс]. – URL: <https://profsnabvl.ru> (дата обращения: 21.09.2019).
4. Рынок мыла и синтетических моющих средств в России. Текущая ситуация и прогноз 2021-2025 гг. [Электронный ресурс]. – URL: <https://alto-group.ru/otchet/rossija/405-gynok-myla-i-sinteticheskix-moyushhix-sredstv-tekushhaya-situaciya-i-prognoz-2014-2018-gg.html> (дата обращения: 21.02.2021)
5. Преимущества жидкого мыла перед обычным [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.cpv.ru/> (дата обращения: 22.09.2019).
6. Правда про антибактериальное мыло: чего больше, пользы или вреда [Электронный ресурс]. – URL: <https://fitexpert.biz/> (дата обращения: 21.09.2019).
7. Локтева К.И., Игнатик Е.С. Классификация ассортимента жидкого мыла как основа его ассортиментной экспертизы [Электронный ресурс]. – URL: <http://lib.i-bteu.by/> (дата обращения: 06.04.2020).
8. Мыть или не мыть [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gazeta.ru/> (дата обращения: 06.04.2020).
9. Лялина Е. И., Фокина А. И. Руководство к выполнению лабораторных работ по аналитической химии. Химические методы анализа : учебно-методическое пособие. Киров : ВятГУ, 2017. 216 с.
10. ГОСТ 31696-2012 Продукция косметическая гигиеническая моющая. Общие технические условия (с Поправкой) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200098761> (дата обращения: 10.11.2019).
11. О безопасности парфюмерно-косметической продукции (с изменениями на 2 декабря 2015 года) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902303206> (дата обращения: 02.10.2019).

КАЛИБРОВКА МНОГОКАНАЛЬНОГО ИОНОМЕРА ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДНОМ РАСТВОРЕ

А. В. Ёлкина¹, Г. Я. Кантор^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет,*

² *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, ecolab2@gmail.com*

Предложена методика калибровки многоканального иономера для параллельного определения концентрации нескольких ионов щелочных и щелочноземельных металлов с учетом их взаимного влияния на примере 4-канального иономера «Эксперт-001-3(0.4)».

Ключевые слова: потенциометрия, иономер, мешающие ионы.

Потенциометрический метод анализа ионного состава водных растворов при помощи ионоселективных электродов имеет целый ряд достоинств, благодаря которым его применение целесообразно в различных сферах научно-исследовательской и практической деятельности, включая контроль качества фармацевтической продукции, экологический мониторинг, лабораторный анализ биологических жидкостей в клинической практике и т. д. [1]. В то же время известным недостатком метода является его сравнительно низкая селективность, т. е. повышенная чувствительность к мешающему воздействию ионов, близких по своим электрохимическим свойствам.

Целью данной работы является отработка методики потенциометрического определения ионов калия, натрия и кальция в широком диапазоне концентраций, когда необходим корректный учёт их взаимного влияния.

Стандартная процедура калибровки иономера для измерения концентрации или активности определённого иона предполагает использование только одного ионоселективного электрода для снятия электродной характеристики, т.е. зависимости электродвижущей силы от концентрации (или активности) в замкнутой цепи, состоящей из электрода сравнения, анализируемого раствора, ионоселективного электрода и измерительного прибора (милливольтметра) [2]. При значительном уровне влияния мешающих ионов практическое использование такой калибровки становится невозможным.

Экспериментальная работа по совместной калибровке ионоселективных электродов проводилась на установке, состоящей из четырёхканального иономера «Эксперт-001-3(0.4)», магнитной мешалки, нескольких ионоселективных электродов (от одного до четырёх), электрода сравнения и двух пластиковых стаканов объёмом 50 мл. Электрод сравнения был погружён в отдельный стакан, соединённый капиллярным сифоном с сосудом, содержащим калибровочный раствор, в который погружались ионоселективные электроды. Уровень раствора в стакане с электродом сравнения поддерживался ниже

уровня в сосуде с ионоселективными электродами. Организация проточного режима обусловлена необходимостью предотвращения попадания насыщенного раствора хлорида калия, вытекающего из электрода сравнения, в калибровочный раствор.

Процедуру калибровки рассмотрим на примере калибровки системы двух ионоселективных электродов, чувствительных к ионам калия и кальция. Серия калибровочных растворов состояла из 16 образцов, содержащих хлориды калия и кальция в концентрациях $0,5 \cdot 10^{-4}$, 10^{-4} , 10^{-3} и 10^{-2} моль/л. Для каждого калибровочного раствора фиксировались равновесные потенциалы обоих ионоселективных электродов, и по этим данным методом наименьших квадратов для каждого электрода строилась своя электродная функция, зависящая от концентрации ионов K^+ и Ca^{2+} .

Для электрода K^+ функция имеет следующий вид:

$$E_K = (-10,04 \cdot pK + 16,54) \cdot pCa + 393,9;$$

для электрода Ca^{2+}

$$E_{Ca} = (1,33 \cdot pCa - 3,48) \cdot pK - 27,84 \cdot pCa + 370,3.$$

Потенциалы электродов измеряются в милливольтгах, pK и pCa – логарифмические показатели концентрации ($pK = -\lg C_K$, $pCa = -\lg C_{Ca}$, где C_K и C_{Ca} – молярные концентрации ионов K^+ и Ca^{2+} соответственно, моль/л).

Библиографический список

1. Камман К. Работа с ионоселективными электродами. Пер. с нем. / под ред. О. М. Петрухина. М. : Мир, 1980. 283 с.
2. Морф В. Принципы работы ионоселективных электродов и мембранный транспорт. Пер. с англ. / под ред. О. М. Петрухина. М. : Мир, 1985. 281 с. 2.

СЕКЦИЯ 2

ЦИФРОВЫЕ И АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

ДЕШИФРИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДАННЫХ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Е. А. Домнина^{1,2}, Т. А. Адамович¹, А. С. Тимонов^{1,2}
¹ Вятский государственный университет,
² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
tjnadamvich@rambler.ru

В статье приведены результаты исследований по дешифрированию растительности с использованием космических снимков сверхвысокого разрешения и данных наземных наблюдений с использованием прямых дешифровочных признаков. В работе описаны сообщества сосновых, еловых, смешанных лесов, а также зарастающие деревьями участки лугов территории Оричевского района Кировской области. Более приемлемыми для дешифрирования с целью картирования лесных древесных сообществ являются снимки, сделанные ранней весной (конец апреля – начало мая) и в середине осени (конец сентября – начало октября). Изображение древостоев имеет ярко выраженный фоторисунок, позволяющий выделять их на снимках от непокрытых лесом площадей. При дешифрировании прежде всего виден зернистый рисунок. Различия в формах и размерах крон деревьев, а также в очертаниях их теней на снимках позволяют определять состав насаждений. В основном леса из ели, пихты и сосны на панхроматических чёрно-белых снимках характеризуются более тёмным тоном, чем лиственные леса.

Ключевые слова: дешифрирование, космические снимки, прямые дешифровочные признаки, растительность.

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) является методом получения информации об объекте или явлении без непосредственного физического контакта с данным объектом путём регистрации проходящего от земной поверхности электромагнитного излучения, отражённого или собственного, в различных частях спектрального диапазона [1]. Анализ спектральных характеристик объектов, структурных и текстурных особенностей изображений позволяет получить информацию для их последующего дешифрирования и интерпретации. Основную роль в формировании изображения космического

снимка играет растительный покров, формирующий на цифровых изображениях смесь спектральных откликов различной яркости [2].

Для использования космических снимков в качестве источника информации о произрастающей на данной территории растительности необходимо использовать особенности конкретных объектов, по которым они могут быть опознаны на аэрокосмических снимках [3]. Преобладающие породы растений или их группы и группы состава насаждений дешифрируют в основном по цвету, микроструктуре и приуроченности к определённым типам лесорастительных условий [4].

Цель работы – разработка подходов к подбору и дешифрированию космоснимков высокого разрешения для составления детальной карты растительности.

Полевые исследования в рамках данной работы были проведены в период с 2004 по 2017 гг. на территории Оричевского района Кировской области. Были описаны сообщества сосновых, еловых, смешанных лесов, а также зарастающие деревьями участки лугов. Для дешифрирования важное значение имеют показатели древесного яруса, поэтому при геоботанических описаниях основное внимание было уделено следующим характеристикам: высота, возраст и состояние основных лесобразующих пород. В работе показан пример дешифрирования двух участков, на которых представлено несколько сообществ.

Для распознавания растительных объектов на снимках использовали прямые дешифровочные признаки. К свойствам прямых признаков [4–8] относятся геометрические (форма, конфигурация, размер, объём, рисунок объектов) или структурные (линейные и объёмные), общие (фотограмметрические) – фототон, цвет, взаимное расположение. По другим данным [4] к прямым дешифровочным признакам относятся три группы признаков: геометрические (форма, тень, размер); яркостные (фототон, цвет, спектральный образ); структурные (текстура, структура, рисунок).

В работе использовали космические снимки сверхвысокого разрешения с космического аппарата WorldView-2 с пространственным разрешением 0,5–1,0 м. Снимки были получены на следующие даты: 8 мая 2011 г., 18 мая 2014 г., 2 сентября 2017 г.

Период конец весны–лето–начало осени интересен для исследования достаточно плавным изменением спектральных характеристик и обеспечивает анализ временного ряда в период устойчивого состояния листового покрова древесных растений.

Изображение древостоев имеет ярко выраженный фоторисунок, позволяющий выделять их на снимках от непокрытых лесом площадей. При дешифрировании прежде всего виден зернистый рисунок, создаваемый чередованием округлых пятнышек – проекций крон деревьев и различных по очертаниям промежутков между ними, частично или полностью занятых тёмными по тону тенями, отбрасываемыми деревьями. Густота леса, размеры и строе-

ние крон деревьев на местности оказывают основное влияние на величину и форму «зёрен» изображений лесов на снимке (рис. 1 а).

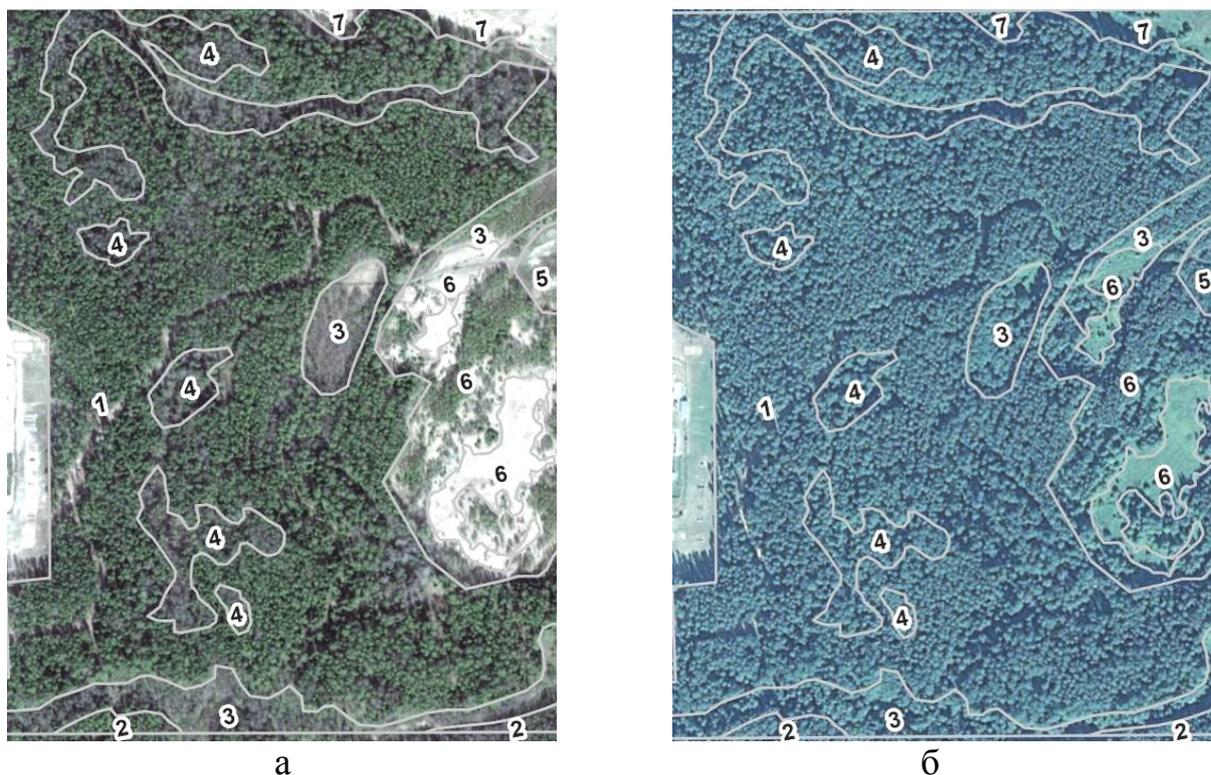


Рис. 1. Фрагмент снимка с космического аппарата WorldView-2 от 8 мая 2011 г. (а), от 2 сентября 2017 г (б). Разрешение 1 м

Примечание: 1 – елово-сосновый лес, 2 – сосновый лес, 3 – ивняк, 4 – лиственный лес (осина, береза), 5 – мелкий сосняк, 6 – пашня, зарастающая мелкоколесьем сосняка, 7 – зарастающий луг.

Изображения сосновых лесов на монохромных снимках характеризуются общим серым тоном. Светло-серые округлые проекции крон почти одинаковы по размерам. Поверхность полога соснового леса просматривается без «провалов», характерных для еловых и пихтовых лесов (рис. 1 б).

Их структура характеризуется как крупнозернистая, текстура – дугообразно-фестончатая. Форма проекций крон овальная, резкой границы и интенсивности тона проекций крон и затемнённых участков между ними нет. Тени по форме эллипсообразные. У молодых деревьев с мелкими кронами из-за большой степени сомкнутости проекции их сливаются между собой.

Изображения еловых лесов (рис. 1 а, б) на космическом снимке характеризуются тёмным тоном со светло-серыми, с серыми округлыми «зёрнами» крон и почти круглыми промежутками между ними. Ель изображается на спектрональных аэрофотоснимках сине-зелёным цветом. Отмечается изменение в больших пределах (в 4–5 раз) диаметра крон в одном массиве и значительная разновысотность деревьев внутри насаждения одного типа, существенно бóльшая, чем в древостоях других пород. Важным признаком являются вытянутые конусообразные и иглообразные тени. Хорошо заметны па-

дающие тени, отбрасываемые деревьями. Они передают форму объектов в виде, близком к привычному. По измерению длины тени можно быстро и точно определить высоту объекта.

Осиновые леса на космоснимке от 8 мая (рис. 2) имеют светло-серый тон, светлее всех других рассмотренных древостоев. Более светлый тон осины позволяет отделять её от других древостоев. У осин куртинное или групповое расположение крон. Осина растёт совместно с хвойными и лиственными деревьями, но образует и чистые осинники.

Изображение сплошных зарослей кустарников характеризуется мелкозернистой структурой фоторисунка, серым или тёмно-серым тоном, небольшими падающими тенями и обычно округлой формой контуров.



Рис. 2. Фрагмент снимка с космического аппарата WorldView-2 от 8 мая 2011 г. Разрешение 1 м

Примечание: 1 – сосняк молодой, 2 – елово-сосновый лес со старовозрастными осинами, 3 – ельник старовозрастный (конусообразные и иглообразные тени), 4 – осиново-еловый лес, 5 – осиново-еловый старовозрастный лес (конусообразные и иглообразные тени), 6 – осинник с редкими елями и единичными соснами, 7 – осинник с редкими старыми елями, 8 – ивняк, 9 – пашня, 10 – пашня, зарастающая сосняком.

Заросли кустарников от молодой поросли отличаются более ровным тоном, обусловленным однородностью состава. Для достоверного распознавания и разграничения кустарников и поросли необходимо учитывать особенности произрастания и размещения тех или иных видов в конкретных условиях района съёмки. Как правило, кустарники приурочены к поймам рек, днищам балок и оврагов, опушкам степных дубрав, марям и т. п., тогда как поросль встречается на зарастающих вырубках в лесных массивах.

Таким образом, для дешифрирования были подобраны и, с учётом данных полевых исследований, проанализированы снимки, полученные в разные

сезоны года. По снимкам установлены границы растительных сообществ и отрисованы их контуры. Предложенный подход в последующем может быть использован при составлении карт растительности территорий.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.

Библиографический список

1. Козодеров В. В., Дмитриев Е. В. Дистанционное зондирование лесного покрова: инновационный подход // Лесной вестник. 2012. № 1. С. 19–33.
2. Левадный Ю. В., Телеш В. А. Методика дешифрирования объектов местности на радиолокационных изображениях // Информация и космос. 2017. № 1. С. 160–161.
3. Головина Л. А., Дубовик Д. С. Топографическое дешифрирование снимков : учеб.-метод. пособие. Новосибирск : СГГА, 2011. 60 с.
4. Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков : учеб. пособие для студентов вузов. М. : Аспект Пресс, 2004. С. 60–79.
5. Марчуков В. С. Автоматизированные методы оценки динамики пространственного распределения растительного покрова и грунтов по данным дистанционного мониторинга // Исследование Земли из космоса. 2010. № 2. С. 63–74.
6. Методические приёмы выделения растительных сообществ на основе данных дистанционного зондирования Земли и полевых исследований / Т. А. Адамович, Е. А. Домнина, А. С. Тимонов, В. В. Рутман, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 39–43. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-039-043
7. Leimgruber P., Christen C. A., Laborderie A. The impact of Landsat Satellite monitoring on conservation biology environmental monitoring and assessment // Remote Sensing of Environment. 2005. Vol. 106. P. 81–101.
8. Potential improvement for forest cover and forest degradation mapping with the forthcoming Sentinel-2 program / L. Hojas-Gascón., A. Belward, H. Eva, G. Ceccherini, O. Hagolle, J. Garcia, P. Ceruttid // Int. Archives of the Photogram., Rem. Sens & Spatial Inf. Sciences. 2015. P. 417–423.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ *MEDICAGO SATIVA* L. (FABACEAE) В СРЕДНЕЙ АЗИИ

У. Ш. Саитжанова, Б. Хабибуллаев

*Институт ботаники Академия наук Республики Узбекистан,
spring_girl93@mail.ru*

На основе базы данных Национального гербария (TASH) проведён анализ потенциального распространения *Medicago sativa* L. на территории Средней Азии и выявлены факторы, влияющие на распространение данного вида. По результатам моделирования составлены прогнозные карты ареалов для двух периодов Last Interglacial и Current.

Ключевые слова: Средняя Азия, *Medicago sativa*, моделирование, Maxent, климатические факторы.

В настоящее время все больше подвергаются изменениям границы распространения растений и животных. Такие изменения происходят под влиянием климатических и антропогенных факторов.

С появлением новых методов и технологий можно моделировать динамику ареалов видов на основе связей с климатическими параметрами, геосистемными характеристиками и структурой основных местообитаний [1, 2].

Для построения модели пространственного распределения *Medicago sativa* на территории Средней Азии и выявления факторов, влияющих на распространение этого вида использовали статистический метод максимальной энтропии и пакет математических программ с одноименным названием (MaxEnt). Данный подход основан на принципе нахождения распределения вероятности максимальной энтропии с учетом ограничений, налагаемых доступной информацией о наблюдаемом распространении видов и распределения экологических условий в районе исследования [1]. В качестве источника информации о параметрах среды, используемых при построении модели вероятностного ареала люцерны посевной, применялись данные WorldClim [3], содержащие информацию о 19 биоклиматических переменных (BioClim).

Изучение и анализ естественных ареалов видов растений в настоящее время в литературе освещены недостаточно полно. В связи с этим целью нашего исследования является построение потенциального ареала *M. sativa* на территории Средней Азии в последнее межледниковье (Last Interglacial Period) и в текущий период (Current).

Объектом исследования является *Medicago sativa* L.. Род *Medicago* L., относящийся к семейству *Fabaceae* включает 103 вида [4]. Люцерна посевная возникла вблизи Ирана, а родственные виды были распространены по всей Центральной Азии и в Сибири [5]. Данный род представлен однолетними и многолетними травами. На территории Средней Азии встречается 23 вида [6], а в Узбекистане – 8 видов [7], произрастающих в Западном Тянь-Шане, Западном Памироалае, Туркестанском и Гиссарском хребте, Юго-восточной и Юго-Западной окраинах (включая останцовых гор) Кызылкумов, а также в Восточном Устюрте.

Используя данные о параметрах среды в известных местонахождениях моделируемого вида, программа определяет вероятность его присутствия на остальной территории посредством нахождения оптимального распределения вероятностей (максимальная энтропия) совпадения параметров среды [13]. В качестве входных переменных использовались базы данных Национального гербария (TASH), содержащая информацию о местонахождениях вида. Для моделирования потенциального распространения вида на территории Средней Азии было отобрано 40 местонахождений *M. sativa*.

Для построения потенциальной модели рассмотрены 2 периода: Last Interglacial и Current.

Последнее межледниковье (LIG) был периодом геологической истории Земли (129–116 тысяч лет назад), который считался одним из самых теплых климатических интервалов за последние 800 000 лет и самое последнее время,

когда уровень моря был на несколько метров выше, чем сейчас [9]. Это считается важным периодом для исследования чувствительности ледяного покрова к изменению климата в сценарии глобального потепления.

Анализ вероятностного распространения люцерны посевной в последнем межледниковом периоде показал, что географическое сосредоточение вида прослеживается больше к Юго-Восточной части Средней Азии, вблизи таких местонахождений как, Тянь-Шань, Таласский – Алатау, Нуратау, Бадахшан, Туркестанский, Гиссаро-алайский, Чаткальский, Кураминский, Ферганский хребты (рис. 1). Из полученных данных видно, что вид в данном периоде был распространен не на всех территориях Средней Азии, что может быть связано с сезонностью температуры и типом почвы.

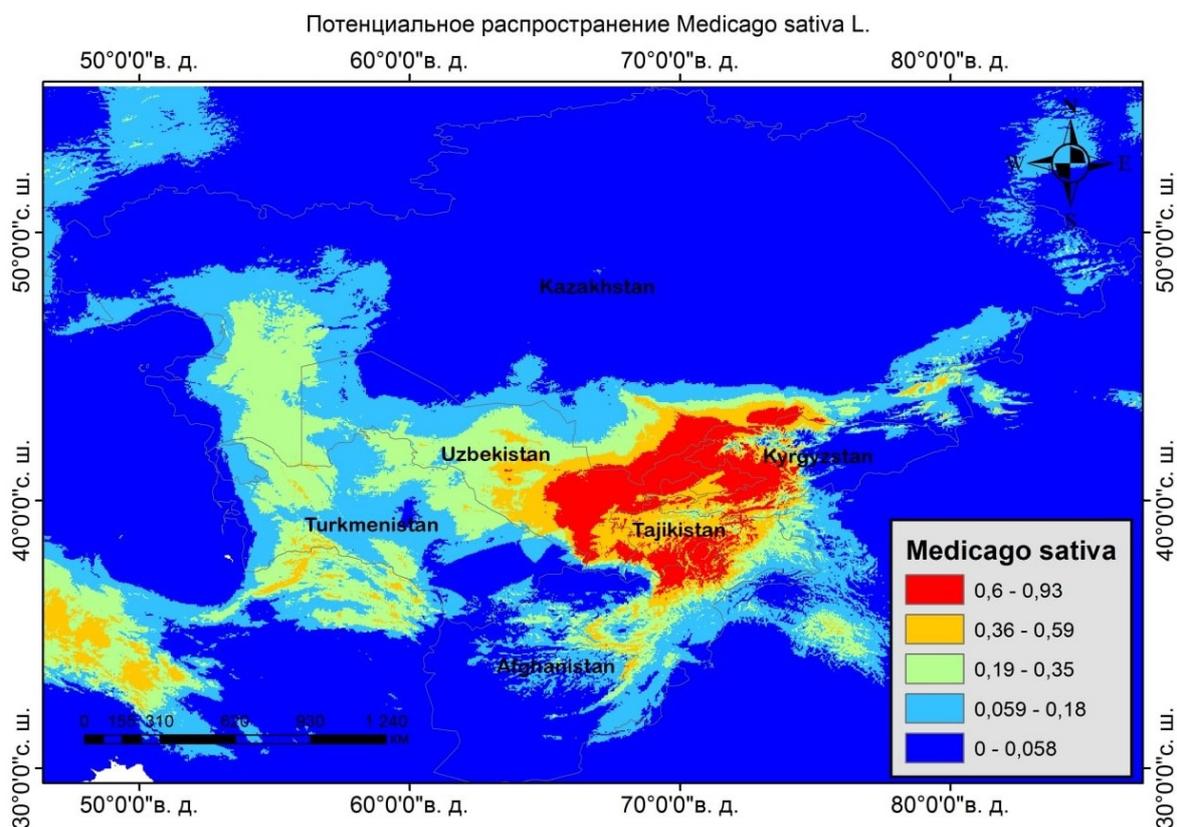


Рис. 1. Модель потенциального распространения *Medicago sativa* в Средней Азии (LIG)

Оптимальные условия роста люцерны – средняя дневная температура 25 °С и годовое количество осадков от 600 до 1200 мм. Люцерна устойчива к засухе благодаря своим глубоким корням, а также переносит соленость почвы [10].

Среди использованных в модели биоклиматических факторов были выявлены те, которые оказывают наибольшее влияние (т. е. > 10%) на пространственное распределение люцерны посевной. К ним относятся: Bio04 — сезонность температуры (47,6%), Bio18 — осадки самого теплого квартала (30,3%), Bio19 – осадки самого холодного квартала (11,4 %) (табл.).

**Вклад (%) наиболее значимых переменных BioClim в модель
потенциального распространения *Medicago sativa* на территории
Средней Азии**

Переменная	Вклад, %	Важность при пермутации, %
Bio04	19,4	45,4
Bio18	42,9	26,7
Bio19	11,4	0,1

Важным показателем надежности модели является Area Under the Curve (AUC) для тренировочных данных, который составил 0,995. Для тестовых данных значение AUC также велико – 0,991.

Это связано с тем, что при анализе использовалось достаточно большое число точек местообитаний вида.

Рассмотрим результаты анализа вероятностного распространения люцерны посевной в текущем периоде (Current). Показатель AUC для тренировочных данных составил 0,995, что подтверждает точность модели вероятностного ареала. Построение потенциального ареала люцерны посевной с помощью программы MaxEnt показало, что уже при современных климатических условиях данный вид может встречаться заметно шире: Тянь-Шань, Памиро-Алай, Нуратау, Каратау, Туркестанский, Гиссаро-алайский, Чаткальский, Кураминский, Ферганский, Бабатагский хребты, Таласский Алатау, Копетдаг, Балханы, Кугитангтау, Гиндукуш, Бадахшан (рис. 2). Если сравнить с периодом последнего межледниковья, в текущем периоде помимо территорий Узбекистана, Кыргызстана, Таджикистана, частично Казахстана и Афганистана люцерна посевная охватывает также территории Туркменистана, остальные части Казахстана и Афганистана.

При моделировании выявлено, что наибольшее влияние на пространственное распределение изучаемого вида оказывает комплекс факторов, связанных с изотермальностью (отношение среднегодовой температуры к среднегодовой амплитуде температур умноженное на 100) (Bio03 – 45,2%) и осадками самого теплого квартала (Bio18 – 42,4%), что говорит о континентальности климата. Изотермы среднегодовых температур позволяют оценить связанный с температурой климат различных местностей.

Изменение температурных показателей впоследствии привело к расширению границ распространения данного вида, т. к. благодаря вариабельной генетической базе люцерна хорошо адаптируется к различным условиям окружающей среды [11].

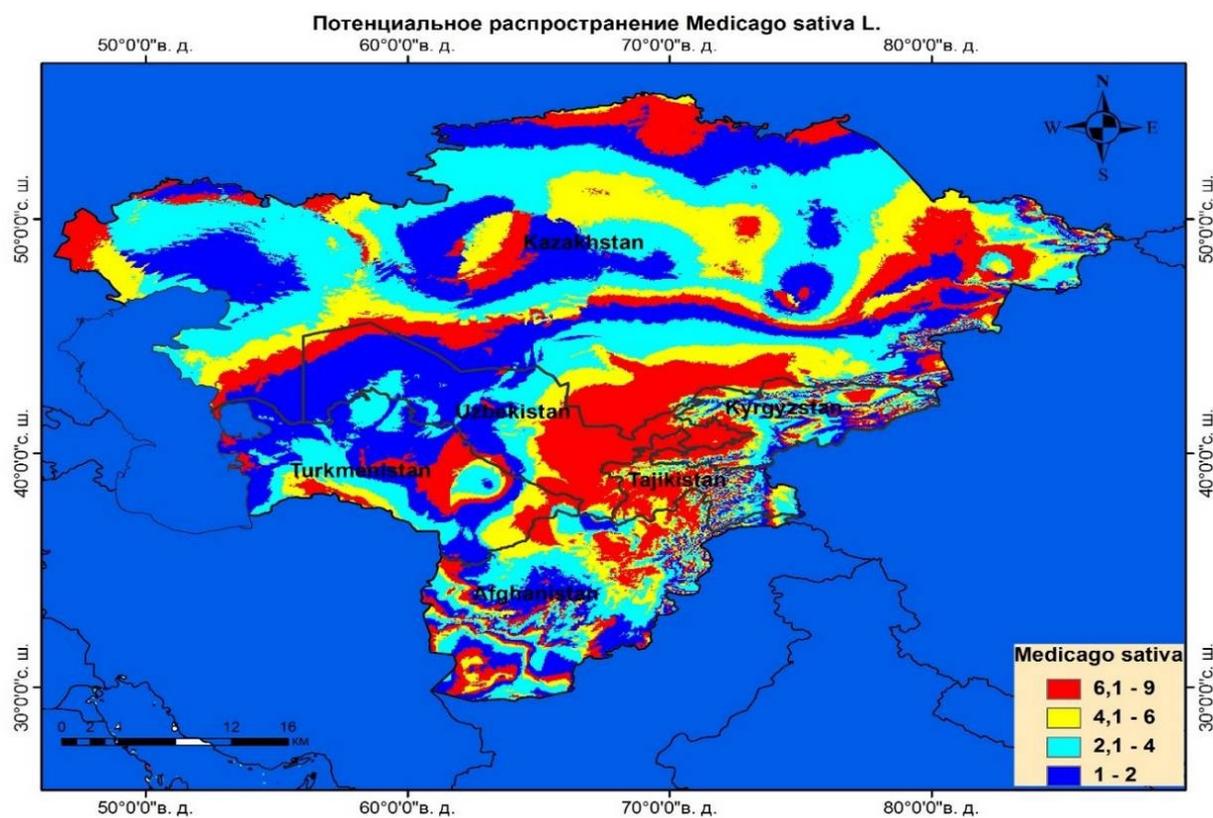


Рис. 2. Модель потенциального распространения *Medicago sativa* в Средней Азии (Current)

Таким образом, полученные модели потенциального распространения *Medicago sativa* в последнем межледниковье и текущем периодах хорошо отражают изменение границ распространения данного вида под влиянием различных биоклиматических факторов, таких как сезонность температуры, осадки самого теплого квартала, осадки самого холодного квартала и изотермальность.

Библиографический список

1. Phillips S. J., Anderson R. P., Schapire R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions // *Ecological Modelling*. 2006. 190. No. 3–4. P. 231–259.
2. Towards a functional basis for predicting vegetation patterns; incorporating plant traits in habitat distribution models / J. C. Douma, J.-Ph. M. Witte, R. Aerts, R. P. Bartholomeus, J. C. Ordoñez, H. O. Venterink, M. J. Wassen, P. M. Van Bodegom // *Ecography*. 2012. Vol. 35. P. 294–305.
3. Global climate and weather data [Электронный ресурс]. – URL: <http://worldclim.org/> (дата обращения: 10.10.2018).
4. <http://www.theplantlist.org>
5. Barnes D. K., Sheaffer C. C. Alfalfa // *Forages*. Vol. 1: An introduction to Grassland Agriculture / In Barnes R. F., Miller D. A., and Nelson C. J. (ed.) Iowa State Univ. Press, Ames, IA, 1995.
6. Определитель растений Средней Азии. Ташкент : Фан, 2015. Т. 11. С. 166–167.
7. Флора Узбекистана. Ташкент : АН УзССР, 1941–1962.
8. Phillips S. J., Dudík M., Schapire R. E. A maximum entropy approach to species distribution modeling // *Proc. 21st Intern. Conf. on Machine Learning*. New York: ACM Press, 2004. P. 655–662.

9. Global ocean heat content in the Last Interglacial / S. Shackleton, D. Baggenstos, Menking J., M. Dyonisius, B. Bereiter, T. Bauska, R. Rhodes, et al. // Nature Geoscience. 2020. 13 (1). P. 77–81. doi: 10.1038/s41561-019-0498-0.

10. Frame J. *Medicago sativa* L. Grassland Index. A searchable catalogue of grass and forage legumes. FAO, Rome, Italy, 2005.

11. Radovic J., Sokolovic D., Markovic J. Alfalfa – most important perennial forage legume in animal husbandry // Biotechnology in Animal Husbandry. 2009. Vol. 25. P. 465–475.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНВАЗИВНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

В. В. Рутман¹, Г. Я. Кантор^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет*

² *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,
ecolab2@gmail.com*

В статье представлен опыт применения высотной съёмки территорий, подверженных распространению инвазивных видов растений. Были выявлены основные формы распространения борщевика и влияние окружающей среды на инвазивные растения.

Ключевые слова: инвазивная растительность, борщевик, квадрокоптер, аэрофотосъёмка, дистанционное зондирование Земли.

Одним из приоритетных направлений природоохранной деятельности, по-прежнему, является борьба с распространением инвазивной растительности. Лаборатория биомониторинга ВятГУ и Коми НЦ УрО РАН на протяжении нескольких лет ведёт исследование распространения одного из наиболее опасных инвазивных видов – борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) на территории Кировской области. На данном этапе исследования важно изучить основные принципы распространения этого вида растений с привязкой к компонентам окружающей среды. Основным методом мониторинга распространения борщевика является анализ изображений, полученных с борта космических аппаратов. Благодаря данным дистанционного зондирования были выявлены участки, подверженные зарастанию борщевиком. Уже предпринимались попытки построения конфигурации борщевичных сообществ с автоматизированным подсчётом количества особей и площади зарастания [1]. Однако спутниковая съёмка имеет ряд недостатков. Кроме зависимости от погодных условий и положения спутника над поверхностью Земли, основным недостатком доступных снимков является сравнительно низкое разрешение изображения, недостаточное для изучения мелких деталей. Аэрофотосъёмку небольших территорий с высоким пространственным разрешением наиболее эффективно можно осуществлять с помощью беспилотных летательных аппаратов – квадрокоптеров. Съёмка с сантиметровым разрешением

ем позволяет производить подсчёт количества отдельных растений и занятых ими площадей. В целях автоматизированной обработки квадрокоптерных снимков нами была разработана специализированная программа, выделяющая на снимках борщевик по характерной форме соцветий [2]. Однако эта программа не обеспечивала достаточного уровня надёжности выделения борщевика на фоне другой растительности. К тому же работа программы возможна только во время цветения борщевика при съёмке с малых высот, что также снижает эффективность её использования.

Для идентификации зарослей борщевика Сосновского хорошо зарекомендовали себя мультиспектральные снимки с космических аппаратов Sentinel-2. На территории Кировской области для локализации зарослей борщевика Сосновского успешно использовались спектральные индексы NDVI и ClGreen [3]. Однако пространственное разрешение снимков Sentinel (10 м) при решении некоторых конкретных задач оказывается недостаточно высоким. В таких случаях может быть эффективным анализ космических снимков в сочетании с крупномасштабной аэрофотосъёмкой с беспилотных летательных аппаратов (в частности, с квадрокоптеров). Беспилотная съёмка применяется для уточнения съёмки со спутников, построения конфигурации зарослей борщевика и их изменения во времени, выявления зависимостей от окружающей среды, а также для поиска борщевика в недоступных местах. На основе серии снимков строится ортофотоплан с географической привязкой, который может быть открыт в геоинформационных системах и обработан средствами обработки растровых снимков.

Аэрофотосъёмку зарослей борщевика мы проводили с квадрокоптера DJI Phantom 3 Standard, построение ортофотоплана – при помощи программного пакета AgiSoft PhotoScan. При визуальном дешифрировании ортофотопланов были выявлены основные конфигурации борщевичных зарослей и их взаимозависимость. Крупные скопления представляют собой пятна неправильной формы 0,01–0,05 км², на небольшом расстоянии от которых располагаются скопления округлой формы, площадью 10–50 м² и одиночные растения. В таком виде борщевик распространяется на открытых пространствах. Скопления борщевика располагаются в виде полос вдоль дорог, по берегам водоёмов, около лесонасаждений и кустарников. Местоположение зарослей борщевика влияет на спектральные и геометрические характеристики растений, а также на плотность их скопления (рис. 1).



Рис. 1. Ортофотоплан, на котором видны заросли борщевика

При анализе космических снимков была обнаружена нетипичная расцветка растений борщевика Сосновского вблизи заброшенных и действующих животноводческих комплексов (рис. 2). Во время полевых исследований на местности было отмечено, что листья таких растений более тёмные, а стебли более длинные, около 3–4 м, хотя средний стебель соцветия борщевика составляет примерно 2–3 м.

При изучении проблем, связанных с инвазивными видами, необходимо отметить возможность распространения борщевика Сосновского через отходы предприятий животноводства. С отходами животноводческих комплексов в почву могут приноситься семена различных кормовых растений, не характерных для данной местности. Семена сорных растений не перевариваются в пищеварительном тракте животных. Внесение в почву навоза в качестве удобрения способствует распространению таких растений, в том числе и борщевика, неконтролируемое распространение которого уже стало одной из мировых проблем. Для автоматизированного обнаружения таких зарослей борщевика необходимы соответствующие усовершенствования методов обработки данных дистанционного зондирования.



Рис. 2. Заросли борщевика вблизи животноводческого комплекса

Библиографический список

1. Identification of the thickets of *Heracleum sosnowskyi* using Earth remote sensing data / E. V. Tovstik, T. A. Adamovich, V. V. Rutman, G. Ya. Kantor, T. Ya. Ashikhmina // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 2. С. 35–37. doi: 10.25750/1995-4301-2018-2-035-037
2. Рутман В. В., Кантор Г. Я. Идентификация борщевика Сосновского по данным дистанционного зондирования земли // Будущее сильной России – в высоких технологиях : сб. тезисов работ участников секции «Аэрокосмическая техника и технологии» XII открытой юношеской науч.-практ. конф. Т. 1. (28 февраля – 2 марта). СПб., 2018. С. 28–30.
3. Товстик Е. В., Адамович Т. А., Ашихмина Т. Я. Идентификация участков массового роста борщевика Сосновского с помощью спектральных индексов по данным Sentinel-2 // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 34–40. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-034-040.

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

В. В. Рутман, А. И. Фокина

Вятский государственный университет, rutman.slavik@yandex.ru

В статье представлен опыт создания виртуальной химической лаборатории на примере практического задания в олимпиаде по фармацевтической химии и обзор существующих известных виртуальных лабораторий.

Ключевые слова: аналитическая химия, фармацевтическая химия, виртуальная лаборатория, информационные технологии, дистанционное образование.

Использование методик дистанционного образования стало ещё более актуальным за последние два года. В связи угрозой распространения инфекционных заболеваний было принято решение частично перейти на дистанционное обучение. Для проведения лекционных занятий успешно применялась видеосвязь. Учащиеся записывали материал сидя не в аудитории, а за домашним компьютером или мобильным устройством. В режиме онлайн возможно общение студентов и преподавателей, проведение семинаров, конференций и даже экзаменов. К тому же была предоставлена возможность просмотра учебных материалов в записи для тех, кто по каким либо причинам пропустил занятие. Однако учебные курсы естественного и технического плана предполагают кроме теоретических занятий и практические в форме лабораторных работ. Они предполагают взаимодействие учащегося и какого-либо оборудования и материалов с целью освоения методов и принципов обращения с ними. Виртуальные лаборатории, созданные по принципу компьютерных игр могут частично решить эту проблему.

Идеальная виртуальная лаборатория должна представлять собой компьютерную программу с поддержкой шлемов или очков виртуальной реальности. Для пользователя выглядит как несколько комнат, имитирующих реальные лаборатории с оборудованием, приборами, аппаратами и реактивами. Также реализована полная симуляция химических и физических процессов. Также должна быть реализована возможность наблюдения преподавателя за действиями студентов и контроля результатов. Такой программно-аппаратный комплекс на данном этапе реализуемы, но не востребованы. Требуется наличие соответствующего оборудования на рабочих станциях, высокая скорость интернет-соединения и повышенные характеристики компьютеров, что требует высоких финансовых затрат и не соответствует принципу доступности. Также сама разработка программного обеспечения потребует значительных затрат, поскольку потребуется труд множества разноплановых специалистов-разработчиков: программистов, дизайнеров и др. Также можно отметить и затраты времени на разработку, тестирование и отладку.

Виртуальные лаборатории могут представлять как компьютерные программы, так и браузерные приложения с полным онлайн-доступом. На данный момент существует несколько готовых виртуальных лабораторий. Это лаборатории физики, химии и среды виртуального проектирования и конструирования. Самой современной и проработанной считается онлайн-лаборатория для изучения физики, химии, биологии LabXchange. Разработана Гарвардским университетом, содержит обширный материал по различной научной тематике, детально проработано взаимодействие с оборудованием, бесплатный доступ. Среди недостатков этой лаборатории можно отметить от-

сутствие русского языка, сложность в навигации и трудность в практическом использовании на занятиях.

Онлайн-лаборатория естественных наук. EduWebLabs аналогична LabXchange. Графика представлена достаточно схематичной, также отсутствует русский язык. Находится в стадии разработки.

Виртуальная лаборатория KV (kvlar.ru) предлагает проведение отдельных экспериментов по химии, биологии и экологии, количество которых ограничено. [1] Подходит для самостоятельной работы учащихся. В основе этих лабораторий лежит технология Adobe Flash Player.

Трёхмерная лаборатория химии VR CHEMISTRY LAB поддерживает средства виртуальной реальности, ряд представленных лабораторных работ ограничен, для работы требуется регистрация. Поддерживает коллективное обучение, стремительно развивается. Используется технология Unity Web GL. [2] Недостатком можно считать долгую загрузку, часто возникающие ошибки и требовательность к аппаратному обеспечению и соединению с интернетом.

31 декабря 2020 г. компания Adobe прекратила поддержку Flash Player и большинство онлайн-лабораторий перестали работать, поскольку были реализованы именно в этой системе. Поэтому создавать что-либо в этой среде считается бесперспективным занятием. Подключение внешних сред, как Unity несёт в себе дополнительные проблемы, указанные ранее. Наиболее оптимальным вариантом послужило использование языка веб-приложений JavaScript (JS). Сейчас практически не осталось сайтов, на которых не используются какие-либо скрипты. Это небольшие программы, алгоритмы, встроенные в веб-страницы и выполняющие определённые функции, такие как отображение контента, в зависимости от выбора пользователя, обмен данными с сервером или просто являются управляющим элементом дизайнерского оформления сайта. Сама по себе виртуальная лаборатория воплощает в себе принцип браузерной онлайн-игры. Для работы с лабораторией не требуется установка какого-либо программного обеспечения. Язык JS поддерживается всеми известными браузерами, постоянно развивается и обновляется. Не требуется постоянного обмена данными с сервером и обновления веб-страницы. Но главной функцией, необходимой для создания лаборатории, является технология работы с двухмерной графикой canvas. На веб-странице создаётся компонент, представляющий собой динамическое графическое изображение, поле с изменяемым программным кодом (скриптом) содержимым. Поддерживает как самостоятельное рисование, так и использование внешних графических изображений, файлов с картинками. Скрипт реагирует на различные действия пользователей (щелчок мышью по определённому месту, команды с клавиатуры), выполняет обработку этих действий и выдаёт результат в виде изменения изображения на графическом поле canvas и содержимого веб-страницы в целом.

В качестве пробной попытки была создана лаборатория с единственным экспериментом – синтезирование жидкости Бурова. Этот эксперимент включает в себя последовательность самых различных действий помимо перели-

вания из одного сосуда в другой. Там применяются, нагревание, охлаждение, взвешивание, фильтрование, сушка, измельчение. В эксперименте задействовано 30 единиц различного оборудования. Со всем оборудованием и реактивами пользователь может взаимодействовать, но в рамках допустимого программой. Все действия, необходимые для проведения эксперимента, были реализованы. Проект представляет собой группу взаимосвязанных между собой веб-страниц с подключёнными файлами со скриптами и картинками. При входе в программу в начале идёт блок с теоретической информацией про жидкость Бурова, затем предлагается выбрать правильную формулу из трёх предложенных и перейти на следующий экран. На втором экране представлена лаборатория с различным оборудованием и реактивами (рис. 1). Пользователю предлагается выбрать необходимые для эксперимента материалы и инструменты из предложенных. Для этого, ему необходимо перенести с полок на стол всё необходимое.

Лаборатория синтеза

?

Задание 2. Подберите сырьё, оборудование, вспомогательные материалы и полупродукты для синтеза жидкости Бурова. Для этого переместите всё необходимое с полок на стол.



Рис. 1. Экран выбора оборудования и реактивов

На данном этапе осуществляется базовое действие – перемещение предметов. После завершения этого этапа происходит непосредственный переход к эксперименту, где идёт непосредственное взаимодействие пользователя и виртуальной лаборатории (рис. 2). Весь процесс поделён на несколько этапов. В начале идёт подготовка необходимых реактивов, измерение объёма мерным цилиндром и взвешивание сухого реактива на весах. Здесь же осуществляется нагревание раствора. На втором этапе производится охлаждение и осаждение раствора с перемешиванием стеклянной палочкой.

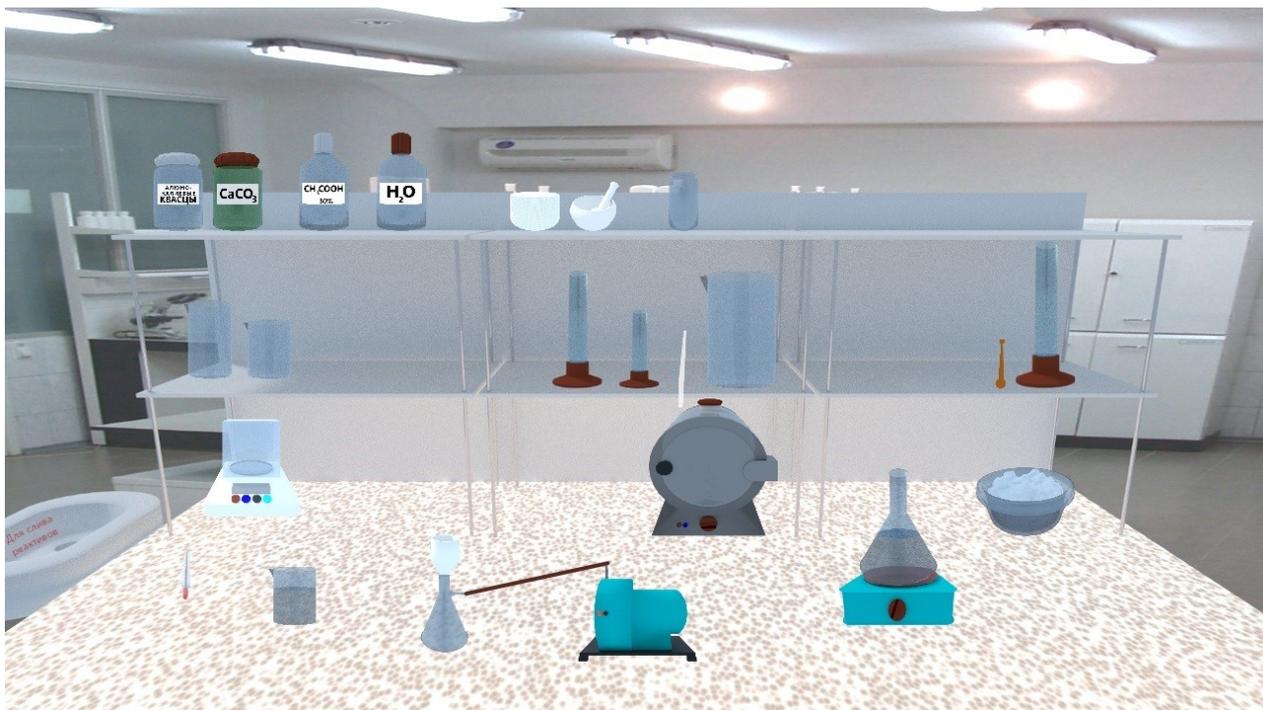


Рис. 2. Экран эксперимента

Реализовано взаимодействие предметов между собой, такое как постановка на плитку и измерение температуры термометром. На следующем этапе осуществляется фильтрование. Для этого нужно собрать установку, состоящую из колбы Бунзена, воронки Бюхнера, бумажного фильтра и вакуумного насоса, который нужно включить. Затем осуществляется сушка фильтра с осадком. Затем осадок взвешивается на весах и производятся расчёты, результаты которых вносятся в соответствующие ячейки. Затем осадок переносится в химический стакан, приливается рассчитанное количество уксусной кислоты, фильтруется аналогичным образом и переносится в сосуд для хранения. По итогам каждого этапа начисляются баллы, результат отправляется в базу результатов. В проект был добавлен блок подсказок, оснащённый видеозаписями важных действий. Этот проект был реализован при проведении областной олимпиады по фармацевтической химии для школьников и студентов.

Библиографический список

Коллекция виртуальных лабораторных работ. Часть 1 [Электронный ресурс]. – URL: http://distant.itmo.ru/lab_list (дата обращения: 16.03.2021).

VR CHEMISTRY LAB [Электронный ресурс]. – URL: <https://vrchemlab.ru/> (дата обращения: 16.03.2021).

ПРИМЕНЕНИЕ ARDUINO-ФОТОМЕТРА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КАТАЛАЗЫ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ШКОЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

*Е. Д. Давыдова, Е. А. Тишина, Т. С. Дроганова,
Л. В. Поликарпова, А. В. Еремина, Д. Б. Петренко
Московский государственный областной университет, ecolab@mgou.ru*

В настоящей работе представлен опыт применения доступного и несложного в изготовлении фотометра, изготовленного на базе микроконтроллера Arduino «Uno» для изучения активности каталазы растительных объектов. Программный код (скетч) фотометра позволяет получать значения оптической плотности экспериментальных растворов и проводить расчет их концентраций. Получаемые с прибора данные выводятся в окно монитора порта программы Arduino IDE или сохраняются в файл MS Excel.

Ключевые слова: измерительные приборы, учебное оборудование, фотометрия, Arduino, ферменты, проектная деятельность.

Действующие образовательные стандарты предусматривают развитие у учащихся метапредметных взаимодействий, выражающихся в формировании универсальных учебных действий, обобщении предметных знаний. Такой подход нацелен на формирование целостного представления о современной картине мира и развитие прикладных навыков у обучающихся, что чрезвычайно необходимо для их дальнейшей профессиональной ориентации. В этой связи в образовательный процесс внедряются новые педагогические подходы, в том числе, интегрированное обучение. К преимуществам интегрированных уроков перед обычными можно отнести формирование связи между различными областями знания, развитие творческого потенциала и мыслительных способностей учащихся, снижение утомляемости за счет смены видов деятельности в ходе занятия [1–3].

Интеграция информатики в другие дисциплины может способствовать повышению познавательного интереса у учащихся, выработке умений применять теоретические знания на практике, анализировать, систематизировать информацию, статистически обрабатывать и графически интерпретировать полученные экспериментальные данные. В исследованиях последних лет показано, что конструирование и использование обучающимися учебного оборудования на базе микроконтроллера Arduino увеличивает эффективность формирования экспериментальных умений и развития исследовательской компетенции, а также приводит к повышению познавательного интереса [4, 5].

На кафедре теоретической и прикладной химии МГОУ разработана конструкция коммерчески доступного и несложного в изготовлении фотометра на базе микроконтроллера Arduino, позволяющего выполнять химический анализ почв, поверхностных вод, талого снега и воды централизованного во-

доснабжения в условиях школьной лаборатории [6, 7]. Настоящая работа развивает данную тематику и направлена на расширение возможностей использования фотометра для изучения биохимических процессов.

В курсе биологии 8 и 9 класса при изучении темы «Ферменты» обучающиеся знакомятся с каталазой. Каталаза ускоряет разложение пероксида водорода, образующегося в процессе биологического окисления, на воду и молекулярный кислород и является достаточно удобным для изучения ферментом. Исследовательские работы школьников, посвященные изучению каталазы, выполняются по крайней мере с конца 1970-х годов, когда в журнале «Химия и жизнь» была описана волюметрическая методика определения активности каталазы и объявлен всесоюзный конкурс работ по изучению ее активности в различных растительных объектах [8].

Нами разработан сценарий выполнения школьной исследовательской работы по изучению активности каталазы в проростках овса посевного *Avena sativa* L. С применением стандартных методов учащиеся получают экстракты из проростков, выращиваемых при различных условиях, (освещенности, температуре, действии различных реагентов). Активность каталазы в экстрактах предлагается определять с помощью спектрофотометрического метода [9], не требующего труднодоступных и дорогостоящих реагентов. Спектрофотометрическое определение пероксида водорода базируется на восстановлении им дихромат-иона в среде уксусной кислоты до иона Cr^{3+} , концентрацию которого определяют по изменению оптической плотности раствора при 570 нм.

В основе методики, применяемой при реализации проекта, лежит измерение скорости реакции разложения пероксида водорода под действием каталазы путем определения концентрации неразложившегося вещества через определенный промежуток времени от начала реакции. Для построения градуировочной кривой предлагается использовать командную оболочку Jupyter Notebook для языка программирования Python. На рисунке 1 представлен градуировочный график для определения активности каталазы с нанесенными на него точками, соответствующими анализируемым пробам.

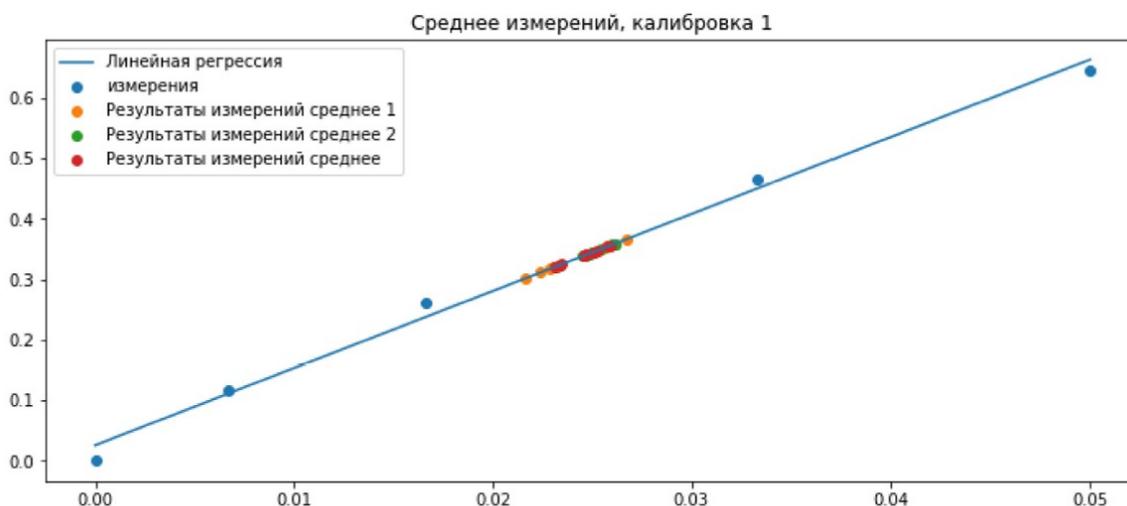


Рис. 1. Градуировочный график для определения активности каталазы

На рисунке 2 представлен скриншот окна программы с рассчитанными значениями концентрации неразложившегося пероксида водорода в пробах после действия каталазы.

	Серия 1 С(Н ₂ О ₂)	Серия 1 А	Серия 2 С(Н ₂ О ₂)	Серия 2 А	Среднее С(Н ₂ О ₂)	Среднее А
0	0.026135	0.3590	0.025428	0.3500	0.025782	0.35450
1	0.024801	0.3420	0.024644	0.3400	0.024722	0.34100
2	0.026762	0.3670	0.025036	0.3450	0.025899	0.35600
3	0.022840	0.3170	0.023389	0.3240	0.023114	0.32050
4	0.025272	0.3480	0.024840	0.3425	0.025056	0.34525
5	0.025664	0.3530	0.024879	0.3430	0.025272	0.34800
6	0.021663	0.3020	0.025036	0.3450	0.023350	0.32350
7	0.023075	0.3200	0.026174	0.3595	0.024624	0.33975
8	0.022408	0.3115	0.024526	0.3385	0.023467	0.32500
9	0.023193	0.3215	0.026017	0.3575	0.024605	0.33950

Рис. 2. Скриншот программной оболочки Jupyter Notebook.

Представлены средние значения оптической плотности и концентрации неразложившегося пероксида водорода

Образцы 0, 1, 5, 6, 8 выращивали при естественном освещении, тогда как остальные растения выращивались в условиях дополнительного освещения светодиодными лампами в течение 12 часов ежедневно. Растения из образцов 0–3 предварительно высушивали, 4–7 замораживали, а образцы 8 и 9 представляли собой свежесобранные растения. Из полученных данных видно, что активность фермента в исследованных образцах незначительно отличаются друг от друга, что позволяет сделать вывод об отсутствии существенной зависимости активности каталазы от условий освещения растений и способа подготовки биологического материала.

Таким образом, показана возможность использования фотометра на базе микроконтроллера Arduino для изучения зависимости активности каталазы растительных объектов от различных факторов в условиях школьной лаборатории. Arduino-фотометр целесообразно использовать в учебном процессе как на уровне среднего, так и высшего образования для определения активности ферментов в биологических объектах, изучения кинетики ферментативных реакций. Школьники и студенты могут участвовать как в разработке лабораторных установок на базе микроконтроллера Arduino, так и в программировании устройства.

Библиографический список

1. Безруких Е. Г. Интегрированное обучение как средство организации современного учебного процесса // Проблемы педагогики. 2015. № 6 (7). С. 8–12.

2. Зенкова Т. С., Попова О. А. Интегрированный подход в проектировании и реализации процесса обучения в области естественно-научного образования в средней школе // Вестник ТГУ. 2008. Т. 13. Вып. 4. С. 313–315.
3. Плишкина Р. Межпредметный урок // Открытая школа. 1999. № 2. С. 29
4. Mabbott G. A. Teaching Electronics and Laboratory Automation Using Microcontroller Boards // J. Chem. Educ. 2014. Vol. 91. P. 1458–1463. doi: 10.1021/ed4006216
5. Soong R., Agmata K., Doyle T. Rethinking a Timeless Titration Experimental Setup through Automation and Open-Source Robotic Technology: Making Titration Accessible for Students of All Abilities // J. Chem. Educ. 2019. Vol. 96. P. 1497–1501.
6. Возможности использования изготовленных учащимися измерительных приборов для организации проектной деятельности по естественнонаучным дисциплинам / А. В. Еремина, О. И. Байкова, Д. Б. Петренко, Н. В. Васильев // Возможности использования изготовленных учащимися измерительных приборов для организации проектной деятельности по естественнонаучным дисциплинам : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Актуальные проблемы методики преподавания биологии, химии и экологии в школе и вузе. М. : Диона, 2020. С. 389–393.
7. Разработка Arduino-фотометра для исследования водных объектов в условиях школьной лаборатории / Д. Б. Петренко, А. В. Еремина, А. С. Шитова, П. О. Лоскутов, О. И. Байкова // Актуальные проблемы биологической и химической экологии : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. М.: ИИУ МГОУ, 2021. С. 197–200.
8. Леенсон И. А. Операция «Фермент» // Химия и жизнь 1978. № 2. С. 88–91
9. Asru K. Sinha Colorimetric assay of catalase // Analytical Biochemistry. 1972. Vol. 47. P. 389–394.

ПЛАВАТЕЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ *DAPHNIA MAGNA* В СТАТИЧЕСКИХ И ПРОТОЧНЫХ УСЛОВИЯХ

Д. Ю. Гизатуллин, О. В. Никитин

Казанский (Приволжский) федеральный университет, olnova@mail.ru

В статье дана оценка плавательного поведения *Daphnia magna* в статических и проточных условиях. Разработана установка для оценки плавательной активности дафний в различных гидродинамических условиях, состоящая из проточной камеры, перистальтических насосов и соединяющих силиконовых шлангов, обеспечивающая устойчивый регулируемый водообмен в камере.

Ключевые слова: биотестирование, плавательная активность, статические и проточные условия, проточная камера.

Качественное истощение водных ресурсов стало одной из наиболее острых экологических проблем. Для оценки уровня влияния антропогенных и абиотических факторов мало только использовать методы химического анализа и систему нормирования содержания загрязняющих веществ в компонентах среды. В природоохранную практику все активнее внедряются биологические испытания в качестве интегральной оценки токсического загрязнения природных вод и иных объектов окружающей среды [1].

До 1980-х годов во всем мире превалировал гидрохимический мониторинг качества вод, однако в нынешнее время зарубежными и отечественными

специалистами признана недостаточность химического контроля в части предоставления полной информации о качестве водных систем [2]. Это связано с тем, что химический анализ во многих случаях не позволяет оценить реальную угрозу попадания загрязняющих веществ в окружающую среду и предсказать последствия их воздействия на живые организмы. По этой причине все чаще применяются методы комплексной оценки воды. Одним из основных методов принято считать биологическое тестирование [3]. Среди методов биологического тестирования весомую роль играет определение токсичности окружающей среды с использованием низших ракообразных, в первую очередь с внедрением *Daphnia magna* Straus, так как ее можно считать самым универсальным объектом тестирований на чувствительность и адекватность реакции на всевозможные токсиканты. Лабораторная культура *Daphnia magna* считается одной из наиболее часто применяемых в практике определения острого и хронического токсического влияния отдельных химических веществ и образцов воды [4].

На современном рубеже технологического становления чувствительное определение присутствия токсичных веществ в воде возможно в соответствии с поведенческими характеристиками тестируемых объектов с поддержкой компьютерного анализа их цифровых изображений.

Известно много исследований влияния биотических и абиотических факторов, таких как температура, гипоксия, уровень минерализации, содержание токсикантов, хищников и пищевых ресурсов, на особенности жизнедеятельности дафний, в том числе и на их плавательную активность. Среди абиотических факторов, гидродинамический режим можно отнести к ключевым факторам, поскольку он может оказывать существенное влияние на подвижность планктонных организмов, к которым относится *Daphnia magna* [5].

Цель работы – оценить плавательное поведение *Daphnia magna* в статических и проточных условиях.

Для достижения поставленной цели, были сформулированы задачи:

1. Разработать установку для оценки плавательной активности дафний в статических и проточных условиях.
2. Оценить плавательное поведение дафний в статических условиях.
3. Оценить влияние проточности на плавательное поведение.

В рамках первой задачи было выполнено конструирование и изготовление проточной тестовой камеры для наблюдения за дафниями (рис. 1).

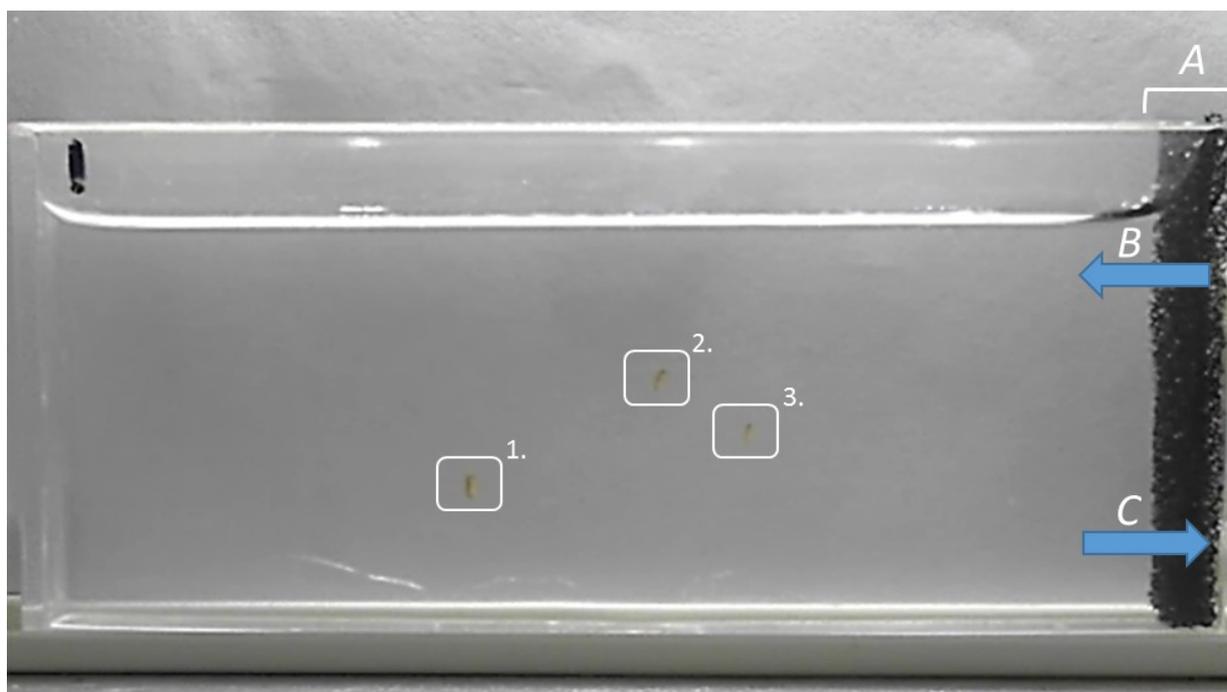


Рис. 1. Проточная тестовая камера во время выполнения эксперимента.
1, 2, 3 – дафнии; А – защитный водопроницаемый слой,
В – поступление воды, С – отток воды

Тестовая камера выполнена из прозрачного оргстекла, внутренние габариты составляют 98×43×8 мм, максимальный рабочий объем – 30 мл. Проточность камеры обеспечивается равномерным водообменом с внешней средой по силиконовым трубкам при помощи пары перистальтических насосов. Интенсивность водообмена регулируется при помощи преобразователя напряжения (DC/DC широтно-импульсный модулятор) и варьирует в пределах 29–108 мл/мин. Управление осуществляется вручную, для этой цели используются поворотные ручки-регуляторы. Вода поступает в камеру и покидает ее через верхний и нижний штуцеры соответственно (рис. 1). Для предотвращения засасывания биообъектов, в боковой части камеры предусмотрена защитная водопроницаемая перегородка. При необходимости возможно закрывание камеры герметичной резиновой крышкой. Указанная камера использовалась в дальнейшем для постановки эксперимента.

Анализ движения дафний осуществлялся при помощи анализатора токсичности «TrackTox», реализующего алгоритмы компьютерного зрения [6, 7].

Для экспериментов использовалась монокультура *Daphnia magna*, выращиваемая в климостате В-4» по ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06. Т 16.1:2.3:3.9-06.

Плавательную активность изучали по схеме, представленной на рисунке 2. В качестве характеристик плавательной активности использовались данные по скорости плавания дафний и проплываемое ими расстояние.

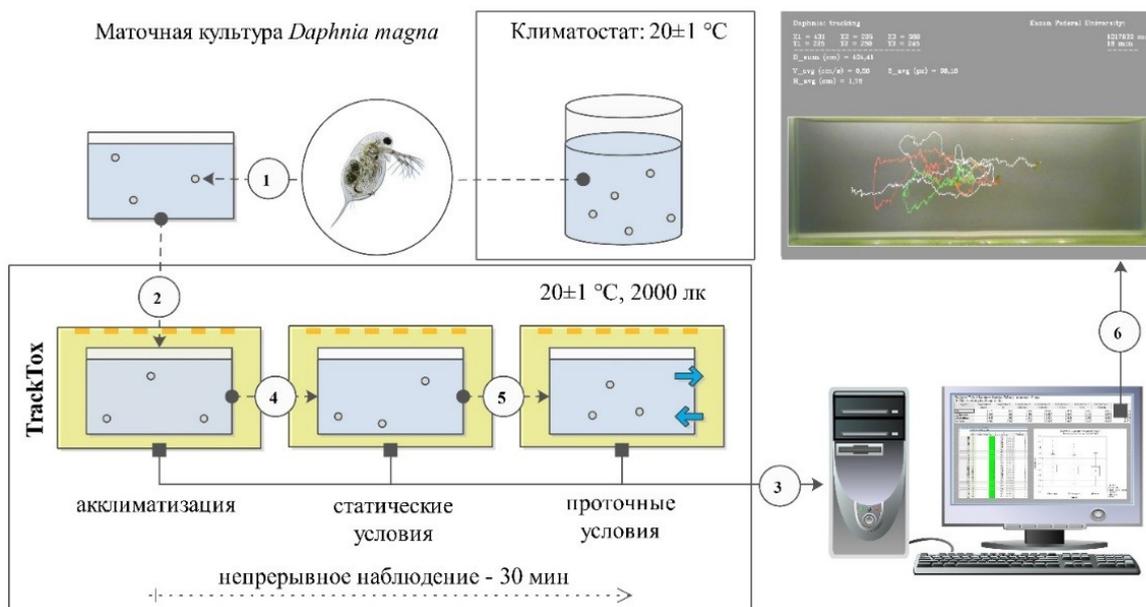


Рис. 2. Схема эксперимента по изучению плавательной активности в статических и проточных условиях

В кювету с 25 мл культивационной воды осуществлялся перенос 3 особей дафний из маточной культуры (рис 2, п.1). После этого кювета помещалась в анализатор TrackTox, обеспечивающий постоянные условия по температуре и освещенности (2). После 10 минут акклиматизации дафний к новым условиям осуществлялась запись и обработка параметров плавательной активности в статических условиях (3, 4). Далее происходило включение перистальтических насосов для формирования проточных условий в камере, в которых плавательная активность также анализировалась в течение 10 минут (3, 5). В ходе эксперимента данные визуализировались на экране компьютера, после завершения эксперимента информация по плавательной активности анализировалась при помощи специализированных программ (6). Таким образом, продолжительность единичного эксперимента составляла 30 минут:

- 10 минут – акклиматизация дафний в камере (без определения активности).
- 10 минут – плавательная активность в статических условиях.
- 10 минут – плавательная активность в проточных условиях (интенсивность 63 мл/мин (поворот ручки регулятора напряжения на 180°)).

Обработка и анализ полученных видео осуществлялся управляющей станцией, состоящей из подключенного компьютера и программы для отслеживания тестовых объектов TrackTox [5]. Определялись следующие параметры: текущие координаты в двумерном пространстве, скорость плавания, высота расположения испытательного объекта в камере, пройденное расстояние, размер испытуемого объекта и его ориентация в пространстве.

Первичная обработка данных проводилась при помощи программы Microsoft Excel 2007 (Microsoft, США). Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программы Statistica 13 (StatSoft, США).

Выполненный статистический анализ по сравнению групп по критерию Стьюдента не выявил статистически значимых различий при принятом уровне значимости (табл. 1, 2).

Таблица 1

Сравнение скорости плавания дафний (см/с) в статических (Group 1) и проточных (Group 2) условиях по критерию Стьюдента

Mean Group 1	Mean Group 2	t-value	df	p
0,384	0,418	-1,220	58	0,227

Таблица 2

Сравнение проплываемого расстояния дафний (см) в статических (Group 1) и проточных (Group 2) условиях по критерию Стьюдента

Mean Group 1	Mean Group 2	t-value	df	p
23,187	24,272	-0,618	58	0,539

В ходе эксперимента в статических условиях, дафнии проявляли свободное «поисковое» плавательное поведение, перемещаясь по всему объему камеры. В динамическом эксперименте с наличием проточности, дафнии преимущественно демонстрировали активность, компенсирующую течение.

Тест-объекты демонстрировали однородные количественные параметры плавательной активности во время эксперимента. Средняя скорость в статических условиях составляла 0,38 см/с, в проточных 0,42 см/с. В среднем одна дафния за минуту проплывала 23,2 см, в проточных условиях – 24,3 см.

Таким образом, можно предположить, что движение воды, обусловленное проточностью с интенсивностью ~60 мл/мин., не оказывает значимого эффекта на плавательное поведение дафний в условиях краткосрочного эксперимента. Применение динамической проточной системы в экспериментах с *D. magna* может иметь несколько преимуществ:

1) проточность обеспечивает лучший контакт организма с исследуемой средой, обновление токсиканта позволяет поддерживать исследуемый токсический фактор на постоянном уровне.

2) наличие проточности позволяет конструировать системы непрерывного мониторинга за окружающей средой, в том числе и автономные.

3) проточность может имитировать условия лотических экосистем, что может дать возможность оценивать воздействие на реофильные организмы.

4) плавание в условиях течения требует повышенных энергетических затрат, следовательно дафнии могут оказаться в таких условиях более чувствительными к токсикантам, что может позволить разрабатывать более чувствительные токсикологические тесты.

Библиографический список

1. Мичукова М. В., Канарский А. В., Канарская З. А. Области использования культуры *Daphnia magna* Straus // Вестник Казанского технологического университета. 2007. № 3–4. С. 109–126.

2. Van Loon W. V. G. M., Hermens J. L. M. Monitoring water quality in the future. Volume 2: Mixture toxicity parameters // Netherlands, Utrecht: Research Institute of Toxicology (RITOX). 1995. P. 116–118.

3. Олькова А. С. Контроль здоровья тест культуры *Daphnia magna* Straus // Вода и экология: проблемы и решения. 2019. № 3 (69). С. 59–69.

4. Toxicity assessment of polluted sediments using swimming behavior alteration test with *Daphnia magna* / O. V. Nikitin, E. I. Nasyrova, V. R. Nuriakhmetova, N. Yu. Stepanova, N. V. Danilova, V. Z. Latypova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 107. Art. № 012068.

5. *Daphnia magna* filtration efficiency and mobility in laminar to turbulent flows / T. Serra, A. Barcelona, M. Soler, J. Colomer // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 621. P. 626–633.

6. Nikitin O. V. Aqueous medium toxicity assessment by *Daphnia magna* swimming activity change // Advances in Environmental Biology. 2014. Vol. 8 (13). 2014. P. 74–78.

7. Effect of various temperature and light intensity regimes on *Daphnia magna* swimming behavior / O. Nikitin., E. Nasyrova, A. Kalinina, K. Sadykova, V. Latypova // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management. SGEM. 2019. Vol. 19. P. 229–236.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТРОВОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ И РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНОГО МИКРОАНАЛИЗА В НАУКАХ О ЖИЗНИ

А. Н. Неретина¹, С. И. Метелёв²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова
Российской академии наук, neretina-anna@yandex.ru

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина
Российской академии наук, semet@ibiw.ru

В статье рассмотрены возможности растровой электронной микроскопии и рентгеноспектрального микроанализа в исследованиях, проводимых в рамках направления Наук о жизни. Особое внимание уделено вопросам подготовки биологических образцов и трудностям, с которыми сталкиваются микроскописты во всех регионах Российской Федерации.

Ключевые слова: биология, медицина, ветеринария, растровая электронная микроскопия, цифровые технологии.

Науки о жизни (англ. *life sciences*) – это крайне востребованное на современном этапе направление естествознания, проблематика которого лежит в русле научного обеспечения политэкономической концепции устойчивого развития (англ. *sustainable development*). Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» науки о жизни и рациональное природо-

пользование вошли в число приоритетных направлений, важных для обеспечения устойчивого, динамичного и сбалансированного развития Российской Федерации на долгосрочный период [1]. В этом же указе был определен перечень критических технологий Российской Федерации, часть из которых непосредственно входит в отрасль наук о жизни. К таким технологиям относятся: (1) биокаталитические, биосинтетические и биосенсорные технологии; (2) биомедицинские и ветеринарные технологии; (3) геномные, протеомные и постгеномные технологии; (4) клеточные технологии; (5) технологии биоинженерии. Благодаря новейшим достижениям в разработке вакцин, заметно вырос авторитет российских учёных, работающих в отрасли наук о жизни, в глазах широкой общественности [2, 3]. Значительно увеличился интерес к этой отрасли и у представителей других направлений. Российские специалисты постепенно выходят из амплуа рассеянного «учёного чудака» Жака Паганеля, героя романа Жюль Верна «Дети капитана Гранта». Сегодня направление наук о жизни гармонично сочетает в себе преемственность и инновации, постепенно сокращается путь от теоретических разработок до их внедрения в практику. С каждым годом все больше выпускников школ и ВУЗов выбирают карьеру именно в отрасли наук о жизни [4]. В связи с этим увеличивается число бюджетных мест в ВУЗах, претерпевают изменения существующие программы для подготовки специалистов, открываются новые учреждения для обучения и трудоустройства специалистов отрасли. Один из наиболее успешных и амбициозных проектов этой отрасли был реализован на территории инновационного центра «Сколково» (г. Москва). Центр наук о жизни Сколтеха объединил ведущих российских специалистов по биоинформатике, биомедицине и биотехнологиям, вовлеченных в разработку и коммерциализацию новых технологий. Специалисты центра имеют доступ к самому современному оборудованию, необходимому для решения рутинных и нестандартных задач [4]. Однако, несмотря на расцвет геномных, протеомных и других «омиксных» технологий, классическая описательная биология остается важным и по-прежнему востребованным направлением наук о жизни. Так, например, исследования биологического разнообразия организмов является ключом к высокоточной оценке современного состояния биологических ресурсов и прогнозированию их изменений в будущем. Это крайне важно для эффективного менеджмента экосистем и природоохранных целей (в том числе, для мониторинга видов-вселенцев и видов, находящихся под угрозой исчезновения) [5], поэтому актуальность всестороннего изучения биологического разнообразия не вызывает сомнений не только у ученых, но и у многих чиновников и политиков [1].

Исследования во всех направлениях наук о жизни невозможны без высокотехнологичных приборов. К числу наиболее востребованных приборов принадлежит растровый электронный микроскоп (РЭМ) [6–8].

РЭМ – это прибор, предназначенный для получения изображения поверхности объекта с высоким (до 0,4 нм) пространственным разрешением, а также информации о составе, строении и некоторых других свойствах припо-

верхностных слоев [6–8]. Все многообразие задач, решаемых с помощью РЭМ, можно свести к двум типам: (1) исследование поверхности (рис. 1А); (2) получение информации об элементном составе образца (рис. 1Б). Наиболее востребованы у специалистов, работающих в отрасли наук о жизни, именно исследования различных поверхностей, причем наибольший вклад в такие исследования вносят биологи-систематики, изучающие морфологию микроскопических организмов, а также медики и ветеринары, исследующие на РЭМ органы и ткани [6–8].

Подготовка биологических образцов и сам процесс их исследования на РЭМ относительно просты. Для того, чтобы биологические образцы можно было исследовать на РЭМ, они должны соответствовать следующим требованиям:

1. Биологический образец должен по габаритам уместиться в держатель для РЭМ. Перед проведением исследования, чтобы избежать досадных недоразумений, стоит проконсультироваться с оператором РЭМ.

2. Биологический образец должен быть идеально сухим (без воды и газов) для исследований в вакууме. Разработаны специальные методы бережного высушивания объектов, содержащих воду. Эти методы позволяют избежать деформации поверхности биологических объектов силами поверхностного натяжения.

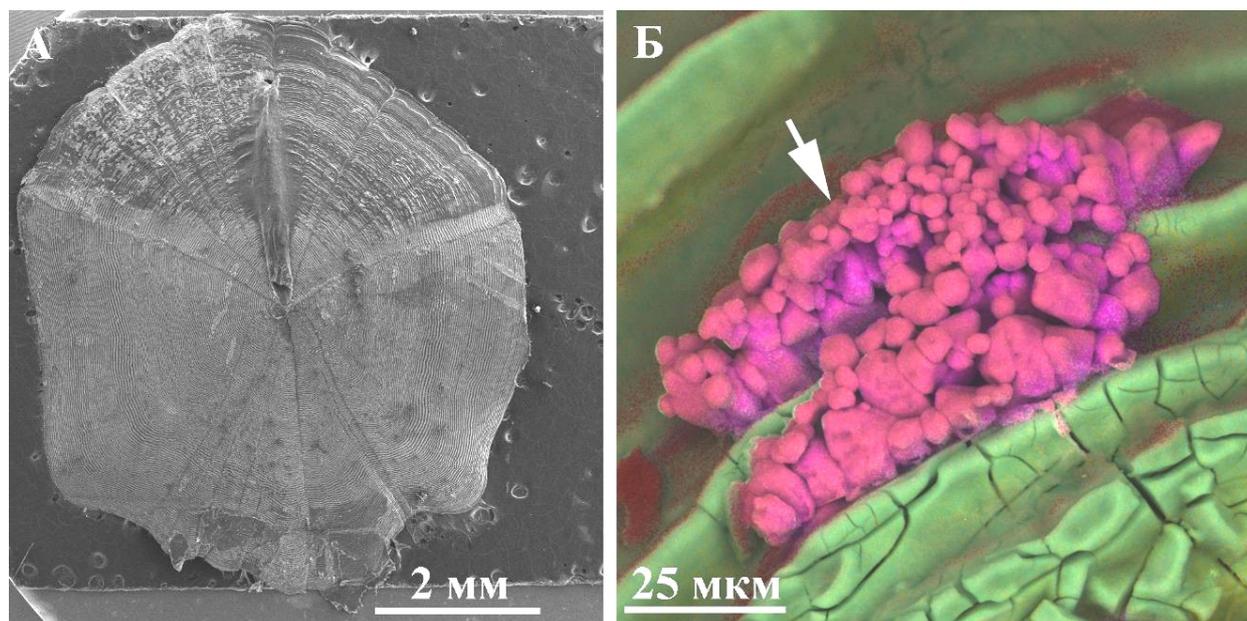


Рис. 1. (А) Чешуя вяленой плотвы, выловленной в Рыбинском водохранилище. (Б) Карта распределения элементов в чешуе: стрелкой обозначены кристаллы поваренной соли. Изображения получены на РЭМ MIRA 3 LMN, оснащенной системой энергодисперсионного микроанализа AZtecOne X-act

3. Биологический образец должен быть электропроводным. Для этого в специальных установках на поверхность биологических образцов наносят тонкий слой металла или углерода.

4. Для целей элементного анализа биологический образец должен быть полированным, горизонтально расположенным и гомогенным.

Наш опыт работы с пользователями РЭМ свидетельствует о том, что с освоением методик пробоподготовки, приемов работы на РЭМ и интерпретацией полученных данных успешно справляется большинство исследователей. Переход от использования фотопленки к цифровым изображениям значительно ускорил процесс получения и обработки данных [8].

Основные трудности заключаются в закупке расходных материалов для РЭМ, обслуживании и ремонте имеющихся приборов, а также в закупке новых приборов. При этом трудности, с которыми сталкиваются микробиологи, одинаковы и в Москве, и в регионах. Если «омиксные технологии» и другие междисциплинарные практические направления наук о жизни – это «хорошо продаваемая» тематика, на которую легко получить финансирование как отечественных, так и зарубежных фондов, то обоснование финансирования для классической описательной биологии, медицины и ветеринарии – задача намного более сложная. При этом далеко не каждый образованный человек представляет себе, как выглядят ткани, изготовленные при помощи технологий 3D-биопринтинга. Также мало кто знает, как, например, выглядят микроскопические ветвистоусые ракообразные или диатомовые водоросли, принадлежащие к одной из самых массовых групп микроскопических организмов в континентальных водоемах. Ежегодно ученые-систематики выявляют и описывают по несколько тысяч новых видов, особенно среди микроскопических организмов, трудно различимых невооруженным глазом. В связи с этим, во многих группах микроскопических организмов остро стоит проблема выделения таксономически значимых признаков для разграничения близких видов. И, несмотря на то, что РЭМ активно используется в биологии с середины прошлого века, этот метод визуализации морфологических структур до сих пор не потерял свою актуальность.

Сегодня РЭМ является важным инструментом не только для визуализации и анализа биологических образцов, но и инструментом для популяризации научных знаний. Микрофотографии, полученные на РЭМ, обладают большой эстетической ценностью и способны украсить не только научную работу, но и научно-популярную заметку.

Мы приглашаем всех желающих погрузиться в исследования тайн микромира методами РЭМ на базе Центра коллективного пользования «Инструментальные методы в экологии» ИПЭЭ РАН (Москва) и Межлабораторного центра электронной микроскопии ИБВВ РАН (пос. Борок, Ярославская область)!

Данная работа была выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных – кандидатов наук (проект МК-525.2020.4).

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации от 07.07.2011 г. № 899 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/33514>
2. Jones I., Roy P. Sputnik V COVID-19 vaccine candidate appears safe and effective // The Lancet. 2021. Vol. 397, No. 10275. P. 642–643.
3. AstraZeneca joins Russia to boost coronavirus vaccine [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41587-020-00804-4>
4. Биологический наукоград: как работает Центр наук о жизни Сколтеха [Электронный ресурс]. – URL: <https://biomolecula.ru/articles/biologicheskii-naukograd-kak-rabotaet-tsentr-nauk-o-zhizni-skoltekha>
5. Неронов В. М., Луцкекина А. А. Чужеродные виды и сохранение биологического разнообразия // Успехи современной биологии. 2001. Т. 121, № 1. С. 121–128.
6. Уикли Б. Электронная микроскопия для начинающих / Пер. с англ. И. В. Викторова, под ред. В. Ю. Полякова. М. : Мир, 1975. 324 с.
7. Миронов А. А., Комиссарчик Я. Ю., Миронов В. А. Методы электронной микроскопии в биологии и медицине: Методическое руководство. СПб. : Наука, 1994. 400 с.
8. Исследование палинологических объектов методами электронной микроскопии / Н. Е. Завьялова, М. В. Теклева, С. В. Полева, А. Г. Богданов. М. : РИПОЛ классик, 2018. 334 с.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКЕ ТОКСИКОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЕДИНЕНИЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ ОПАСНЫХ ОТХОДОВ

О. М. Антонова, Е. И. Тихомирова

Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю. А.,

tichomirova_ei@mail.ru, antonovaom@bk.ru

В работе обоснованы новые подходы к экспресс-оценке токсикометрических характеристик соединений, образующихся в процессе деятельности современных производственно-технических комплексов по обработке, утилизации и обезвреживанию опасных отходов. Применение разработанных подходов и использование полученных данных для компьютерного моделирования позволят разработать программы для прогноза вероятной токсичности, а также эффектов воздействия на здоровье человека.

Ключевые слова: токсичность, токсикометрические характеристики, экспресс-оценка опасности, математическое моделирование, прогноз состояния здоровья

Одной из центральных проблем при реализации федерального проекта «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности» в рамках Национального проекта «Экология» является обеспечение экологической безопасности для населения при работе современных производственно-технических комплексов (ПТК) обработке, утилизации и

обезвреживанию опасных отходов. Безопасность любого современного производства контролируется эффективным проведением мониторинга окружающей среды за счет использования адекватных и точных экспресс-способов контроля возможного вредного влияния токсикантов на состояние различных природных экосистем, а также методов прогноза токсикометрических характеристик применительно к человеку.

Цель работы: обосновать новые подходы экспресс-оценки токсикометрических характеристик высокотоксичных веществ применительно к человеку для прогноза состояния здоровья населения.

Наиболее перспективными подходами по прогнозированию токсичности веществ, являются способы, в основе которых лежит метод математической статистики – регрессионный анализ. Однако при построении регрессионных уравнений не выдвигаются гипотезы, которые бы вскрывали существо протекающих биохимических процессов, участвующих в реализации негативного действия конкретного химического соединения. Отмеченный субъективизм связан с тем, что численные значения токсикологических характеристик зависят от большого количества факторов, которые до настоящего времени однозначно не установлены [1].

Необходимо отметить, что условно основные факторы, участвующие в формировании отклика организма на воздействие вещества, делят на две большие группы:

- физико-химические характеристики вещества, отражающие токсико-динамические процессы в организме (механизм действия вещества);
- факторы, описывающие процессы распределения и метаболизма вещества в организме того или иного биообъекта, а также его выведения (токсикокинетика вещества).

Отсюда следует, что именно токсикодинамика и токсикокинетика токсичного соединения отражают количественные характеристики при формировании дозы вещества в организме. В конечном итоге под влиянием данных процессов формируется ответ организма на негативное действие исследуемого соединения. Поэтому способы экстраполяции токсичности химических веществ применительно к человеку, основанные на описании токсикокинетических и токсикодинамических процессов, являются наиболее перспективными в повышении точности и надежности прогноза.

Существующая система гигиенической индикации последствий для здоровья при внешнесредовой экспозиции химических факторов базируется на поиске маркеров эффекта и маркеров воздействия [2]. В доклинических исследованиях существующие методы прогноза токсикометрических характеристик при переносе данных с животных на человека не позволяют применять на практике полученные результаты отдельных токсикологических исследований в связи с существенными анатомо-физиологическими межвидовыми различиями, что принуждает использовать коэффициенты запаса или количественное описание физиологического ответа с серьезными допущениями. В этом случае математическая модель

упрощается, что приводит к уменьшению точности расчетных прогнозных величин, особенно при реальном (ингаляционном) пути поступления вещества в организм. В действующих руководствах [3–6] данные по токсикокинетике используются по описательному принципу, а для прогноза применяются методы «первого поколения», в которых используются значения массы тела и различные коэффициенты (например, коэффициенты запаса). К настоящему времени доказано, что такие методы имеют достаточно большие ошибки и могут быть применимы не для всех веществ [7].

Решить данную проблему можно, используя методы токсикокинетики, которые связаны с концентрацией вещества в крови и с известными зависимостями с дозой вещества. Основой для создания новых экспресс способов прогноза токсикометрических характеристик применительно к человеку могут стать математические модели, предложенные нами в соавторстве в работах [8], а платформой по обоснованию условий оценки токсикологических характеристик для построения адекватных моделей могут служить работы [9, 10]. Преимуществом наших работ является существенное повышение точности полученных прогнозных характеристик, основанных на гипотезе об определяющей роли функции $C(t)$ или ее производной C_{max} (максимальной концентрации токсиканта в крови) в формировании биологического отклика (например, LD_{50}). При этом допускается, что существование такой связи не определяется конкретной химической структурой вещества (так как она носит достаточно общий характер); использовании C_{max} и других фармако-, токсикокинетических параметров оценивания при воздействии на организм дозы вещества, обеспечивающей уровень физиологической нормы (граница реакции удовлетворительной и неудовлетворительной адаптации). Это позволяет достичь повышения точности прогнозных токсикологических характеристик. Современные методы компьютерного моделирования позволяют разработать программы для прогноза вероятной токсичности, а также эффектов воздействия на здоровье человека. Такой подход является особенно важным при экстренном принятии решений по предотвращению локализации и устранению последствий возможного вредного воздействия экотоксикантов, загрязняющих окружающую среду, и негативно влияющих на состояние здоровья человека.

Совершенствование методологии прогноза токсикометрических характеристик для человека при ингаляционном пути поступления вещества в организм, отражающей риски для здоровья населения в условиях неблагоприятного воздействия факторов среды обитания, приобретает особую важность в приложении к вопросам устойчивого развития территорий функционирования ПТК по обработке, утилизации и обезвреживанию опасных отходов.

Точность прогнозных характеристик играет определяющую роль в доказательстве причинно-следственных связей негативных ответных реакций организма на воздействие факторов внешней среды и является значимой для

обоснования эффективности профилактических мероприятий по обеспечению санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

Библиографический список

1. Математические методы фармакологии, токсикологии и радиобиологии : монография / А. М. Кармишин, В. А. Киреев, Г. И. Березин, Р. В. Афанасьев. 2-ое, перераб. и доп. М. : ООО «АПР», 2011. 330 с.
2. Онищенко Г. Г., Зайцева Н. В., Землянова М. А. Гигиеническая индикация последствий для здоровья при внешнесредовой экспозиции химических факторов / под ред. Г. Г. Онищенко. Пермь, 2011. 532 с.
3. «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» Р 2.1.10.1920-04 (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 5 марта 2004 г.).
4. Национальный стандарт РФ ГОСТ 6701 – 2015 «Лекарственные средства для медицинского применения».
5. Руководство по планированию доклинических исследований безопасности с целью последующего проведения клинических исследований и регистрации лекарственных средств. М. : Стандартинформ, 2016; ICH M3(R2): 2009 «Guidance on nonclinical safety studies for the conduct of human clinical trials and marketing authorization for pharmaceuticals, IDT».
6. Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии от 26.11.2019 № 202 «Об утверждении Руководства по доклиническим исследованиям безопасности в целях проведения клинических исследований и регистрации лекарственных препаратов».
7. Красовский Г. Н. Моделирование интоксикаций и обоснование условий экстраполяции экспериментальных данных с животных на человека при решении задач гигиенического нормирования. М., 1972. 241 с.
8. Принципы, лежащие в основе новых методов прогноза токсичности ксенобиотиков с использованием данных фармако-, токсикокинетики / В. Р. Рембовский, О. М. Антонова, Е. А. Вашурин, Н. А. Фоменко, О. И. Алешина // www. Medlin.ru. Том 14. Токсикология. 2013. Статья 48. С. 552–578.
9. Рембовский В. Р., Антонова О. М. Способ оценки микросомальной системы печени при действии ксенобиотиков алкилирующего типа. Патент РФ № 2104539. Оpubл. Журнал «Изобретения». 2016. № 4.
10. Антонова О. М. Способ ранней диагностики патологических состояний в условиях воздействия на организм физиологически активных веществ, обладающих генотоксическими свойствами // ФГБУ «27 Научный центр» МО РФ «Вестник войск РХБ защиты» 2017. Т. 1. № 1. С. 15–22. <http://journal.ofhim.ru/index.php/vestnik/article/view/3>.

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРЕВЬЕВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИЙ САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОН ПРЕДПРИЯТИЙ

З. А. Симонова, И. С. Шайденко

*Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А., simonovaza@yandex.ru*

Создана база данных физиологического состояния *Betula pendula* и *Populus pyramidalis*, произрастающих на территориях санитарно-защитных зон предприятий г. Саратова. Основные экологические показатели, представ-

ленные в базе данные, это результаты морфометрических характеристик листовых пластинок, содержание хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов, интенсивность фотосинтеза и ассимиляционной активности.

Ключевые слова: промышленные предприятия, фитоиндикация, функциональное состояние растений, экологическая база данных.

Зеленые насаждения практически повсеместно используются для озеленения санитарно-защитных зон (СЗЗ) предприятий. Эти растения постоянно испытывают негативное воздействие, к которому вынуждены приспособляться в течение многих сезонов, вследствие чего изменяется их рост, развитие и функциональная активность. В частности, может изменяться ассимиляционная активность, являющаяся наиболее важным показателем устойчивости и продуктивности растений. По мере старения деревьев их способность поглощать углекислый газ приближается к нулю, а затем они сами могут превратиться в нетто-источник этого газа. В результате в зеленых насаждениях СЗЗ предприятий оказываются ослабленные растения, обладающие низкой устойчивостью и не способные выполнять в полном объеме свои санитарно-защитные функции. Следовательно, необходимо проводить постоянный мониторинг физиологического состояния растений в системах озеленения СЗЗ.

В настоящее время при разработке политики устойчивого развития любой территории, экологической политики предприятий вводится и модернизируется большое количество автоматизированных информационно-управляющих систем, обеспечивающих оперативность и результативность управления экологическими аспектами деятельности. Ключевым звеном таких систем являются базы данных, в содержании которых присутствует экологическая информация [1]. Поэтому для более быстрого учета полученных данных и адекватного прогноза состояния зеленых насаждений в системах озеленения СЗЗ предприятий предлагается создавать и использовать электронные базы данных физиологического состояния растений.

Цель нашей работы заключалась в создании электронной базы данных по физиологическому состоянию деревьев, произрастающих в районах санитарно-защитных зон предприятий на территории г. Саратова.

Нами в течение нескольких лет проводились наблюдения в промышленных районах г. Саратова на территориях санитарно-защитных зон 7 предприятий: ОАО «Саратовский нефтеперерабатывающий завод», ОАО «Саратовский подшипниковый завод», ЗАО «СЭПО», ОАО «НПП «Алмаз», ЗАО «Электроисточник» – Саратовский аккумуляторный завод, ООО «Саратовтехстекло», ОАО «Саратовский нефтеперерабатывающий завод», ООО «Саратоворгсинтез». В качестве контрольной (фоновой) территории использовали с. Усовка Саратовской области.

В качестве объектов исследования были выбраны береза повислая (*Betula pendula*) и тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis*), ранее представлявшие основу озеленения санитарно-защитных зон предприятий.

Наша работа проводилась в несколько этапов. На первом этапе в течение нескольких вегетационных периодов были проведены исследования по оценке физиологического состояния деревьев. На втором этапе проводилось обобщение полученной информации и формирование электронной базы данных. В качестве экологических показателей информации о физиологическом состоянии деревьев были использованы ассимилирующая активность растений и содержание металлов в их листьях.

Оценка изменений эффективности ассимиляционной деятельности растений служит одним из общепринятых индикаторов их состояния, так как определяется как важностью фотосинтетической функции в жизни растений, так и высокой чувствительностью фотосинтетического аппарата к повреждающим воздействиям. Ассимиляционная активность зависит, в первую очередь, от содержания органического вещества в листьях, количества фотосинтетических пигментов и морфометрических параметров листовой пластинки.

В течение нескольких вегетационных периодов с помощью модифицированного весового метода нами определялись площади листовых пластинок деревьев. Полученные результаты свидетельствовали о том, что в течение вегетационного периода у *B. pendula* в СЗЗ предприятий снижались значения данного показателя по сравнению с фоновой территорией в среднем на 57%. Данный факт можно объяснить подавлением загрязнителями деятельности ростовых клеток. У *P. pyramidalis*, наоборот, отмечалось увеличение площади листьев, что также можно рассматривать как адаптивные реакции данного вида на действие факторов городской среды, направленные на обеспечение устойчивого роста и развития в экстремальных условиях [2].

С помощью спектрофотометрического метода определяли суммарное содержание хлорофиллов. Как оказалось, в начале вегетационного периода в листьях березы на территориях всех рассматриваемых СЗЗ этот показатель соответствовал норме, но по сравнению с фоновой территорией был выше в 5,5 раз. В листьях тополей содержание хлорофиллов также находилось в пределах нормы, но по сравнению с фоновой территорией, наоборот, отмечалось снижение. В конце вегетационного периода суммарное содержание хлорофилла в листьях березы было ниже нормы, что свидетельствует об ингибирующем эффекте факторов окружающей среды на фотосинтетический аппарат деревьев. У тополей, наоборот, данный показатель оказался выше нормы и составлял более 3 мг/г. Как известно, тополя отличаются от других деревьев повышенной интенсивностью фотосинтеза, что определяет высокое содержание хлорофилла в их листьях.

Однако для оценки интенсивности фотосинтеза наибольшее значение имеет непосредственно количество каждого вида хлорофилла. В конце вегетационного периода в листьях изучаемых деревьев увеличивалось количество хлорофилла *b*, выполняющего защитную функцию, и уменьшалось соотношение хлорофилла *a* к *b* (табл.). При этом тополя обладали более высоким значением данного показателя, несмотря на низкую концентрацию пигментов. Нами было доказано, что в данном случае превышение происходило за

счет увеличения хлорофилла *b*, который имеет меньшую важность для интенсивности фотосинтеза. При увеличении хлорофилла *b* понижается фотохимическая активность деревьев.

Таблица

Среднее содержание пигментов в листьях *Betula pendula* и *Populus pyramidalis* на территориях СЗЗ предприятий г. Саратова в начале и конце вегетационного периода

Исследуемые растения	Содержание пигментов в листьях деревьев, мг/г			Доля превышения, начало/конец
	пигмент	начало периода	конец периода	
<i>Betula pendula</i>	хлорофилл <i>a</i>	0,36±0,06	0,09±0,02	4
	хлорофилл <i>b</i>	0,07±0,02	0,15±0,03	0,5
	каротиноиды	0,1±0,01	0,04±0,01	2,5
<i>Populus pyramidalis</i>	хлорофилл <i>a</i>	0,35	0,12	2,9
	хлорофилл <i>b</i>	0,05	0,18	0,28
	каротиноиды	0,1	0,01	10

Далее определяли непосредственно интенсивность фотосинтеза в течение вегетации у берез и тополей, произрастающих на территории СЗЗ предприятий, было отмечено их достоверное понижение.

Для оценки изменчивости ассимиляционной активности в целом, используя полученные значения, мы рассчитали ассимиляционное число, более чем двухкратное изменение которого свидетельствует о возникновении необратимых физиологических процессов, приводящих к нарушению данного показателя [3]. Проведенные расчеты показали, что и березы, и тополя на исследуемых территориях в начале вегетационного периода обладали очень низким ассимиляционным числом. К концу вегетации только у берез наблюдалось увеличение этого параметра.

В целом проведенные исследования показали, что в районе санитарно-защитных зон предприятий на территории г. Саратова адаптационные ресурсы фотосинтетического аппарата берез и тополей почти полностью исчерпаны. В таком состоянии деревья не могут выполнять свои основные функции, что приводит к экологической дестабилизации среды на данных участках.

Полученные результаты использовали для создания электронной базы данных физиологического состояния деревьев на основе приложения Microsoft Office – Excel, где имеется весь необходимый инструментарий для создания полноценной базы данных. Наименованиями полей базы служили параметры, наименованиями записей – участки исследования.

Созданная нами база данных является тематической, она позволит упростить и ускорить процесс экологического мониторинга и контроля за состоянием деревьев, формирующих растительную основу СЗЗ предприятий. Использование базы данных позволит разрабатывать перспективные планы озеленения СЗЗ предприятий с учетом особенностей применяемых растительных видов.

Библиографический список

1. Структурирование экологической информации как необходимый этап создания баз данных информационно-управляющих систем / В. В. Лебедев, И. Н. Гансвинд, И. Н. Горохова, Е. И. Куприянова, И. Б. Прокуронов, В. А. Харитонов // Экология промышленного производства. 2009. № 4. С. 13–18.
2. Николаевский В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. Пушкино : ВНИИЛМ, 2002. 220 с.
3. Бухарина И. Л., Двоглазова А. А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск : Изд-во «Удмуртский университет», 2010. 184 с.

ОПЫТ ДИСТАНЦИОННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

А. С. Дегтева, В. В. Солдатова, Е. И. Тихомирова
Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю. А.,
degtevaal@yandex.ru, soldatova2799@gmail.com, tichomirova_ei@mail.ru

Экологическое просвещение в современных условиях цифровизации представляет собой непрерывное образование с применением инструментов информационно-коммуникационной технологии. Площадкой для экообразования могут служить вузы, природоохранные территории и их профильные организации, а также online платформы. В работе представлен опыт дистанционного экообразования Саратовской области на базе университетов и особо охраняемых природных территорий. Экологическое просвещение населения рассмотрено в качестве инструмента решения проблем окружающей среды и формирования экологической культуры российского общества.

Ключевые слова: экологическое образование, дистанционное обучение, информационно-коммуникационной технологии, особо охраняемая природная территория, твердые коммунальные отходы.

Экологическое образование представляет собой процесс непрерывного обучения на протяжении всей жизни, ориентированного на все категории населения. В Российской Федерации (РФ) согласно Федеральному закону от 10.01.2002 г. № 7–ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 30.12.2020 г.), «в целях формирования экологической культуры и профессиональной подготовки специалистов в области охраны окружающей среды устанавливается система всеобщего и комплексного экологического образования, включающая в себя общее образование, среднее профессиональное образование, высшее образование и дополнительное профессиональное образование специалистов, а также распространение экологических знаний, в том числе через средства массовой информации, музеи, библиотеки, учреждения культуры, природоохранные учреждения, организации спорта и туризма» [1].

Согласно «Основам государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 г.», формирование экологической культуры, совершенствование экологического образования и воспитания – основные задачи государственной политики в области экологического развития [2]. В условиях возрастающей техногенной нагрузки сохранение эколого-социальной устойчивости имеет острую необходимость. Экологизация всех сфер жизни общества и цифровизация образования – злободневные вопросы для мирового сообщества. Значение поиска инструментов для применения в экообразовании актуализируется в реалиях необходимости ответа государства на большие вызовы, согласно Стратегии научно-технологического развития РФ (2016) [3].

В начале 2020 г. весь мир столкнулся с угрозой изменения привычных порядков во всех сферах жизни общества, вызванной коронавирусной инфекцией COVID-19. В контексте пандемии Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) рекомендовала использовать online инструменты, например, платформы для совместной работы, поддерживающие функции синхронного общения [4]. В чрезвычайных ситуациях использование инструментов информационно-коммуникационной технологии (ИКТ) позволяет осуществлять образовательный процесс непрерывно. Возможность получать доступ к информации и использовать её способствовала появлению тенденций в экологическом образовании и развитию современных форм работы.

Целью работы является представление форм экообразования в условиях необходимости дистанцирования.

В нашей работе представлен опыт дистанционного экообразования в Саратовской области на базе университетов и особо охраняемых природных территорий (ООПТ) с применением ИКТ.

Возможности дистанционного формата обучения способствовали участию сотрудников и студентов СГТУ имени Гагарина Ю.А. в IV Национальном круглом столе UI GreenMetric «Зелёные университеты России», организованном в сентябре 2020 г. Российским университетом дружбы народов (РУДН) под эгидой содружества вузов GreenMetric [5]. Участие в видеоконференции на английском языке на платформе Zoom способствовало разработке проекта представления данных экологами СГТУ имени Гагарина Ю. А. в рейтинге Зелёных университетов мира.

За счёт частичной или полной трансформации мероприятий в online изменился формат проведения международных и всероссийских акций. В октябре 2020 г. на региональной площадке СГТУ имени Гагарина Ю. А. студенты вуза приняли участие во Всероссийской акции «ЭкоТолк» [6]. Согласно официальному новостному сообщению о мероприятии, к участию в Акции в прямом эфире подключились 11 ведущих университетов России. Посредством компьютерных технологий была организована синхронная работа с участниками со всей страны.

В октябре 2020 г. в СГТУ имени Гагарина Ю. А. проводился II Всероссийский научно-общественный форум «Экологический Форсайт» совместно с Федеральным научно-образовательным Консорциумом «Передовые ЭкоТехнологии» при поддержке ФГУП «Федеральный экологический оператор» и профильных министерств Правительства Саратовской области [7].

Среди мероприятий «Экологического Форсайта» значились: Всероссийская научно-практическая конференция, Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ молодых учёных, Конкурс социальной экологической рекламы, панельная сессия и круглый стол. Форум был реализован в очном формате в «Точке кипения» СГТУ имени Гагарина Ю.А. с дистанционным подключением участников из регионов РФ. Возможности информационной платформы Leader-ID и видеохостинга YouTube позволили транслировать открытие мероприятия в прямом подключении [8].

Существенную роль при формировании экологических знаний в последние годы играют «Точки кипения», созданные при поддержке Агентства стратегических инициатив (АСИ) в рамках программы НТИ с 2014 г. [9]. Миссия СГТУ имени Гагарина Ю. А. в контексте данной программы заключается в популяризации цифровой трансформации университета как опорного вуза региона. В период пандемии в «Точке кипения» СГТУ имени Гагарина Ю. А. не прекращалось проведение мероприятий, направленных на передачу опыта и результатов научной деятельности, разработку новых моделей развития.

В феврале 2021 г. в рамках празднования Дня российской науки в «Точке кипения» СГТУ имени Гагарина Ю. А. состоялось мероприятие ScieNTIst's Talk «Учёные о Будущем». Экологи посвятили выступление участию вуза в реализации приоритетных национальных проектов [10]. Другое масштабное сетевое февральское мероприятие «Точки кипения» было проведено в контексте реализации Указа Президента РФ №812 от 25.12.2020 г. «О проведении в Российской Федерации Года науки и технологий» [11]. Учёные кафедры «Экология» СГТУ имени Гагарина Ю. А. в рамках лекции обратились к анализу знаний и компетенций современного эколога, новых форм и программ подготовки кадров, опыта проектного обучения и экологического волонтерства [12].

Дистанционное экологическое просвещение на ООПТ

В марте 2020 г. на ООПТ РФ была временно приостановлена работа визит-центров, музеев, проведение экскурсий, выставочных, досуговых и иных мероприятий согласно Распоряжению Минприроды России [13]. В ответ на меры по распространению коронавирусной инфекции профильные организации способствовали переносу эколого-образовательных активностей в дистанционный формат. Под лозунгом «Защитим природу из дома. Вместе!» фенологическая сеть Русского географического общества (РГО) совместно с корпорацией «Российский учебник» запустили конкурс «Природа под нашей защитой» в апреле 2020 г. [14]. Участникам предлагалось создать цифровой маршрут по ООПТ или проект online экскурсии и приложить фотоматериалы

[20]. Одной из номинаций был лучший компьютерный проект, предполагавший разработку веб-сайта или интерактивной карты.

Летом 2020 г. были подведены итоги конкурса «Амбассадоры особо охраняемых природных территорий», прошедшего в рамках ежегодного фестиваля «ВузЭкоФест–2020» при поддержке Минприроды России [15]. Согласно новостному сообщению пресс-центра Минприроды России, организаторы получили около 100 заявок; финалистами стали 15 участников из городов РФ, записавшие победные видеообращения о заповедном деле. Одним из финалистов стал амбассадор Национального парка (НП) «Хвалынский» Саратовской области [15].

НП «Хвалынский» имеет статус ООПТ федерального значения. Согласно официальному информационному ресурсу НП, экопросветительская работа ведется по нескольким основным направлениям: посредством СМИ (печатных публикаций, выступлений на радио и в телевизионных эфирах), лекций и дискуссий, конкурсов и экологических викторин, проведения праздников и выставок, экскурсий [16]. Способствуют экологическому просвещению населения такие объекты НП как: природные тропы, вольерное хозяйство, современные музеи естественной направленности – интерактивные музеи «Экосвет», «Микромир», «Музей пчелы» и «Музей сурка» [17].

На базе НП ежегодно проходят предметные практики студентов и летние школы для учащихся среднего и старшего звена, научно-практические конференции детей и молодежи, призванные пропагандировать образование об окружающей среде и родном крае и формировать экологическое сознание подрастающего поколения. В условиях необходимости трансформации эколого-просветительских мероприятий в online, НП «Хвалынский» предложил участникам образовательного процесса в 2020 г. полностью дистанционный формат участия в VII Международной научно-практической конференции «Особо охраняемые природные территории: прошлое, настоящее, будущее», организуемой при участии кафедры «Экология» СГТУ имени Гагарина Ю. А. [18].

Среди других online мероприятий ООПТ Саратовской области значится масштабный российский фотоконкурс, посвященный краснокнижным тюльпанам Шренка (*Tulipa suaveolens*, *T. schrenkii*) и региональной ООПТ «Куриловская степь». Организатором эколого-просветительского конкурса в Новоузенском районе Саратовской области летом 2020 г. являлся Фонд «Родная земля» при поддержке Фонда президентских грантов. Согласно официальному информационному ресурсу Министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области, было прислано 1467 работ из более чем 30 городов России. Фотографии победителей конкурса вошли в изданный набор полноцветных эколого-просветительских открыток [19].

Таким образом, в работе представлен обзор литературных источников и информационных ресурсов с целью представления форм экообразования в современных условиях необходимости соблюдения социальной дистанции. Способы обучения решению экологических проблем давно вышли за рамки

формальных классов. Сочетание традиционных методов обучения в природе с использованием таких инструментов ИКТ, как мобильные приложения, онлайн-карты и навигация, интерактивные элементы музейных экспозиций позволяют участникам образовательного процесса получить комплексное экологическое развитие. Экологическому просвещению уделяют внимание образовательные учреждения, профильные службы, инициативные организации при участии добровольцев. При этом задействуются разные инструменты передачи знаний: образовательные стандарты, очный контакт с окружающей средой в природе, акции и конкурсы, СМИ, ИКТ. Важность каждого из этих инструментов следует подчеркнуть в вопросе становления экологической культуры современного российского общества.

Библиографический список

1. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации – Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7–ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 30.12.2020 г.) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/901808297> (дата обращения: 16.02.2021).
2. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации – Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 г. (Утверждены Президентом Российской Федерации 30.04.2012 г.) [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902369004> (дата обращения: 16.02.2021).
3. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642). М. : Кремль, 2016. 24 с.
4. UNESCO official website – COVID-19 Educational Disruption and Response [Электронный ресурс]. – URL: <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse> (дата обращения: 22.10.2020).
5. СГТУ имени Гагарина Ю. А. – Экологи СГТУ приняли участие в круглом столе «Зелёные университеты России» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sstu.ru/news/ekologi-sgtu-prinyali-uchastie-v-kruglom-stole-zelenye-universitety-rossii.html> (дата обращения: 01.03.2021).
6. ЭКОпром – Положение о проведении в 2020 году региональной программы «ЭКОпром. Ответственное производство и потребление: сохраним природные ресурсы для будущих поколений» [Электронный ресурс]. – URL: <https://ecoprom.expert/> (дата обращения: 02.03.2021).
7. СГТУ имени Гагарина Ю. А. – Политех стал площадкой Всероссийской образовательной акции «ЭкоТолк» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.sstu.ru/news/politekh-stal-ploshchadkoy-vserossiyskoy-obrazovatelnoy-aktsii-ekotolk.html?sphrase_id=698345 (дата обращения: 02.03.2021).
8. Экологический Форсайт – Всероссийский научно-общественный форум «Экологический Форсайт». Саратов 26–28 октября 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <http://ecoforsite.org/forum.php> (дата обращения: 01.03.2021).
9. СГТУ имени Гагарина Ю. А. – «Экологический Форсайт»: итоги проведения форума [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sstu.ru/news/ekologicheskii-forsayt-2020-itogi-provedeniya-foruma.html> (дата обращения: 02.03.2021).
10. СГТУ имени Гагарина Ю. А. – Образовательный центр коллективной работы «Точка кипения» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sstu.ru/universitet/tochka-kipeniya/> (дата обращения: 09.04.2021).

11. СГТУ имени Гагарина Ю. А. – День российской науки прошёл в сети Точек кипения [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sstu.ru/news/den-rossiyskoy-nauki-proshyel-v-seti-tochek-kipeniya.html> (дата обращения: 01.03.2021).

12. СГТУ имени Гагарина Ю. А. – Точки кипения Саратова и Тулы популяризируют достижения учёных вуза [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sstu.ru/universitet/tochka-kipeniya/news/tochki-kipeniya-saratova-i-tuly-populyariziruyut-dostizheniya-uchenykh-vuza.html> (дата обращения: 01.03.2021).

13. Министерство природных ресурсов и экологии РФ ФГБУ «Национальный парк «Хвалынский» – Рекомендация МПР РФ [Электронный ресурс]. – URL: <https://nphvalynskiy.ru/novosti/rekomendaciya-mp-rf> (дата обращения: 16.02.2021).

14. Всероссийская общественная организация Русское Географическое Общество – Защитим природу из дома. Вместе! [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rgo.ru/ru/article/zashchitim-prirodu-iz-doma-vmeste> (дата обращения: 02.03.2021).

15. Пресс-центр Минприроды России – Названы победители конкурса «Амбассадоры особо охраняемых природных территорий» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.mnr.gov.ru/press/news/nazvany_pobediteli_konkursa_ambassadory_osobo_okhrany_aemykh_prirodnikh_territoriy/?sphrase_id=352187 (дата обращения: 02.03.2021).

16. Министерство природных ресурсов и экологии РФ ФГБУ «Национальный парк «Хвалынский» – Экопросвещение и туризм [Электронный ресурс]. – URL: <https://nphvalynskiy.ru/vidy-deyatel-nosti/ekoprosveschenie-i-turizm> (дата обращения: 17.02.2021).

17. Фролова Т. Д., Серова Л. А., Сулейманова Г. Ф. Аспекты эколого-просветительской деятельности в ФГБУ «Национальный парк «Хвалынский» // Научные труды Национального парка «Хвалынский» : сб. науч. статей. Саратов-Хвалынский : ООО «Амирит», 2018. С. 218–222.

18. Министерство природных ресурсов и экологии РФ ФГБУ «Национальный парк «Хвалынский» – Научно-практическая конференция 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://nphvalynskiy.ru/novosti/nauchno-prakticheskaya-konferenciya-2020> (дата обращения: 17.02.2021).

19. Министерство природных ресурсов и экологии Саратовской области – Подведены итоги фотоконкурса «Чудо природы. Куриловская степь» [Электронный ресурс]. – URL: https://www.minforest.saratov.gov.ru/news/index.php?SECTION_ID=&ELEMENT_ID=3207&sphrase_id=3351 (дата обращения: 17.02.2021).

СЕКЦИЯ 3 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНА

СОЗДАНИЕ НОВОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

М. В. Корольков

*ФГУП «Федеральный экологический оператор,
MVKorolkov@rosfeo.ru*

В рамках национального проекта «Экология» в России создаётся новая отрасль промышленности по переработке отходов. Для её осуществления планируется создать семь экотехнопарков. Из них первые четыре создаются на базе бывших объектов уничтожения химического оружия в Кировской, Саратовской, Курганской областях и в Удмуртской Республике. Создаваемые на экотехнопарках производственно-технические комплексы будут практически безотходны, полигоны для захоронения хвостов там не предусмотрены. Получившиеся соединения от переработки одних отходов будут реагентами для других, вода будет циркулировать по замкнутому циклу. Автоматически планируется контролировать все основные технологические стадии. Проектная документация на создание таких объектов прошла государственную экспертизу. Одновременно ведутся работы по созданию государственной информационной системы учета и контроля отходов I и II классов опасности.

Ключевые слова: промышленные отходы, переработка, утилизация, экотехнопарк, вторичное сырьё, информационная система.

В настоящее время в мире на предприятиях разных отраслей образуется более 400 млн т опасных отходов в год. Это почти 60 кг на каждого человека в мире – и это количество постоянно растет. Во многих странах вопросы ответственного обращения с промышленными отходами решены еще в 1970-х гг., сейчас в Европе перерабатывается более 89% отходов добывающих отраслей. При этом во многих странах наметился переход от полигонного захоронения и сжигания к промышленной переработке отходов [1]. В России с опасными отходами накопилось множество проблем – пока из порядка 300–350 тыс. т образующихся отходов перерабатывается только 1,5%, а остальное уходит в нелегальный оборот, в том числе попадает в окружающую среду, оседает в лесах, оврагах, на мусорных полигонах [2]. С осадками и грунтовыми водами они могут попадать в водоемы, загрязнять почву, грунтовые воды. Отходы I класса опасности так загрязняют природу, что она не вос-

становивается никогда, а для того чтобы восстановиться от воздействия отходов II класса, нужно до 30 лет.

В России более 10000 предприятий, на которых образуются отходы I и II классов опасности, и более 2000 предприятий с лицензией на обращение с ними. К сожалению, при таком количестве участников рынка фактической переработки отходов практически не ведется. Существуют предприятия, специально построенные, чтобы перерабатывать такие отходы, – переработчики аккумуляторов, батареек. Но и до них отходы просто не доходят. В целом всего производится 444 вида отходов I и II классов опасности, они охватывают все отрасли развития нашего хозяйства [2]. Центры образования таких отходов – все крупные города и регионы, где сконцентрировано большое количество промышленных предприятий. Сколько таких отходов образуется и куда идут их потоки, пока не актуализировано в автоматическом режиме. Кроме того, растет доля таких отходов и в быту – это ртутные лампы, аккумуляторы, батарейки, поэтому предстоит отдельная непростая работа по отдельному сбору таких отходов у населения и установка специальных контейнеров для этого. Неправильное обращение с такими отходами – это прямая угроза нашему здоровью, к примеру, одна пальчиковая батарейка загрязняет 20 м² почвы и 400 л воды.

Решение проблемы утилизации опасных промышленных отходов в нашей стране уже реализуется в рамках национального проекта «Экология» [3]. С этой целью проводится работа по созданию 7 экологических технопарков, оснащенных наилучшими доступными технологиями и высококвалифицированными кадрами. Первые четыре экотехнопарка по переработке отходов проектируются на месте бывших заводов по уничтожению химоружия – это в Кировской, Саратовской, Курганской областях и в Удмуртской Республике [2]. Сейчас эти предприятия еще работают – они завершают ликвидацию последствий уничтожения химического оружия, т. е. обрабатывают и удаляют специфическое оборудование. На создаваемые по переработке отходов экотехнопарки с бывших объектов уничтожения химического оружия будет передана вся инфраструктура, энергосети, холодильные и компрессорные установки, складские помещения, лаборатории, санитарно-бытовые помещения, дороги, коммунальные сети и т. д. Передается действующее, полноценное, достаточно новое оборудование, большие производственные корпуса, в которых планируется разместить установки и оборудование для переработки отходов. Созданная на данных объектах система безопасности и прочая инфраструктура позволят в безопасном режиме работать и с отходами I и II классов.

Из 444 видов отходов, которые сегодня входят в федеральный классификационный каталог отходов Росприроднадзора, порядка 350 видов отходов планируется перерабатывать на каждом из экотехнопарков [2]. Для переработки и утилизации отходов на четырех экотехнопарках планируется создать три технологических блока – для ртутьсодержащих отходов, блок физико-химической переработки (условные 12 линий, которые связаны между собой) и блок термического обезвреживания, в котором будут перерабатываться, в

том числе, остатки отходов после извлечения ценных компонентов [3]. Все технологии основаны на принципе: сперва извлечь все, что можно полезного, а затем переработать то, что осталось. Например, переработка ртутной лампы – яркий пример 100% переработки – разделяется на ртуть, алюминий и стекло, которые возвращаются в промышленность. В случае кислотных аккумуляторов получается пластик, свинец, а сам электролит переводится в соль, которую забирает стекольный комбинат. То, что образуется в конце и не является вторичным сырьем, проходит химическую и термическую переработку и становится продуктом, который также направляется во вторичный оборот. Данные предприятия будут практически безотходные, полигоны для захоронения хвостов на них не предусмотрены. Получившиеся соединения от переработки одних отходов будут реагентами для других, вода будет циркулировать по замкнутому циклу. Планируется автоматически контролировать все основные технологические стадии. Вся продукция, которая будет получаться в ходе переработки отходов, будет проходить контроль на соответствие санитарным и экологическим нормам. На нее будет выдаваться санитарно-эпидемиологическое заключение о том, что продукция соответствует всем требованиям, безопасна и может быть использована в качестве вторсырья.

Одновременно планируется разработать и внедрить информационную систему контроля и учета за отходами [4]. Государственная информационная система (ГИС) учета и контроля отходов I и II классов опасности (ГИС) должна дать возможность в режиме онлайн верифицировать данные, контролировать и выявлять нарушения, считать лучшую логистику и эффективность, вести договорную работу. При этом будут автоматически выявляться несоответствия – предприятие не может заявить об образовании отхода, если у него нет на это разрешения, согласованного Росприроднадзором. Также будет видно, что оно не заявляет об образовании отхода по итогам года, хотя ведет деятельность.

Ввозить и перерабатывать зарубежные опасные отходы на создаваемых семи экотехнопарках не предполагается. Федеральный оператор на основании федерального закона должен осуществлять обращение с отходами только в случае их образования на территории России.

Перевозка промышленных отходов будет осуществляться железнодорожным и автомобильным транспортом. Для контроля перевозки таких грузов планируется оснастить транспортные средства аппаратурой спутниковой навигации «Глонасс». Разрабатываемый проект информационной системы это предусматривает. Кроме того, планируется контролировать каждую единицу тары с отходами, применяя при этом специальную маркировку.

Проектная документация по созданию четырех производственно-технических комплексов (ПТК) прошла государственную экспертизу. Начиная с 2021 г. планируется их создание. В 2022 г. Федеральный оператор должен начать прием отходов I и II классов опасности. До 2024 г. планируется создать еще три экотехнопарка. Это будут специфические заводы, больше ориентированные на западные модели узкого профиля, на которых будет пе-

перерабатываться соответствующая специфическая группа отходов. Например, на технопарке Усолье-Сибирское в Иркутской области планируется переработка ртутьсодержащих отходов, в том числе загрязненных грунтов.

Таким образом, создаваемые семь экотехнопарков – это база для переработки широкого спектра промышленных отходов I и II классов опасности. Однако промышленными предприятиями в нашей стране наработано и находится на полигонах огромное количество отходов III–V классов опасности. Поэтому к решению проблемы переработки промышленных отходов необходимо привлекать и бизнес, частные компании, которые на сегодня уже в ряде регионов существуют. Задача государственного регулирования по созданию новой экологической отрасли по обращению и переработке отходов – скоординировать усилия органов власти, создаваемых структур, предприятий и организаций, бизнеса с целью эффективного решения проблемы переработки и утилизации промышленных отходов, а также реализации проблемы ликвидации накопленного вреда.

Библиографический список

1. Гордеева Е. М. Регулирование деятельности по обращению с отходами: мировые тренды и опыт Европейского Союза // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 237–241. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-237-241
2. Техногенные отходы I и II классов опасности – ресурс для получения вторичных продуктов / А. Г. Мажуга, В. А. Колесников, Д. А. Сахаров, М. В. Корольков // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 61–67. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-061-067
3. Корольков М. В., Мажуга А. Г. Основа государственной политики Российской Федерации по созданию новой отрасли переработки промышленных отходов // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 6–12. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-006-012
4. Корольков М. В. Государственная информационная система учёта и контроля за обращением с отходами I и II классов опасности // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 242–243. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-242-243

ПРОИЗВОДСТВО УДОБРЕНИЙ ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Н. В. Сырчина¹, В. Н. Пугач¹, Т. Я. Ашихмина^{1,2}

¹ *Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru,*

² *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, ecolab2@gmail.com*

Кировская область обладает необходимыми природными ресурсами, на основе которых может быть организовано производство натуральных органо-минеральных удобрений для органического земледелия. К соответствующим ресурсам относятся уникальные по свойствам фосфориты и глаукониты Вятско-Камского фосфоритоносного бассейна, а также разнообразные по свойствам и составу торфа. Производство экологически безопасных ОМУ может стать дополнительной точкой роста экономики Кировской области.

Ключевые слова: органическое земледелие, фосфориты, глаукониты, торф, гуминовые вещества.

Эффективное использование имеющихся природных ресурсов является важнейшим фактором успешного развития региональной экономики. Основу природно-ресурсного потенциала Кировской области составляют лес, животный мир, земельные и водные ресурсы, а также полезные ископаемые, в число которых входят фосфориты, глаукониты, торф. По запасам этих полезных ископаемых Кировская область занимает лидирующее положение в Российской Федерации (РФ). Расположенный на территории области Вятско-Камский фосфоритоносный бассейн, относится к крупнейшим месторождениям фосфатного сырья не только в России, но и в Европе. Площадь бассейна достигает 2300 км², запасы фосфатной руды превышают 2,5 млрд т, запасы глауконитов практически не ограничены. Добыча и переработка фосфоритов на территории месторождения осуществлялась более 70 лет. Добываемая руда после обогащения перерабатывалась в фосфоритную муку (ФМ) – самое дешевое фосфорное удобрение, широко используемое на территории всего Советского Союза. В период перестройки, в связи с недостатком финансирования сельскохозяйственных организаций, спрос на ФМ резко упал, что привело к остановке добычных работ на Верхнекамском фосфоритном руднике и тяжело отразилось на социально-экономическом положении п. Рудничный. В настоящее время под угрозу попала и добыча торфа. Добываемые в области торфа в основном применяются в энергетической сфере. Переход региональной энергетики на природный газ неизбежно приведет к сокращению спроса на торф, падению объемов добычи этого полезного ископаемого и сокращению рабочих мест. Следует отметить, что добыча и переработка полезных ископаемых в число приоритетных направлений экономической деятельности Кировской области в настоящее время даже не включаются [1]. Вместе с тем, при правильном подходе, добыча и глубокая переработка фосфоритов, глауконитов и торфа может стать дополнительной точкой роста экономики региона.

Анализ складывающейся ситуации показывает, что для возобновления интереса к добыче фосфоритов и торфа необходимы новые технологии, позволяющие перерабатывать добываемое сырье в высокомаржинальные продукты, характеризующиеся устойчивым потребительским спросом. Основной сферой использования фосфоритов, глауконитов и торфа может стать современное сельское хозяйство, в частности органическое земледелие (ОЗ), ориентированное на производство органических продуктов [2]. По имеющимся оценкам, мировой рынок органических продуктов, в настоящее время является самым быстрорастущим рынком в сфере материального производства [3, 4]. Большой интерес к органическому земледелию проявляют и российские аграрии. 1 января 2020 г. в нашей стране вступил в силу Федеральный закон «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Согласно этому закону применение

традиционных агрохимикатов в ОЗ резко ограничено действующими в РФ национальными, межгосударственными и международными стандартами, касающимися производства органической продукции. Традиционные минеральные удобрения в перечень разрешенных агрохимикатов для ОЗ не входят. Таким образом на современном рынке минеральных удобрений появляется новая свободная ниша, которая должна быть заполнена специализированными натуральными удобрениями, предназначенными для органического сельского хозяйства.

Цель настоящей работы состояла в оценке перспектив применения полезных ископаемых Верхнекамского района Кировской области в качестве сырья для производства натуральных органоминеральных удобрений (ОМУ) и мелиорантов для органического земледелия.

Для достижения поставленной цели был изучен химический состав фосфоритов и глауконитов Прирудничного участка Вятско-Камского месторождения, а также химический состав торфов, залегающих на территории Верхнекамского района Кировской области в непосредственной близости от мест добычи фосфоритной руды (месторождение Дымное). Оценочные запасы торфа данного месторождения весьма значительны и достигают 94975 тыс. т. Расположенные в непосредственной близости друг от друга месторождения минерального и органического сырья создают надежную базу для производства ОМУ, представляющих особую ценность для современных систем почвосберегающего земледелия.

Образцы глауконитов для проведения химического анализа получали методом разделения хвостов обогащения желваковых фосфоритов на магнитную (глаукониты) и немагнитную (кварц, кальцит, фосфаты и др.) фракции с помощью неодимовых магнитов. Следует отметить, что зерна глауконита образуют с другими минералами сростки, что существенно затрудняет возможность их выделения в чистом виде. Для глауконитов характерен комплекс свойств, представляющих большую ценность для поддержания почвенного плодородия. Внесение этих минералов в почвы способствует обогащению их фосфором, калием, микроэлементами, улучшает физические свойства, повышает активность полезных почвенных микроорганизмов [5].

Образцы фосфоритов для проведения экспериментальных исследований были предоставлены ООО «ХимИнвест», образцы торфа месторождения Дымное – компанией АО «ВяткаТорф».

Для изучения химического состава использовались фотометрический, атомно-эмиссионный и масс-спектральный методы анализа.

В таблице 1 приведены данные о химическом составе изученных образцов фосфоритов и глауконитов, залегающих на территории Прирудничного участка Вятско-Камского месторождения.

Химический состав глауконитов и фосфоритов

Показатель	Содержание, %	
	глаукониты	фосфориты
SiO ₂	до 53	9,9–11,5
K ₂ O	3,6–4,8	0,3–0,4
Na ₂ O	0,13–0,35	0,6–0,8
Fe _{общ.}	16,2–16,9	2,4–2,8
Al ₂ O ₃	8,9–9,5	1,4–2,9
MgO	2,0–2,5	0,5–0,9
CaO	4,3–7,0	32,0–40,1
P ₂ O ₅	4,2–6,0	18,0–22,3
S _{общ.}	1,9–2,1	1,0–1,1
F	1,7–2,0	2,0–2,4
содержание токсичных элементов, мг/кг		
As	23,0–25,4	24,2–30,0
Cd	0,15–0,18	0,22–0,34
Hg	менее 0,03	менее 0,5
Pb	11,8–13,2	10,0–11,2
содержание микроэлементов, мг/кг		
Cu	6,9–7,2	22,2–25,1
Zn	128,6–132,0	71,8–74,2
Co	94,0–96,4	26,1–28,4
Mo	1,4–1,6	2,0–2,2

Согласно полученным результатам, содержание Cd в изученных образцах фосфоритов и глауконитов не превышало 2 мг на 1 кг P₂O₅, что значительно ниже установленных для органического земледелия нормативов (90 мг/кг P₂O₅ по ГОСТ Р 56508-2015). Содержание остальных экотоксичных элементов также находилось на низком уровне, не представляющем опасности для окружающей среды. Низкое содержание Cd существенно повышает экспортный потенциал ОМУ на основе вятско-камских фосфоритов и глауконитов, поскольку страны Евросоюза вводят жесткие ограничения на возможность использования фосфорных удобрений с повышенным содержанием этого элемента.

Большое агрохимическое значение имеет входящий в состав глауконитов Co. Содержание этого микроэлемента в агроземах РФ обычно ниже физиологических потребностей растений, что оказывает негативное влияние на урожайность выращиваемых культур. Соединения кобальта обеспечивают повышение активности почвенных азотфиксирующих микроорганизмов, в результате чего почвы обогащаются азотом. Таким образом, внесение глауконита в составе ОМУ в агроземы способствует естественному накоплению доступных для растений форм связанного азота [6]. Это особенно важно для успешной реализации систем органического земледелия, вводящих запрет на применение любых форм азотсодержащих минеральных удобрений.

В таблице 2 приведены данные о химическом составе торфа месторождения Дымное.

Таблица 2

Химический состав торфа месторождения Дымное

Показатель	Содержание, %	Показатель	Содержание, %	Показатель	Содержание, %
S	0,45±0,05	Al ₂ O ₃	18,96±3,8	K ₂ O	1,22±0,50
C	56,65±5,70	Fe ₂ O ₃	20,84±1,21	P ₂ O ₅	4,02±0,12
H	5,85±0,61	CaO	4,88±0,52	Гуминовые вещества	5,6±0,8
N	2,62±0,18	MgO	0,62±0,11	Фульвокислоты	3,0±0,2
O	26,30±2,1	SiO ₂	47,59±2,46	Зола	8,1±0,3

По сравнению с другими торфяными месторождениями Кировской области, для торфа месторождения Дымное характерно низкое содержание серы и относительно высокое содержание железа, фосфора и калия, что может быть обусловлено геохимическими особенностями территории залегания соответствующего полезного ископаемого (вблизи Верхнекамского фосфоритового бассейна) [7]. Содержание тяжелых металлов и микроэлементов в изученных образцах торфа находилось на низком уровне, не представляющем опасности для окружающей среды, рН водной вытяжки варьировал в пределах 5,2–5,5 ед. рН. По содержанию гумуса исследованные образцы торфа можно отнести к умеренно разложившимся.

Следует отметить, что торф может быть включен в состав ОМУ как в натуральной, так и в активированной форме. Для активации торфа может быть использован метод ультразвуковой кавитации, приводящий к обогащению исходного сырья ценными гумусовыми кислотами. Включение активированного торфа в состав ОМУ существенно повышает эффективность готовой формы удобрения [8].

Таким образом, Кировская область обладает уникальной сырьевой базой для производства натуральных органоминеральных удобрений для органического и почвосберегающего земледелия. Основу соответствующих ОМУ могут составить фосфориты и глаукониты Вятско-Камского месторождения, а также торфа высокой степени разложения, богатые месторождения которых находятся в непосредственной близости от месторождения фосфоритов.

Запасы ресурсов, сосредоточенные в Верхнекамском районе Кировской области, позволяют наладить многотоннажное производство экологически безопасных ОМУ, пригодных для использования на любых типах почв и под любые культуры. Аналоги соответствующих ОМУ на современном рынке агрохимикатов отсутствуют. Производство экологически безопасных ОМУ может стать дополнительной точкой роста экономики Кировской области. Для успешной реализации соответствующего направления экономического развития необходимо создать благоприятные условия для привлечения инвесторов,

заинтересованных в производстве натуральных удобрений для современных экологически ориентированных систем земледелия.

Библиографический список

1. Стратегия социально-экономического развития Кировской области на период до 2035 года (Проект). [Электронный ресурс]. – URL : https://www.economy.gov.ru/material/file/93ec5a987ae909339f430b2dfe8a70eb/Kirov_obl_2035.pdf (дата обращения: 31.03.2021).
2. ГОСТ Р 56104-2014 Продукты пищевые органические. Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2018. 8 с.
3. Баширова А. А., Эминова Э. М. Органическое сельское хозяйство: мировые тенденции и перспективы развития в России // РППЭ. 2014. № 10 (48). С. 30–34.
4. Полушкина Т. М. Органическое сельское хозяйство: тенденции и перспективы развития // Фундаментальные исследования. 2019. № 9. С. 59–63.
5. Перспективы использования хвостов обогащения фосфоритов в качестве удобрений для органического земледелия / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 160–166. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-160-166
6. Глаукониты Вятско-Камского фосфоритоносного бассейна / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 117–122. doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-117-122
7. Десятков И. А., Сырчина Н. В. Торфа Кировской области и перспективы их применения в сельском хозяйстве // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XV Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф. Книга 1. (г. Киров, 18 мая 2020 г.). Киров: ВятГУ, 2020. С. 43–48.
8. Оптимизация состава удобрений на основе молотых фосфоритов / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 60. № 12. С. 133–139.

ПРИРОДОВОССТАНОВЛЕНИЕ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЕ

И. А. Луханова, Е. Г. Кузнецова, Е. М. Лантева

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
likhanova@ib.komisc.ru*

В работе дано понятие термина «природовосстановление», предложенного в качестве альтернативы рекультивации для условий Севера. Отмечено, что еще недостаточно разработаны теоретические и практические аспекты природовосстановления. Сформулированы задачи по разработке эффективных приемов восстановления нарушенных северных экосистем, рассмотрены пути их решения. Предложены базирующиеся на основе концепции «природовосстановления» технологические карты, предусматривающие различные варианты приемов восстановительных работ с учетом природных условий и типа нарушения.

Ключевые слова: Север, нарушенные экосистемы, рекультивация, природовосстановление, технологические карты.

Согласно действующим нормативным документам, рекультивация земель – это комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народно-хозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества (ГОСТ 17.5.1.01-83 «Охрана природы. Рекультивация земель. Термины и определения»). Обязательность проведения рекультивации на нарушенных территориях определена ст. 13 Земельного Кодекса Российской Федерации (РФ), ст. 34 федерального закона «Об охране окружающей среды». Рекультивационные мероприятия должны проводиться в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 10 июля 2018 г. № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель» и действующим ГОСТом.

Теоретические основы и практические приемы рекультивации были разработаны прежде всего для южных районов страны (зон смешанных и широколиственных лесов, лесостепной, степной), характеризующихся развитым земледелием. Основная задача рекультивации состояла в том, чтобы за короткий срок вернуть нарушенные земли в дальнейшее сельскохозяйственное использование. Попытки использовать на Севере принципы и приемы, разработанные для южных территорий и прописанные в ГОСТах, оказались практически неэффективными, так как они не учитывают особенности биоклиматических условий Севера и социально-экономические аспекты использования природных ресурсов. Низкая устойчивость таежных и тундровых экосистем к техногенному воздействию, их низкий самовосстановительный потенциал, а также слабое развитие земледелия определили необходимость разработки приемов восстановления разрушенных земель с учетом специфических условий Севера. Главной задачей становится восстановление на посттехногенных территориях природных экосистем, сходных по своим структуре, составу и выполняемым функциям с зональными.

В последние десятилетия усиление темпов освоения природных ресурсов на Европейском Северо-Востоке России (Республика Коми), сопровождаемое увеличением площади разрушенных, в том числе загрязненных, земель, обуславливает высокую актуальность разработки эффективных приемов восстановления экосистем с учетом природных условий и типа нарушения.

Многолетние комплексные исследования группы сотрудников Института биологии Коми НЦ УрО РАН на Европейском Северо-Востоке России, посвященные созданию теоретической базы природопользования, позволили разработать концепцию ускоренного «природовосстановления» на Крайнем Севере [1]. Концепция опирается на принцип системности, согласно которому природная экосистема рассматривается как целостное образование, состоящее из взаимосвязанных и взаимообусловленных структур: растительного сообщества, микробно-фаунистического комплекса, трансформирующего органические растительные остатки, и почвы (продуктивного слоя). Разрушение любой из структур экосистемы разрушает связующий механизм – биологический оборот и ведет к распаду экосистемы как единого целого. Ни один из

элементов экосистемы не может быть восстановлен отдельно друг от друга, т. е. вне системы. Равновесие в системе природопользования поддерживается «природовосстановлением», адекватным масштабам разрушения.

Термин «природовосстановление» понимается как система мероприятий, способствующих ускорению восстановления на посттехногенных пустошах экосистем, близких по типу характерным для конкретной территории природным биогеоценозам. По объему понятия оно шире рекультивации, является ее альтернативой и с определенной корректировкой может применяться для разных географических условий.

В рамках проверки данной концепции были проведены долговременные опыты по восстановлению нарушенных экосистем в Республике Коми, подтвердившие эффективность системы «природовосстановления» [2].

Следует отметить, что в силу сложных природных условий территории Республики Коми все еще остаются недостаточно разработанными теоретические и практические аспекты природовосстановления, поэтому усиление исследований в этом направлении имеет большое значение для сохранения биоразнообразия и дальнейшего хозяйственного развития республики.

В настоящее время назрела необходимость проведения цикла работ по обобщению, дополнению и систематизации данных, касающихся восстановления нарушенных территорий в разных биоклиматических условиях Республики Коми с учетом их экотопических и ландшафтных особенностей. Полученные материалы дадут возможность разработать базирующиеся на концепции «природовосстановления» технологические карты, предусматривающие различные варианты приемов восстановительных работ в разных природных зонах, исходя из условий посттехногенной территории, что, в свою очередь, позволит стандартизировать работы по восстановлению экосистем и избежать ошибок при их проведении.

Технологические карты по восстановлению нарушенных земель Республики Коми должны включать результаты работы по следующим направлениям: 1) изучение климатических, биотических, экотопических (уровень загрязнения, физические и химические свойства субстрата) и ландшафтных условий (положение в рельефе, площадь) посттехногенного местообитания; 2) формирование рельефа; 3) улучшение свойств субстрата (очистка, внесение минеральных и органических удобрений, использование потенциально плодородных вскрышных пород); 4) формирование биотического компонента экосистемы на нарушенных местообитаниях (посадка кустарниковых и древесных пород, посев местных видов трав, использование лесной подстилки); 5) мониторинг и управление сукцессионным процессом для стимулирования желаемого направления. В технологических картах должен быть предусмотрен научно обоснованный алгоритм использования материалов, оборудования и приемов восстановления в зависимости от исходных характеристик восстанавливаемой территории. Подбор посадочного и посевного материала должен основываться на характеристике исходных условий техногенного местообитания и данных о сукцессионных рядах восстановления на местообитаниях

подобного типа. При разработке приемов улучшения субстрата необходимы данные о его свойствах и пригодности к биологической рекультивации. Требуется разработка и стандартизация критериев восстановления нарушенных земель, которые позволят надзорным органам адекватно оценивать проведенные мероприятия.

Для решения поставленных задач требуется проведение дополнительных работ по оптимизации приемов восстановления в разных биоклиматических условиях таежной и тундровой зон с учетом исходных характеристик нарушенного местообитания. Необходимы исследования по расширению ассортимента древесных и кустарниковых пород и многолетних трав с учетом климата, рельефа, особенностей почвообразующих пород нарушенных местообитаний в целях ускорения сукцессионного процесса. Важным становится поиск путей снижения конкурентных взаимоотношений между компонентами искусственных экосистем на первых этапах управляемой сукцессии и изучение влияния растений на восстановление биоразнообразия. Более длительный период наблюдений за ходом формирования искусственных растительных сообществ позволит оценить эффективность предлагаемых мероприятий (технологий восстановления) в долгосрочном плане.

Библиографический список

1. Арчегова И. Б. Эффективная система природовосстановления – основа перспективного природопользования на Крайнем Севере // Научные доклады. Вып. 412. Сыктывкар : Коми НЦ УрО РАН, 1998. 12 с.

2. Лиханова И. А., Ковалева В. А. Управляемое восстановление лесных экосистем на песчаных техногенных субстратах крайнесеверной тайги европейского северо-востока России // Вестн. Том. гос. ун-та. Биология. 2018. № 43. С. 174–195.

ИЗОТОПНЫЕ ОТНОШЕНИЯ СВИНЦА КАК МАРКЕР СОВРЕМЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ

А. А. Селезнев¹, Н. А. Реутова²

¹ *Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН,
sandrian@rambler.ru*

² *УрФУ имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
reutova.nadya13@yandex.ru*

Проведен анализ отношений стабильных изотопов Pb в современных антропогенных отложениях для городов: Тюмени, Челябинска, Нижнего Тагила, Уфы, Магнитогорска. Отношения являются информативным индикатором загрязнения среды тяжелыми металлами. Значительная вариабельность изотопных отношений Pb обнаружена в старых промышленных городах.

Ключевые слова: изотопные отношения Pb, современные поверхностные антропогенные отложения, урбанизированная среда, современный седиментогенез, жилые районы.

В мировой практике эколого-геохимических исследований отношения стабильных изотопов Pb широко используются в качестве трассера процессов миграции загрязнения в природной и антропогенно измененной окружающей среде (ОС) [1, 2]. Стабильные изотопы Pb являются продуктами радиоактивного распада U-238, U-235, Th-232, а содержание Pb-204 является неизменным в земной коре. Естественный изотопный состав Pb зависит от возраста коренных пород и радиоактивного распада U и Th. Процессы физико-химического фракционирования не влияют на изотопный состав пород и продуктов их переработки, поэтому, например, изотопный состав Pb в этилированном бензине соответствует составу месторождений, в которых Pb добыт [3, 4].

Различные типы современных поверхностных отложений на урбанизированных территориях (дорожная пыль, отложения ливневой канализации, донные отложения водоемов) представляют собой смесь материала коренных пород, почв, продуктов абразии дорожного полотна, деталей автомобилей. Изотопный состав Pb у этих компонентов ОС широко варьируется [5]. Зачастую, в этих компонентах ОС изотопные отношения перекрываются, поэтому для городов сложно выделить источники загрязнения.

Целью настоящего исследования было проанализировать применение изотопных отношений Pb для анализа загрязнения поверхностных наносов в городской среде, иными словами, поверхностного грязевого осадка. Исследование проведено на примере крупных городов России: Тюмени, Челябинска, Нижнего Тагила, Уфы, Магнитогорска.

Исследуемые поверхностные наносы представляют собой одну из фаций современных антропогенных отложений на урбанизированных территориях, самую верхнюю часть антропогенно измененного геологического разреза урбанизированной среды [6]. Пробы отложений отбирали по нерегулярной сети на жилых территориях с многоэтажной застройкой в городах. В каждом городе было отобрано не менее 40 проб [7]. На рисунке 1 показано распространение поверхностных наносов на исследуемых территориях. Города различаются экономической специализацией, наличием исторического загрязнения. Все города являются крупными промышленными центрами областей.

Концентрации элементов в отобранных пробах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой согласно методике [8]. Изотопный анализ проб проводили в условиях чистой комнаты класса 1000 на масс-спектрометре NeptunePlus в центре коллективного пользования Геоаналитик ИГГ УрО РАН. Процедура пробоподготовки для изотопного анализа соответствовала условиям, описанным в [9].

Всего в обследованных городах было отобрано 228 проб. В них проведено всего 3192 измерений концентраций микро- и макроэлементов и 684 изотопных отношений свинца: Pb-206/Pb-204, Pb-207/Pb-204, Pb-208/Pb-

204. Полученные выборки проб для городов были разделены согласно ранее предложенному методу оценки геохимического фона для урбанизированных территорий [10] на условно «загрязненные» и «чистые» группы проб по содержанию Pb. В таблице представлены средние значения концентраций свинца



ца в кластерах «загрязненных» и «чистых» проб в городах, в которых отбирались пробы, а также средние арифметические изотопные отношения Pb-206/Pb-204.

Рис. 1. Распространение поверхностных наносов на урбанизированных территориях

Таблица

Средние значения концентраций Pb в кластерах «загрязненных» и «чистых» проб в городах и средние арифметические изотопные отношения Pb-206/Pb-204

Город	Средняя концентрация Pb / Среднее арифметическое Pb-206/Pb-204	
	кластер «загрязненных» проб	кластер «чистых» проб
Магнитогорск	81/18,18	29/18,35
Нижний Тагил	162/18,02	52/18,51
Тюмень	81/18,07	16/18,25
Уфа	91/18,21	22/18,4
Челябинск	205/18,15	50/18,23

Максимальные концентрации Pb зарегистрированы в кластере «грязных» проб и соответствовали более старой жилой застройке (середина XX века). Более молодые жилые районы оказались менее загрязнены свинцом и имеют статистически значимо отличающиеся изотопные отношения по сравнению с выборками «грязных» проб. Разница между изотопными отношениями, очевидно, обусловлена загрязнением проб свинцом, которое характеризуется изотопными отношениями Pb-206/Pb-204 и Pb-208/Pb-204, типичными для руд Северного Казахстана и Южной Сибири [11]. Можно предположить, что большее загрязнение свинцом ассоциировано с выбросами автотранспорта в период до запрета этилированного бензина. В современных отложениях и грунтах в городах свинец из этилированного бензина находится до сих пор.

Города Тюмень, Магнитогорск и Уфа имеют на трехизотопной диаграмме Pb-206/Pb-204/Pb-208 паттерн, отличный от городов Челябинска и Нижнего Тагила (рис. 2). Более однородная выборка может говорить о том, что в трех городах нет дополнительных источников свинца, кроме автотранспорта. Металлургические производства в Челябинске и Нижнем Тагиле, в том числе историческое загрязнение с XVIII века в Нижнем Тагиле, являются дополнительными значимыми источниками свинца в этих городах. Руда в эти города доставляется из разных регионов.

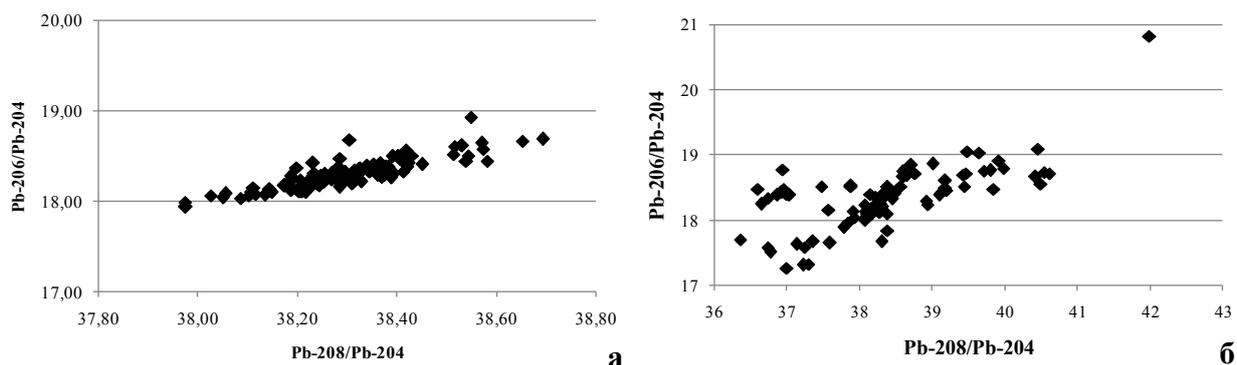


Рис. 2. Трехизотопные диаграммы для различных городов:
а – Тюмень, Магнитогорск и Уфа; б – Челябинск и Нижний Тагил

Материал современных отложений в городах имеет в своем составе частицы различного происхождения, связанные с разными источниками, такими как строительные материалы, материалы коренных и осадочных пород, выбросы из атмосферы, пылевые частицы, частицы почв, частицы антропогенного происхождения (например, шлаки, которые используются в строительстве в городах с металлургическим производством) и другие. Проведенный анализ изотопных отношений свинца в современных наносах позволил выявить тенденцию в загрязнении городов свинцом. Современные отложения в городах характеризуются отношениями Pb-206/Pb-204 и Pb-208/Pb-204, связанными с загрязнением грунтов в результате использования этилированного бензина.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-35-60011.

Библиографический список

1. Lead isotopic fingerprinting as a tracer to identify the pollution sources of heavy metals in the southeastern zone of Baiyin, China / B. He, X. Zhao, P. Li, J. Liang, Q. Fan, X. Ma, G. Zheng, J. Qiu // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 660. P. 348–357.
2. Cheng H., Hu Y. Lead (Pb) isotopic fingerprinting and its applications in lead pollution studies in China: A review // *Environmental Pollution*. 2010. Vol. 158. P. 1134–1146.
3. Reconstruction of historical atmospheric Pb using Dutch urban lake sediments: A Pb isotope study / N. Walraven, B. J. H. Van Os, G. Th. Klaver, J. J. Middelburg, G. R. Davies // *Science of the Total Environment*. 2014. Vol. 484. P. 185–195.
4. Bird G. Provenancing anthropogenic Pb within the fluvial environment: Developments and challenges in the use of Pb isotopes // *Environment International*. 2011. Vol. 37. P. 802–819.
5. Lead isotopes in environmental sciences: A review / M. Komárek, V. Ettler, V. Chrastný, M. Mihaljevič // *Environment International*. 2008. Vol. 34. P. 562–577.
6. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. ^{137}Cs in puddle sediments as time-scale tracer in urban environment // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2015. Vol. 14. P. 9–13.
7. Seleznev A., Rudakov M. Some geochemical characteristics of puddle sediments from cities located in various geological, geographic, climatic and industrial zones // *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2019. Vol. 14. No. 1. P. 95–106.
8. ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. СПб. : Центр исследования и контроля воды, 2003. 58 с.
9. Методика измерений изотопных отношений свинца в горных породах и минералах методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой с использованием масс-спектрометра высокого разрешения NeptunePlus. Методика измерений № 88-16360-009-2014. Екатеринбург, 2014.
10. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Sergeev A. P. Method for reconstructing the initial baseline relationship between potentially harmful element and conservative element concentrations in urban puddle sediment // *Geoderma*. 2018. Vol. 326. P. 1–8.
11. Lead isotope ratios in the urban air of eastern and central Russia / H. Mukai, T. Machida, A. Tanaka, P. Yelpatievskiy, U. Mitsuo // *Atmospheric Environment*. 2001. Vol. 35. P. 2783–2793.

ПОЧВЕННЫЕ МИКРОМИЦЕТЫ ВОРОНЕЖСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Н. Н. Назаренко¹, И. Д. Свистова²

¹ *Воронежский государственный аграрный университет, talalajko@mail.ru*

² *Воронежский государственный педагогический университет,
i.svistova@mail.ru*

Впервые охарактеризована почвенная микобиота лесных экосистем на территории Воронежского государственного природного биосферного заповедника. Приводится общий список видов почвенных микромицетов, представленный 43 видами, относящимися к 20 родам, 6 семействам и 3 классам. Преобладающей являлась группа несовершенных грибов класса Deuteromycetes.

Ключевые слова: почвенные микромицеты, микобиота, биоразнообразие.

В настоящее время изучению биоразнообразия особо охраняемых природных территорий уделяется пристальное внимание. Особенно важны такие работы для заповедников, где ведется инвентаризация видового состава всех групп организмов.

Воронежский государственный природный биосферный заповедник, созданный в 1923 г., расположен на границе Воронежской и Липецкой областей и занимает северную половину лесного массива – Усманского бора. Территория заповедника – это покрытая лесом равнина площадью 31053 га. Лесная растительность заповедника представляет собой сочетание сосновых и широколиственных (преимущественно дубовых) лесов [1]. Около 3% общей площади заповедника – это сухие, умеренно увлажненные и сырые местообитания, занятые травянистыми сообществами. На территории заповедника типы и виды почв варьируют в соответствии с типами леса: от богатых элементами питания темно-серых и серых лесных под дубравами до бедных, малопродуктивных дерновых лесных и песчаных почв, развитых под сосняками [2].

Микологические исследования в заповеднике начались в 1950 г. с изучения макромицетов и продолжают проводиться по настоящее время [3, 4]. Экологическая группа почвенных микроскопических грибов (микромицеты) оставалась до последнего времени неисследованной. В связи с этим целью нашей работы стало изучение видового состава и структуры микобиома почв в широколиственных и смешанных лесах на территории заповедника.

Образцы почвы (органо-аккумулятивный горизонт) были отобраны в летний период (май – июнь) 2015 г. Материал был собран на четырех характерных участках (кварталах) в 3-кратной повторности. Описание участков приведено в таблице. Микромицеты выделяли методом серийных разведений и посева почвенной суспензии на среду Чапека [5]. Численность макромицетов выражали в количестве колониеобразующих единиц (КОЕ) на 1 г сухой почвы. Анализ биологического разнообразия микроскопических грибов выполнен на основе культурально-морфологических признаков с использованием общепринятых определителей. Наименование видов и систематическое положение дано по базе данных «Index Fungorum». Видовую структуру микобиома определяли по критериям пространственной и временной частоты встречаемости и плотности видов [6]. Типичными считали виды грибов с частотами встречаемости более 30%, остальные виды – случайные. К рангу доминантов относили виды грибов с частотами встречаемости более 60%, к рангу часто встречающихся – с временной встречаемостью более 60%, а пространственной встречаемостью более 30%, к рангу редких – с встречаемостью от 30 до 60%.

Характеристика объектов исследования

Участок (квартал, кордон)	Местоположение	Растительность (основные древесные виды)
523 квартал Кордон Октябрьский	I надпойменная терраса р. Воронеж	<i>Quercus robur</i> L., <i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Acer platanoides</i> L.
381 квартал Кордон Ступинский	II надпойменная терраса р. Воронеж	<i>Pinus sylvestris</i> L., <i>Quercus robur</i> L.
432 квартал	III надпойменная терраса р. Воронеж	<i>Pinus sylvestris</i> L., <i>Quercus robur</i> L., <i>Tilia cordata</i> Mill.
440 квартал Кордон Черепашинский	IV надпойменная терраса р. Воронеж	<i>Pinus sylvestris</i> L., <i>Quercus robur</i> L., <i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Acer platanoides</i> L.

В результате проведенных исследований установлено, что численность микромицетов в почвах заповедника имеет невысокие значения (42,0–76,5 тыс. КОЕ/г почвы), при этом наименьшее количество отмечено в песчаной почве соснового леса (381 квартал), что связано, вероятнее всего, с низким содержанием гумуса.

Из отобранных почвенных образцов выделено 43 вида микромицетов из 20 родов, относящихся к 6 семействам и 3 классам. Преобладающей являлась группа несовершенных грибов класса Deuteromycetes (36 видов). Таксономический состав выявленной микобиоты представлен типичными и случайными видами.

В ранге типичных нами было выделено 19 видов грибов. Класс Zygomycetes представлен одним видом *Rhizopus stolonifer*, который имеет высокую скорость роста и относится к экологической группе r-стратегов (копиотрофов). Класс Ascomycetes представлен одним видом *Chaetomium piluliferum*, который относится к группе целлюлозоразрушающих гидролитиков.

Класс Deuteromycetes преобладает и представлен 17 видами микромицетов. Среди представителей данного класса наиболее распространены роды семейства *Moniliaceae* – грибы с бесцветным мицелием. К ним относятся представители родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Paecilomyces*, *Acremonium*, *Cephalosporium*, *Botrytis*, *Sporotrichum*, *Trichoderma*, *Gliocladium*. Семейство Dematiaceae – грибы с пигментированным темноцветным мицелием представлено одним родом *Humicola*. Семейство Tuberculariaceae – грибы с многоклеточными конидиями представлено родом *Fusarium*.

Комплекс типичных видов микромицетов в природных лесных экосистемах включает в себя эвритопные виды в ранге доминантов: *Penicillium tardum*, *P. expansum*, *P. simplicissimus*, которые встречаются также во многих других типах почв Российской Федерации. Подобное распределение по числу видов и частоте встречаемости рода *Penicillium* нами отмечалось и в почвах рекреационной зоны Ботанического сада Воронежского государственного аграрного университета [7]. К стенотопным видам – индикаторам почв степной

зоны – относятся *Paecilomyces lilacinum*, *Aspergillus candidum*, *Acremonium alternatum*, *Cephalosporium acremonium*, эти виды микромицетов являются термофильными и ксерофильными [6].

В ранге случайных видов микромицетов в заповеднике нами было выделено 24 вида. Класс Zygomycetes представлен 3 видами рода *Mucor*: *M. hiemalis*, *M. michei*, *M. ramosissimus*, которые относятся к группе г-стратегов. Класс Ascomycetes представлен одним видом – *Talaromyces flavus*, который относится к организмам с низкой скоростью роста к-стратегам (олиготрофам).

Среди случайных видов также преобладает класс Deuteromycetes, представленный 19 видами микромицетов. Среди представителей семейства Moniliaceae – виды родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*. Среди случайных видов более разнообразны представители семейства Dematiaceae, они представлены 4 родами – *Cladosporium*, *Drechslera*, *Botryotrichum*, *Stachybotrys*. Семейство Tuberculariaceae представлено родом *Fusarium*. Также среди случайных видов обнаружен представитель группы *Mycelia sterilia*, который имеет стерильный мицелий и не образует спороношений – *Rhizoctonia solani*.

Видовая структура комплекса типичных видов грибов в заповеднике вполне соответствовала установленной для почвы лесостепной зоны [6]. В качестве доминантов были выделены *Penicillium tardum*, *P. expansum*, *P. janthinellum* и целлюлолитики (*C. piluliferum*, *Trichoderma viride*) – эври-топные виды и характерные для лесостепной зоны, а также *Mucor ramosissimus* и *Acremonium alternatum* – стено-топные виды.

В ранге часто встречающихся видов обнаружили *Paecilomyces lilacinum*, *Humicola grisea*, *Penicillium simplicissimus* и *Cephalosporium acremonium*. В ранге редко встречающихся выделяли *Stachybotrys chartarum*, *Mucor michei* и отмечали рост фитопатогенных видов *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *Cladosporium herbarum*, которые могут вызывать болезни растений (корневые гнили, листовые гнили, пятнистости и увядания).

Таким образом, по результатам проведенного исследования впервые приводятся сведения о почвенных микромицетах Воронежского заповедника, представленных 43 видами из 20 родов, относящихся к классам Zygomycetes, Ascomycetes и Deuteromycetes. Наиболее характерными чертами выявленного микобиома являются: относительно невысокая численность грибов; довольно высокое родовое разнообразие грибов при малой видовой насыщенности; преобладание по числу видов и частоте встречаемости определенных таксономических единиц наиболее многовидового рода *Penicillium* (11 видов) в различных фитоценозах заповедника; значительное участие в видовом составе микобиома родов семейства Moniliaceae – грибы с бесцветным мицелием.

Полученные сведения о почвенных микроскопических грибах позволят расширить представления о биоразнообразии лесных экосистем Воронежского заповедника.

Библиографический список

1. Стародубцева Е. А., Ханина Л. Г., Смирнов В. Э. Динамика растительного покрова Воронежского заповедника с учетом ландшафтной структуры территории // Растительность России. 2013. № 23. С. 76–88.
2. Структура лесного покрова и почв катен в зоне лесостепи (на примере песчаных террас Воронежского заповедника) / Н. А. Солнцев, Н. А. Калущкова, О. В. Трегубов, Е. А. Стародубцева // Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность. Кн. 2. М. : Наука, 2004. С. 185–194.
3. Ртищева А. И. Макромицеты // Флора Воронежского заповедника. Вып. 78. М., 1999. С. 126–141.
4. Сарычева Л. А., Стародубцева Е. А., Сапельникова И. И. Микобиота Воронежского заповедника. Макромицеты // Труды Воронежского государственного заповедника. Вып. XXVIII. Ижевск, 2016. С. 7–75.
5. Практикум по микробиологии / Е. З. Теппер, В. К. Шильникова, Г. И. Переверзева. М. : Дрофа, 2004. 256 с.
6. Мирчинк Т. Г. Почвенная микология. М. : МГУ, 1988. 220 с.
7. Биоразнообразие микромицетов чернозема природных и антропогенных экосистем / И. Д. Свистова, И. И. Корецкая, Н. Н. Талалайко, Т. Ю. Сенчакова // Роль особо охраняемых природных территорий лесостепной и степной природных зон в сохранении и изучении биологического разнообразия : материалы науч.-практ. конф., посвященной восьмидесятилетию Воронежского государственного природного биосферного заповедника. Воронеж, 2007. С. 87–89.

ВЛИЯНИЕ НАВОЗНЫХ СТОКОВ СВИНОФЕРМ НА СОДЕРЖАНИЕ В ПОЧВАХ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА

Н. В. Сырчина¹, Л. В. Пилип²

¹ *Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru*

² *Вятский государственный агротехнологический университет,
pilip_larisa@mail.ru*

Систематическое использование навозных стоков в качестве органических удобрений способствует аномально высокому содержанию подвижных соединений этого элемента в агроземах и миграции соответствующих соединений в окружающую среду. Чрезмерное накопление подвижных форм фосфора в агроэкосистемах свидетельствует о глубокой трансформации естественных процессов распределения и миграции данного элемента в биосфере.

Ключевые слова: навозные стоки свиноферм, загрязнение почв, зафосфачивание агроземов.

Функционирование промышленного свиноводства сопряжено с образованием большого количества биогенных отходов [1, 2]. Современная система утилизации основного отхода – навозных стоков (НС) предполагает разделение их на твердую и жидкую фракции, обезвреживание фракций путем длительного выдерживания и использование в качестве органических удобрений на расположенных вблизи животноводческих комплексов полях. В хозяйст-

вах откормочного типа суточный выход НС в среднем составляет 10,25 кг на одно животное [3]. Таким образом, в типовых свинокомплексах, рассчитанных на откорм 108 тыс. животных, ежедневно образуется 1107 т НС. За год эта цифра достигает 404055 т. Согласно нашим расчетам, вместе с таким количеством НС в окружающую среду ежегодно поступает до 600 т P_2O_5 . Для рационального использования соответствующего количества фосфора требуется примерно 10 тыс. га пашни (при норме внесения 60 кг действующего вещества на 1 га). Такими угодьями располагают далеко не все животноводческие комплексы. Чаще всего НС вносятся на поля, расположенные в непосредственной близости от свиноферм. Чрезмерная нагрузка агроземов НС приводит к ухудшению агрофизических свойств, защелачиванию почвы, масштабному загрязнению окружающей среды [4].

Расчет норм внесения НС в почву производится, прежде всего, на основе содержания в этом удобрении азота [5]. Содержание фосфора уходит на второй план. Вместе с тем, фосфор, входящий в состав НС, закрепляется в почве меньше, чем минеральные фосфаты [6], что способствует его миграции в окружающую среду [7, 8]. Чрезмерное накопление подвижных форм фосфора в агроэкосистемах свидетельствует о глубокой трансформации естественных процессов распределения и миграции данного элемента в биосфере. Последствиями соответствующей трансформации становятся процессы деградации водных объектов (за счет эвтрофикации), образование нетипичных для естественных почв фосфорсодержащих соединений, снижение биодоступности микроэлементов, изменение состояния и продуктивности фитоценозов и др. Полученные в последнее время данные свидетельствуют о высокой актуальности проблемы фосфатного состояния почв с аномально высоким содержанием данного элемента [9].

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния навозных стоков свиноферм на содержание в почвах подвижных фосфатов.

В качестве объекта исследования было выбрано пахотное поле, расположенное вблизи одного из свиноводческих комплексов Кировской области. По данным хозяйствующего субъекта, в почву соответствующего поля на протяжении 5 лет вносились НС. Нормы внесения НС рассчитывались в соответствии с рекомендациями агрохимической службы.

Пробы почвы отбирали в сентябре 2020 г. непосредственно на вспаханном поле (экспериментальные образцы) и на участках, расположенных на расстоянии 100–150 м от его границ (контрольные образцы). Механический состав почв соответствовал средним суглинкам. Отбор точечных проб производили буром на глубину пахотного слоя согласно ГОСТ Р 58595-2019. Отбор проб почвы с контрольных участков производили на такую же глубину. Из точечных проб составлялись объединенные пробы массой 500 г. Анализ проб выполняли через 7 суток после отбора.

Пробы анализировали по следующим показателям: pH_{H_2O} , pH_{KCl} , содержание органического вещества, содержание подвижных соединений фосфора. Полученные результаты приведены в таблице.

Химический состав отобранных образцов почвы

Показатели	Метод анализа	Экспериментальные образцы	Контрольные образцы	Средневзвешенные агрохимические показатели пахотных почв Кировской обл.*
pH _{H2O} , ед. рН	потенциометрический по ГОСТ 26423-85	6,2±0,1	6,7±0,1	–
pH _{KCl} , ед. рН	потенциометрический по ГОСТ 26483-85	5,9±0,1	6,2±0,1	4,8
Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг	по ГОСТ Р 54650-2011 (метод Кирсанова в модификации ЦИНАО)	1185±237	360±72	107
Органическое вещество, %	по ГОСТ 26213-91 (метод Тюрина в модификации ЦИНАО)	2,7±0,4	1,6±0,3	2,1

Примечание: * – показатели приведены согласно результатам VIII цикла обследования (2006–2017 гг.) пахотных почв Кировской обл., выполненного ФГБУ ГЦАС «Кировский».

Данные таблицы свидетельствуют о том, что систематическое внесение НС привело к увеличению содержания подвижного фосфора в агроземе более чем в 10 раз по сравнению со средневзвешенными агрохимическими показателями пахотных почв Кировской области. Установленный уровень содержания подвижного фосфора соответствует повышенной степени загрязнения (зафосфачивания) по шкале экологического нормирования этого элемента в почвах [10].

Высокое содержание P₂O₅ было выявлено и в контрольных образцах, что не свойственно бедным фосфором дерново-подзолистым почвам. Данный факт может свидетельствовать о загрязнении фосфатами территорий, прилегающих к пахотному полю.

Содержание органического вещества в агроземах, нагруженных НС, увеличилось незначительно по сравнению со средневзвешенными показателями, характерными для пахотных почв Кировской области.

Таким образом, в результате выполненных исследований установлено, что систематическое внесение высоких доз НС в агроземы приводит к чрезмерному накоплению подвижных форм фосфора и развитию процессов зафосфачивания. Миграция растворимых фосфатов в окружающую среду может привести к негативным экологическим последствиям, в том числе эвтрофикации водоемов.

Для предотвращения загрязнения прилегающих к свинокомплексам территорий и расположенных на них водных объектов подвижными фосфатами необходима разработка мер, позволяющих снизить нагрузку агроземов соответствующими биогенными отходами. Наилучшим решением в этом отношении будет внедрение технологии переработки СН в гранулированные

органические и органоминеральные удобрения с внесением этих удобрений в бедные фосфором почвы.

Библиографический список

1. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Новые подходы к дезодорации свиного навоза // Ип-пология и ветеринария. 2018. № 4 (30). С. 99–106.
2. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Л. В. Пилип // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 113–120. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120
3. Брюханов А. Ю., Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Методика укрупненной оценки суточного и годового выхода навоза // Молочнохозяйственный вестник. 2014. № 1 (13). С. 78–85.
4. Тютюнов С. И., Соловиченко В. Д., Навольнева Е. В. Использование свиных стоков в качестве органических удобрений // Сельскохозяйственные науки. 2015. № 10 (41). Часть 3. С. 76–79.
5. Оптимальные пути использования животноводческих стоков на орошение и удобрение кормовых угодий на окультуренных почвах в Российской Федерации / Е. И. Кузнецова, В. А. Михеев, Е. Н. Закабунина, И. П. Козырева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2013. № 3 (11). С. 78–85.
6. Мерзлая Г. Е., Щеголева И. В., Леонов М. В. Использование свиного навоза для удобрения сельскохозяйственных культур // Перспективное свиноводство: Теория и практика. 2012. № 6. С. 3.
7. Шилькрот Г. С. О миграции фосфора и других химических элементов с грунто-вым стоком в сельских ландшафтах // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 9. С. 386–394.
8. Перспективы сокращения выноса биогенных элементов с речных водосборов за счет внедрения наилучших доступных технологий сельскохозяйственного производства (по результатам моделирования) / Ш. Р. Поздняков, А. Ю. Брюханов, С. А. Кондратьев, Н. В. Игнатьева, М. В. Шмакова, Е. А. Минакова, А. М. Расулова, Н. С. Обломкова, Э. В. Васильев, А. В. Терехов // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 588–602.
9. Изучение фосфорных удобрений и фосфатного состояния почв / В. И. Титова, Л. Д. Варламова, Е. В. Дабахова, А. В. Бахарев // Агрехимический вестник. 2011. № 2. С. 3–6.
10. Попова Л. Ф., Никитина М. В. Кумуляция, миграция и трансформация фосфора в почвах города Архангельска // Fundamental research. 2014. № 9. С. 70–74.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА УРБАНОЗЕМОВ ПАРКОВ г. КИРОВА

*С. Г. Скугорева¹, Л. И. Домрачева^{1,2}, О. М. Абдухалилов³,
Ю. С. Забубенина², А. И. Фокина³, В. Н. Кулаков³*

¹ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, skugoreva@mail.ru

*² Вятский государственный агротехнологический университет,
dli-alga@mail.ru*

³ Вятский государственный университет, alimbay.1998@mail.ru

В работе исследованы почвы парков г. Кирова, которые различаются по уровню развития ведущих групп почвенных микроорганизмов. Для большинства проб почв выявлено абсолютное доминирование в структуре микробных

популяций бактерий аммонификаторов. Между микробиологическим составом урбаноземов и содержанием элементов питания выявлена тесная взаимосвязь.

Ключевые слова: г. Киров, парки, почвы, урбаноземы, микроорганизмы, численность, тяжелые металлы, элементы питания.

В настоящее время в городах происходит формирование урбаноземов – специфических образований, которые отличаются от естественных почв крайней неоднородностью, смешением горизонтов, значительной степенью загрязнения различными поллютантами [1, 2]. В последние годы неоднократно проводилось определение микробиологического и химического состава почв различных парков, садов и скверов г. Кирова, включая как самые старые, существующие с начала XIX века, так и совсем новые, возраст которых насчитывает 10–15 лет [1, 3–5].

Целью данной работы было изучение особенностей химического и микробиологического состава урбаноземов 1 сквера и 2 парков г. Кирова, находящихся вблизи зон повышенного транспортного движения.

Пробы урбаноземов отбирали в: 1) Сквере 60-летия СССР (пробы П1 и П2), 2) Парке им. Кирова (П3 и П4); 3) Парке им. 50-летия ВЛКСМ (П5, П6 и П7) (рис. 1). Отбор проб проводили в октябре 2020 г. методом конверта из верхних горизонтов почв с глубины 0–5 см. Данные парки и сквер находятся в центральной части города и очень популярны среди кировчан как одни из основных мест отдыха.

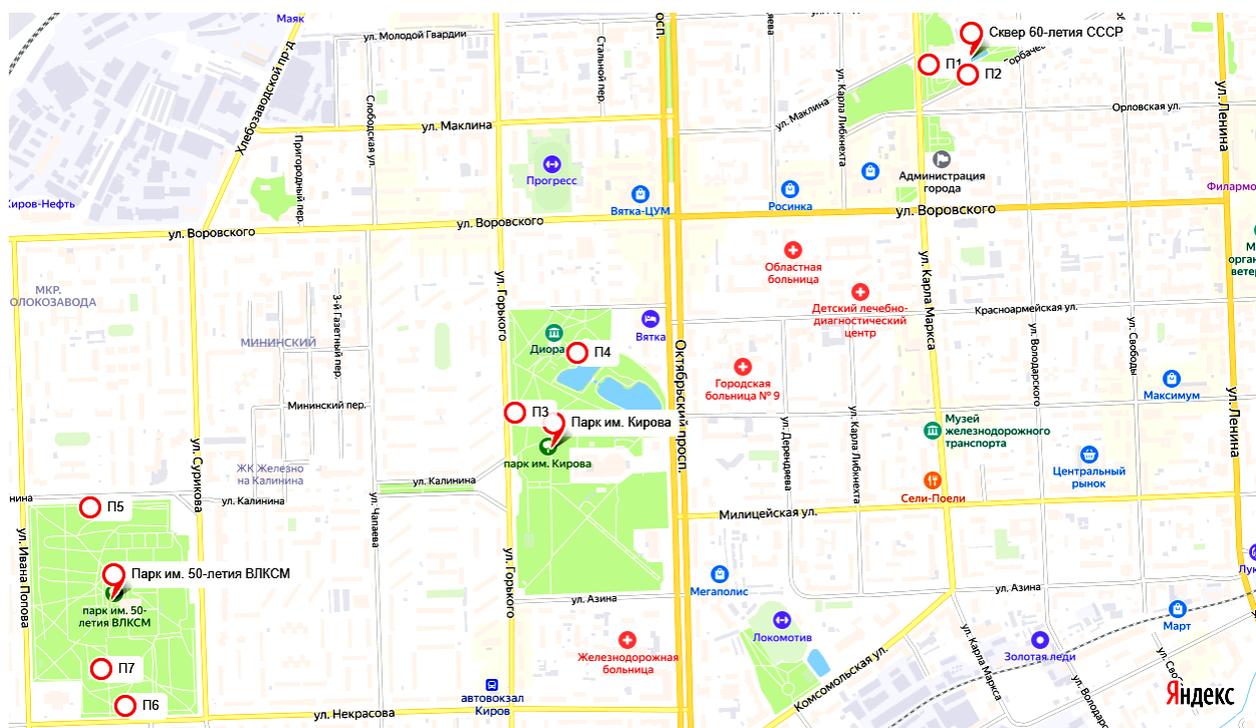


Рис. 1. Карта отбора проб урбаноземов в парках г. Кирова

Концентрацию ионов калия, аммония, нитрат- и фосфат-ионов в почвенной вытяжке (почва : дистиллированная вода = 1 : 5) определяли методом ионной хроматографии по ФР.1.31.2008.01738 и ФР.1.31.2008.01724, затем пересчитывали их содержание на сухую почву с учетом ее влажности.

Определение валового содержания тяжелых металлов (ТМ) (свинца, кадмия, никеля, цинка и кобальта) в пробах почв проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии согласно ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011. Водородный показатель водной вытяжки из почв определяли по ГОСТ 26423-85, солевой вытяжки – по ГОСТ 26483-85.

Количественный учет микроорганизмов (МО) исследованных почвенных проб проводили методом предельных разведений с последующим посевом на селективные питательные среды ГРМ-агар (аммонификаторы), среду Эшби (азотфиксаторы) и среду Чапека (микробицеты) в трехкратной повторности.

Проба П6, отобранная в лесной части парка им. 50-летия ВЛКСМ со стороны ул. Некрасова, имеет высокий уровень содержания всех элементов питания [6]: азота, фосфора и калия (табл. 1). Высоким содержанием фосфора отличается проба П7, отобранная в этом же парке под луговой растительностью, высоким и повышенным содержанием – пробы из Сквера 60-летия СССР. Остальные пробы имеют среднюю обеспеченность фосфором, низкую и/или очень низкую – калием и азотом [7].

Таблица 1

Содержание элементов питания в почве, мг/кг почвы

Место отбора	Номер пробы	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	K ₂ O	P ₂ O ₅
Сквер 60-летия СССР	П1	9,2±0,9	но	41,2±4,1	107±16**
	П2	9,4±0,9	0,46±0,07	9,3±0,9	166±25*
Парк им. Кирова	П3	5,8±0,6	3,5±0,5	15,5±1,6	54±8***
	П4	но	0,96±0,14	50±5	73±11***
Парк им. 50-летия ВЛКСМ	П5	но	1,18±0,18	23,3±2,3	55±8***
	П6	но	34±5*	221±22*	217±33*
	П7	но	0,27±0,04	но	190±29*

Примечание: но – ниже предела обнаружения метода ионной хроматографии; * – высокая, ** – повышенная, *** – средняя обеспеченность почвы элементом питания для растений [7].

По значениям водородного показателя пробы урбаноземов имеют нейтральную и слабощелочную реакцию среды (табл. 2). Валовое содержание ТМ в пробах урбаноземов парков г. Кирова не превышало ПДК и ОДК для почв, в тоже время установлено превышение фоновых значений для почв Кировской области для части проб по Pb (до 2,1 раза), для большинства проб – по Zn (до 1,7 раза) и Co (до 3,1 раза) [8].

Таблица 2

Кислотность почвенной вытяжки (рН) и валовое содержание тяжелых металлов в пробах урбаноземов г. Кирова

Место отбора	Номер пробы	рН _{H2O} , ед.	рН _{KCl} , ед.	Валовое содержание тяжелых металлов, мг/кг				
				Pb	Cd	Ni	Zn	Co
Сквер 60-летия СССР	П1	7,8±0,2	6,9±0,2	17±4	0,28±0,08	23±6	68±22	17±5
	П2	7,9±0,2	6,8±0,2	5,5±1,4	0,24±0,07	16±5	90±30	12,0±3,3
Парк им. Кирова	П3	7,9±0,2	7,1±0,2	11,1±2,8	0,20±0,06	14±4	70±23	11,7±3,3
	П4	7,4±0,2	6,6±0,2	10,6±2,7	0,24±0,07	33±9	58±19	15±4
Парк им. 50-летия ВЛКСМ	П5	7,8±0,2	6,7±0,2	25±6	0,33±0,10	27±8	101±33	17±5
	П6	7,6±0,2	6,8±0,2	14±4	0,26±0,08	19±5	77±26	11,8±3,3
	П7	7,8±0,2	7,0±0,2	12,3±3,1	0,41±0,12	14±4	65±21	15±4
ПДК (ГН 2.1.7.2041-06)				32	–	–	–	–
ОДК (ГН 2.1.7.2511-09) при рН _{KCl} > 5,5				130	2,0	80	220	–
Региональный фон [8]				12	–	33	58	5,4

Примечание: прочерки обозначают отсутствие норматива; жирным шрифтом выделены значения, превышающие региональный фон.

Наиболее обедненный микробиологический состав характерен для почв Парка им. Кирова (табл. 3). Максимальное обилие МО зарегистрировано в почвах Парка им. 50-летия ВЛКСМ, при этом в различных частях парка численность МО варьирует в достаточно широких пределах.

Таблица 3

Численность различных групп микроорганизмов в почвах парков г. Кирова ($\cdot 10^3$ КОЕ/г)

Место отбора	Номер пробы	Аммонификаторы	Азотфиксаторы	Грибы	Всего
Сквер 60-летия СССР	П1	93,3±20,8	22,0±2,6	132,7±17,0	248,0±40,4
	П2	586,7±110,6	32,0±2,0	59,3±4,6	678,0±116,6
Парк им. Кирова	П3	166,7±15,2	18,7±3,0	26,3±1,5	211,7±19,7
	П4	190,0±56,5	38,7±5,5	62,0±14,7	290,7±76,7
Парк им. 50-летия ВЛКСМ	П5	655,0±35,3	103,0±8,2	121,3±8,0	879,3±51,5
	П6	1442,7±534,1	89,7±3,5	180,7±34,3	1713,1±571,9
	П7	363,3±49,3	43,3±6,4	56,3±10,5	462,9±66,2

Особенности Сквера им. 60-летия СССР связаны с тем, что он обустроен на месте одного из оврагов и находится существенно ниже городских улиц, между которыми он расположен. В почвах этого сквера наблюдается резкая разница в численности аммонификаторов и микромицетов (табл. 3), которые являются активными деструкторами органического вещества.

Между содержанием элементов питания и численностью МО существует тесная взаимосвязь. Особенно она высока для численности аммонификаторов и содержания нитратного азота ($r = 0,88$), калия ($r = 0,81$), фосфора ($r = 0,62$). Участок П6, характеризующийся высоким содержанием всех элементов питания в почве, отличается наибольшими значениями численности МО.

Таким образом, исследованные почвы парков г. Кирова различаются по уровню развития в них трех ведущих групп почвенных МО, причины которо-

го могут быть и в степени антропогенной нагрузки, и в характере наземной растительности, и в химическом составе почвы, а также в режиме влажности.

Изучение структуры микробных популяций изученных почв показывает, что во всех вариантах, кроме П1 (Сквер им. 60-летия СССР) абсолютное доминирование принадлежит бактериям-аммонификаторам, в отдельных случаях достигая более 80% (рис. 2). И только в одном случае численность микроскопических грибов в структуре микробных популяций превышает 50%.

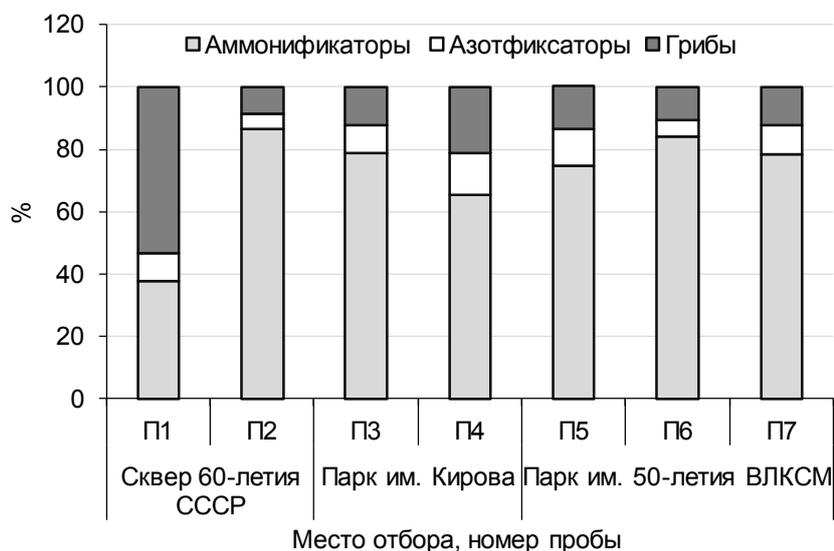


Рис. 2. Структура микробных популяций в урбаноземах парков г. Кирова (%)

Таким образом, проведенные исследования еще раз подтвердили различия в химико-микробиологическом статусе парковых почв, расположенных в разных частях города и имеющих разную историю и разный ботанический состав высших растений. Максимальная численность МО выявлена в лесопарковой части Парка им. 50-летия ВЛКСМ, почва которого характеризуется высоким уровнем содержания элементов питания. Минимальная численность МО наблюдается в Сквере 60-летия СССР. В то же время, несмотря на различные абсолютные показатели разных групп МО, в 6 почвенных пробах из 7 исследованных абсолютное доминирование в структуре микробных популяций принадлежит бактериям аммонификаторам. Между содержанием элементов питания и микробиологическим составом урбаноземов существует тесная взаимосвязь, особенно высокая для аммонификаторов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.

Библиографический список

1. Особенности урбозэкосистем подзоны южной тайги Европейского Северо-Востока / Под ред. Т. Я. Ашихминой, Л. И. Домрачевой. Киров : Изд-во ВятГГУ, 2012. 282 с.
2. Подходы к оценке состояния городских почв методами биотестирования с использованием организмов различной систематической принадлежности и данных химиче-

ского анализа / Ю. Н. Зыкова, С. Г. Скугорева, Е. В. Товстик, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 38–46. doi: 10.25750/1995-4301-2017-3-038-046

3. Ефремова В. А., Дабах Е. В., Кондакова Л. В. Химико-биологическая оценка состояния городских почв // Сибирский экологический журнал. 2013. № 5. С. 741–750.

4. Зыкова Ю. Н., Кондакова Л. В., Домрачева Л. И. Сравнительная характеристика поверхностных разрастаний микроорганизмов промышленной и парковой зон г. Кирова // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития : материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. Кн. 2. Киров : Лобань, 2009. С. 20–23.

5. Оценка состояния почв г. Кирова методами химического анализа и биодиагностики / С. Г. Скугорева, Л. И. Домрачева, М. А. Бушковская, Л. В. Трефилова // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : ВятГУ, 2017. С. 119–124.

6. Абдухалилов О. М., Скугорева С. Г., Фокина А. И. Анализ ионного состава урбаноземов парков г. Кирова // Актуальные проблемы биологической и химической экологии : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. М. : ИИУ МГОУ, 2021. С. 299–305.

7. Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., Байбеков Р. Ф. Практикум по почвоведению. М. : Агроконсалт, 2002. 282 с.

8. Дабах Е. В., Кислицына А. П., Домнина Е. А. Сравнительное изучение содержания микроэлементов в системе почва – растения луговых биоценозов // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 139–146. doi: 10.25750/1995-4301-2021-1-139-146

ВЛИЯНИЕ НОВОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ НА ЛЕСНУЮ ЭКОСИСТЕМУ БЕЛАРУСИ

А. Ф. Карпенко, Н. А. Воробей

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,
kaf51@list.ru*

В статье дана характеристика новой агроклиматической зоны Беларуси, а также оценка её влияния на лесную экосистему. Определены древесные типы растительности наиболее подверженные вымиранию, из-за расширения новой зоны, а также возможные пути решения данной проблемы. Показаны экологические проблемы зоны и возможный прогноз развития будущего растительности, населяющей данную территорию.

Ключевые слова: климат, зона, изменение, лес, хвоя.

Климат всегда оказывал огромное влияние на биосферу. В особенности подвергается влиянию климата лесная растительность. На территории Республики Беларусь формируется умеренный переходный от морского к континентальному климат, который характерен для всей Восточно-Европейской равнины.

Первое потепление в Республике Беларусь пришлось примерно на 1936–1940 годы. Второе потепление наступило в 1989 г. и продолжается по сей день. Лето 2010 г. стало самым жарким за всю историю наблюдений (последние 65 лет), когда температура воздуха достигла 38,9 °С.

Все эти явления обусловили смещение агроклиматических областей страны с юга на север. Если раньше на территории Беларуси насчитывалось три климатические зоны (Северная, Центральная, Южная), сейчас их стало четыре. Северная агроклиматическая область почти распалась, а на юге Белорусского Полесья образовалась новая, более теплая агроклиматическая область (новая зона) [1].

Новая зона на данный момент занимает южную часть Полесской провинции. Зона включает в себя часть Брестской и Гомельской административных областей. Климат характеризуется короткой зимой и продолжительным, теплым вегетационным периодом. Весна и лето начинаются раньше и заканчиваются позже. Так же в климатической зоне наблюдается наибольшая продолжительность безморозного периода: в среднем примерно около 164–148 дней, а период залегания снежного покрова довольно короткий (72 дня). В этой области происходят наиболее частые продолжительные засухи и другие засушливые явления, которые в итоге приводят к истощению запасов почвенной влаги и нарушению водного баланса растений. Эти явления нарушают развитие древесных насаждений и растений, предпочитающих более холодный климат нежели сейчас.

Наиболее сильное влияние изменение климата оказывает на состояние еловой породы и таких видов как ольха и сосна серые, ясень обыкновенный и ольха черная, которые утрачивают устойчивость, конкурентоспособность и сокращают удельный вес в составе лесов [2].

Известно, что еловые леса плохо растут в теплых климатических условиях. В настоящее время в республике граница распространения ели сместилась на 250–300 км севернее и проходит практически по границе подзоны дубово-темнохвойных лесов. И если такая тенденция сохранится в дальнейшем, то можно ожидать постепенного смещения границы ели в северо-восточном направлении [3].

Одним из факторов, влияющих на продуктивность древостоев, является продолжительность вегетационного периода. Его изменение связано с потеплением в зимние месяцы, и оно способствует приросту лесной продукции. Однако следует отметить, что древесные растения довольно медленно адаптируются к резким изменениям условий произрастания. Поэтому резкие колебания температуры из года в год особенно в начальный период вегетации у растений негативно отражаются на их устойчивости к внешним воздействиям. В свою очередь, перераспределение теплообеспеченности вегетационного периода оказывает влияние на пространственное распространение древесных насаждений. Раннее начало вегетации, в результате изменения климата, резко повышает вероятность возникновения и вредоносности поздних весенних заморозков, которые оказывают отрицательное влияние на текущий прирост древостоев, а также приводят к повреждению цветов и завязей плодов древесных растений и лесных ягод.

В результате изменения климата увеличивается также вероятность возникновения засухи в вегетационный период, что при одновременном пони-

жении уровня грунтовых вод следует ожидать дальнейшее сокращение ареала влаголюбивых деревьев. К этому хотелось бы добавить, что за последние 15 лет в Республике Беларусь уже происходили массовые усыхания ельников. По данным Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь с 1993 г. по настоящее время усохло и вырублено более 100 тыс. га еловых древостоев [4].

Для повышения устойчивости еловых лесов предусматривается создавать смешанные насаждения. При этом на богатых почвах ель полностью или частично заменяется широколиственными породами (дуб черешчатый, липа сердцевидная) и лиственницей европейской. Для сохранения ели в составе лесов проводится реконструкция мелколиственных древостоев и их заменяют березово-еловыми и осиново-еловыми насаждениями. Создаются смешанные елово-сосновые, елово-дубовые и елово-липовые лесные культуры. Это позволяет не только сохранить ель, но и увеличить ее долю в составе лесов. Примесь бука в сосновых и дубовых культурах на супесчаных почвах повышает их плодородие и способствует улучшению роста главной породы [4].

В Беларуси, на данный момент, существует проблема усыхания дубрав в национальном парке «Припятский». В первую очередь, это связано с изменениями гидрологического режима. Деревья особенно болезненно реагируют на понижение уровня грунтовых вод. Поэтому нет ничего удивительного в том, что они усыхают и страдают от вредителей леса.

Потепление климата приводит не только к увеличению количества пожаров, но и к массовой вырубке лесов вследствие поражения деревьев короедом. Усыхание лесов – проблема не только Беларуси. Это явление, наблюдаемое в последние 15–20 лет, затронуло многие государства Европы. Короеды выбирают ослабленные одиночные деревья (хвойные породы) для своих атак.

Одной из серьезных проблем лесов Беларуси является загрязнение радионуклидами. До 70% выброшенных из аварийного реактора радионуклидов, в результате аварии на Чернобыльской АЭС, вместе с осадками выпало на территории нашей страны. При этом леса аккумулировали от 20 до 30% их общего количества. Свыше 25% лесного фонда Республики Беларусь было загрязнено радионуклидами [5].

При изменении климата в сторону потепления следует и в дальнейшем ожидать увеличения площадей лесов и торфяных болот с повышенной степенью пожарной опасности, а также с большей вероятностью распространения вредителей и болезней леса, что, в свою очередь, может неблагоприятно сказываться на ведении лесного хозяйства. По прогнозам, увеличение числа засушливых явлений, связанных с изменением климата, наряду с увеличением доли торфяников в лесном хозяйстве, может приводить не только к значительному экономическому ущербу, но и несет угрозу биоразнообразию республики. Данные изучения изменений древесной растительности за последние 10–15 лет свидетельствуют, что к 2025 г. возможно понижение прироста деревьев ели на 8–10%, к 2050 – до 20% в южной части республики и даже на

севере потери прироста могут составить до 6%. Исключение, возможно, будут составлять коренные островные местообитания ели в Полесье по окраинам болот, и вокруг водоемов и водотоков на почвах избыточного увлажнения. Площадь мелколиственных лесов (березняков и осинников) может уменьшиться примерно на 38,0% соответственно, а к 2050 г. – на 60,9%, в зависимости от лесхоза [3, 4].

Но есть и благоприятная сторона этой ситуации: агроклиматические условия стали благоприятными для возделывания сельскохозяйственных, теплолюбивых культур, которые ранее являлись нетипичными для этой территории. К таким культурам относятся кукуруза, соя, подсолнечник, просо, сорговые культуры и др.

Библиографический список

1. Брилевский М. Н., Смоляков Г. С. География Беларуси 10 класс. М. : «Народная асвета», 2012. 304 с.
2. Давыденко О. В. Агроклиматическое районирование Беларуси в условиях изменения климата // Вестник БГУ. 2009. Серия 2. № 1. С. 106–110.
3. Динамика лесистости Беларуси [Электронный ресурс]. – URL: <https://greenbelarus.info/articles/23-07-2019/chto-takoe-normalnyu-les-dialog-v-semi-voprosah-i-otvetah> (дата обращения: 25.02.2021).
4. Эколого-ориентированное развитие лесного хозяйства Беларуси в условиях климатических изменений: учеб. пособие для доп. образования / И. В. Войтов, В. Г. Шатравко, Н. Н. Юревич, А. В. Ледницкий, А. В. Неверов, В. В. Носников, Л. Н. Рожков. Минск : БГТУ, 2019. 201 с.
5. Карпенко А. Ф. Эколого-экономические проблемы агропроизводства Гомельской области после Чернобыльской катастрофы: монография. Брянск : Дельта, 2012. 258 с.

О ЧИСЛЕННОСТИ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ И ПОДРОСТА ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО В ДУБРАВАХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ (САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

В. Н. Ильина¹, О. В. Козловская²

¹ *Самарский государственный социально-педагогический университет,
5iva@mail.ru*

² *Самарский государственный технический университет, savenkoov@mail.ru*

В статье приведены основные результаты исследования современного состояния дубрав в Самарской области (Среднее Поволжье). Выявлены различные повреждения особей дуба, изменения структуры фитоценозов и их высокая антропогенная трансформация, ведущая к уменьшению самовосстановительной способности дубовых насаждений. Возобновление особей неудовлетворительное, подрост практически отсутствуют. Парковые зоны в черте города находятся в критическом состоянии.

Ключевые слова: дуб, дубрава, возобновление, подрост, Самарская область.

В последние десятилетия на территории Среднего Поволжья, в том числе Самарской области, отмечается неуклонное снижение площади дубрав, а также низкое жизненное состояние особей дуба [1].

Изучению состояния и особенностей возобновления дубрав посвящено достаточно большое число работ [2–10]. Несмотря на изученность данного вопроса, коренного перелома в лесоохранной и лесовосстановительной деятельности не наблюдается. Тенденция «утраты» дубрав в регионе не ослабевает. В связи с этим необходимым является мониторинг современного состояния и восстановительной способности дуба, а также сообществ с его участием.

Территория исследования охватывает лесостепную часть Самарской области (как Заволжье, так и Предволжье, включая Самарскую Луку). Согласно основным рекомендациям к полевым исследованиям [11], нами проведено 380 геоботанических описаний лесных сообществ с участием дуба (в Шигонском, Ставропольском, Елховском, Клявлинском, Челно-Вершинском, Кинель-Черкасском, Искалинском, Похвистневском, Волжском, Сергиевском, Безенчукском, Шенталинском муниципальных районах).

В дубравах заметно изреживается древостой, уменьшается образование листового опада и подстилки, но при этом закономерно усиливается развитие подлеска и травяного покрова. Это приводит к снижению защитно-мелиоративных функций лесов и их способности к возобновлению.

Возобновление *Quercus robur* L. в различных сообществах, в том числе в лесопарковых и парковых зонах, зависит от различных условий: общей численности материнских особей дуба, состава древостоя (процентного соотношения древесных пород), влажности, освещенности, характеристик почв, проективного покрытия почвы, развития кустарникового яруса, антропогенного воздействия и других факторов.

Во всех лесных сообществах на территории Самарской области, в которых зарегистрировано произрастание дуба, отмечаются его всходы. В некоторые годы число всходов может достигать 3000–5500 особей на 1 га. Массовая гибель проростков в первый же год жизни связана с такими неблагоприятными условиями, как недостаток освещенности, загрязнение воздуха и почвы, наличие вредителей и развитие мучнистой росы, в парковых зонах – также вытаптывание. В некоторых случаях в лесных массивах отмечаются пожары, негативно сказывающиеся как на состоянии фитоценозов с участием дуба, так и на сохранности его молодых особей. К концу вегетативного сезона число особей семенного возобновления снижается до 300–500 растений на 1 га. Поражение особей мучнистой росой – 100%, доля повреждения листовых пластинок – 89%. В последующие сезоны численность особей дуба неуклонно уменьшается.

Уже через 7–10 лет развития жизнеспособный подрост дуба черешчатого под пологом растительных сообществ (дубравы кленово-снытевой, дубравы бересклетово-ландышевой, дубравы злаковой, кленовника злакового, дуб-

равы липово-разнотравной, дубравы липово-злаковой) практически не обнаруживается. Лишь в некоторых случаях отмечается 11,7–16,3 особи в расчете на 1 га. Чуть выше численность подроста в дубравах березово-злаковых – до 19,6 особей на 1 га. В основном эти молодые особи отмечаются на опушках и вырубках.

По мнению К.Б. Лосицкого [5], в условиях лесостепной зоны возобновление дуба является удовлетворительным, если среди самосева и поросли других древесных пород регистрируется примерно 1000–2000 особей дуба в возрасте 10–15 лет на 1 га.

В парковых дубравах на территории г. Самара, характеризующихся несомкнутым древостоем и высоким рекреационным использованием, подрост дуба не обнаружен. Поражение особей мучнистой росой составляет 100%, доля повреждения листовых пластинок – 98%. Леса в городе и пригородных зонах постепенно деградируют, а их площадь заметно сокращается. Небольшие массивы более уязвимы, в них деградация насаждений достигает высоких показателей до 85–90%. В городской черте дубы имеют большое количество усыхающих ветвей (до 50%), прозрачную крону (100% особей), суховершинность (до 90%), пучкообразное расположение листьев (около 75–80%), снижение содержания хлорофилла в листьях (у 90–95% листовых пластинок), выраженную асимметрию листовых пластинок (у 65% листьев), развитие некрозов (более 70% листьев). По сравнению с естественными лесными массивами эти показатели значительно выше.

Таким образом, практически полностью утрачена способность дубрав к эффективному самоподдержанию и самовосстановлению. Только на весьма ограниченной площади в достаточно удаленных от Самаро-Тольяттинской агломерации пунктах численность особей возобновления и сохранившегося подроста чуть выше указанных параметров.

Основными факторами, обуславливающими постепенную, но все же заметную смену дуба другими древесными видами, является его низкие морозостойкость, теневыносливость, способность переносить временное переувлажнение почвы. Антропогенная трансформация лесных насаждений играет заметную роль в смене дуба листовыми породами (вырубка дубовых древостоев, отсутствие мероприятий по их восстановлению, вырубка зрелых жизнеспособных особей дуба, пожары, развитие болезней и вредителей и др.).

Библиографический список

1. The condition of oak forests of the urbanized territories in the southeast of the European part of Russia / V. N. Ilyina, A. E. Mitroshenkova, I. V. Nalivayko, A. A. Semenov // Ecology and Life Protection of Industrial-Transport Complexes : Proceedings of the Seventh International Environmental Congress (Ninth International Scientific-Technical Conference). Samara-Togliatti, Russia : Edition ELPIT. Printed in Publishing House of Samara Scientific Centre, 2019. P. 62–68.
2. Калиниченко Н. П. Дубравы России. М. : ВНИИЦлесресурс, 2000. 136 с.
3. Кожевников П. П. Дубовые леса лесостепи европейской части СССР // Тр. ВНИИЛХ. Вып. 1. Пушкино, 1939. 36 с.
4. Лосицкий К. Б. Восстановление дубрав. М. : Сельхозгиз, 1963. 356 с.

5. Лосицкий К. Б. Дуб. М. : Лесная промышленность, 1981. 101 с.
6. Рыжков О. В. Экологические факторы, ограничивающие естественное возобновление дуба в Центрально-Черноземном заповеднике // Экология. 1994. № 5. С. 22–27.
7. Рысин Л. П., Рысина Г. П. Дуб обыкновенный // Биол. флора Моск. обл. М. : Изд-во МГУ, 1990. Вып. 8. С. 102–130.
8. Состояние дубрав лесостепи. М. : Наука, 1989. 230 с.
9. Турчин Т. Я. Естественные степные дубравы Донского бассейна и их восстановление. М. : ВНИИЛМ, 2004. 312 с.
10. Турчин Т. Я. Оценка и прогноз успешности порослевого возобновления дуба в пойменных лесах Дона // Лесной журнал. 1994. № 2. С. 32–34.
11. Методы изучения лесных сообществ. СПб. : НИИ Химии СПбГУ, 2002. 240 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ФЛОРЫ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ, ОСОБЕННОСТИ МИКОРИЗОБРАЗОВАНИЯ НА ОТВАЛАХ АНАТОЛЬСКО-ШИЛОВСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АСБЕСТА

*Н. В. Лукина, Е. И. Филимонова, М. А. Глазырина, Д. В. Бажин
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, natalia.lukina@urfu.ru*

Представлены результаты систематического анализа, биоэкологической структуры (экоморфы, биоморфы и др.) растительных сообществ, формирующихся в процессе самозаращения на отвалах Анатольско-Шилловских месторождений асбеста (Свердловская обл., таежная зона, подзона южной тайги). Приведены результаты изучения арбускулярной микоризы на исследованных отвалах.

Ключевые слова: флора, растительность, микориза, отвалы вскрышных пород, редкие виды.

Открытые горные работы, в том числе на Урале, сопровождаются наиболее существенными нарушениями ландшафта и гидрологических условий района разработок, а также частичной или полной утратой почвенного и растительного покровов на значительных территориях. Большие площади в районах горных разработок занимают отвалы пустых пород. Эти отвалы не только сокращают площади лесных и сельскохозяйственных угодий, но и являются источниками различных загрязняющих веществ, которые развеиваются ветрами, повышая запыленность атмосферы, угнетающе действуют на растительность прилегающих территорий, загрязняют почвенный покров и поверхностные воды. Изучение начальных этапов естественного зарастания и особенностей микоризообразования на подобных территориях представляет большой интерес, так как позволяет с учетом зонально-климатических условий оценить закономерности формирования, особенности и направленность развития растительности.

Целью исследования было изучение восстановления флоры, растительности и микоризы на отвалах вскрышных пород Анатольско-Шиловских месторождений асбеста.

Анатольско-Шиловская группа месторождений асбеста расположена в пределах Тагило-Невьянского гипербазитового массива на восточном склоне Среднего Урала в 132 км к северу от г. Екатеринбурга, в 2,5 км от пос. Новоасбест (таежная зона, подзона южной тайги).

Рельеф района холмисто-увалистый, абсолютные отметки изменяются в пределах 300–400 м над уровнем моря. Водотоки района относятся к бассейну реки Тура.

Климат резко континентальный. Минимальная температура зафиксирована в декабре -39°C , максимальная в июле $+35^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков составляет 565 мм. Снежный покров держится со второй половины ноября до начала апреля, его средняя толщина 0,7 м. Глубина промерзания почвы составляет 0,8–1,7 м. Преобладающее направление ветров летом – западное и юго-западное, зимой – западное и северо-западное.

Полезная толща месторождений сложена тальк-карбонатными породами, в толще которых крайне неравномерно распределены гнезда, жилки и линзы асбестового волокна. Вмещающими породами являются в основном серпентиниты и в меньшей мере гарцбургиты.

В качестве полезного ископаемого на месторождениях Анатольевский асбестовый горно-обогатительный комбинат (ГОК) вел добычу волокнистой разновидности серпентинитов – режикит-асбеста, относящегося к группе амфиболовых асбестов. Среднее содержание асбеста в породах составляло около 4–5% [1].

Разработка месторождений проводилась карьерами – Шиловский, Центральный, Южный (Анатольско-Шиловские карьеры) в период с 1952 по 1992 годы. В результате горнодобывающих работ предприятием сформированы высокие 2–5-ярусные отвалы вскрышных пород: Анатольский (Центральный), Шиловский и Южный общим объемом 228,9 млн т. Кроме того, в отвально-карьерный комплекс входит отвал отходов дробильной установки.

Отвалы сложены в основном крепкими скальными породами и лишь около 10% объема – это рыхлые материалы (гарцбургиты, серпентиниты и глина). По гранулометрическому составу серпентинитовые породы отвалов сильнокаменистые: содержание камней и гравия, диаметром более 3 мм, составляет 53,9–83,5%.

Агрохимический состав горных пород в отвалах характеризуется очень низким содержанием щелочногидролизуемого азота, средним содержанием доступного для растений фосфора и калия. Реакция среды субстрата ($\text{pH} = 7,2$ ед.) – слабощелочная [2].

Карьерно-отвальный комплекс окружен сосновыми травяными и сосновыми травяно-черничниковыми лесами с примесью *Larix sibirica* Ledeb., *Betula pendula* Roth. В подлеске встречаются *Juniperus communis* L., *Tilia cordata* Mill. и др.

Обследование отвалов проводилось детально-маршрутным методом с описанием растительности [3]. Для изучения микоризы в растительных сообществах, формирующихся на отвалах, отбирали корни травянистых растений в десятикратной повторности, которые затем высушивали и обрабатывали по общепринятой методике с окрашиванием в анилиновой сини после мацерации в КОН [4].

Геоботаническое обследование 20–40-летних отвалов Анатолийско-Шиловского ГОК показало, что выровненные участки и склоны отвалов зарастают, преимущественно, древесными видами с доминированием *Pinus sylvestris* L. и *Betula pendula*. Травяно-кустарничковый ярус разрежен, общее проективное покрытие растительностью варьирует от 5 до 50%, в среднем составляя 20%. В лесных фитоценозах на отвалах в травянистом ярусе преобладают: *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *C. epigeios* (L.) Roth, *Fragaria vesca* L., *Solidago virgaurea* L., *Trifolium lupinaster* L. и др. На открытых участках отвалов наиболее часто встречаются: реликтовый на Урале вид – *Dendranthema zawadskii* (Herbich) Tzvel. (семейство Asteraceae Dumort.), редкие виды на Урале [5] – *Epipactis atrorubens* (Hoffm. ex Bernh.) Bess. (Orchidaceae Juss.) и *Thymus talijevii* Klok. & Des.-Shost. (Lamiaceae Lindl.). Коэффициент оценки видового сходства Чекановского-Серенсена флоры отвалов и естественного леса, произрастающего на серпентинитах, очень низкий – 0,38.

Изучение флоры отвалов Анатолийско-Шиловского ГОК показало, что в формирующихся растительных сообществах произрастает 126 видов растений, относящихся к 93 родам и 32 семействам.

Среди ведущих семейств первое место занимает Poaceae Barnhart (20 видов), второе – Asteraceae (17 видов), третье – Fabaceae Lindl. (14 видов), составляя в сумме 40,5% от общего числа видов. Далее следуют семейства Salicaceae Mirb. (12 видов), Rosaceae Juss. (9 видов), Caryophyllaceae Juss. (6 видов), Apiaceae Lindl. (5 видов), Pyrolaceae Dumort. (4 вида), Pinaceae Lindl., Scrophulariaceae Juss., Polygonaceae Juss. (по 3 вида). Ведущие 11 семейств включают 93 вида, что составляет 73,9% видового состава. Наиболее многовидовыми родами являются: *Salix* L. (8 видов), *Populus* L. (4 вида), *Lathyrus* L. (4 вида), *Vicia* L. (3 вида) и *Poa* L. (3 вида).

Парциальная флора отвалов Анатолийско-Шиловского ГОК имеет низкие коэффициенты систематического разнообразия: коэффициент видовой насыщенности рода – 1,3; видовой насыщенности семейства – 3,9 и родовой насыщенности семейства – 2,9.

Анализ биоэкологической структуры флоры показал, что подавляющее большинство видов, произрастающих на отвалах Анатолийско-Шиловского ГОК, являются многолетними (88,8% от общего числа видов), малолетние виды составляют 11,2%.

Среди экологических групп растений на отвалах преобладают виды мезофитных местообитаний (71,4% от общего числа видов). Виды ксерофитных

(мезоксерофиты, ксеромезофиты) и гигрофитных местообитаний составляют 15,0 и 12,8% соответственно.

Анализ ценотического спектра выявил большое разнообразие ценотических групп, что связано с пестротностью экологических условий (различный гранулометрический состав субстрата, разная экспозиция и высота участков). В растительных сообществах отвалов преобладают лесные, луговые и лугово-лесные виды (34 вида – 26,98; 26 видов – 20,63; 13 видов – 10,3% соответственно). Доля видов каменистых и остепненных местообитаний (лугово-степные, лесостепные, каменистые склоны, солончаковые луга) составляет 21,5%; доля сорно-рудеральных и лугово-сорных видов – 12,7%.

Анализ биоморф показал, что на отвалах произрастают 9 видов (7,1%) деревьев, 15 видов (11,9%) кустарников, по 4 вида (по 3,2%) полукустарников и полукустарничков, что свидетельствует о формировании пространственной структуры лесных фитоценозов.

В структуре жизненных форм (по Раункиеру) большая часть видов – гемикриптофиты (65 видов – 51,6%). Доля фанерофитов составляет 19,0%, геофитов – 16,7%, хамефитов – 7,9% (24; 21 и 10 видов соответственно). Невысока доля терофитов (4,8%).

По способу распространения плодов и семян в растительных сообществах отвалов преобладают анемохоры (48,6%). Зоохоры, автохоры и баллисты составляют 19,8; 18,2 и 12,6% соответственно.

Ареалогический анализ показал, что среди широтных групп основу флоры представляют бореальные виды – 71,4% (90 видов); лесостепные и полizonальные виды составляют 12,7% (16 видов) и 11,1% (14 видов) соответственно. В спектре долготных групп большая часть видов – евразийские – 52,4% (66 видов), затем следуют европейско-сибирские – 13,4% (17 видов) и европейские – 11,1% (14 видов).

Изучение микоризы на отвалах Анатольско-Шиловского ГОК показало, что в корнях большинства видов травянисто-кустарничкового яруса имеется арбускулярная микориза, характеризующаяся локализацией микоризообразующего гриба в мезодерме, отсутствием гриба в меристематических тканях корня и в центральном цилиндре, наличием в тканях коры гиф, везикул и крайне малого числа арбускул или зернистой массы. Доля микоризных видов составила 77,8%, средняя частота встречаемости микоризы (F) – 20,3%, средняя степень микотрофности (D) – 0,76 баллов, коэффициент интенсивности микоризной инфекции (C) – 13,2%. Не обнаружена микориза у следующих видов: *Silene nutans* L., *Dianthus versicolor* Fisch. ex Link, *Rumex thyrsoiflorus* Fingerh., *Rumex pseudonatronatus* (Borb.) Borb. ex Murb., *Euphrasia pectinata* Ten., *Puccinellia hauptiana* (V. I. Krecz.) Kitag. Большинство немикоризных видов относятся к семействам Caryophyllaceae и Polygonaceae, которые отмечаются в литературе либо как безмикоризные, либо микоризу у них находят редко. Остальные безмикоризные растения (2 вида), относятся к факультативно микоризным: в условиях естественных фитоценозов эти виды образуют

микоризу. Кроме того, в корнях многих растений и на поверхности корней обнаружены темноокрашенные септированные эндифиты.

Для большинства исследованных растений характерно крайне неравномерное распределение микоризного гриба в корнях. Наряду с участками корней, обильно заполненных эндифитом, значительную долю составляют участки, лишенные гриба. На многих корнях имеются корневые волоски.

Большинство микоризных видов оказались слабмикотрофными. Исключение составили: *Thymus talijevii*, *Poa trivialis* L. и *Hordeum jubatum* L. Эти виды оказались среднемикотрофными. Высокомикотрофных видов в растительных сообществах отвалов не обнаружено.

В корнях *Epipactis atrorubens*, произрастающего на отвалах, обнаружена орхидная микориза, представленная пелотонами – клубками полупереваренных гиф.

Низкая доля микоризных растений и слабое развитие микоризной инфекции у растений на отвалах объясняется сильной каменистостью пород и недостаточным содержанием в них элементов минерального питания.

Проведенные исследования показали, что отвалы Анатольско-Шиловского месторождения асбеста характеризуются неблагоприятными эдафическими условиями для произрастания растений (сильной каменистостью, недостатком элементов минерального питания). К 20–40-летнему возрасту отвалы зарастают, преимущественно, древесной растительностью с доминированием *Pinus sylvestris* и *Betula pendula*. На отвалах обнаружены редкие на Урале виды *Epipactis atrorubens* и *Thymus talijevii* и реликтовый вид – *Dendranthema zawadskii*. Таким образом, нарушенные территории могут быть временными «убежищами» для сохранения генофонда многих видов.

Формирование растительных сообществ идет за счет многолетних, анемохорных, мезофитных лесных и луговых видов с высокой долей участия видов остепненных и каменистых участков, относящихся, в основном, к бореальной ареалогической группе евразийского происхождения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках выполнения государственного задания УрФУ FEUZ-2020-0057 и при частичной финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области в рамках научного проекта № 20-44-660011.

Библиографический список

1. Янин Е. П. Асбестоносные площади и горные породы как природные источники поступления асбестовой пыли в окружающую среду // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. 2013. № 5. С. 18–47.
2. A comparative study of *Epipactis atrorubens* in two different forest communities of the Middle Urals, Russia / E. Filimonova, N. Lukina, M. Glazyrina, G. Borisova, T. Tripti, A. Kumar, M. Maleva // Journal of Forestry Research. 2020. Vol. 31. No. 6. P. 2111–2120. doi: 10.1007/s11676-019-01010-y
3. Миркин Б. М., Наумова Л. Г., Соломещ А. И. Современная наука о растительности : учебник. М. : Изд-во «Логос», 2000. 264 с.

4. Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм, как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М. : Наука, 1981. 230 с.

5. Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы. Екатеринбург : ООО «Мир», 2018. 450 с.

РИЗОСФЕРНЫЕ БАКТЕРИИ ОРХИДЕИ *EPIPACTIS ATRORUBENS*, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА СЕРПЕНТИНИТОВЫХ ПОРОДАХ СРЕДНЕГО УРАЛА

***О. В. Воропаева, А. В. Подставкаина, Е. И. Филимонова,
М. Г. Малева, Г. Г. Борисова***

*Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
Olga.voropaeva@urfu.ru*

В статье представлены данные, полученные при изучении бактерий, выделенных из ризосферы орхидеи *Epipactis atrorubens* (Hoffm.) Besser. (дремлик темно-красный). Проведен сравнительный анализ некоторых морфологических и ростстимулирующих характеристик ризобактерий растений, произрастающих в двух биотопах на серпентинитовых породах: в естественном лесном фитоценозе и трансформированном, вследствие добычи асбеста, местообитании (Свердловская область, Средний Урал).

Ключевые слова: ризосферные бактерии, *Epipactis atrorubens*, серпентинитовые отвалы, техногенные субстраты, тяжелые металлы, ростстимулирующая активность.

Ризосферные бактерии, наряду с микромицетами, являются важнейшими компонентами системы симбиотических отношений растений семейства Orchidaceae с микроорганизмами. Роль ризобактерий в процессах жизнедеятельности растений семейства Orchidaceae, произрастающих в условиях умеренного климата России, изучена недостаточно, поэтому такие исследования, несомненно, являются актуальными [1].

Получение новой информации о таксономическом составе, численности, видовом разнообразии сообществ ризобактерий орхидных, их способности стимулировать рост растений и проявлять металлоторерантные свойства, необходимо для комплексной оценки фитоценологических условий и механизмов устойчивости орхидных к неблагоприятным условиям техногенных субстратов. Новые данные о ризосферных бактериях также важны для разработки мер по сохранению генофонда орхидей в условиях изменяющейся биосферы.

Как известно, субстраты, сформированные на серпентинитовых породах, неблагоприятны для роста растений из-за своих физических и химических свойств. Они отличаются низким содержанием азота, фосфора, калия, кальция, высоким содержанием магния и железа, относительно высокими

концентрациями никеля, хрома и кобальта, которые в совокупности оказывают токсическое действие на растения [2, 3]. Сдвиг соотношения Mg/Ca в пользу Mg негативно сказывается на растениях, особенно в условиях избытка других ионов [3].

В качестве модельного вида для изучения бактериальных сообществ использовали орхидею *Epipactis atrorubens* (Hoffm.) Besser. (дремлик темно-красный). Имеются данные об участии микоризы в детоксикации металлов в корнях *E. atrorubens* [4], в то время как роль ризобактерий в формировании устойчивости этого вида к техногенным факторам изучена слабо.

В основу данного исследования положена гипотеза о том, что бактерии ризосферы могут оказывать ростстимулирующее действие на представителей сем. Orchidaceae и обладать металлоторолерантностью, способствуя их колонизации на техногенных субстратах, загрязненных тяжелыми металлами (ТМ).

Цель исследования – сравнительный анализ морфологических и биохимических характеристик бактериальных сообществ ризосферы орхидеи *E. atrorubens* из естественного лесного фитоценоза и формирующегося биотопа на отвале серпентинитовых пород (после добычи асбеста).

Для исследования было выбрано два участка (рис.): сайт 1 – лесной массив (сосновый лес) на подстилающих серпентинитовых породах (между с. Шиловка и п. Новоасбест, Горно-уральский городской округ, координаты: 57°45'42.93" с. ш.; 60°12'52.82" в. д.); сайт 2 – отвал серпентинитовых пород Шиловского месторождения асбеста (п. Новоасбест, Горно-уральский городской округ, координаты: 57°44'54.78" с. ш.; 60°12'37.55" в. д.).



Рис. Орхидея *Epipactis atrorubens* в лесном фитоценозе (сайт 1, А) и на отвале серпентинитовых пород после добычи асбеста (сайт 2, Б)

На обоих участках были изучены популяции *E. atrorubens*. Это европейско-западно-сибирский вид, занесенный в Красные книги 35 регионов России. В Свердловской области это редкое растение встречается преимущественно на известняковых скальных обнажениях по берегам рек и на сухих облесенных каменистых (известняковых, доломитовых, реже гранитных) склонах в хребтовой части Урала [5]. Как вид-ксеромезофит и кальцефил, *E. atrorubens* оказался способным заселять различные каменистые промышленные отвалы и карьеры, образованные при разработке месторождений асбеста, бурого угля, талька, известняка и др. [6].

На каждом из участков были отобраны субстраты для определения гранулометрического состава и физико-химических показателей. Кроме того, были взяты пробы ризосферной почвы и корней растений для проведения микробиологических исследований.

Содержание ТМ в субстратах определяли при помощи атомно-абсорбционной спектроскопии на Varian AA240FS (Varian Australia Pty Ltd, Австралия) после озонирования 70% азотной кислотой (осч.).

Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в образцах ризосферной почвы определяли высевом на твердую питательную среду Луриа-Бертани (LB) и выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ) на 1 г сухого веса.

В течение 30 суток проводили измерение энзиматической активности субстратов методом аппликаций, который позволяет оценить целлюлозолитическую активность почвы [7]. С помощью световой микроскопии были изучены морфологические признаки выделенных бактерий. Далее была выполнена оценка бактерий по отношению к молекулярному кислороду и изучена их способность стимулировать рост растений. В частности, были определены: активность каталазы, способность к азотфиксации, синтезу индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) и солюбилизации фосфатов.

Субстраты изученных участков отличались по гранулометрическому и химическому составу. Почвы сайта 1 – горные лесные бурые неполночленные и маломощные, легкосуглинистые. В гранулометрическом составе преобладала фракция мелкозема (80–83%) с размером частиц < 2 мм, включающая песок, пыль и др. В составе скелетной части почти равные доли имели гравий (8–10%) и щебень (7–10%). Субстрат отвала (сайт 2) содержал меньше мелкозема (44%), но больше гравия (30%) и щебня (26%). В соответствии с почвенной классификацией он может быть отнесен к супесям и пескам. Сайт 2 характеризовался более щелочной почвой (рН 8,23 ед.) по сравнению с первым (рН 7,37 ед.). При этом удельная электропроводность и общее содержание солей в почве сайта 1 почти в 1,5 раза превышали соответствующие значения в субстрате сайта 2. Субстрат отвала содержал почти в 3 раза больше магния, в 7 раз больше калия, чем почва лесного массива. Соотношение Mg к Ca в субстрате на отвале составляло 14,6, а в лесном фитоценозе – 3,7. Содержание ТМ также различалось. Например, в почве лесного массива содержание желе-

за, марганца, цинка и свинца было выше, чем на отвале (в среднем в 6 раз). Однако в субстрате отвала было больше никеля и хрома.

Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов в субстратах обоих участков было примерно одинаковым: $6,1 \cdot 10^4$ в лесном массиве и $6,8 \cdot 10^4$ на отвале, что соответствует нормативным показателям чистой почвы [8].

Обнаружено, что целлюлозолитическая активность отобранных проб ризосферной почвы орхидных существенно различалась и составляла 6,5% на первом участке и 0,3% – на втором. Вероятно, такие различия могут быть связаны с повышенным содержанием ТМ, блокирующих работу ферментных систем почвенной микрофлоры.

Для выявления ростстимулирующей активности бактериальных сообществ из ризосферной почвы *E. atrorubens* в лесном фитоценозе было выделено 36 штаммов ризосферных бактерий, представленных преимущественно подвижными одиночными палочками разной длины (75%). На отвале серпентинитовых пород было выделено 24 штамма ризобактерий, среди которых также преобладали одиночные, в основном подвижные, палочки (67%).

По отношению к молекулярному кислороду на обоих участках аэробные бактерии доминировали над факультативными анаэробами. Все выделенные штаммы проявляли каталазную активность. По способности синтезировать ИУК бактериальные сообщества изученных участков достоверно не отличались: это свойство проявлялось у большинства выделенных бактерий (в среднем 70%). При этом такие признаки, как способность к азотфиксации и солюбилизации фосфатов в большей степени были выражены у бактерий, выделенных из субстрата на отвале серпентинитовых пород (сайт 2): доля бактерий, обладающих этими ростостимулирующими свойствами, была в среднем в 2 раза выше по сравнению с естественным фитоценозом.

Полученные результаты по оценке ростстимулирующей активности ризобактерий *E. atrorubens* позволяют сделать предположение о том, что бактериальные сообщества ризосферы, наряду с микоризой, помогают растениям приспосабливаться к техногенным субстратам. Дальнейшие исследования будут направлены на молекулярно-генетическую идентификацию выделенных штаммов ризобактерий и изучение их металлотолерантных свойств и других особенностей, способствующих росту и жизнедеятельности орхидных в неблагоприятных условиях среды обитания.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области в рамках научного проекта № 20-44-660011.

Библиографический список

1. Bayman P., Otero J. T. Microbial endophytes of orchid roots // Soil Biology. 2006. Vol. 9. P. 153–177.
2. Global research on ultramafic (serpentine) ecosystems (8th international conference on serpentine ecology in Sabah, Malaysia): a summary and synthesis / A. Van der Ent, R. Rajakaruna, R. S. Boyd, G. Echevarria // Australian Journal of Botany. 2015. Vol. 63. P. 1–16.

3. Rajakaruna N., Boyd R. S. Serpentine soils // Oxford bibliographies in ecology / Ed. D. Gibson. Oxford University Press, New York, 2014. 33 p.

4. Heavy metal localisation in mycorrhizas of *Epipactis atrorubens* (Hoffm.) Besser (Orchidaceae) from zink mine tailings / A. Jurkiewicz, K. Turnau, J. Mesjasz-Przybylowicz, W. Przybylowicz, B. Godzik // *Protoplasma*. 2001. Vol. 218. P. 117–124.

5. *Epipactis atrorubens* на серпентинитовых и гранитных породах (Средний Урал) / Е. И. Филимонова, Н. В. Лукина, М. А. Глазырина, М. Г. Малева, Г. Г. Борисова, Н. В. Чукина, Г. И. Юсупова // *Современные подходы и методы в защите растений : материалы науч.-практ. конф.* Екатеринбург. 2018. С. 123–125.

6. Comparative study of *Epipactis atrorubens* in two different forest communities of the Middle Urals, Russia / E. Filimonova, N. Lukina, M. Glazyrina, G. Borisova, T. Tripti, A. Kumar, M. Maleva // *A Journal of Forestry Research*. 2020. Vol. 31. No. 6. P. 2111–2120. doi: 10.1007/s11676-019-01010-y

7. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М. : Наука, 1972. 342 с.

8. СанПиН 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 16 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

В. А. Кондаурова

*Воронежский институт экономики и социального управления,
kondaurova75@list.ru*

В статье представлен анализ экологического состояния водных объектов на территории Воронежской области, дана оценка качества водных ресурсов по различным показателям.

Ключевые слова: водные объекты, экологические проблемы, загрязняющие вещества, мониторинг, гигиенические нормативы.

Экологическая ситуация на урбанизированных территориях отличается наличием большой концентрации различных антропогенных факторов на очень ограниченной площади. Для таких факторов характерна способность оказывать негативное влияние на любые компоненты окружающей среды, в том числе и на водные ресурсы.

Воронежская область принадлежит к числу обеспеченных водными ресурсами регионов Российской Федерации. Водные ресурсы Воронежской области представлены поверхностными и подземными водами. Территория области покрыта сетью рек, принадлежащих бассейну Дона. По уточненным данным, поверхностные воды Воронежской области включают в себя 1197 речных водотоков, 2220 озер, 2620 прудов и водохранилищ. Общая протяженность речной сети Воронежской области составляет 9705 км. Основу поверхностных вод составляют проточные системы – малые и средние реки. Главной водной артерией Воронежской области является р. Дон с притоками

рек (Воронеж, Тихая Сосна, Икорец, Битюг, Осередь, Богучарка), на востоке протекает р. Хопёр [1].

Показатели качества питьевой воды в регионе обусловлены факторами природного характера (повышенным содержанием в воде водоносных горизонтов соединений железа, марганца, бора, солей жесткости), сохраняющимся антропогенным загрязнением подземных вод, отсутствием эффективной водоочистки в отношении растворенных химических веществ, изношенностью водопроводных сетей, приводящих к вторичному загрязнению питьевой воды.

Доля проб воды в подземных источниках питьевого централизованного водоснабжения, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям, имеют тенденцию к увеличению – с 32,3% в 2018 г. до 37,1% в 2019 г.; по микробиологическим – к снижению – с 3,0 до 1,4 соответственно.

Превышение гигиенических нормативов проб воды из источников централизованного водоснабжения по санитарно-химическим показателям (выше среднеобластного значения) установлено в 6 районах: Аннинском (40,0%), Калачеевском (46,2%), Лискинском (42,0%), Новоусманском (55,7%), Павловском (42,6%), Россошанском (68,9%).

По микробиологическим показателям превышения регистрировались в 3 муниципальных образованиях: Павловском районе (2,5%), Борисоглебском городском округе (4,6%) и городском округе г. Воронеж (3,5%). В 2019 г. продолжилось снижение удельного веса проб питьевой воды в распределительной сети, не соответствующих гигиеническим нормативам по санитарно-химическим показателям до 13,9%; по микробиологическим показателям удельный вес проб воды остался на уровне 2018 г. – 0,9%.

Среднеобластной показатель удельного веса проб питьевой воды из распределительной сети, не соответствующих требованиям гигиенических нормативов по санитарно-химическим показателям (13,9%), по итогам 2019 г. превышен на 17-ти административных территориях области, а по микробиологическим (0,9%) – на 7-ми (табл.) [2].

Таблица

Доля проб воды, не соответствующих гигиеническим нормативам, %

№ п/п	Административная территория области	Санитарно-химические показатели	Микробиологические показатели
1	2	3	4
1	Аннинский район	38,9	–
2	Бобровский район	22,3	–
3	Бутушлиновский район	58	–
4	Верхнехавский район	15,8	1,2
5	Кантемировский район	80	1,9
6	Каменский район	21,7	–
7	Лискинский район	17,7	–
8	Новоусманский район	14,2	–
9	Ольховатский район	58,8	–
10	Павловский район	23,4	1,3
11	Поворинский район	30,5	–

Окончание таблицы

1	2	3	4
12	Панинский район	74,4	–
13	Подгоренский район	23,4	1,8
14	Рамонский район	28,1	1,1
15	Таловский район	33,2	–
16	Терновский район	48	–
17	Хохольский район	23	–
18	Борисоглебский городской округ	–	5,1
19	Калачеевский район	–	2,4

Приоритетными загрязнителями источников нецентрализованного водоснабжения остаются нитраты, также отмечается превышение нормативов по общей жесткости. Превышения по микробиологическим показателям регистрировались в пробах питьевой воды в Аннинском, Верхнемамонском, Калачеевском, Новоусманском, Подгоренском, Россошанском, Таловском, Терновском районах, городском округе г. Воронеж и Борисоглебском городском округе.

По данным регионального информационного фонда социально-гигиенического мониторинга приоритетными загрязняющими веществами в питьевой воде систем централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, содержание которых в пробах питьевой воды превышало гигиенические нормативы, являлись: соли общей жесткости, железо, марганец, нитраты, бор.

Источники нецентрализованного питьевого водоснабжения традиционно являются причиной повышенного риска загрязнения и повышенного внимания органов санитарно-эпидемиологического надзора. В 2019 г. в Воронежской области насчитывалось 172 источника нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, из них 148 (86%) – в сельской местности. Качество питьевой воды в источниках нецентрализованного водоснабжения в динамике за последние три года улучшилось по санитарно-химическим показателям и ухудшилось по микробиологическим.

Доля проб воды нецентрализованного питьевого водоснабжения с превышением гигиенических нормативов по санитарно-химическим показателям снизилась на 9,5% (с 49,2% в 2018 г. до 39,7% в 2019 г.), по микробиологическим показателям увеличилась – на 4,7% (с 6,3% в 2018 г. до 11,0% в 2019 г.) [1].

Из-за неэффективности работы очистных сооружений идёт загрязнение сточными водами рек Битюг, Хопёр, Девица, Дон.

Основные экологические проблемы Воронежской области связаны с эксплуатацией водных ресурсов: это нарушения при работе очистных сооружений, вызывающие рост загрязнения рек, а также обмеление и исчезновение водоемов. Такие выводы следуют из доклада о состоянии окружающей среды в 2019 г., опубликованного областным департаментом природных ресурсов и экологии.

Большую часть проблем специалисты связывают с использованием водных ресурсов. Объем сброса сточных вод в 2019 г. составил 229 млн м³

(чуть меньше уровня 2018 г.), при этом растет доля недостаточно очищенных стоков (со 118,8 млн м³ до 119,2 млн м³).

В реки региона в 2019 г. слили свыше 120 тыс. т загрязняющих веществ (для сравнения в 2018 г. – 114 тыс. т). Основные источники загрязнения – ООО «РВК-Воронеж», ООО «Левобережные очистные сооружения» и пять предприятий в районах. За год значительно вырос сброс в реки марганца (более чем втрое), но по остальным веществам рост не превышает 30%. Зато почти вдвое уменьшился сброс фенола, наполовину – трехвалентного хрома, никеля, кадмия.

Самым загрязненным водоемом остается Воронежское водохранилище, состояние воды в котором оценивается от «загрязненного» до «грязного». Это можно объяснить огромной промышленной нагрузкой и сниженными процессами самоочищения. Уровень загрязнения вод р. Дон оценивается от «загрязненного» до «экстремально грязного».

На территории Воронежской области функционируют 40 очистных сооружений, но только некоторые из них периодически достигают установленных допустимых показателей нормативов качества сброса.

Качество питьевой водопроводной воды за год немного улучшилось по микробиологическим показателям. Зато по химическим показателям по-прежнему не соответствуют нормам: свыше 32% (а в Бобровском районе – свыше 73%) проб. На качестве сказываются прямые загрязнения, природное повышенное содержание железа, марганца и бора, а также загрязнение из-за изношенности сетей.

Отдельные воронежские реки из-за захламленности и зарастания могут полностью или почти исчезнуть, что может способствовать дальнейшим подтоплениям в половодье. Речь идет, к примеру, о реках Тавровке и Песчанке в левобережной части Воронежа. Так, р. Песчанка часто затапливает участок трассы Курск – Саратов. Есть проблемы и у крупных рек. Так, р. Дон в районе Кривоборья пострадала от размыва берега, а Воронеж у села Карачун в Рамонском районе – от строительства коттеджей: вынимаемый грунт смывался в реку и образовал остров, который сместил течение и вызвал дальнейшее обрушение берега.

Качество воды водных объектов, используемых для рекреационных целей, несколько снизилось. За последние три года доля проб воды из водоемов 2-й категории с превышением гигиенических нормативов по микробиологическим и паразитологическим показателям возросла с 10,4 до 13,0%, и с 0,2 до 0,9% соответственно.

Однако в последние годы активно проводятся работы по расчистке русел, экологической реабилитации водоемов и берегоукрепительные работы. Тем не менее, на состояние водных объектов продолжает оказывать негативное воздействие неудовлетворительное состояние и отсутствие эффективного комплекса систем обеззараживания на большинстве очистных сооружений.

Таким образом, поверхностные воды являются наиболее важным природным ресурсом, так как используются в питьевых и хозяйственных целях,

обуславливая тем самым размещение населения. На них влияют природные и антропогенные факторы. В последнее время поверхностные воды испытывают сильную антропогенную нагрузку. Наиболее существенные изменения в водных объектах происходят в районах промышленно-селитебных зон.

Библиографический список

1. Оразгулыева А. А. Воспроизводство и использование природных ресурсов в Воронежской области // Научно-методический электронный журнал «Концепт» [Электронный ресурс]. – URL: <http://e-koncept.ru/2016/46119.htm> (дата обращения: 15.03.2020).
2. Доклад о природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2019 году / Управление экологии администрации городского округа город Воронеж / под редакцией Н. В. Ветер. Воронеж, 2020. 53 с.

МЕХАНИЗМЫ САМООЧИЩЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ ЮГА ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Д. Е. Даниленко, Д. Р. Рубик

*Дальневосточный государственный университет,
danilenko.de@students.dvfu.ru; rubik.dr@students.dvfu.ru*

В статье рассмотрена проблема антропогенного воздействия муссонного климата на механизмы самоочищения водохранилищ юга Приморского края.

Ключевые слова: процессы самоочищения, биоценоз, процессы в водохранилищах при паводках, муссонный климат, Пионерское водохранилище.

Процессы самоочищения водоема изучаются с разных позиций. Эти процессы изучают гидрологи, гидрохимики, санитарные гидробиологи. Рассматривается участие биоценозов в распаде органических веществ (Камшилов, 1973), закономерности разбавления и осаждения веществ, загрязняющих водоемы (Вельнер и др., 1965), пути превращения химических веществ в реках и водохранилищах (Каплин и др., 1970, 1973) [1].

С. М. Драчев (1964) рассматривает самоочищение, как совокупность процессов, в основном биохимического порядка, в итоге ведущих к восстановлению природных свойств водоема. О. А. Алекин (1970) определяет самоочищение водоема, как совокупность всех процессов, направленных на восстановление первоначального химического состава воды. Самоочищение трактуется и как совокупность процессов смешения, осаждения и превращения веществ, загрязняющих водоемы (Айтсам, Вельнер, Пааль, 1965). Самоочищением называется совокупность всех природных процессов, направленных на восстановление первоначальных свойств и состава воды [1].

Рассмотрим варианты решения проблемы.

1. Процесс самоочищения водоемов происходит благодаря следующим процессам.

1.1. Разбавление паводковых вод водой водоема. Здесь имеет важность то, что для Приморского края характерен муссонный климат. В Приморском крае преобладает циркуляция атмосферы, то есть в зависимости от времени года, на этой территории происходит изменение направления ветра. Муссон – это ветер, который летом дует с моря, а зимой с суши. Такой ветер может приносить с собой, как ужасную жару, морозы (-20—-27 градусов), так и обильные дожди (в среднем 800 мм осадков выпадает за лето) и грозы. Главной отличительной чертой муссонного климата можно назвать то, что в течение года может молниеносно меняться количество выпадающих осадков. В этом климате распределение осадков в период всего года очень неравномерно.

1.2. Седиментация (оседание) взвешенных нерастворенных веществ и яиц гельминтов.

1.3. Использование (поедание) органических веществ зоопланктоном, рыбами.

1.4. Химические превращения (окислительно-восстановительные, гидролиз и т. д.).

1.5. Биохимическое окисление растворенных, в том числе коллоидных, органических веществ биоценозом микроорганизмов.

2. Процессу самоочищения могут мешать различные факторы.

Зарегулирование водоема посредством строительства плотин, каналов и прочего. Оно может привести к: увеличению глубины, регулируемому режиму уровня; замедлению скоростей течения, что в свою очередь может приводить к: стратификации водоема (это приводит к: образованию слоя температурного скачка, образованию водных масс и слоев, изменению газового режима, образованию концентрированных сред); дополнительному осаждению взвешенных веществ (это приводит к увеличению прозрачности, заилению); цветению; увеличению площадей зарастания водоемов; исчезновению реофильных организмов, в том числе рыб; изменение продуктивности водоема; изменение биомассы зоопланктона и зообентоса; образование концентрированных сред.

2.2. Химическое загрязнение водоемов промышленными стоками, биогенными элементами, такими как: азот, фосфор и др.

2.3. Сброс в водоем воды высокой температуры.

2.4. Антропогенное разрушение биоценоза водоема (совокупность микроорганизмов, водорослей, зоопланктона, бентоса, высшей водной растительности и рыб).

Биоценоз – пластичная система, способная откликаться на изменяющиеся условия среды. Работы М. М. Камшилова и его учеников [2, 3] на модельных биоценозах показали характерную целостность и устойчивость сложившихся водных сообществ: на воздействие химических соединений они реагируют, как одно целое. М. М. Камшилов считает, что водные сообщества способны справляться с внешними помехами, выступая, как саморегулирующая система лишь в том случае, если она достаточно многообразна, а в осно-

ве саморегулирования лежит биотический круговорот водоема, т. е. те самые процессы, которые обуславливают ежегодно повторяющиеся циклы биологического продуцирования [1].

Многолетние исследования, проведенные в лаборатории биологии низших организмов Института биологии внутренних вод АН СССР под руководством М. М. Камшилова по изучению распада фенола в модельных системах водных организмов показали, что чем разнообразнее система организмов, тем полнее происходит распад соединений. Это свойство организмов дополнять друг друга М. М. Камшилов [2] назвал буферностью живой системы. Сложная система организмов лучше справляется с органическими и бактериальными загрязнениями, но вместе с тем менее реагирует на вносимые биогенные элементы; биотический круговорот в сложных системах более интенсивен [1].

В период паводков (весной и при сильных дождях) мутность воды в водоемах повышается, что вызывает затруднения в водоснабжении и заиливание водохранилища. При этом, помимо уменьшения объема водохранилища вследствие отложения на дне его осадка, заиливание вызывает также омертвление значительной части объема водохранилища вследствие значительной части объема воды в водоемах вследствие загрязнения ее придонного слоя, находящегося в непосредственном контакте с илом. Мутность воды в реках в различные времена года значительно изменяется, причем обычно она резко возрастает весной в период паводка. Наименьшая мутность речной воды наблюдается в зимнее время, когда река покрыта льдом.

Средние значения по цветности и мутности воды пионерского водоема, которые предоставил водоканал Приморского края. С помощью, которых были построены графики (рис. 1, 2) изменения цветности и мутности с период 01.07.2020 по 21.02.2021.

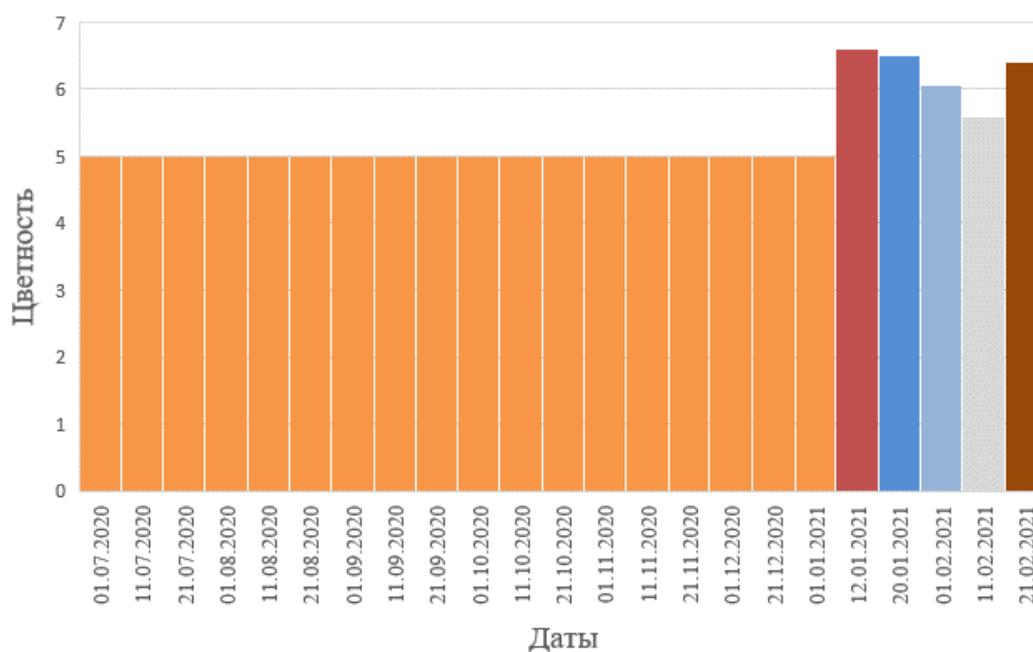


Рис. 1. График изменения цветности в Пионерском водоеме

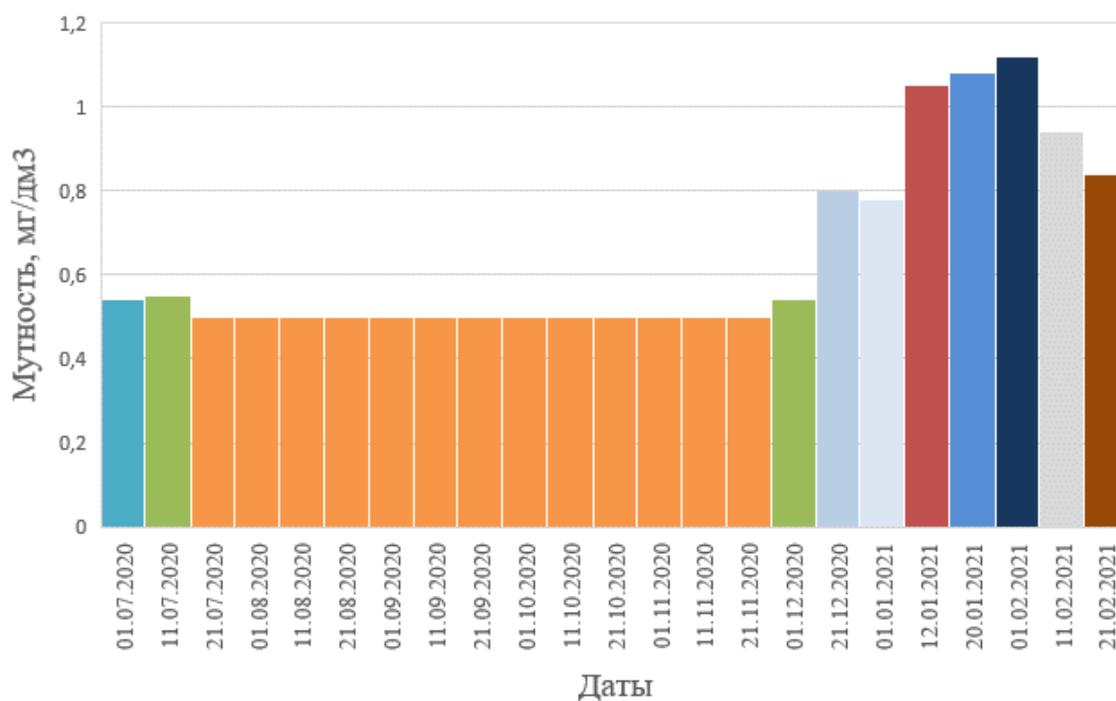


Рис. 2. График изменения мутности в Пионерском водоеме

Из графиков видно влияние муссонного климата и аномальной погоды на рубеже 2020 и 2021 гг. Кратковременные похолодания в ноябре (ледяной дождь) компенсировались локальным потеплением до плюсовых отметок уже в конце февраля.

Выпадение осадков были очень неравномерными и пришлись на последние два месяца зимы. Именно из-за неравномерности изменения температуры и выпадения обильных осадков началось таяние снега. Таким образом, талая вода, которая попадала в Пионерское водохранилище в течение этого периода, повлияла на изменения цветности и мутности, а также на многие другие химические показатели, что не характерно для этого водоема. Обычно наименьшая мутность наблюдается в зимний период, когда водохранилище покрыто льдом.

Библиографический список

1. Синельников В. Е. Механизм самоочищения водоемов. М. : Стройиздат, 1980. 111 с.
2. Камшилов М. М. Буферность живой системы // Журнал общей биологии. 1973. Т. 34. № 2. С. 174–193.
3. Влияние фенола на гидробионтов. Л. : Наука, 1973. 226 с.

ДИАГНОСТИКА РОДНИКОВОЙ ВОДЫ ПО ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИМ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

О. А. Ботяжова, Л. А. Белякова

*Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова,
botyazh@uniyar.ac.ru*

В статье представлены результаты оценки качества воды родников, активно используемых населением для питьевых целей. Применены методы биотестирования и физико-химического анализа. Выявлена токсичность нативной воды всех источников в зимний период 2019–2020 гг. Определен коэффициент разбавления родниковой воды до безопасного уровня водопользования по показателю выживаемости цериодафний. Установлено соответствие физико-химических свойств воды родников нормативам качества питьевой воды.

Ключевые слова: родниковая вода, биотестирование, летальность, *Ceriodaphnia affinis*, *Scenedesmus quadricauda*, токсичность, органолептические показатели, рН, жесткость.

Проблема обеспечения населения качественной питьевой водой является одной из самых актуальных, так как чистая вода – залог здоровья любого организма. В связи с глобальным загрязнением поверхностных вод в настоящее время водоснабжение населения все в большей степени ориентируется на подземные воды.

Ресурсная база подземных вод активно изучается в двух аспектах – это прогнозные ресурсы и запасы подземных вод. Прогнозные ресурсы подземных вод, оцениваемые по водоносным горизонтам, на территории Российской Федерации составляют 870,3 млн м³/сут. и их распространение крайне неравномерное. Наибольшая часть принадлежит Северо-Западному, Уральскому, Дальневосточному и Сибирскому федеральным округам. На территории Ярославской области прогнозные ресурсы подземных вод оценивают в 1123 тыс. м³/сут., что составляет 1,52% и 0,13% общего объема прогнозных ресурсов подземных вод соответственно Центрального федерального округа и России. Запас подземных вод (разведанная и изученная часть прогнозных ресурсов подземных вод, прошедших государственную экспертизу) на территории Ярославской области – 323,6 тыс. м³/сут., количество месторождений – 105, из которых 84 активно эксплуатируются. Степень освоения ресурсов и запасов – 5,2% и 4,3% соответственно. Ярославская область, относящаяся к Центральному федеральному округу, отнесена к административным регионам России, слабо обеспеченным кондиционными пресными подземными водами [1].

В условиях высокой техногенной нагрузки на поверхностные водотоки подземные воды являются альтернативой в качестве источников питьевой воды. Однако и они подвергаются антропогенному загрязнению, что влечет за собой целый ряд экологических и социальных последствий. Не возникает сомнений в необходимости комплексного контроля состояния подземных вод, тем более в местах, где они нередко являются практически единственным источником обеспечения населения питьевой водой высокого качества.

Цель настоящего исследования состояла в оценке качества родниковой воды, используемой населением для питьевых нужд.

Было проведено обследование воды 3 родников, расположенных вблизи города и пользующихся популярностью у городских и сельских жителей.

Родник «Иваньковский» в настоящее время находится на территории г. Ярославля (ранее деревня Иваньково), в зоне повышенного антропогенного влияния, в непосредственной близости к домам частного сектора, в 500 м от автодороги. Родник расположен в глубоком овраге недалеко от правого берега р. Волги. Высота водораздела – 101 м. Хорошо обустроен, заключен в металлический ящик, из которого выведена металлическая труба.

Родник «Гремячий» находится в пос. Карабиха, в парке отдыха «Нижний парк» (в долине р. Которосли). Расположен в зоне пониженного антропогенного влияния, а именно в рекреационной зоне, в 1 км от ближайшей автомобильной дороги (Трасса М 8). Родник вытекает из верховья оврага, разрезающего коренной берег водораздела, имеет значительный дебит – 1 л/с.

Родник садоводческого товарищества «Лесное» находится в поселке Красные ткачи на границе с деревней Ершово, в зоне повышенной антропогенной нагрузки, в 20 м от автомобильной дороги. Расположен в подошве первой правосторонней террасы р. Которосли. Высота водораздела – 104 м. Терраса заросла осокой, кустарником, подходы к роднику затруднены и неудобны. Вода стекает по металлической трубе в размытое водой углубление, а затем небольшим ручейком в р. Которосль. Дебит родника – 1 л за 5–6 с.

Все родники имеют широкую известность и активно используются жителями для хозяйственных целей, в первую очередь, для питьевых нужд, за водой часто приезжают с большим количеством емкостей.

Для контроля токсичности воды применяли метод биотестирования, основанный на определении изменений выживаемости ветвистоусых рачков *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg в кратковременном эксперименте за 48 ч в тестируемой пробе родниковой воды по сравнению с контролем. В качестве контроля и для культивирования цериодафний использовали биологизированную водопроводную воду.

До начала исследования качества родниковой воды проводили определение чувствительности тест-объекта к раствору эталонного токсиканта ($K_2Cr_2O_7$) в остром опыте продолжительностью 48 ч. По данным выживаемости цериодафний в зависимости от концентрации бихромата калия графическим методом выявляли медианную летальную концентрацию, позволяющую

использовать культуру для проведения биотестирования исследуемых проб родниковой воды.

Результаты биотестирования родниковой воды в зимний период 2019–2020 гг. показали, что нативная вода всех обследованных родников проявляла токсические свойства, вызывая гибель от 20 до 50% рачков. Следует подчеркнуть, что наибольшее токсическое влияние воды всех обследованных родников на выживаемость цериодафний проявлялось в декабре 2019 г., когда качество воды было близко к категории «очень токсичная», так как летальность тест-объекта приближалась к 50%. Сопоставление показателей гибели цериодафний в родниковой воде с данными контрольной пробы показало, что тестируемая вода являлась токсичной на протяжении всего времени наблюдения. В разные месяцы одного зимнего сезона 2019–2020 гг. токсичность изменялась в воде Иваньковского родника на 5–10%, в воде Карабахского родника на 1–3%, в воде родника посёлка Красные Ткачи на 1–5%. На основании сравнения показателей выживаемости рачков в воде разных родников можно заметить, что наименьшие токсические свойства проявляла вода из родника, расположенного в посёлке Карабиха, на что указывает степень разбавления нативной воды 1:1 до безопасного уровня водопользования. Для родников посёлка Красные ткачи и «Иваньковский» коэффициент безопасного разбавления составлял 1:4, но и при разведении нативной воды в 8 раз отмечали гибель 7–10% цериодафний.

Результаты биотестирования воды из указанных выше родников, совпадают с данными, полученными ранее в зимний период 2015–2016 гг., когда выживаемость рачков составляла от 50% до 70%, т. е. вода проявляла токсические свойства. Проведенное в этот же период биотестирование воды с использованием в качестве тест-объекта культуры пресноводной зеленой одноклеточной водоросли *Scenedesmus quadricauda* показало следующие результаты [2]. Вода родников «Иваньковский» и «Гремячий» (поселок Карабиха) обладала острой токсичностью, так как прирост численности клеток *S. quadricauda* в исследуемых пробах превышал порог в 25% по сравнению с контрольными пробами. Наряду с выраженным изменением численности водорослей были отмечены и морфологические нарушения колонии клеток. В культуре водорослей, помещенной в пробу тестируемой воды, появлялись ценобии, состоящие из 16 клеток, цвет водорослей изменялся со светло-зеленого на ярко-зеленый, появлялась мутность. Морфологические особенности, также, как и изменение коэффициента прироста в опыте по сравнению с контролем (токсикологический критерий), указывали на наличие токсического эффекта воздействия родниковой воды на водоросли *S. quadricauda*. Вода из родника садоводческого товарищества «Лесное» в посёлке Красные Ткачи по результатам биотестирования на водорослях не являлась токсичной.

Для оценки качества родниковой воды наряду с токсикологической характеристикой определяли органолептические (характер запаха, цветность, мутность) и обобщенные (рН, жесткость) показатели, при этом использовали

стандартные методы анализа [3], отмечали температуру окружающего воздуха, температуру воды и определяли расход воды из источника (дебит).

Наблюдения выявили, что органолептические показатели родниковой воды оставались одинаковыми на протяжении всего зимнего периода исследования. Вода родника «Иваньковский» была бесцветной, но в ней присутствовали частицы песка, которые оседали на дно сосуда, а также ощущался явный запах и привкус железа. Родниковая вода из источника «Гремячий» (Карабиха) была прозрачной, при этом имела слабожелтый оттенок, явный запах и привкус железа. Пробы воды из родника поселка Красные Ткачи были прозрачными, бесцветными, без осадка, не имели запаха и вкуса.

Присутствие незначительных количеств соединений железа, о чем свидетельствует привкус и цвет воды, можно предположительно объяснить тем, что места выхода исследованных источников не всегда оборудованы в соответствии с необходимыми требованиями, а именно отсутствуют каптажи родников, а металлические трубы, из которых вытекает родниковая вода, покрыты слоем ржавчины. Возможной причиной поступления железа в родниковую воду может быть коррозия водопроводных конструкций – распространенный источник антропогенного поступления железа в окружающую среду, в том числе и подземные воды.

Одной из основных характеристик природных вод, включая родниковые, является величина рН, оказывающая огромное влияние на протекание окислительно-восстановительных процессов, реакций гидролиза, комплексообразования и др. Значение водородного показателя для питьевой воды нормируется в диапазоне от 6,0 до 9,0 ед. [3]. Величина рН в воде обследованных родников за период исследований составляла 6,0–8,0 ед. в среднем, т. е. не выходила за пределы нормативных значений.

В оценке качества вод, используемых для питьевых целей, важную роль имеет показатель уровня общей жесткости. Максимальная величина жесткости, составлявшая 9,5–10,0 мг-экв./л, была характерна для воды родника «Иваньковский». В родниковой воде пос. Карабиха и пос. Красные Ткачи значения показателей общей жесткости находились соответственно в пределах 6,5–8,0 мг-экв./л и 3,5–6,0 мг-экв./л. На основании классификации природных вод по степени жесткости [3] родниковая вода «Иваньковского» источника относится к очень жесткой воде (> 9,0 мг-экв./л), источника «Гремячий» – к жесткой (6,0–9,0 мг-экв./л), источника пос. Красные Ткачи – к умеренно жесткой (3,0–6,0 мг-экв./л). Повышенное значение общей жесткости может быть связано с наличием большого количества солей кальция и магния в родниковой воде.

Все исследованные родники относятся к холодным, так как температура воды в них на протяжении всего периода наблюдений находилась в интервале от +4 до +10 °С [4], а по признаку движения поступающей воды [5] являются нисходящими, питающимися за счет безнапорных вод.

Таким образом, полученные данные позволяют заключить, что нативная вода родников «Иваньковский», «Гремячий» (пос. Карабиха) и родника

садоводческого товарищества «Лесное» у пос. Красные Ткачи, широко используемых для питьевых целей, проявляла токсические свойства, о чем свидетельствуют показатели летальности рачков *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg и коэффициент прироста численности зеленой одноклеточной водоросли *Scenedesmus quadricauda*. В течение всего периода исследования органолептические показатели родниковой воды являлись стабильными, величина pH не выходила за пределы нормативных значений. Родниковые воды всех источников имеют высокую степень жесткости.

Важно подчеркнуть, что в целях предотвращения негативного влияния на здоровье, при использовании родниковых вод обследованных источников для питьевых нужд населению необходимо рекомендовать фильтрование воды с применением обычных бытовых сорбционных фильтров, а также ее кипячение в течение 5 минут для снижения степени жесткости. В природных условиях для сохранения чистоты подземных водоисточников необходимо устройство и оборудование каптажей родников, их правильное содержание, эксплуатация и наличие зон санитарной охраны [6].

Библиографический список

1. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М. : НИА-Природа, 2019. 290 с.
2. Ботяжова О. А., Болтанов А. А. Оценка качества родниковых вод как питьевых водоисточников // Экология и рациональное природопользование : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Ярославль, 2017. С. 35–40.
3. Орлова Т. Н, Базлов Д. А., Орлов В. Ю. Химия природных и промышленных вод : учеб. пособие. Ярославль : ЯрГУ, 2013. 120 с.
4. СанПиН 2.1.4.1074-01. «Гигиенические требования и нормативы качества питьевой воды». М. : Минздрав России, 2003.
5. Тугай А. М., Прокопчук И. Т. Водоснабжение из подземных источников: справочник. Киев : Урожай, 1990. 263 с.
6. Фрид Ж. Загрязнение подземных вод. М. : Недра, 1981. 304 с.

МЕТОДЫ БИОТЕСТИРОВАНИЯ В ОЦЕНКЕ ТОКСИЧНОСТИ ВОДЫ ИЗ РОДНИКОВ г. КИРОВА

Т. И. Кутявина¹, Е. М. Тизян¹, С. Г. Скугорева²
¹ Вятский государственный университет,
² Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
skugoreva@mail.ru

По результатам биотестирования дана оценка токсичности воды из родников г. Кирова. Биотестирование с *Paramecium caudatum* показало, что большинство исследуемых проб проявляют высокую и умеренную токсичность. Между токсичностью и содержанием в воде ионов кальция выявлена высокая корреляционная взаимосвязь ($r = 0,98–0,999$). Степень токсичности родниковой воды по тест-системе «Эколюм» можно охарактеризовать как допустимую.

Ключевые слова: вода, родники, токсичность, биотестирование, ионный состав.

В настоящее время в оценке состояния поверхностных и подземных вод широко используются методы биотестирования, которые направлены на определение интегральной токсичности. При этом использование разных тест-объектов позволяет с большой вероятностью выявлять возможное воздействие на биоту. Кроме того, происходит выявление чувствительных видов, наиболее перспективных для дальнейшего изучения исследуемых водных объектов [1].

Ранее нами проведены исследования особенностей химического и микробиологического состава воды из наиболее популярных у населения родников г. Кирова [2–5].

Цель данной работы: дать оценку токсичности воды из родников г. Кирова с использованием методов биотестирования, выявить ее взаимосвязь с ионным составом воды.

Объектом исследования служила вода из родников г. Кирова, отобранная 24 декабря 2020 г. и 9 февраля 2021 г.: Родник № 1 находится у Диорамы, № 2 – в Трифоновом монастыре, № 3 – в овраге Засора (рис.).

Массовую концентрацию ионов натрия, аммония, калия, магния, кальция, фторид-, хлорид-, нитрат- и сульфат-ионов в воде определяли методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер» (ФР.1.31.2008.01738 и ФР.1.31.2008.01724). Водородный показатель измеряли на рН-метре-иономере «Эксперт-001» потенциометрическим методом; электропроводность – на кондуктометре «Cond 340i» по РД 52.24.495-2005. Общую жесткость определяли расчетным путем.

Биотестирование родниковой воды проводили с использованием двух тест-организмов: бактериальной тест-системы «Эколюм» и простейших *Paramecium caudatum*.

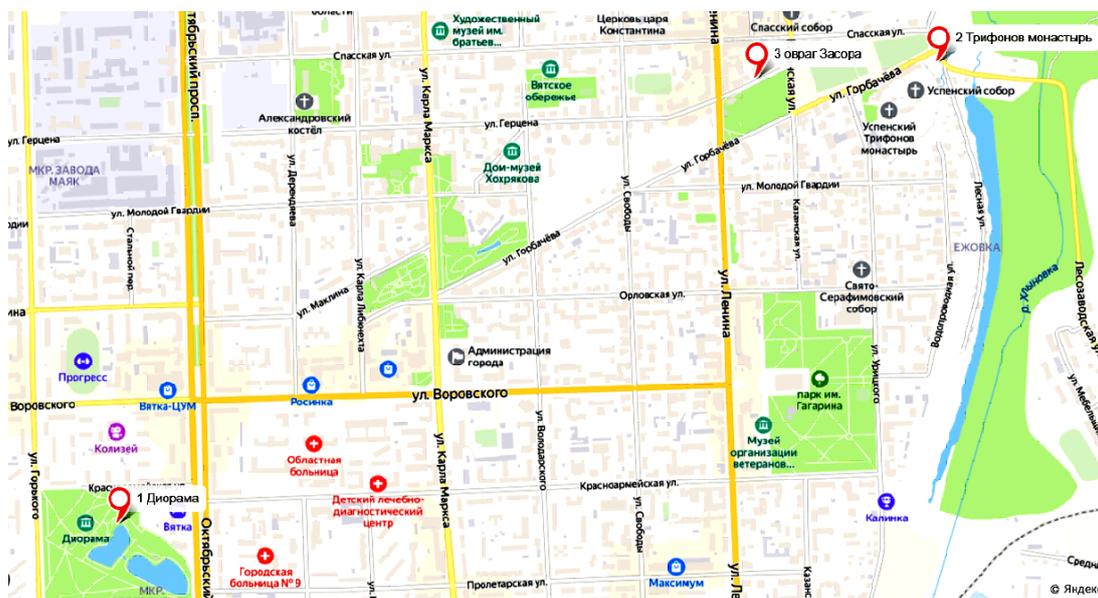


Рис. Карта-схема расположения родников в г. Кирове

Первый метод основан на измерении интенсивности биолюминесценции препарата лиофилизированных бактерий «Эколюм». Подготовку и тестирование проб воды проводили в соответствии с ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04, Т 16.1:2:3:3.8-04. Методика предполагает три пороговых уровня индекса токсичности (T): 1) допустимая степень токсичности образца, если $T < 20$; 2) образец токсичен, если $20 \leq T < 50$; 3) образец сильно токсичен, если $T \geq 50$.

Второй метод основан на хемотаксической реакции *Paramecium caudatum*. Согласно ФР.1.39.2005.19242 (ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2-98), количественная оценка токсичности выражается в виде индекса токсичности (T). По величине индекса анализируемые пробы делятся на 3 группы: I) допустимая степень токсичности ($0,00 < T < 0,40$); II) умеренная степень токсичности ($0,41 < T < 0,70$); III) высокая степень токсичности ($T > 0,71$).

В ходе химического анализа проб воды установлено, что по большинству показателей не отмечалось превышений нормативов (табл. 1). Превышения ПДК установлены лишь по содержанию нитрат-ионов в пробах воды из родника у Диорама (в 1,6–1,7 раза), а также в овраге Засора в феврале 2021 г. (в 1,5 раза). Кроме того, повышенными значениями жесткости характеризовались пробы воды из родника у Трифонова монастыря и в овраге Засора в феврале. В целом, декабрьские и февральские пробы воды различались по ионному составу не значительно. Ионы аммония и фторид-ионы в пробах воды не были определены с помощью метода ионной хроматографии.

Таблица 1

Электропроводность (χ , мкСм/см), pH (ед.), содержание неорганических ионов (мг/л) и жесткость (Ж, мг-экв./л) воды из родников г. Кирова

Отбор проб	Место отбора	χ	pH	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ж	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Декабрь 2020 г.	Диорама	566±28	8,3±0,1	75±11	н.о.	17±4	70±7	4,9	36±4	77±12	75±8
	Овраг Засора	687±34	8,0±0,1	54±8	11,9±1,8	18±4	83±8	5,6	24,6±2,5	30±5	64±6
	Трифонов монастырь	1080±50	8,1±0,1	80±12	н.о.	39±8	118±12	9,1	55±6	39±6	102±10
Февраль 2021 г.	Диорама	750±40	8,1±0,1	77±12	н.о.	19±4	83±8	5,7	38±4	73±11	64±6
	Овраг Засора	1000±50	8,0±0,1	81±12	12,1±1,8	26±5	113±11	7,8	52±5	67±10	88±9
	Трифонов монастырь	1070±50	8,0±0,1	80±12	н.о.	37±7	118±12	8,9	59±6	41±6	102±10
Норматив (по Сан-ПиН 1.2.3685-21)		–	6–9	200	–	50	–	10	350	45	500

Примечание: н.о. – не обнаружено с помощью метода ионной хроматографии; жирным шрифтом выделены значения, превышающие норматив.

Определение токсичности с помощью тест-системы «Эколюм» показало, что практически все пробы родниковой воды относятся к I группе токсичности, т. е. имеют допустимую степень токсичности (табл. 2). Высокий отрицательный показатель индекса токсичности родниковой воды, который, согласно методике измерений, приравнивается к нулевому значению T , свидетельствует о том, что пробы воды стимулируют биолюминесценцию бакте-

рий. Исключение составила лишь одна проба, отобранная в феврале 2021 г. из родника в овраге Засора. Данная проба относится ко II группе и является токсичной для тест-системы «Эколюм».

Таблица 2

Токсичность родниковой воды по тест-системе «Эколюм»

Отбор проб	Место расположения родника	Индекс токсичности T , усл. ед.	Группа токсичности / токсичность
Декабрь 2020 г.	Диорама	0 (-216,13)	I группа / допустимая степень токсичности
	овраг Засора	0 (-322,96)	
	Трифонов монастырь	0 (-240,92)	
Февраль 2021 г.	Диорама	0 (-682,16)	II группа / проба токсична
	овраг Засора	28,7±8,6	I группа / допустимая степень токсичности
	Трифонов монастырь	0 (-9,74)	

Согласно данным определения токсичности с использованием *Paramecium caudatum* (табл. 3), половина исследованных проб родниковой воды проявляла высокую степень (III группа токсичности), две пробы – умеренную (II группа), одна проба – допустимую степень токсичности (I группа). Вода из родника у Диорама имела относительно более низкие значения индекса токсичности. Наибольшие значения T определены для родниковой воды из оврага Засора и Трифонова монастыря в феврале 2021 г.

Таблица 3

Токсичность родниковой воды по реакции *Paramecium caudatum*

Отбор проб	Место расположения родника	Индекс токсичности T , усл. ед.	Группа / степень токсичности
Декабрь 2020 г.	Диорама	0,25±0,07	I группа / допустимая
	овраг Засора	0,47±0,13	II группа / умеренная
	Трифонов монастырь	0,71±0,19	III группа / высокая
Февраль 2021 г.	Диорама	0,60±0,16	II группа / умеренная
	овраг Засора	0,91±0,24	III группа / высокая
	Трифонов монастырь	0,93±0,25	

Для определения взаимосвязи токсичности воды по реакции *Paramecium caudatum* с ионным составом проб нами были рассчитаны коэффициенты корреляции (табл. 4). Установлено, что между токсичностью и электропроводностью воды существует довольно высокая корреляционная связь ($r = 0,97-0,991$), при этом среди проанализированных ионов особенно высоким был коэффициент корреляции с концентрацией ионов кальция ($r = 0,98-0,999$).

Коэффициенты корреляции (r) между токсичностью воды по реакции *Paramecium caudatum* и показателями ионного состава воды

Отбор пробы	χ	pH	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Ж	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Декабрь 2020	0,97	-0,61	0,23	0,91	0,98	0,95	0,66	-0,73	0,73
Февраль 2021 г.	0,991	–	0,95	0,84	0,999	0,96	0,97	-0,70	0,96

Примечание: χ – электропроводность, Ж – жесткость воды.

Таким образом, по результатам биотестирования воды с использованием простейших большинство исследуемых проб родниковой воды проявляют высокую и умеренную токсичность. Выявлена высокая корреляционная взаимосвязь между токсичностью и содержанием в воде ионов кальция ($r = 0,98–0,999$). Степень токсичности родниковой воды, определенная с помощью тест-системы «Эколюм», можно охарактеризовать как допустимую.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.

Библиографический список

1. Оценка состояния водных объектов методами биотестирования в зоне влияния промышленных предприятий (на примере Кирово-Чепецкого химического комбината) / А. С. Олькова, С. Г. Скугорева, Т. А. Адамович, Н. В. Вараксина, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 3. С. 46–52. doi: 10.25750/1995-4301-2011-3-046-052
2. Крюкова А. А., Скугорева С. Г. Оценка ионного состава воды из родников г. Кирова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. молодежи. Киров : ООО «Лобань», 2010. С. 247–249.
3. Изучение химического состава и содержания микроорганизмов в родниковой воде / С. Г. Скугорева, Л. И. Домрачева, А. И. Фокина, И. А. Домрачев // Вода: химия и экология. 2018. № 10–12. С. 23–29. doi: 10.18334/watchemec.11.10-12.23-29
4. Абдухалилов О. М., Тизян Е. М., Скугорева С. Г. Оценка качества родниковой воды г. Кирова по химическому составу // Химические проблемы современности 2020 : сб. материалов IV Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Донецк : ДонНУ, 2020. С. 32–35.
5. Тизян Е. М., Скугорева С. Г. Анализ ионного состава воды из родников г. Кирова // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2020. С. 27–31.

ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ФТОРИД-ИОНОВ ПРИ ФИЛЬТРОВАНИИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

С. В. Чикишев¹, С. Г. Скугорева²

¹ *Вятский государственный университет*

² *Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
skugoreva@mail.ru*

Установлено, что фильтрация через бытового фильтра «Аквафор» является эффективным методом снижения концентрации фторид-, сульфат- и нитрат-ионов при относительно низком их исходном содержании в питьевой воде.

Ключевые слова: питьевая вода, неорганические анионы, фторид-ионы, фильтрация.

Фтор является важным микроэлементом для человека. Его основная роль – укрепление костной ткани и зубной эмали. Всемирная организация здравоохранения определяет норму по концентрации фторид-ионов в питьевой воде в диапазоне 0,5–1,5 мг/л [1]. Повышенное содержание фтора в питьевой воде способно вызывать токсические эффекты [2] и разрушение костей и зубов [3]; пониженная концентрация фторид-ионов провоцирует кариес [4]. Поэтому мониторинг качества питьевой воды является одной из мер по профилактике заболеваний, связанных с этим элементом [5].

Цель работы – проверить эффективность фильтрации через бытового фильтра как одного из методов снижения концентрации фторид-ионов и других неорганических анионов в питьевой воде.

В качестве объекта исследования использовали водопроводную воду из пгт Арбаж Кировской области (пробы 1 и 2), в которой ранее было обнаружено содержание фторид-ионов [6], превышающее их предельно допустимую концентрацию (ПДК), равную 1,2 мг/л [7].

В начале проводили анализ проб воды на содержание фторид-, хлорид-, сульфат- и нитрат-ионов методом ионной хроматографии на хроматографе «Стайер» [8], затем осуществляли фильтрацию воды через бытового фильтра «Аквафор» и снова проводили хроматографический анализ.

Результаты химического анализа проб представлены в таблице. В целом, водопроводная вода пгт Арбаж характеризовалась относительно низким содержанием неорганических анионов. Пробы 1 и 2 незначительно различались по ионному составу. Различия можно объяснить тем, что забор воды происходит из разных подземных скважин.

После фильтрации концентрация фторид-ионов в пробе 1 снизилась в 2,8 раза, а в пробе 2 снижение было незначительным. Концентрация хлорид-ионов после фильтрации обеих проб даже несколько увеличилась (в пределах погрешности измерения). Содержание сульфат-ионов в пробах 1 и 2 после

фильтрации снизилось в 4,0 и 2,0 раза соответственно. Фильтрация привела и к снижению концентрации нитрат-ионов в воде в 6,4–6,8 раза.

Таблица

Влияние фильтрации на концентрацию анионов (мг/л) в воде

Проба	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Проба 1	0,48±0,07	7,6±0,8	28,9±2,9	1,59±0,24
Проба 1 Ф	0,170±0,026	8,6±0,9	7,2±0,7	0,25±0,04
Проба 2	0,38±0,06	7,9±0,8	21,1±2,1	1,98±0,30
Проба 2 Ф	0,36±0,05	10,2±1,0	10,4±1,0	0,29±0,04

Примечание: Ф – фильтрация.

Таким образом, фильтрация через бытовой фильтр является эффективным методом снижения концентрации фторид-, сульфат- и нитрат-ионов при относительно низком их исходном содержании в питьевой воде.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.

Библиографический список

1. WHO Expert Committee on Oral Health Status and Fluoride Use. Fluorides and oral health. T. WHO technical report series 846. Geneva : World Health Organization, 1994. 37 p.
2. Жукова А. Г. Современные представления о молекулярных механизмах физиологического и токсического действия соединений фтора на организм // Медицина в Кузбассе. 2017. Т. 16. № 3. С. 4–11.
3. Бутвиловский А. В. Химические основы деминерализации и реминерализации эмали зубов // Вестник ВГМУ. 2011. Т. 10. № 1. С. 138–144.
4. Fundamentals of Dentifrice: Oral Health Benefits in a Tube. Mechanism of Action [Электронный ресурс] <https://www.dentalcare.com/en-us/professional-education/courses/ce410/fluoride-s-mechanism-of-action> (Дата обращения: 29.03.2021).
5. Содержание фторид-ионов в поверхностных водах урбанизированных территорий Московского региона / Д. Б. Петренко, О. А. Гладнева, К. А. Ворончихина, Н. В. Васильев // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 3. С. 65–72. doi: 10.25750/1995-4301-2017-3-065-072
6. Чикишев С. В., Скугорева С. Г. Ионный состав поверхностных и подземных вод пгт Арбаж Кировской области // Актуальные проблемы биологической и химической экологии : материалы VII Междунар. науч.-практ. конференции. М. : Изд-во ИИУ МГОУ, 2021. С. 362–366.
7. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения: 17.02.2020).
8. ФР.1.31.2008.01724. Методика выполнения измерений массовой концентрации фторид-, хлорид-, нитрат-, фосфат- и сульфат-ионов в пробах питьевой, минеральной, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии. М. : НПКиФ Аквилон, 2008. 16 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ВБЛИЗИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

Е. С. Долинина, Т. А. Адамович, Т. И. Кутявина
Вятский государственный университет, dolininakate28@gmail.com

В статье представлены результаты определения острой токсичности проб снега, отобранных на разном удалении от железной дороги, с использованием 2-х тест-организмов: бактерий *Escherichia coli* и низших ракообразных *Daphnia magna* Straus. По результатам тестирования с использованием *D. magna* все пробы снега не оказывают токсического действия. При тестировании с использованием *E. coli*, пробы, отобранные на расстоянии 50 и 100 м от железнодорожного полотна, оказывали токсическое действие, на расстоянии 500 и 1000 м были не токсичны.

Ключевые слова: снег, токсичность, *Daphnia magna* Straus, *Escherichia coli*.

В результате деятельности человека окружающая среда (ОС) претерпевает ряд изменений, испытывая большие антропогенные нагрузки. Одной из главных причин негативных последствий антропогенного воздействия является токсичность загрязняющих веществ для биоты. Существуют различные физические и химические методы определения токсичности компонентов ОС, но в последнее время стали широко использоваться и биологические методы, позволяющие оценить состояние живых организмов [1].

В настоящее время методы биотестирования востребованы, поэтому наблюдается бурное развитие подходов, критериев, методик определения интегральной токсичности [2]. Наиболее эффективным считается использование нескольких тест-организмов для установления токсичности [3–5].

Цель работы заключалась в определении токсичности проб снега, отобранных в 2018–2021 гг. вблизи железной дороги на территории г. Шахунья Нижегородской области.

Актуальность исследования заключается в том, что снег является информативным индикатором, позволяющим судить о загрязненности окружающей среды. Снег, как объект мониторинга, незаменим при установлении источников загрязнения, а также при определении области влияния различных загрязнений.

Отбор проб снега проводили в г. Шахунья Нижегородской области на участках, расположенных на расстоянии 50, 100, 500 и 1000 м от железной дороги.

При проведении тестирования использовали талую снеговую воду, профильтрованную через фильтр «белая лента». В работе был использован метод определения токсичности проб талой воды по изменению интенсивно-

сти бактериальной биолюминесценции тест-системы «Эколюм» [6]. Тест-система «Эколюм» представляет собой препарат лиофилизированных люминесцентных бактерий *Escherichia coli*. Методика тестирования основана на определении изменения интенсивности биолюминесценции бактерий при воздействии химических веществ, присутствующих в анализируемой пробе, по сравнению с контролем. Уменьшение интенсивности биолюминесценции пропорционально токсическому эффекту. Степень токсичности пробы определяется по величине индекса токсичности (T). Методика предполагает три группы токсичности: 1) допустимую, если $T < 20$; 2) образец токсичен, если $20 \leq T < 50$; 3) образец сильно токсичен, если $T \geq 50$.

Также в работе использован метод определения токсичности проб талой воды по смертности низших ракообразных *Daphnia magna* Straus в соответствии с [7]. Данная методика основана на определении смертности дафний при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой водной среде, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ. Критерием острой токсичности служит гибель 50% и более дафний за 96 ч в исследуемой воде при условии, что в контрольном эксперименте гибель не превышает 10%.

Результаты определения токсичности анализируемых проб талой воды с помощью тест-системы «Эколюм» представлены в таблице.

Таблица

Токсичность проб талой воды по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системы «Эколюм»

№ участка	Расстояние от железной дороги, м	Индекс токсичности (T), усл. ед.		
		2018 г.	2019 г.	2021 г.
1	50	19±6	28±8	63±7
2	100	11,4±3,4	18±5	58±8
3	500	9,9±3,0	11,3±3,4	0
4	1000	2,0±0,6	0	0

В ходе анализа было обнаружено, что индекс токсичности проб уменьшается в направлении от участка № 1 к участку № 4. Также было отмечено, что величина T увеличилась в 2019 и 2021 гг. по сравнению с 2018 г. Если в 2018 г. все отобранные пробы можно было охарактеризовать как нетоксичные, то в 2019 г. пробы, отобранные в 50 м от железнодорожного полотна, уже относились ко 2 группе токсичности, а в 2021 г. пробы с участков №№ 1 и 2 были сильно токсичными по реакции тест-системы «Эколюм».

Проведение тестирования с использованием *D. magna* показало, что все образцы снега, отобранные вблизи железной дороги в 2019 и в 2021 гг., были не токсичны, так как все дафнии спустя 96 ч остались живы. В пробах снега, отобранных в 2018 г., погибло 10% дафний, что также является допустимой степенью токсичности.

В целом, по результатам биотестирования талых вод, отобранных вблизи железной дороги на территории г. Шахунья, можно сделать вывод о достаточно высокой токсичности проб снега, отобранных в 50 м от железнодорож-

ного полотна и об уменьшении токсичности проб при удалении от железной дороги. Вероятно, полученный результат связан с тем, что загрязняющие вещества от транспорта, попадая в воздух, оседают на прилегающей к дороге территории (50, 100 м) и в значительно меньшем количестве переносятся на большие расстояния.

При анализе проб снега, отобранных вблизи железной дороги, тест-система «Эколюм» оказалась более чувствительной по сравнению с *D. magna*. Эти данные могут быть полезны при выборе наиболее информативных тест-организмов для оценки влияния загрязняющих веществ, поступающих от железнодорожного транспорта.

Библиографический список

1. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л. : Гидрометеиздат, 1985. 181 с.
2. Olkova A. S. Modern trends in the development of bioassay methodology of aquatic environments // Теоретическая и прикладная экология. 2018. № 3. С. 19–26. doi: 10.25750/1995-4301-2018-3-019-026
3. Гарипова Р. Биотестирование техногенных загрязнителей окружающей среды. М. : LAP Lambert Academic Publishing, 2011. 316 с.
4. Исследование выбросов подвижного состава железнодорожного транспорта по интенсивности загрязнения снежного покрова / С. В. Коркина, Я. В. Акименко, В. М. Рудкий, П. П. Пурыгин // Вестник СамГУЮ. Естественнонаучная серия. 2003. № 2. С. 127–134.
5. Котелевцев С. В. Экологическая токсикология и биотестирование водных экосистем. М. : ИНФРА-М, 2018. 998 с.
6. ПНД Ф Т 14.1:2:3:5.11-04. Методика определения интегральной токсичности поверхностных, в том числе морских, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных экстрактов почв, отходов, осадков сточных вод по изменению интенсивности бактериальной биолюминесценции тест-системой «Эколюм». М. : Министерство природных ресурсов РФ, 2004 (ред. 2010 г.). 16 с.
7. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.12-06. Методика измерений количества *Daphnia magna* Straus для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления методом прямого счета. ИС «Техэксперт: 6 поколение» Интранет, 2014. 39 с.

УГЛЕРОД-НЕЙТРАЛЬНЫЙ ЦИКЛ: РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ

К. С. Родыгин, К. А. Лоцман, Д. Е. Самойленко, В. П. Анаников
Санкт-Петербургский государственный университет, k.rodygin@spbu.ru

В настоящей работе рассмотрены проблемы и последствия переработки богатого углеродом сырья с образованием углекислого газа. В качестве альтернативного подхода предлагается углерод-нейтральный цикл, позволяющий построить экологически эффективную модель устойчивого производства.

Ключевые слова: углерод-нейтральный цикл, «зеленая химия» устойчивое развитие, E фактор, карбид кальция.

Создание устойчивых технологий – одно из приоритетных направлений в развитии существующих производств. Вследствие того, что фокус современной промышленной химии сместился с традиционных понятий о выходах химических реакций в сторону устойчивости, использование возобновляемого сырья, чистых технологий и переработка отходов выходят на передний план как в научной сфере, так и в повседневной жизни.

Поиск устойчивых решений для химических производств заслуживает особого внимания, так как он связан с жизненно важными областями: синтезом фармацевтических препаратов, получением строительных блоков в химии, полимеров и новых материалов. Большинство современных производств основано на использовании углеводородного сырья, которое применяется в том или ином виде как непосредственно в виде топлива, так и опосредованно, например, в качестве растворителей для проведения химических реакций. Использование углеводородного сырья сопряжено с несколькими очевидными проблемами: истощаемостью сырья, недоступностью сырья для многих стран, образованием отходов и огромным количеством углекислого газа.

По отношению к окружающей среде эффективность химических процессов, лежащих в основе химических производств, может быть выражена с использованием специально введенных основных величин: E фактора (отношение массы отходов к массе продукта) и атом-экономности (отношение молярной массы продукта к сумме молярных масс всех реагентов). Удивительно, но для большинства процессов тонкого органического синтеза E фактор достигает величин порядка 50, а в фармацевтических производствах – более 100 и 1000! То есть при синтезе 1 кг фармацевтической субстанции получается дополнительно около тонны отходов.

Ключевым подходом, позволяющим снизить E фактор, является использование атом-экономных реакций – таких процессов, в которых атомы реагентов соединяются вместе с образованием одного целевого или нескольких целевых продуктов без выделения каких-либо побочных веществ. Атом-экономные реакции позволяют избежать лишнего расхода элементов на «химическом уровне».

Второй проблемой современного промышленного химического сектора является зависимость от углеводородного сырья. Вопросы истощаемости и оставшегося времени доступности углеводородных ресурсов достаточно дискуссионны. Очевидным является другое: богатые углеродом ресурсы извлекаются с поверхности планеты и перерабатываются с использованием ключевой реакции окисления, продуктом которой является углекислый газ. Увеличение содержания углекислого газа в атмосфере ведет к увеличению общего содержания углерода над поверхностью планеты. Фактически идет перевод углерода в надповерхностный слой. Такой цикл не является углерод-нейтральным и уже приводит к существенным проблемам, а при дальнейшей реализации может привести к катастрофе. Решением данной проблемы может стать углерод-нейтральный цикл, при котором все необходимые атомы углерода черпаются из наземных источников (атмосфера, биомасса) или из отхо-

дов. Конечно, переработка отходов – дорогостоящий процесс, но, учитывая накопившиеся отвалы и критическое состояние углеродного цикла, именно такие процессы должны вытеснить углерод-зависимые технологии с промышленных площадок.

В настоящей работе предлагается разработанный в лаборатории авторов подход, сочетающий в себе как атом-экономность, так и углерод-нейтральный цикл. Подход заключается в получении и использовании карбида кальция – крупнотоннажного продукта химической промышленности [1]. Основная масса карбида перерабатывается в ацетилен – простейший алкин с тройной связью. Молекула ацетилена уникальна тем, что, посредством последовательных атом-экономных реакций присоединения, возможно получение огромного спектра продуктов разнообразной структуры и различных классов. В частности, в лаборатории авторов на основе карбида кальция были разработаны подходы к получению виниловых О- [2, 3], S- [4], N- [5] производных [6], гетероциклических субстратов [7, 8], полимеров [9], а также меченых соединений [10, 11]. Такой широкий круг реакций позволяет сделать вывод о том, что карбид кальция можно использовать напрямую, минуя стадию выделения газообразного ацетилена, во многих реакциях органического синтеза [12] и, следовательно, производственных процессах [13]. Это полностью отвечает не только принципу атом-экономности, но и основным принципам «зеленой химии»: карбид безопасен в работе в сравнении с газообразным ацетиленом, его можно синтезировать из продуктов переработки биомассы (а не из нефти, как в случае с ацетиленом).

Кроме того, карбид может быть получен по замкнутой технологии [14]. Для синтеза необходим источник углерода и карбонат кальция. Далее карбид реагирует с водой с выделением ацетилена и образованием гидроксида кальция. Гидроксид кальция при нагревании теряет воду с образованием оксида кальция, который может быть вновь использован в производстве карбида. Таким образом, один и тот же оксид кальция можно использовать несколько раз, без необходимости добычи мела в шахтах. В свою очередь ацетилен расходуется на промышленные нужды, и после окончания срока годности материалов, полученных на его основе минерализуются с дальнейшим преобразованием в возобновляемую биомассу. Отходы переработки биомассы содержат большое количество углерода, который может быть далее использован в синтезе карбида.

Таким образом, применение карбида кальция в различных системах представляет собой перспективный многообещающий подход. Ключевыми преимуществами этого подхода является универсальность, атом-экономность и лежащий в основе углерод-нейтральный цикл.

Библиографический список

1. Calcium Carbide: A Unique Reagent for Organic Synthesis and Nanotechnology / K. S. Rodygin, G. Werner, F. A. Kucherov, V. P. Ananikov // Chemistry – An Asian Journal. 2016. Vol. 11. P. 965–976. doi: 10.1002/asia.201501323

2. A solid acetylene reagent with enhanced reactivity: fluoride-mediated functionalization of alcohols and phenols / G. Werner, K. S. Rodygin, A. A. Kostin, E. G. Gordeev, A. S. Kashin, V. P. Ananikov // *Green Chemistry*. 2017. Vol. 19. P. 3032–3041. doi: 10.1039/C7GC00724H
3. Rodygin K. S., Werner I., Ananikov V. P. A Green and Sustainable Route to Carbohydrate Vinyl Ethers for Accessing Bioinspired Materials with a Unique Microspherical Morphology // *ChemSusChem*. 2018. Vol. 11. P. 292–298. doi: 10.1002/cssc.201701489
4. Rodygin K. S., Ananikov V. P. An efficient metal-free pathway to vinyl thioesters with calcium carbide as the acetylene source // *Green Chemistry*. 2016. Vol. 18. P. 482–486. doi: 10.1039/C5GC01552A
5. Rodygin K. S., Bogachenkov A. S., Ananikov V. P. Vinylation of a Secondary Amine Core with Calcium Carbide for Efficient Post-Modification and Access to Polymeric Materials // *Molecules*. 2018. Vol. 23. P. 648. doi: 10.3390/molecules23030648
6. Ledovskaya M. S., Voronin V. V., Rodygin K. S. Methods for the synthesis of O-, S- and N-vinyl derivatives // *Russian Chemical Reviews*. 2018. Vol. 87. P. 167–191. doi: 10.1070/RCR4782
7. [3 + 2]-Cycloaddition of in Situ Generated Nitrile Imines and Acetylene for Assembling of 1,3-Disubstituted Pyrazoles with Quantitative Deuterium Labeling / V. V. Voronin, M. S. Ledovskaya, E. G. Gordeev, K. S. Rodygin, V. P. Ananikov // *The Journal of Organic Chemistry*. 2018. Vol. 83. P. 3819–3828. doi: 10.1021/acs.joc.8b00155
8. Ledovskaya M. S., Rodygin K. S., Ananikov V. P. Calcium-mediated one-pot preparation of isoxazoles with deuterium incorporation // *Organic Chemistry Frontiers*. 2018. Vol. 5. P. 226–231. doi: 10.1039/C7QO00705A
9. Kirillov E., Rodygin K., Ananikov V. Recent advances in applications of vinyl ether monomers for precise synthesis of custom-tailored polymers // *European Polymer Journal*. 2020. Vol. 136. P. 109872. doi: 10.1016/j.eurpolymj.2020.109872
10. Efficient labeling of organic molecules using ¹³C elemental carbon: universal access to ¹³C₂-labeled synthetic building blocks, polymers and pharmaceuticals / M. S. Ledovskaya, V. V. Voronin, K. S. Rodygin, V. P. Ananikov // *Organic Chemistry Frontiers*. 2020. Vol. 7. P. 638–647. doi: 10.1039/C9QO01357A
11. Direct Synthesis of Deuterium-Labeled O-, S-, N-Vinyl Derivatives from Calcium Carbide / M. S. Ledovskaya, V. V. Voronin, K. S. Rodygin, A. V. Posvyatenko, K. S. Egorova, V. P. Ananikov // *Synthesis*. 2019. Vol. 51. P. 3001–3013. doi: 10.1055/s-0037-1611518
12. Calcium Carbide: Versatile Synthetic Applications, Green Methodology and Sustainability / K. S. Rodygin, M. S. Ledovskaya, V. V. Voronin, K. A. Lotsman, V. P. Ananikov // *European Journal of Organic Chemistry*. 2021. Vol. 1. P. 43–52. doi: 10.1002/ejoc.202001098
13. Rodygin K. S., Lotsman K. A., Ananikov V. P. Calcium Carbide Looping System for Acetaldehyde Manufacturing from Virtually any Carbon Source // *ChemSusChem*. 2020. Vol. 13. P. 3679–3685. doi: 10.1002/cssc.202000760
14. Rodygin K. S., Vikenteva Y. A., Ananikov V. P. Calcium-Based Sustainable Chemical Technologies for Total Carbon Recycling // *ChemSusChem*. 2019. Vol. 12. P. 1483–1516. doi: 10.1002/cssc.201802412

ТОНКАЯ ОЧИСТКА СТОКОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО НИКЕЛИРОВАНИЯ

Е. С. Кобликов, С. В. Хитрин
Вятский государственный университет,
moonlight43rus@mail.ru, tzb_khitrin@vyatsu.ru

Рассматривается глубокая очистка стоков от ионов никеля, с последующей доочисткой с использованием гидролизного лигнина. Выявлены оптимальные параметры проведения опытов, а также дальнейшая переработка образующихся продуктов очистки.

Ключевые слова: очистка разбавленных стоков, электрохимическое никелирование, щелочь, диметилглиоксим, лигнин.

Гальванические производства, наряду с предприятиями цветной металлургии, являются одним из наиболее опасных источников загрязнения окружающей среды, главным образом поверхностных и подземных водоемов, ввиду образования большого объема сточных вод, которые содержат вредные примеси тяжелых металлов (ТМ) и других высокотоксичных соединений. Соединения ТМ, которые выносятся сточными водами гальванического производства, влияют на экосистему водоем – почва – растение – животный мир – человек [1].

Тяжелые металлы, поступающие из техногенной сферы в окружающую среду, в том числе и в водоемы, а через питьевую воду и пищу – в организм человека, помимо токсического действия обладают канцерогенным (вызывают злокачественные новообразования), мутагенным (изменения наследственности) и тератогенным действием (уродства у рождающихся детей).

Токсичность никеля связана с попаданием в организм, прежде всего, его свободных ионов Ni^{2+} . Они проявляют более высокую токсичность и канцерогенность, чем его малорастворимые и молекулярные и комплексные соединения [1].

Металлический никель, связанный кристаллической решеткой стали или сплава, не контактирующий непосредственно с человеческим телом вреда здоровью не причиняет при соблюдении основных правил техники безопасности и организации мест хранения [1].

Задача получения практически нерастворимых соединений никеля, пригодных для использования в производстве, целесообразно решать с применением органических комплексообразователей. Например, при взаимодействии ионов никеля с диметилглиоксимом [2] (ДМГ) образуется внутриклеточное соединение диметилглиоксимат никеля – малорастворимое в воде соединение. Диметилглиоксимат никеля $Ni(C_4H_6N_2O_2)_2$ – плохо растворимый в воде хелатный комплекс Ni(II), дополнительно стабилизирован за счет внутримолекулярных водородных связей [2].

Реакция, протекающая по уравнению, представленному на рисунке 1, требует подщелачивания для смещения равновесия вправо.

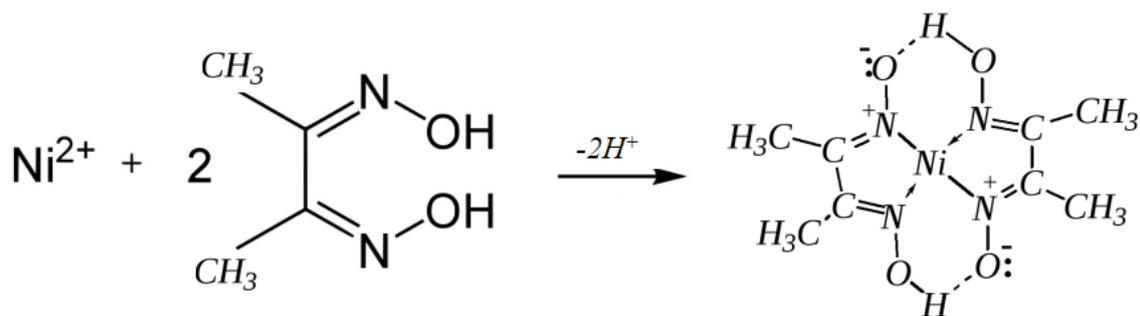


Рис. 1. Реакция взаимодействия ДМГ и никеля

Для того чтобы реакция шла в желаемом направлении в количественном анализе ее обычно проводят в присутствии аммиака или ацетата аммония. В этих условиях примеси железа и алюминия могут выпадать в осадок.

В таблице 1 приведены данные опытов по взаимодействию никельсодержащих стоков и диметилглиоксима.

Таблица 1

Результаты очистки никельсодержащих стоков

№ опыта	pH	g(Ni), г/л	V ДМГ, мл	g(Ni) в фильтрате, г/л	Степень очистки, %
1	8,3	1,85	1,2 (1:2)	0	100
2			2,1 (1:3,5)	0	100
3			3,6 (1:6)	0	100
4	7,5	1,00	0,6 (1:2)	0,029	97,1
5		2,00	1,2(1:2)	0,035	98,25
6		3,01	1,8 (1:2)	0,059	98,04
7	7,5	2,39	0,3 (1:1)	0,93	61,08
8				0,69	71,12
9				0,56	76,57
10	7	1,23	10 (1:7)	0,14	88,62
11	7	1,48	5 (1:3,5)	0,05	96,62
12	7,5	1,39	5 (1:3,5)	0,01	99,28

Объем исходной пробы был равен 10 мл.

Из таблицы 1 видно, что при более высоком pH степень очистки приближается к 100%. Из данных таблицы можно сделать вывод, что добавление диметилглиоксима в соотношении меньшем, чем 1:2 нецелесообразно. На степень очистки влияет и исходная концентрация раствора, при концентрации от 1 до 2 г/л достигается наиболее надежная очистка.

Были проведены опыты по очистке в зависимости от времени осаждения, данные приведены в таблице 2.

**Результаты очистки никельсодержащих стоков
в зависимости от времени осаждения**

№ опыта	pH	V пробы, мл	g(Ni), г/л	V ДМГ, мл	Время осаждения, мин	g(Ni) в фильтрате, г/л	Степень очистки, %
1	7,5	10	1,73	1,1 (1:2)	10	0,059	96,59
360 (6 ч)					0,014	99,19	
1440 (24 ч)					0	100	
4	7,5	50	1,16	3,6 (1:2)	4320 (72 ч)	0	100

Из таблицы 2 видно, что время осаждения диметилглиоксимата никеля отстаиванием также влияет на степень очистки: чем дольше, тем лучше, но после отстаивания уже заметно не влияет. После того как отфильтрованный раствор из опытов 1 и 2 постоял сутки в нем образовалось еще некоторое количество осадка, после повторной фильтрации концентрация никеля снизилась до трудноопределяемой, соответственно степень очистки приближается к 100%.

Хотя достигнуты хорошие показатели очистки, не во всех случаях удается достичь ПДК. Мы предлагаем использовать при необходимости доступную доочистку. Предлагается использовать для хемосорбционной доочистки никельсодержащих стоков лигнин – массовый отход гидролизных производств.

Лигнин – это вещество, характеризующее одревесневшие стенки растительных клеток. Сложное полимерное ароматическое соединение, содержащееся в клетках сосудистых растений и некоторых водорослей. Одревесневшие клеточные оболочки обладают ультраструктурой, которую можно сравнить со структурой железобетона: микрофибриллы целлюлозы по своим свойствам соответствуют арматуре, а лигнин, обладающий высокой прочностью на сжатие – бетону [3].

В методе используется гидролизный лигнин, активированный путем щелочной обработки с последующей отмывкой. Фрагменты замещенных фенолпропеновых спиртов, как основные структурные единицы гидролизного лигнина – идеальные центры координации для ионов никеля.

Также для сравнения был взят полифан партии № 1386 промытый 0,1N раствором соляной кислоты.

В таблице 3 представлены результаты доочистки разбавленных стоков с наиболее низкой концентрацией никеля.

Из таблицы 3 можно сделать вывод, что при малых концентрациях никеля степень доочистки приближается к 100%. Также видно что гидролизный лигнин лучше подходит для доочистки разбавленных стоков с концентрацией до 1 г/л. Скорее всего это связано с разрушением фрагментов полезных структур природного лигнина при дополнительной щелочной переработке при повышенных температурах и в процессе получения полифана из гидролизного лигнина после кислотной варки.

Результаты доочистки разбавленных никельсодержащих стоков

Наполнение колонки	№ опыта	g(Ni ²⁺) начальная, г/л	g(Ni ²⁺) конечная, г/л	Объем раствора, мл	Время пропускания, мин
Лигнин гидролизный	1	0,029	0	30	2,23
	2	0,47	0		2,35
	3	1,04	0,31		2,15
Полифан	1	0,029	0		2,00
	2	0,47	0,026		1,50
	3	1,04	0,36		1,02

Активацию и регенерацию отработанного гидролизного лигнина после достижения равновесной сорбции желательнее проводить щелочным раствором при нормальных условиях

Таким образом, показано, что эффективным методом очистки разбавленных никелевых стоков является связывание ионов никеля Ni²⁺ в устойчивый комплекс под действием двукратного избытка диметилглиоксима при рН 7,5–8,3 ед. и гравитационным удалением диметилглиоксимата никеля. Гарантированную доочистку при необходимости можно проводить с использованием отходов гидролизного лигнина с щелочной регенерацией и активацией.

Библиографический список

1. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство / под ред. проф. В. Н. Кудрявцева. М. : Производственно-издательское предприятие «Глобус», 1998. 302 с.
2. Способ очистки сточных вод от никеля: пат. 2010012 Рос. Федерация № 5005020/26 / Бушковский А.Л.; заявл. 09.10.1991; опубл. 30.03.1994.
3. Родионов А. И., Клушин В. Н., Систер В. Г. Технологические процессы экологической безопасности // Основы энвайронменталистики : учебник для студентов технических и технологических специальностей. 3-е изд., перераб. и доп. Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2000. 800 с.

**ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОНЕНТА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ ГИПСОВОГО СВЯЗУЮЩЕГО ПРИ УТИЛИЗАЦИИ
ОТХОДОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Н. Е. Суксин, В. Г. Петров

*Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН,
nutrelun@mail.ru, petrov@udman.ru*

В работе показана возможность получения компонента строительных материалов на основе гипсового связующего из отходов гальванического производства по нанесению цинковых покрытий. Для переработки гальваношлама был применен гидрометаллургический процесс с использованием растворов серной кислоты.

Ключевые слова: гипсовое связующее, отходы гальванического производства, утилизация.

Промышленные выбросы соединений тяжелых металлов, являются актуальной проблемой для г. Ижевска, поскольку Удмуртская Республика является индустриально развитым регионом с большой долей производств в области приборостроения и металлообработки. Главной причиной загрязнения окружающей среды (ОС) являются отходы гальвано-химических производств, в частности отходы производств нанесения цинковых покрытий.

В настоящий момент принято решение о создании 6-ти производственно-технологических комплексов (ПТК) по обезвреживанию и утилизации отходов I и II классов опасности. Часть жидких отходов гальвано-химических производств планируется обезвреживать на таких предприятиях.

Однако имеется большое количество твердых и пастообразных отходов, относящихся к III классу опасности, с высоким содержанием цветных металлов, обезвреживание и утилизация которых не рассматривается на ПТК. Такие отходы образуются на предприятиях при нейтрализации промывных вод гальванических производств, а также при нейтрализации отработанных электролитов. Образующиеся осадки сушатся и вывозятся на полигоны твердых бытовых отходов, где могут попадать в ОС. При этом теряется значительное количество ценных компонентов, которые можно было бы вернуть в хозяйственный оборот. В работе рассматривается возможность получения компонента строительных материалов на основе гипсового связующего из отходов гальванического производства по нанесению цинковых покрытий [1].

Применение гипсовых связующих в качестве материалов строительных конструкций является перспективным направлением утилизации отходов ввиду технологичности процесса получения, невысокой энергоемкости и простоты изготовления.

Для исследования процессов утилизации были предоставлены отходы гальванического производства нанесения цинковых покрытий, полученные при нейтрализации гидроксидом натрия смешанных кислотно-щелочных стоков с последующей сушкой образовавшихся осадков (табл.). Отходы были отнесены к III классу опасности [2].

Таблица

Состав отходов гальванического производства нанесения цинковых покрытий

Компонент	Содержание, %
Цинк	30
Железо	10
Хром	5

Для переработки отхода был применен гидрометаллургический процесс с использованием растворов серной кислоты. Навеску шлама растворяли в

1М растворе серной кислоты при нагревании. При этом растворимые соединения цинка, железа и хрома переходили в раствор в виде сульфатов [3].

Отделение железа от хрома и цинка проводили переводом его в Fe^{3+} с последующим осаждением. Для перевода железа в трехвалентное состояние в раствор, полученный после вскрытия отхода, добавляли последовательно 15–20% суспензии хлорной извести и гидроксида кальция до значений $\text{pH} = 1,5 - 2$ ед.. При этом образуется легкофильтруемая смесь гидроксида железа(III) и сульфата кальция. Реакция может быть записана в следующем виде:



Полученный осадок, состоящий из сульфата кальция и гидроксида железа(III), отфильтровывали, промывали и высушивали [4]. Фильтрат направляли на получение цинка и хрома.

После этого осадок выдерживали в течении 1 ч в муфельной печи при температуре 150–180 °С для получения полугидрата сульфата кальция. Полученный материал имеет свойства гипсового связующего, который может использоваться в строительстве в качестве добавок, из него могут быть получены различные изделия (рис.) [5].



Рис. Вид материалов на основе гипсового связующего, полученного при утилизации отходов нанесения цинковых покрытий

Таким образом, был разработан метод, который позволяет утилизировать промышленные отходы, образующиеся при нанесении цинковых покрытий на гальванических производствах, с получением компонента строительных материалов на основе гипсового связующего, состоящего из оксида железа и полугидрата сульфата кальция.

Библиографический список

1. Петров В. Г., Альес М. Ю., Шумилова М. А. Производственно-технологический комплекс «Камбарка» по переработке промышленных отходов, как важный элемент устойчивого развития межрегионального индустриального комплекса // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2019. С. 53–56.
2. Паспорт отходов I–IV классов опасности. Ижевск : ООО «Галс», 2020. 3 с.

3. Суксин Н. Е., Петров В. Г. Исследование процессов утилизации отходов гальванического производства // КоМУ-2020 : материалы XII междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. Ижевск, 2020. Т. 22. С. 179–183.

4. Петров В. Г., Суксин Н. Е. Утилизация твердых отходов гальванического производства по нанесению цинковых покрытий // Теоритическая и прикладная экология. 2020. № 4. С. 106–110. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-106-110

5. Воробчук В. А. Возможность получения гипсового вяжущего из отходов «Ангарский электролизный химический комбинат» // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2015. № 4. С. 126–132.

ВЫЯВЛЕНИЕ РОЛИ НЕФТЕОКИСЛЯЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

М. Э. Саттаров, Ж. Ж. Мусирмонов, А. А. Уринова, Х. Х. Аминов
Научно-исследовательский институт окружающей среды и
природоохранных технологий Республики Узбекистан,
m_sattorov@mail.ru

В статье выявлено местные штаммы микроорганизмов деструкторов углеводов. Изучена коллекция микроорганизмов, использующая эти загрязнители как единственный источник углерода, на их основе разработаны эффективные биотехнологии очистки вод нефтегазовой промышленности.

Ключевые слова: газоконденсат, диэтиленгликоль, микроорганизмы, деструкторы углеводов, бактерии, *Pseudomonas*, *Bacillus*, грибы, *Aspergillus*, *Clodossporium*.

Нефть и нефтепродукты не относятся к наиболее опасным для человека токсичным загрязнениям, однако в общей массе загрязнений они составляют большую долю, а, следовательно, и огромную долю в ущербе, наносимом природе. Попадая в водные объекты, они создают различные виды загрязнения: нефтяную пленку, плавающую на поверхности воды; растворенные или эмульгированные нефтепродукты; осевшие на дно водоема тяжелые нефтяные фракции. В результате происходит изменение вкуса, запаха, цвета, поверхностного натяжения и вязкости воды, снижается количество кислорода, вода приобретает токсические свойства и начинает представлять угрозу для биоты [1].

Наиболее интенсивному воздействию подвергаются водные объекты, сопряженные с территориями нефтедобывающих, нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий (НХП). Загрязняющие вещества от основных источников попадают в гидросферу, не только с организованными сбросами сточных вод производственных объектов, являясь недостаточно очищенными, но и с поверхностным склоновым (в период половодья и ливневых дождей) и подземным стоками [2, 3].

В связи с прогрессирующим загрязнением поверхностных вод разрушение нефти и нефтепродуктов с участием микроорганизмов приобретает особую актуальность. Поэтому поиск и создание коллекции культур, способных к деградации нефти, нефтепродуктов, диэтиленгликоля и других веществ имеют важное значение, так как позволяют развернуть исследования по экспериментальному получению микроорганизмов с расширенным спектром деструктивной активности. Нефтегазовая промышленность Узбекистана является одной из отраслей, где вопросы экологии окружающей среды приобрели в последние годы чрезвычайно острый характер [4].

Целью данной работы выявить местные штаммы микроорганизмов-деструкторов углеводородов, повысить их активность к высоким концентрациям загрязнителей.

Объектом исследований являлись неизученные в микробиологическом отношении сточные воды и почвы, содержащие нефть и нефтепродукты Шуртанского газоперерабатывающего завода.

Пробы сточной воды и почвы для микробиологического анализа отбирали из цехов и биопрудов, а также полей фильтрации Шуртанского газоперерабатывающего завода.

Микроорганизмы из сточных вод выделяли и учитывали согласно общепринятым микробиологическим методам посева на элективные питательные среды. Определяли следующие группы микроорганизмов: общее количество гетеротрофных бактерий выявляли на мясорыбопептонном агаре (РПА), нитрифицирующие – на среде Виноградского, денитрифицирующие – на среде Гильтая, сульфатредуцирующие – на среде Постгейта, мицелиальные грибы – на среде Чапека, углеводородокисляющие – на среде Раймонда, актиномицеты – на крахмало-аммиачном агаре (КАА) [5].

Нефтегазоперерабатывающие заводы относятся к наиболее водоемким промышленным производствам. В связи с прогрессирующим загрязнением воды и почвы стоками нефтегазовой промышленности проблема их разрушения с участием микроорганизмов приобретает особую актуальность. Нефть, газоконденсат, диэтиленгликоль (ДЭГ), содержащиеся в стоках, находятся в виде взвесей, эмульсий, а также в растворенном состоянии.

На первом этапе работы проводили эколого-систематический анализ природных штаммов микроорганизмов, окисляющих нефть и отходы газовой промышленности. Пробы сточных вод и почвы из Шуртанского газоперерабатывающего завода засеивали на РПА, КАА, среды Эшби, Чапека, Гильтая, Раймонда. На этих средах выросли колонии бактерий различной величины и цвета, а также микромицеты и актиномицеты. Постоянно выделяли спороносные и неспороносные бактерии.

Проведенное микробиологическое обследование стоков ГПЗ показало, что они содержат различную по своему составу микрофлору и их количество зависит от токсичности стока и времени отбора. Пробы отобрали в июле в жаркий период. Количества нитрифицирующих бактерий не превышала

10² кл./мл, в то же время численность денитрифицирующих бактерий достигала 10⁵ кл./мл.

Следует отметить, что независимо от места отбора пробы качественный состав микроорганизмов был очень однообразен. Поэтому нами было отобрано 10 штаммов для селекционной работы по адаптации их к ДЭГ, нефти и газоконденсату путем последовательных пересевов на синтетические среды и среды, содержащие минимальные количества углеводородов. Постепенно концентрацию ДЭГ увеличивали от 0,5 до 20 г/л, нефти – от 0,5 до 2,5 об.%, ГК – до 2,5%.

Была взята синтетическая среда Эшби, в которую вместо сахарозы вносили разные концентрации ксенобиотика. Три штамма из 10 погибли при пересевах. Оставшиеся семь штаммов активно росли на средах с ксенобиотиками при концентрации ДЭГ от 1 до 10%.

Штаммы 10, 12, 3У устойчивость к диэтиленгликолю при неоднократных пересевах не теряли в течение всего изучаемого периода. Известно, что стоки завода, где используется ДЭГ для сушки и очистке газа, имеют щелочную реакцию среды, достигающую 8–10 ед. Поэтому нами изучалось изменение рН среды при культивировании бактерий на синтетической среде Эшби при рН = 9,0 ед., температуре 30 °С, без внесения сахарозы. В опытные варианты вносили диэтиленгликоль, как источник углерода. Исходное количество клеток составляло 3 · 10⁷ кл./мл.

В средах, куда вносили ДЭГ и микроорганизмы, на 3 сутки отмечалось снижение рН среды. Наилучшие результаты получены при использовании ассоциации бактерий, состоящей из штаммов 3У, 10, 12, 28, КМУ (табл.). Эта ассоциация бактерий обладала наибольшей активностью разрушения токсиканта и снижала рН среды до нейтральной.

Таким образом, выделенные бактерии могут быть использованы при локальной очистке сточных вод нефтегазовой промышленности от диэтиленгликоля. В последующих экспериментах активные штаммы бактерий-деструкторов ДЭГ вносили в промышленные стоки, отобранные в разных цехах завода, с исходным рН среды от 7,5 до 10,1 ед.

Таблица

Существенные дифференцирующие свойства выделенных бактерий

Вид	Разжижение желатина	Гидролиз крахмала	Усвоение минерального азота	Восстановление нитратов
<i>Pseudomonas putida</i> 3У	–	+	+	+
<i>Pseudomonas fluorescens</i> 28	+	+	+	+
<i>Pseudomonas fluorescens</i> IV	+	–	+	+
<i>Pseudomonas cepasia</i> 10	+	+	+	+
<i>Bacillus mycoides</i> 12	+	+	+	+
<i>Bacillus subtilis</i> КМУ	+	+	+	+

Результаты опытов показали, что на всех стоках бактерии активно развивались с обладанием *Bacillus mycoides* 12, *Pseudomonas cepasia* 10. При микроскопировании образцов стоков уже через сутки обнаружены подвижные клетки бактерий, в основном различного вида палочки. Стоки завода имеют сложный солевой состав, особенно сток, поступающий в накопитель, рН которого доходит до 10,1 ед.

Все изученные штаммы бактерий интенсивно росли на жидких и твердых средах при температуре 37–40 °С, а *B. mycoides*, *P. cepasia*, штаммы ЗУ, 10, 12 росли и при температуре 45 °С. Через 24 ч при концентрации ксенобиотика в среде 2 г/л в зависимости от вида бактерий разрушалось от 50 до 70% токсиканта.

Библиографический список

1. Оценка влияния предприятий нефтехимического комплекса на объекты окружающей среды / А. Р. Мухаматдинова, А. М. Сафаров, А. Т. Магасумова, Р. М. Хатмуллина // Георесурсы. 2012. Т. 8. № 50. С. 46–50.
2. Шахова Ф. А., Ягафарова Г. Г., Мухамадеева А. И. Воздействие на окружающую среду технологических процессов нефтегазовой отрасли. Уфа : Нефтегазовое дело, 2012. 442 с.
3. Ягафарова Г. Г. Микробная трансформация экотоксикантов. Уфа : Изд-во УГНТУ, 2015. 254 с.
4. Уринова А. А. Выявление роли нефтеокисляющих микроорганизмов в очистке сточных вод Мубарекского газоперерабатывающего завода : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 13.05.2004. Ташкент, 2004.
5. Руководство к практическим занятиям по микробиологии / М. Н. Пименова, Н. Н. Гречушкина, Л. Г. Азова, Е. В. Семенова, С. И. Мыльникова / Под ред. Н. С. Егорова. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1983. 224 с.

БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ ПИЩЕВОЙ ОТРАСЛИ

А. В. Малышева, Н. В. Сырчина

Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru

Для очистки сточных вод предприятий пищевой отрасли могут быть использованы натуральные фильтрующие составы, пригодные для утилизации в качестве органоминеральных удобрений. Оценка отработанных фильтрующих составов методом биотестирования показала их безопасность для растений и стимулирующее воздействие на развитие проростков.

Ключевые слова: очистка сточных вод, органоминеральные удобрения, торф, эфель, экология пищевого производства, биотестирование.

Внедрение безотходных и малоотходных технологий является важнейшим условием успешного функционирования современного промышленного производства. Для минимизации количества образующихся отходов применя-

ется широкий комплекс мероприятий, ключевую роль в котором играет очистка сточных вод и использование образующихся отходов в качестве вторичных материальных ресурсов.

Одно из первых мест по расходу воды на единицу выпускаемой продукции занимают предприятия пищевой отрасли, сточные воды которых содержат широкий спектр загрязняющих веществ (ЗВ) биогенного происхождения, представляющих серьезную опасность для окружающей среды. Состав стоков в основном зависит от характера выпускаемой продукции, состава используемого сырья и особенностей реализуемых на предприятии технологических процессов. Очистка сточных вод пищевых предприятий от растворенных и взвешенных веществ сопряжена с серьезными экономическими затратами, которые приводят к увеличению себестоимости целевого продукта. Минимизация соответствующих затрат возможна на основе разработки и внедрения нестандартных методов очистки, учитывающих специфику отрасли.

Исследования показывают, что для очистки сточных вод пищевых предприятий могут найти применение натуральные сорбенты на основе торфа низкой степени разложения и глауконитсодержащих хвостов обогащения фосфоритов [1, 2]. После использования такие сорбенты пригодны для утилизации в качестве органоминеральных удобрений. Как торф, так и хвосты обогащения (эфеля) являются натуральными экологически безопасными материалами. В состав эфелей входят глауконит (до 70% масс.), фосфориты мелких фракций, кварц, известковые и глинистые компоненты. Содержание фосфора (P_2O_5) составляет 6% масс., калия (K_2O) – 4,5% масс. Внесение эфеля способствует восполнению дефицита элементов минерального питания растений, оказывает активирующее влияние на почвенные азотофиксирующие организмы, улучшает структуру почвы [3, 4]. Глауконит, входящий в состав эфелей, является хорошим сорбентом, пригодным для очистки сточных вод от широкого спектра растворенных и взвешенных ЗВ. Включение в сорбирующий состав торфа позволяет обеспечить необходимую скорость фильтрации стоков и требуемую степень их очистки.

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния отработанного сорбента, приготовленного на основе торфа и глауконитсодержащих хвостов обогащения фосфоритов, на проращивание семян и развитие проростков однодольных и двудольных культур.

Для получения образцов отработанного сорбента, композиция, содержащая 30% масс. эфеля и 70% масс. торфа низкой степени разложения, загружалась в сорбционную колонку, через которую пропускалось разбавленное водой (1:5) молоко. Молоко использовали для моделирования состава сточных вод. Содержание важнейших компонентов, входящих в состав сточных вод пищевых предприятий, в разбавленном молоке составляло, % масс.: белки – 0,6; жиры – 0,5; углеводы – 0,9. Отработанный сорбент (ОС) выгружался из колонки и подсушивался при температуре 100 ± 2 °С до остаточной влажности 15 ± 2 %.

Оценка влияния ОС на прорастание семян и развитие проростков проводилась методом биотестирования по таким показателям, как дружность прорастания (доля семян, прорастающих в среднем за одни сутки проращивания), энергия прорастания (за 3 суток), скорость прорастания (сумма средних чисел семян, прорастающих ежедневно), интенсивность начального роста проростков (средняя длина проростков, средняя длина корней, средняя масса проростков).

Для проведения биотестирования использовался агрозем (легкий суглинок), отобранный с глубины 5–20 см на пахотном поле вблизи г. Кирова. Агрозем (грунт) высушивался до воздушно-сухого состояния и просеивался через металлическую сетку с размером ячеек 2 x 2 мм. Данные о свойствах агрозема приведены в таблице 1.

Таблица 1

Свойства агрозема, используемого для проведения эксперимента

№	Показатель	Значение	Метод определения
1	pH _{водн.}	5,8±0,1	ГОСТ 26483-85
2	pH _{KCl}	5,2±0,1	ГОСТ 26483-85
3	Органическое вещество, %	2,2±0,2	ГОСТ 26213-91
4	Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг	126±19	ГОСТ Р 54650-2011
5	Калий обменный (K ₂ O), мг/кг	132±13	ГОСТ 26210-91

В подготовленный грунт вносили добавки, согласно вариантам эксперимента. Грунт с добавками перемешивали, загружали в пластиковые контейнеры и увлажняли деионизированной водой до влажности 60%. В подготовленный грунт на глубину 0,5–0,8 см высевали семена тест-культур, контейнеры накрывали мелкоперфорированной полипропиленовой пленкой и выдерживали на протяжении всего эксперимента при температуре 20±2 °С в условиях естественного освещения. В каждый контейнер высевали по 30 семян. Для проведения эксперимента отбирали семена, не имеющие видимых дефектов, одинаковые по размеру и форме. В качестве тест-культур использовали редьку посевную (сорт «Ночка») и ячмень яровой (сорт «Белгородский 100»).

Варианты эксперимента: 1) контроль (грунт без добавок); 2) грунт + ОС (500 мг/кг); 3) грунт + ОС (50 мг/кг); 4) грунт + исходный (незагрязненный) сорбент (500 мг/кг); 5) грунт + исходный (незагрязненный) сорбент (50 мг/кг); 6) грунт + торф (350 мг/кг); 7) грунт + эфель (150 мг/кг).

Добавка ОС в количестве 500 мг/кг ориентировочно соответствует 2 т/га.

Экспериментальные исследования выполняли в трех повторностях. Полученные данные статистически обрабатывали в программе Microsoft Excel. Результаты эксперимента (среднее значение показателя и среднеквадратическое отклонение) приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2

Влияние отработанного сорбента на прорастание семян и развитие проростков редьки посевной (сорт «Ночка»)

Показатель	Вариант эксперимента						
	1	2	3	4	5	6	7
Всхожесть, %	97,8±1,9	96,7±0,0	98,9±1,9	98,9±1,9	98,9±1,9	100,0±0,0	97,8±1,9
Энергия прорастания, %	96,7±0,0	93,3±0,0	95,6±1,9	96,7±3,3	98,9±1,9	98,9±1,9	96,6±0,0
Дружность прорастания, %	19,6±0,4	19,3±0,0	19,8±0,4	19,8±0,4	19,8±0,4	20,0±0,0	19,8±0,4
Скорость прорастания, шт.	4,14±0,06	4,31±0,05	4,17±0,04	4,23±0,06	4,37±0,09	4,24±0,13	4,11±0,13
Средняя длина проростков, мм (на 8 день)	46±7	53±7	56±4	48,6±2,7	47±7	64±7	74±7
Средняя длина проростков, мм (на 15 день)	67,2±1,8	60±9	75,1±2,2	54,6±3,4	65±4	70±12	90±9
Средняя длина корней, мм (на 15 день)	38,0±4,6	38,0±2,5	39,9±5,1	38,1±2,2	37,3±1,3	36,7±4,2	33,4±1,8
Средняя масса проростков, г (на 15 день)	2,9±0,4	2,7±0,5	3,6±0,3	2,9±0,4	3,5±0,2	3,8±0,5	4,5±0,4

Таблица 3

Влияние отработанного сорбента на прорастание семян и развитие проростков ячменя ярового (сорт «Белгородский 100»)

Показатель	Вариант эксперимента						
	1	2	3	4	5	6	7
Всхожесть, %	98,9±1,9	93,3±6,7	95,6±5,1	97,8±1,9	98,9±1,9	96,7±5,6	83,3±3,3
Энергия прорастания, %	83±14	77±8	71±40	79±17	88±21	83±14	62±27
Дружность прорастания, %	19,8±0,4	18,7±1,3	19,1±1,0	19,6±0,4	19,8±1,2	19,3±1,2	16,7±0,7
Скорость прорастания, шт.	4,67±0,16	4,80±0,23	4,76±0,20	4,84±0,10	4,63±0,15	6,40±0,19	4,36±0,16
Средняя длина проростков, мм (на 8 день)	87±11	78±9	83±12	73±8	96±7	98±13	105±9
Средняя длина проростков, мм (на 15 день)	139±11	110±5	151±9	117±6	143±12	140±10	137±11
Средняя длина корней, мм (на 15 день)	61,2±5,0	66,2±2,9	92,6±4,2	51,4±1,2	65,9±1,7	58,2±2,1	77,8±3,2
Средняя масса проростков, г (на 15 день)	7,5±0,3	7,3±0,2	7,9±0,3	7,2±0,6	7,8±0,1	7,6±0,1	7,6±0,4

Согласно полученным данным, внесение ОС в почву в норме 200 кг/га оказывает стимулирующее воздействие на развитие проростков тест-культур (по сравнению с контролем). Внесение ОС в норме 2 т/га приводит к некоторому замедлению развития проростков, что может быть обусловлено подкислением субстрата молочной кислотой, образующейся при микробиологическом окислении содержащейся в молоке (и, соответственно, в ОС) лактозы. Кроме подкисляющего действия, молочная кислота обладает выраженными антисептическими свойствами, что может привести к временному угнетению ризосферных микроорганизмов.

Таким образом, фильтрующие составы на основе хвостов обогащения фосфоритов и торфа могут найти применение для безотходной очистки сточных вод пищевых предприятий. Результаты лабораторных экспериментов показывают, что ОС при внесении в почву в норме 200 кг/га оказывают стимулирующее воздействие на прорастание семян и развитие проростков.

При использовании удобрений на основе ОС, необходимо соблюдать нормы их внесения в почвы, поскольку чрезмерно высокие дозы ОС (2 т/га) могут привести к угнетению растений.

Технология безотходной очистки сточных вод пищевых предприятий с применением натуральных сорбирующих составов может быть востребованной на предприятиях малой мощности, расположенных в сельской местности и имеющих собственные поля для выращивания кормовых культур. Затраты на приобретение фильтрующих составов могут быть в значительной степени компенсированы снижением затрат на приобретение удобрений для поддержания плодородия почв.

Библиографический список

1. Малышева А. В., Сырчина Н. В. Фильтрующие составы для безотходной очистки сточных вод предприятий пищевой отрасли // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы II Всерос. конф. Киров : ВятГУ, 2020. С. 273–277.

2. Рациональная утилизация соленой подсырной сыворотки на предприятиях малой мощности / Н. Н. Богатырева, Н. В. Сырчина, А. Е. Мельникова, А. В. Малышева // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы II Всерос. конф. Киров : ВятГУ, 2020. С. 264–273.

3. Перспективы использования хвостов обогащения фосфоритов в качестве удобрений для органического земледелия / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 160–166. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-160-166

4. Глаукониты Вятско-Камского фосфоритоносного бассейна / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 2. С. 117–122. doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-117-122

КИНЕТИКА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ Ni^{2+} ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СИЛИКАТНЫМИ СОРБЕНТАМИ

С. Б. Ярусова^{1,2}, Н. В. Иваненко², П. С. Гордиенко¹, М. С. Телушко²

¹ *Институт химии ДВО РАН, yarusova_10@mail.ru*

² *Владивостокский государственный университет экономики и сервиса, yarusova_10@mail.ru*

В работе представлены данные по кинетике извлечения ионов Ni^{2+} в статических условиях из водных растворов нитрата никеля. В качестве сорбентов использовали материалы на основе силиката кальция, полученные из различных многокомпонентных систем. Показано, что исследуемые силикатные сорбенты могут быть рекомендованы для очистки водных растворов от ионов Ni^{2+} .

Ключевые слова: ионы никеля, сорбенты, силикаты кальция, кинетика, степень извлечения.

Никель и его соединения широко применяются в различных отраслях хозяйства для покрытия металлических изделий, как легирующий элемент при получении многих сортов стали и специальных сплавов, для производства никелевых катализаторов, щелочных аккумуляторов, в порошковой металлургии, при гидрогенизации жиров и т. д. Никель относится к числу микроэлементов, необходимых для нормального развития живых организмов. В то же время никель и его соединения обладают высокой токсичностью [1–3].

Получение эффективных сорбентов по отношению к ионам Ni^{2+} не утратило своей актуальности и в настоящее время. Анализ научной литературы показывает, что синтетические и природные сорбенты на основе силикатов потенциально могут использоваться для очистки водных растворов от ионов никеля [4–6].

Существует ряд работ, посвященных исследованию процесса сорбции ионов Ni^{2+} силикатами $nCaO \cdot mSiO_2$ и гидросиликатами $nCaO \cdot mSiO_2 \cdot pH_2O$ кальция [7–9].

Целью данного исследования является изучение кинетики сорбции ионов Ni^{2+} материалами на основе силиката кальция (далее – силикатные сорбенты), полученными из модельной системы $CaCl_2-Na_2SiO_3-H_2O$ и из отходов борного производства (борогипса), представляющих собой систему $CaSO_4 \cdot 2H_2O-SiO_2 \cdot nH_2O$. Условия синтеза, закономерности формирования соединений в данных системах представлены в работах [10, 11].

Опыты по сорбции проводили в статических условиях при 20 °С из водных растворов нитрата никеля $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ при перемешивании на магнитной мешалке. Растворы никеля заданной концентрации готовили растворением точной навески $Ni(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ квалификации «ч.д.а.» в дистиллированной воде.

Для установления кинетических параметров сорбции в серию пробирок помещали навески сорбента по 0,5 г, заливали их 20 мл водного раствора нитрата никеля и встряхивали при различных временных интервалах – от 1 до 120 мин. Исходная концентрация ионов Ni^{2+} составляла 15,86 ммоль/л. Через определенные промежутки времени раствор отделяли от сорбента фильтрованием и определяли в нем концентрацию ионов Ni^{2+} .

Степень извлечения ионов Ni^{2+} (α , %) рассчитывали по формуле:

$$\alpha = \frac{(C_{исх} - C_p)}{C_{исх}},$$

где $C_{исх}$ – исходная концентрация ионов никеля в растворе, ммоль/л; C_p – равновесная концентрация ионов никеля в растворе, ммоль/л.

Содержание ионов никеля в растворах определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии (спектрометр Solaar M6). Предел обнаружения никеля в водных растворах составляет 0,005 мкг/мл.

Данные по кинетике сорбции ионов Ni^{2+} силикатными сорбентами представлены в таблице. Следует учесть, что реальное время взаимодействия сорбента и сорбата в первые минуты сорбции (1–4 мин) на 3–5 мин больше с учетом продолжительности фильтрации осадков через фильтр «синяя лента».

Таблица

**Степень извлечения ионов Ni^{2+} силикатными сорбентами
в зависимости от времени**

Сорбент	Время (мин) и степень извлечения ионов Ni^{2+} (α , %)										
	1	2	4	6	8	10	15	30	60	120	180
Из модельной системы $CaCl_2$ – Na_2SiO_3 – H_2O	88,3	97,8	98,5	99,3	99,8	99,84	99,9	99,93	99,98	99,98	99,98
Из отходов борного производства	39,3	38,5	45,5	53,4	52,9	56,6	61,4	79,2	96,8	99,8	99,9

Как видно из представленной таблицы, для исследуемых сорбентов наблюдаются общие закономерности. Степень извлечения ионов Ni^{2+} увеличивается с увеличением времени контакта сорбентов и сорбата. При этом наиболее интенсивно процесс сорбции ионов Ni^{2+} протекает при использовании сорбента, полученного в модельной системе, и уже через 2 мин эффективность сорбции составляет более 90%. Процесс извлечения ионов Ni^{2+} сорбентом из отходов борного производства протекает медленнее, и эффективность сорбции достигает 96,8% через 60 мин.

Для объяснения наблюдаемых различий в скорости извлечения ионов Ni^{2+} требуется проведение дополнительных исследований. Исследуемые сорбенты представляют собой системы, состоящие из нескольких компонентов, которые могут влиять на процесс сорбции, а также на реакции, протекающие

параллельно катионному обмену (образование гидроксида никеля). Поэтому необходимо учитывать возможность взаимодействия нитрата никеля с CaSiO_3 , CaCO_3 , $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Проведен расчет значений свободной энергии Гиббса для соответствующих химических реакций. Для реакций взаимодействия нитрата никеля с сульфатом кальция и диоксидом кремния $\Delta G_{\text{x,p}}^\circ > 0$, т. е. данные реакции невозможны. Термодинамически возможными, согласно рассчитанным значениям $\Delta G_{\text{x,p}}^\circ$, являются реакции взаимодействия нитрата никеля с силикатом кальция ($\Delta G_{\text{x,p}}^\circ = -47,8$ кДж/моль) и с карбонатом кальция ($\Delta G_{\text{x,p}}^\circ = -242,4$ кДж/моль).

Таким образом, исследуемые силикатные сорбенты могут быть рекомендованы для очистки водных растворов от ионов Ni^{2+} . Для объяснения кинетики и установления механизма сорбции никеля, а также для конкретных практических рекомендаций по использованию данных сорбентов требуются дополнительные исследования.

Библиографический список

1. Большая медицинская энциклопедия / под ред. Б. В. Петровского. Т. 16. М. : Советская энциклопедия, 1981. 512 с.
2. Zambelli B., Uversky V. N., Ciurli S. Nickel impact on human health: An intrinsic disorder perspective // *Biochimica et Biophysica Acta*. 2016. Vol. 1864. P. 1714–1731. doi: 10.1016/j.bbapap.2016.09.008
3. Cempel M., Nikel G. Nickel: A Review of Its Sources and Environmental Toxicology // *Polish Journal of Environmental Studies*. 2006. Vol. 15. No. 3. P. 375–382.
4. Dinu M. V., Dragan E. S. Evaluation of Cu^{2+} , Co^{2+} and Ni^{2+} ions removal from aqueous solution using a novel chitosan/clinoptilolite composite: Kinetics and isotherms // *Chemical Engineering Journal*. 2010. Vol. 160. P. 157–163. doi: 10.1016/j.cej.2010.03.029
5. Baker H. Characterization for the interaction of nickel(II) and copper(II) from aqueous solutions with natural silicate minerals // *Desalination*. 2009. Vol. 244, No. 1–3. P. 48–58. doi: 10.1016/j.desal.2008.05.017
6. Al-Abbad E. A., Reyad A. Al Dwairi Removal of nickel (II) ions from water by Jordanian natural zeolite as sorbent material // *Journal of Saudi Chemical Society*. Vol. 2021. 101233. In Press. doi: 10.1016/j.jscs.2021.101233
7. Zhao Y., Chen H., Yan Q. Enhanced phosphate removal during the simultaneous adsorption of phosphate and Ni^{2+} from electroless nickel wastewater by calcium silicate hydrate (CSH) // *Environmental Technology & Innovation*. 2017. Vol. 8. P. 141–149. doi: 10.1016/j.eti.2017.01.002
8. Акатьева Л. В. Синтез и физико-химические свойства ксонотлита и волластонита : дис. ... канд. хим. наук. М., 2003. 233 с.
9. Reactions of some calcium silicates with metal cations / S. Komarneni, E. Breval, D. M. Roy, R. Roy // *Cement and concrete research*. 1988. Vol. 18. P. 204–220.
10. Сорбция ионов Ni^{2+} силикатным сорбентом из отходов борного производства / С. Б. Ярусова, П. С. Гордиенко, Р. Г. Мелконян, Ю. А. Азарова, Л. В. Якименко, Ю. И. Крысь // *Техника и технология силикатов*. 2013. Т. 20. № 3. С. 20–27.
11. Сорбция ионов Sr^{2+} силикатными материалами синтетического и техногенного происхождения / С. Б. Ярусова, П. С. Гордиенко, Г. Ф. Крысенко, Ю. А. Азарова // *Неорганические материалы*. 2014. Т. 50. № 6. С. 1–7. doi: 10.7868/S0002337X14060207

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОТООКИСЛЕНИЯ АКТИВНОГО КРАСИТЕЛЯ BLACK PN, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*С. А. Мирзалимова¹, Е. Ю. Киришина¹, М. Г. Мухамедиев²,
Л. М. Шаповалова¹, В. Б. Нурматова¹*

*¹ НИИ окружающей среды и природоохранных технологий
при Государственном комитете Республики Узбекистан
по экологии и охране окружающей среды,
mirzalimova_sabi@mail.ru, lenakirshina@mail.ru*

*² Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека,
mtmukamediev@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования по фотоокислительной деструкции активного красителя Black PN, используемого в текстильном производстве. В результате эксперимента были определены оптимальные параметры метода фотоокисления красителя, которые можно применять для доочистки сточных вод.

Ключевые слова: активные красители, окисление, деструкция, ультрафиолетовое облучение, перекись водорода.

Текстильная промышленность является одной из старейших и наиболее технологически сложных из всех отраслей. Текстильные фабрики являются источником загрязнения природных вод, так как их сточные воды содержат в себе разнообразные органические соединения. Активные красители составляют большой класс органических красителей, которые содержат в себе одну или несколько азогрупп (-N=N-), связанных в основном с бензольными и нафталиновыми кольцами [1].

Окисление органических веществ, в том числе красителей, пероксидом водорода с помощью гетерогенных катализаторов (процесс типа Фентона), является одним из перспективных способов обезвреживания сточных вод промышленных предприятий [2]. Среди существующих методов очистки сточных вод фотоокислительная деструкция активных красителей является эффективным методом. Данный процесс является необратимым и позволяет полностью превратить токсичные органические вещества в безвредные продукты: углекислый газ и воду [3].

Целью данной работы является исследование возможности использования метода фотоокисления в доочистке сточных вод, содержащих активные красители.

При проведении работы было изучено обесцвечивание азокрасителя Black PN при воздействии УФ-облучения и пероксида водорода (УФ + H₂O₂) в диапазоне концентраций 3–9 мг/л. Был взят образец текстильного азокрасителя торговой марки Black PN с формулой C₂₈H₁₇O₁₄N₅S₄Na₄ (рис. 1) и моляр-

ной массой 853 г/моль. Концентрации используемого красителя составили 3,0; 6,0 и 9,0 мг/л, обрабатываемый объем раствора – 100 мл. В растворы красителей дозировали пероксид водорода с концентрациями 20 и 80 мг/л. Все эксперименты проводились в лабораторном непроточном фотохимическом реакторе с внешним источником излучения. В роли источника излучения использовалась ртутная лампа низкого давления с максимальной эмиссией на 254 нм (25 Вт, интенсивность – 520 мВт/см²). В процессе облучения раствор, помещенный в чашку Петри, перемешивался магнитной мешалкой. Концентрация красителя в растворе определялась на спектрофотометре UV/vis (Libra S35). Спектральные характеристики определяли путем сканирования раствора красителя при длине волны в интервале от 220 до 800 нм в кварцевой ячейке на 1 см.

Исходная концентрация красителя играет важную роль в процессе фотоокисления. Поэтому в работе было определено эффективное время обесцвечивания красителя в зависимости от его исходной концентрации. Данные исследования по красителю Black PN приведены на рисунке 2.

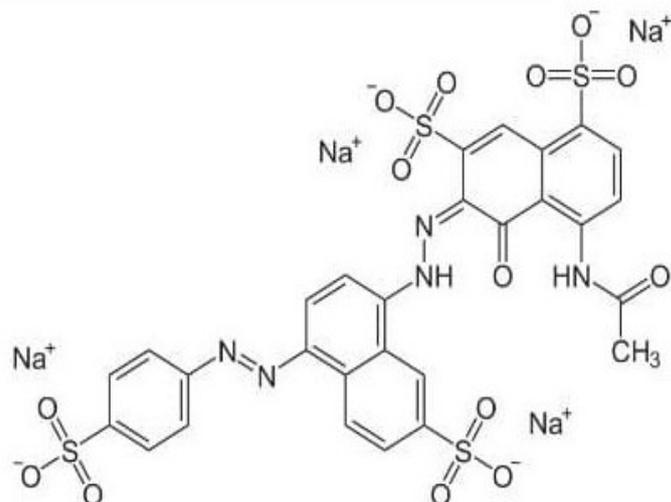


Рис. 1. Структурная формула красителя Black PN

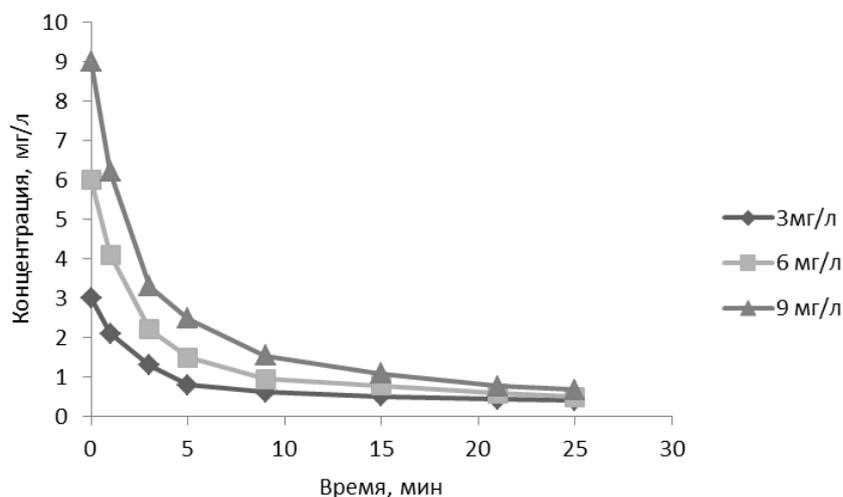


Рис. 2. Зависимость концентрации красителя Black PN

от времени обработки при концентрации H_2O_2 80 мг/л

Результаты проведенных экспериментов позволяют определить оптимальные технологические параметры УФ + H_2O_2 в зависимости от исходной концентрации красителя.

На рисунке 3 представлены спектры поглощения красителя Black PN с концентрацией 9 мг/л при различном времени обработки УФ и концентрации пероксида водорода – 20 мг/л.

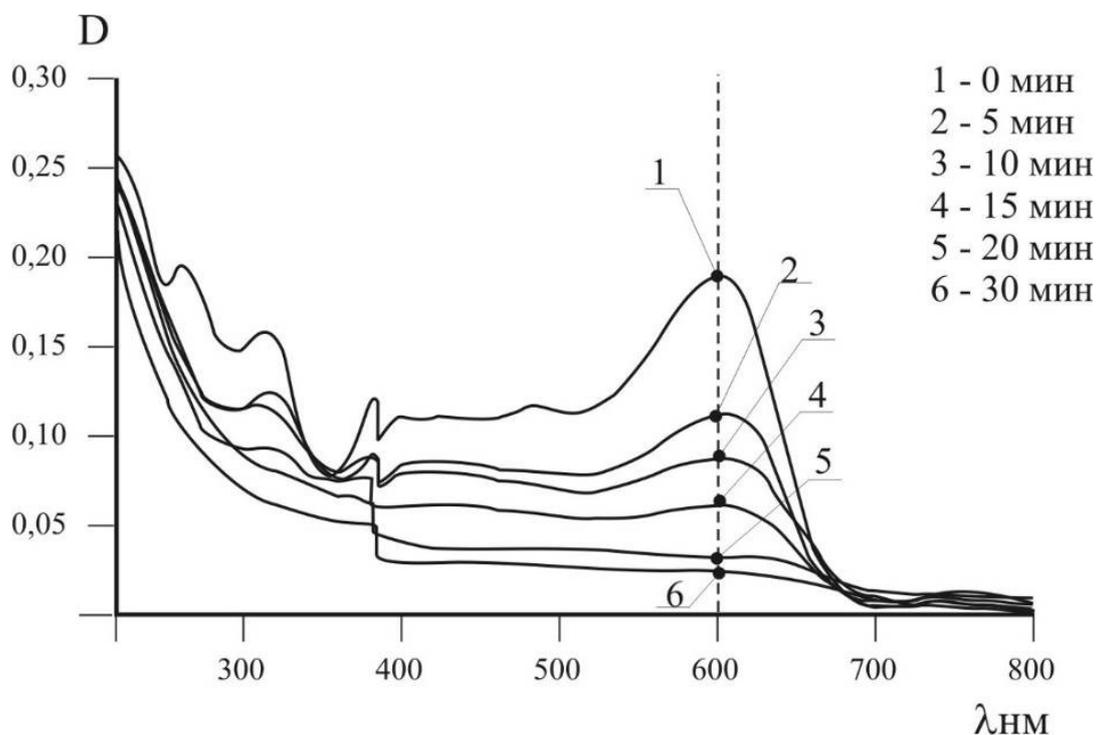


Рис. 3. Спектры поглощения красителя Black PN с концентрацией 9 мг/л при обработке УФ и концентрации пероксида водорода – 20 мг/л. Время обработки: 1–0 мин, 2 –5 мин, 3–10 мин, 4–15 мин, 5–20 мин, 6–30 мин

Видно, в процессе фотоокисления наблюдается обесцвечивание окраски раствора, что подтверждается уменьшением пиковой интенсивности на 400–600 нм и уменьшением интенсивности пиков в УФ-области (315 нм), что указывает на деградацию ароматической структуры молекулы [4].

Влияние исходной величины рН на эффективность обесцвечивания изучили при следующих условиях: концентрация красителя Black PN – 3 мг/л, время обработки – 20 мин, концентрация пероксида водорода – 20 мг/л.

Как показано на рисунке 4, снижение исходной величины рН (7,0 ед.) до 3,02 ед. снизило эффективность обработки до 63,3%, а увеличение до 10,58 ед. – до 80,6% при времени обработки 10 мин.

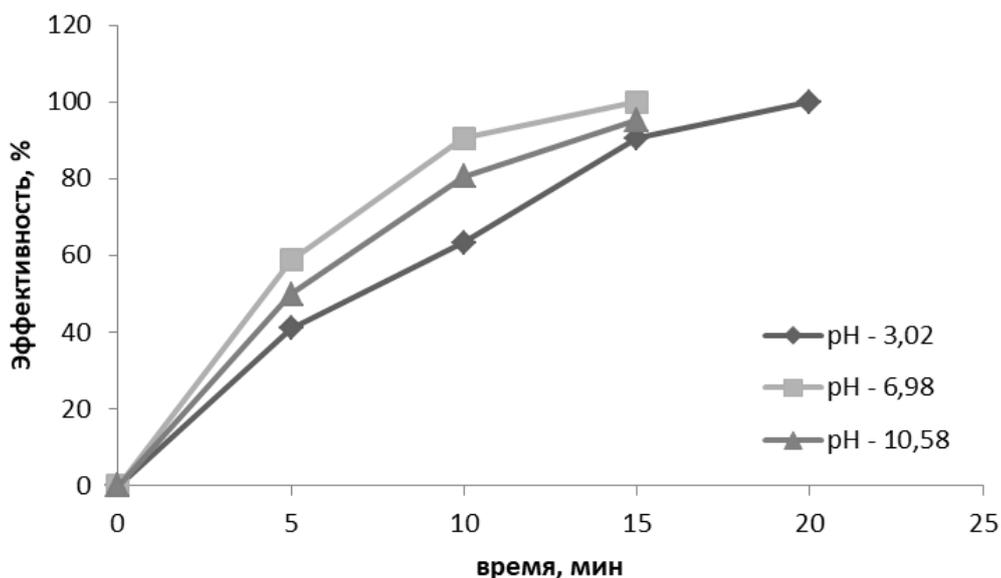


Рис. 4. Влияние исходного значения рН на эффективность обесцвечивания красителя Black PN в процессе фотоокисления

Также были проведены исследования влияния температуры на процесс фотодеструкции красителя Black PN. Установлено, что исходная температура раствора не оказывает значительного влияния на процесс фотоокисления.

Таким образом, исследования фотохимической деструкции в присутствии пероксида водорода показывают, что скорость деструкции красителя Black PN в значительной степени зависит от начальных концентраций красителя и пероксида водорода, времени обработки и исходного значения рН. На основании полученных результатов можно сделать вывод об эффективности применения фотоокисления для доочистки сточных вод от красителя Black PN.

Библиографический список

1. Карлова Е. В., Конькова Т. В. Каталитическое обезвреживание сточных вод, содержащих органические красители // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения : сб. трудов Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. Томск, 2017. С. 339–342.
2. Contaminants of emerging concern removal from real wastewater by UV/free chlorine process: A comparison with solar/free chlorine and UV/H₂O₂ at pilot scale / G. Cerreta, M. A. Roccamante, I. Oller, S. Malato, L. Rizzo // Chemosphere. 2019. Vol. 236. Article No. 124354.
3. Кобальтсодержащие катализаторы на основе Al₂O₃ для окислительной деструкции органических красителей в водной фазе / Т. В. Конькова, И. П. Просвирина, М. Б. АLEXИНА, С. А. Скорникова // Кинетика и катализ. 2015. Т. 56. № 2. С. 207–213.
4. Белов С. Г., Наумчик Г. О. Определение глубины деструкции органических соединений методом УФ-спектрометрии // Вестник БГТУ. 2013. № 2. С. 46–49.

ВОЗМОЖНОСТЬ УТИЛИЗАЦИИ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Ю. С. Порошина, Е. С. Шулакова, Е. А. Земцова

Вятский государственный университет, уи.poroshina2014@yandex.ru

Рассмотрены экологические проблемы металлургического производства, возникающие на территории Приволжского федерального округа и в Кировской области, в частности. Приведены результаты изучения свойств мелкодисперсной металлургической пыли, на основании которых даны рекомендации по путям ее использования.

Ключевые слова: металлургическое производство, экологические проблемы, пыль, утилизация.

В металлургическом производстве, в частности, в черной металлургии, образуется большое количество твердых отходов при технологических процессах. Под твердыми промышленными отходами понимаются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшихся при производстве продукции или при выполнении работ и утратившие полностью или частично потребительские свойства.

Производственные отходы являются следствием несовершенства технологических процессов, неудовлетворительно организованного производства, а также несовершенного экономического механизма. К ним относят: отходы, образующиеся при механической и физико-химической переработке сырья и материалов; отходы, образующиеся при добыче и обогащении полезных ископаемых; вещества, улавливаемые при очистке отходящих технологических газов и сточных вод.

Традиционными проблемами экологической сферы регионов Приволжского федерального округа (ПФО) являются: высокий уровень загрязнения атмосферы и поверхностных водных объектов; сбор, хранение и утилизация отходов производства и потребления; наличие в округе большого количества объектов накопленного экологического ущерба. Металлургическое производство не относится к числу базовых отраслей ПФО, но при этом большинство предприятий, относящихся к данной отрасли промышленности, вносит большой вклад в общий уровень загрязненности региона.

Так, в результате производственной деятельности предприятий черной металлургии образуется до 20% от общей массы попадающих в атмосферу загрязнений. В составе выбросов обнаруживаются оксиды азота, углерода, серы, сероводород и значительное количество пыли (до 100 кг на 1 т готовой продукции).

Предприятия металлургического комплекса являются крупнейшими потребителями воды (до 20% от общего водопотребления всей промышленности РФ). При этом можно отметить, что за счет достаточно эффективной сис-

темы водоочистки, количество вод, загрязненных различными примесями, не велико и не превышает 30–40%.

Твердые отходы образуются практически на всех стадиях металлургического производства. Установлено, что до 10% от общей массы используемого сырья уходит в твердые отходы и только лишь 34% от их общей массы утилизируется. К крупнотоннажным твердым отходам металлургических производств в основном относятся шлаки, шламы и пыль [1].

Пыль содержит оксиды железа, кремния, марганца, кальция, магния. При дроблении и измельчении веществ, снятии поверхностного слоя при шлифовке, полировке образующуюся пыль называют аэрозолем измельчения.

Известно, что в среднем на 1 млн т годовой продукции заводов черной металлургии выделяется до 350 т в сутки пыли. При тонкой очистке доменных газов на предприятиях черной металлургии на электрофильтрах собирается мелкодисперсная пыль с размером частиц не более нескольких десятков мкм. Химический состав такой пыли сильно зависит от состава исходной шихты, и чаще всего представлен (в %) оксидами железа – 33–40, кремния – 8–15, кальция – 10–12, магния — 4–5, алюминия — 4–5, цинка, свинца, кобальта и других металлов. Помимо оксидов указанных металлов, в составе такой пыли могут присутствовать их сульфаты, сульфиды и хлориды. Также в составе такой пыли обнаруживается сажа с содержанием до 32% [2, 3].

Следует отметить, что такая пыль может оказывать на человека токсическое действие: вызывать развитие специфических процессов (образование патологической соединительной ткани, т. е. фиброза легких) и неспецифических патологических процессов (воспаление легких, туберкулез легких, рак легких) [4].

Известно, что малые размеры частиц пыли способствуют интенсификации процессы вымываемости из них веществ, что, свою очередь, может вызывать больший токсический эффект [1].

Для подтверждения токсичных свойств была проанализирована водная вытяжка из мелкодисперсной пыли. Оценка токсичности производилась по всхожести семян высших растений [5]. В качестве тест-объектов использовались семена горчицы белой (*Sinapis alba* L.) с нормой всхожести репродукционных семян товарного назначения 85%.

На основании полученных результатов установлено, что токсический эффект фиксируется как для нативного экстракта, так и для проб с разведением. Только при пятидесятикратном разведении всхожесть становится сопоставима со всхожестью в контрольной группе.

Для обоснования токсичного эффекта был установлен химический состав водной вытяжки. Исходя из типового состава такой пыли и возможных водорастворимых форм перечисленных выше соединений, водная вытяжка анализировалась на содержание ионов железа, хлорид- и сульфат-ионов. Результаты исследования представлены в таблице.

Из полученных результатов видно, что вытяжка содержит значительное количество ионов железа и сульфатов, причем наибольшая концентрация

железа в пробе достигается при более длительном экстрагировании в водной среде. При этом концентрация сульфат-ионов остается постоянной. Кокс подвержен высокой сернистости, что и объясняет содержание сульфатов в мелкодисперсной пыли. Изменение концентраций ионов железа, вероятно, связано с переходом растворимых (сульфатов) и малорастворимых (сульфитов) соединений этих металлов в водную среду. Хлорид-ионов обнаружено не было.

Таблица

**Содержание железа и сульфатов в водной вытяжке
из мелкодисперсной пыли**

Наименование показателя	Время экстрагирования, ч				
	0	1	2	3	4
Железо, мг/л	0,58±0,14	0,59±0,15	0,60±0,09	0,87±0,21	0,92±0,23
Сульфаты, мг/л	0,33±0,03	0,33±0,03	0,32±0,02	0,32±0,02	0,32±0,03

Полученные результаты свидетельствуют о высоких рисках нахождения подобной пыли на промышленных полигонах и необходимости их утилизации.

Существует несколько подходов в утилизации отходов: прямое использование, выделение ценных компонентов и уничтожение. Мелкодисперсную пыль можно рассматривать как вторичный материальный ресурс, использование которого возможно в строительной сфере при получении строительных материалов, керамических изделий, цветного стекла.

Библиографический список

1. Зайцев А. К., Похвиснев Ю. В. Экология и ресурсосбережение в черной металлургии // Соровский образовательный журнал. 2001. Т. 7. № 3. С. 52–58.
2. Алпатова А. А. Исследование процессов пылеобразования при дуговом нагреве металла и свойств пыли с целью ее утилизации : дис. ... канд. тех. наук : 05.16.07. М., 2016. 158 с.
3. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека / С. З. Калаева, К. М. Муратова, Я. В. Чистяков, П. В. Чеботарев // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2003. № 3. С. 40–63.
4. Куренкова Г. В., Жукова Е. В., Лемешевская Е. П. Пыль как вредный фактор производственной среды : учебное пособие. Иркутск : ИГМУ, 2015. 88 с.
5. Лисовицкая О. В., Терехова В. А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Доклады по экологическому почвоведению. 2010. № 1. Вып. 13. С. 1–18.

ПОТЕНЦИАЛ ТРУТОВЫХ ГРИБОВ В СОЗДАНИИ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРОВ

Д. В. Попыванов, А. А. Широких

*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого,
lfast@mail.ru*

В статье представлен опыт использования аксеничных культур трутовых грибов для создания биополимерных материалов на основе органических растительных отходов. Отработана методика подготовки субстрата и способы создания изделий различных форм. Полученные на основе грибного мицелия биополимеры – перспективная замена пластикам из традиционных материалов на основе углеводородного сырья.

Ключевые слова: биополимеры, биопластик, трутовики, мицелий, переработка отходов.

Повсеместное использование пластика из углеводородного сырья служит предпосылкой для серьезных экологических проблем, связанных со сложностью вторичного использования таких материалов и, как следствие, загрязнением окружающей среды. Высокая стойкость пластмассовых изделий к биодegradации, недостаточно развитая инфраструктура для переработки пластика вызывает накопление отходов и требует обширных территорий для организации полигонов твердых бытовых отходов.

Рост потребления по всему миру стимулирует увеличение производства как готовых изделий из пластмасс, используемых длительно, так и упаковки, которая превращается в отход за короткий промежуток времени. Современные исследования проблемы загрязнения пластиком демонстрируют экспоненциальный рост объемов образования отходов [1]. Поиск альтернативных материалов, обладающих полезными свойствами пластиков (прочность, воздухо- и влагонепроницаемость) и вместе с тем, характеризующихся способностью к биодegradации – актуальная задача для многих исследователей.

В последнее время все большее внимание уделяется созданию биополимерных материалов на основе мицелия базидиальных грибов. Мицелий – вегетативная часть гриба, расположенная в субстрате, представляет собой плотную сеть тонких нитей – гиф, которые срастаются вместе в однородную структуру, действуя как матрица, связывающая другие природные субстраты в легкий композитный материал [2].

Среди видов, подходящих для создания биополимеров, используются, в основном, ксилотрофные базидиомицеты [3]. Способность этих грибов колонизировать целлюлозосодержащее сырье открывает широкие возможности для переработки древесных и растительных отходов с целью создания прочных биополимерных материалов. По мере роста мицелия сеть ветвящихся гиф, состоящая в основном из хитина, связывает воедино питательный суб-

страт, состоящий из биомассы органических отходов, и создает обширную трехмерную матрицу. Разрастаясь в субстрате, мицелий гриба производит километры микроскопических белых «волокон», которые окутывают и начинают разлагать органические частицы субстрата, прочно связывая их в единое целое. После зарастания субстрата, достигнув желаемой плотности и формы изделия, материал высушивается, чтобы остановить дальнейший рост гриба [4]. Полученный материал по своим физико-механическим свойствам близок к используемым в настоящее время в строительстве полиуретановым пенам, что позволяет использовать его как в строительстве, в качестве звуко- и теплоизоляции, так и при упаковке хрупких товаров [3, 5]. Низкая стоимость исходного сырья (отходов сельского хозяйства и деревообработки), прочность и легкость биополимерных материалов из грибного мицелия позволяют им конкурировать с традиционными пластиками.

Для исследования технологической возможности создания биополимеров из мицелия трутовых грибов были использованы штаммы из рабочей коллекции лаборатории биотехнологии растений и микроорганизмов. Культуры двух видов трутовых грибов *Trametes ochracea* и *T. hirsuta* (Polyporaceae) культивировали на сусло-агаре (4° по Баллингу) в чашках Петри в течение 20 сут при 28 °С в темноте [6].

Для получения посевного мицелия инокулировали зерновой (рожь) субстрат, предварительно простерилизованный автоклавированием при 1 атм в течение 25 мин. Инкубация зернового мицелия происходила в течение 20 сут при 28 °С в темноте. Подготовка лигноцеллюлозного композитного субстрата – основы биополимера – состояла в предварительном смешивании березового опила и ржи (4:1 % об.), после чего субстрат запаривали нагретой до 90 °С водой. Через 12 ч воду сливали, влажный субстрат помещали в культивационные емкости объемом 0,5 л, заполняя 80% объема, и стерилизовали. Засев выполнялся зерновым мицелием гриба в объеме 10% от объема субстрата. Через 10 сут. после инкубирования полностью заросший лигноцеллюлозный субстрат извлекали в нестерильных условиях и заполняли им подготовленные формы. В течение следующих 20 сут. происходило повторное зарастание субстрата, после чего заготовка приобретала белую окраску за счет плотного покрытия мицелием. Извлечение заготовки из формы и высушивание – завершающие стадии в производстве биополимеров из грибного мицелия (рис. 1).



Рис. 1. Схема получения биополимерных изделий из мицелия ксилотрофных грибов: 1 – чистая культура, 2 – зерновой мицелий гриба, 3 – лигноцеллюлозный субстрат, засеянный зерновым мицелием, 4 – емкость для придания формы изделию, 5 – готовое изделие из биополимера

Инактивированный высушиванием мицелий прекращает свой рост и материал приобретает инертные свойства (рис. 2).



Рис. 2. Биополимерные изделия в форме шара, полученные на основе лигноцеллюлозного сырья с использованием мицелия грибов *Trametes hirsuta* (1) и *T. ochraceae* (2)

Наряду с изучением возможности создания биополимерных материалов с использованием *T. hirsuta* и *T. ochraceae*, изучается возможность использования других видов трутовых грибов: *Fomitopsis pinicola*, *Ganoderma lucidum*, а также агариковых видов *Pleurotus eryngii* и *P. ostreatus*. Видовая принадлежность базидиомицетов обуславливает скорость роста мицелия, в зависимости от вида колонизируемого субстрата. В случае несоответствия подготовленного субстрата трофическим потребностям вида гриба (например, опил хвойных, а не лиственных пород деревьев), скорость роста грибницы уменьшается. В этом случае стерилизованный субстрат подвержен заражению плесневыми грибами. Специфический для каждого вида трутовика набор ферментов определяет конкурентное преимущество гриба в освоении привычных для него субстратов.

Обилие деревообрабатывающих производств на территории Кировской области обуславливает большое количество древесных отходов, что вызывает проблемы с их утилизацией. Разработка технологии использования древесных отходов в создании биополимеров на основе мицелия ксилотрофных базидиомицетов улучшит экологическую обстановку и внесет серьезный вклад в использование возобновляемых ресурсов.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям, заявка № 71603.

Библиографический список

1. Geyer R. Production, use, and fate of synthetic polymers // *Plastic Waste and Recycling*. Academic Press. 2020. С. 13–32. doi 10.1016/B978-0-12-817880-5.00002-5
2. The production process and compressive strength of mycelium-based materials / R. J. Lelivelt, G. Lindner, P. Teuffel, H. Lamers // *First International Conference on Bio-based Building Materials*. Clermont-Ferrand, France. 2015. P. 1–6.
3. Physical and mechanical properties of fungal mycelium-based biofoam / Z. Yang, F. Zhang, B. Still, M. White, P. Amstislavski // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2017. Vol. 29. No. 7. P. 04017030. doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001866
4. Schiffman R. Packing materials grown from mushrooms // *New Scientist*. 2013. Vol. 218. No. 2921. P. 29. doi: 10.1016/S0262-4079(13)61485-2
5. High performance of macrofungi in the production of mycelium-based biofoams using sawdust – Sustainable technology for waste reduction / C. Bruscati, E. Malvessi, R. N. Brandalise, M. Camassola // *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 234. P. 225–232. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.06.150
6. Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М.: ИЦ «Академия», 2005. 608 с.

УТИЛИЗАЦИЯ ЗЕРНОВОЙ ПИВНОЙ ДРОБИНЫ – ОТХОДА ПИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА С ПОМОЩЬЮ ГРИБА *PLEUROTUS OSTREATUS*

А. В. Глазунова¹, Г. В. Песцов^{1,2}

¹ *Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого,
glazynovaanastasiya@gmail.com*

² *Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии,
georgypestsov@gmail.com*

В статье представлено исследование по изучению скорости роста мицелия гриба *Pleurotus ostreatus* на питательных средах различного состава. В качестве экспериментальных питательных сред использовали питательные среды с добавлением зерновой пивной дробины. Зерновая пивная дробина является одним из главных отходов пивного производства. Утилизация пивной дробины является актуальной проблемой и требует решения. Нами предлагается использовать зерновую пивную дробину в качестве добавки для выращивания гриба *Pleurotus ostreatus*.

Ключевые слова: зерновая пивная дробина, *Pleurotus ostreatus*, вешенка обыкновенная, мицелий, утилизация отходов.

Одна из главных задач, стоящая перед современными промышленными производствами, – это создание новых технологий, которые помогут увеличивать выход и улучшать качество продукции без дополнительных материальных затрат. Новые технологии должны соответствовать современным промышленным критериям [1]. Они должны повысить эффективность работы производства, но при этом быть экологически чистыми, малоотходными и ресурсосберегающими. Такая задача стоит и перед пивоваренными предприятиями. Только около 40% отходов пивоваренной промышленности утилизируются или применяются вторично, остальные же 60% отходов не утилизируются, обычно эти отходы вывозятся и складываются на специально отведенных полигонах. На сегодняшний день на полигонах пивоваренных заводов скопились сотни тысяч тонн отходов пивного производства.

Одним из наиболее опасных для окружающей среды отходом является зерновая пивная дробина. Она образуется при обработке ячменя и солода, из которых изготавливают пивное сусло. Внешний вид зерновой пивной дробины представляет собой густую рассыпчатую массу, коричневого или желтоватого оттенка. Запах дробины – резкий, едкий и весьма специфический. В пивной дробине должно содержаться не более 85% жидкости, а после удаления свободной влаги не более 75% [2]. В состав зерновой пивной дробины входят частицы зерен, оболочки зерна, безазотистые экстрактивные вещества, жиры, белки и углеводы [3]. В свежем виде этот отход быстро скисает из-за большого количества питательных веществ, также в нем начинают развиваться некоторые микромицеты, которые зачастую выделяют микотоксины. При средней температуре воздуха 18 ± 2 °C срок хранения пивной дробины составляет около 72 ч [4]. При гидролизе и биологической деструкции (гниение) вещества распадаются с образованием летучих кислот, которые в свою очередь разлагаются с выделением метана, спиртов, оксида углерода, аммиака, индола, сероводорода, они выделяют резкий, неприятный запах и опасны для человека, что приводит к увеличению экологической нагрузки на окружающую среду [5]. Из-за большого количества питательных веществ, которые содержатся в зерновой пивной дробине, появляется возможность использовать ее в различных отраслях сельского хозяйства, в том числе и в грибоводстве. Предлагается использовать зерновую пивную дробину в качестве добавки для выделения и выращивания мицелия гриба *Pleurotus ostreatus*.

Вешенка обыкновенная – *Pleurotus ostreatus* (Fr.) Kumm относится к роду *Pleurotus*, классу Basidiomycetes, отделу Mycophyta, царству Fungi [6]. Преимуществами вида гриба *P. ostreatus* перед другими культивируемыми грибами являются: высокая скорость роста мицелия и значительная конкурентоспособность по отношению к посторонней микрофлоре; способность расти на различных целлюлозосодержащих отходах (целлюлоза, лигнин и др.); возможность использования субстрата после сбора грибов в качестве

удобрения или корма для сельскохозяйственных животных; высокие вкусовые и питательные свойства плодовых тел, приятный запах, простота кулинарной обработки и технологической переработки [7].

Было проведено исследование по подбору питательных сред для выделения мицелия гриба *P. ostreatus* на питательные среды различного состава. Для выделения мицелия гриба *P. ostreatus* использовали части плодовых тел, простерилизованные в дезинфицирующем растворе. Данные стерильные фрагменты плодовых тел помещали на различные питательные среды. В опытах использовали шесть разных по составу питательных сред. В качестве контроля использовали пшеничный агар с добавлением сахарозы (0,5%). Как эталон применяли картофельный агар. В качестве экспериментальных сред были использованы: пшеничный агар, среда Чапека, пивная дробина с добавлением сахарозы (0,5%) и без добавления сахарозы. Инокулированные чашки Петри помещали в термостат при температуре 25 °С. Замеры диаметра колонии производили на 3, 5 и 7 сутки после посева (табл.).

Таблица

Изучение скорости образования мицелия на агаризованных питательных средах различного состава

Среда	Диаметр колонии на ... сут, мм			Процент к контролю
	3	5	7	
Пшеничный агар + сахароза	4,0±0,3	19,4±1,8	26,0±1,5	74
Пшеничный агар	1,2±0,1	13,4±1,3	21,4±0,8	61
Картофельный агар	8,4±0,8	26,4±2,3	35,2±3,2	100
Среда Чапека	4,0±0,3	26,8±1,7	39,2±0,7	111
Пивная дробина + сахароза	14,6±1,4	38,8±3,2	44,8±0,2	127
Пивная дробина	13,6±1,3	38,2±2,2	44,4±0,8	125

В результате проведенного опыта было установлено, что наиболее подходящими средами для выделения мицелия гриба *P. ostreatus* являются среды на основе пивной дробины с добавлением и без добавления сахарозы. Для выращивания мицелия гриба *P. ostreatus* лучше использовать питательные среды с добавлением пивной дробины, так как на средах такого состава быстро образуется плотный стелющийся мицелий. Кроме того, использование данных органических добавок в субстрате для получения плодовых тел позволит сократить период зарастания блоков мицелием и увеличит выход товарной продукции с единицы объема субстрата.

Библиографический список

1. Руденко Е. Ю. Современные тенденции переработки основных побочных продуктов пивоварения // Пиво и напитки. 2007. № 2. С. 66–68.
2. ГОСТ 27548-97. Корма растительные. Методы определения содержания влаги. Введ. 1999-01-01. Минск : Изд. стандартов, 2005. 6 с.
3. Третьяк Л. Н. Технология производства пива с заданными свойствами. СПб. : Профессия, 2012. 463 с.
4. ГОСТ Р 53358-2009. Продукты пивоварения. Термины и определения. Введ. 2001-01-01. М. : Изд. стандартов, 2011. 11 с.

5. Синицын А. П. Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов. М. : Изд-во МГУ, 1995. 224 с.

6. Бисько Н. А., Дудка И. А. Биология и культивирование съедобных грибов рода вешенка. Киев : Наук. думка, 1987. 148 с.

7. Бисько Н. А. Шампиньон двуспоровый (*Agaricus bisporus* (Lange) Imbach) и вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kumm в искусственных экосистемах: автореф. дис. докт. биол. наук. Киев, 1992. 43 с.

МНОГОСРЕДОВОЙ КАНЦЕРОГЕННЫЙ РИСК ЗДОРОВЬЮ ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ г. КАЗАНИ)

Р. И. Каримова, А. Р. Ильясова

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный
университет», roxi483@mail.ru, lie4ka_101@mail.ru*

В статье дана оценка риска развития канцерогенных эффектов для здоровья взрослого населения отдельных зон г. Казани при поступлении химических веществ из атмосферного воздуха, почвы, питьевой воды и пищевых продуктов ингаляционным, пероральным и накожным путями.

Ключевые слова: оценка риска, канцерогенный риск, атмосферный воздух, почва, питьевая вода, продукты питания, г. Казань, взрослое население.

Здоровье человека является залогом его активной жизни, полноценного социального функционирования и удачного выполнения профессиональных задач. На здоровье населения воздействует множество факторов, в числе которых и состояние окружающей среды [1]. К сожалению, с каждым годом происходит рост техногенного загрязнения на крупных промышленных территориях, и, соответственно, увеличивается и риск для здоровья населения. Поэтому в настоящее время для оценки качества среды обитания в условиях роста антропогенной деятельности самым доступным способом является использование расчетов рисков здоровью населения [2].

Оценка риска для здоровья человека – это количественная и/или качественная характеристика вредных эффектов, способных развиться в результате воздействия факторов среды обитания человека на конкретную группу людей при специфических условиях экспозиции [3]. На сегодняшний день методом оценки возможных последствий неблагоприятного воздействия факторов окружающей среды является анализ риска здоровью с учетом всех источников попадания вредных веществ в организм из различных объектов среды обитания (атмосферный воздух, вода, почва и продукты питания).

Цель данной работы – оценка многосредового канцерогенного риска здоровью взрослого населения при поступлении химических веществ, регулярно контролируемых в объектах окружающей среды г. Казани.

Оценка канцерогенного риска выполнялась с учетом комплексного воздействия химических веществ на здоровье взрослого населения в 4 зонах (Кировский, Вахитовский, Советский и Приволжский районы) города из разных сред (атмосферный воздух, почва, вода и продукты питания) и при различных путях поступления в организм (ингаляционный, пероральный и наружный). Канцерогенный риск оценивался по значениям медианы и 95-го перцентиля результатов исследований, выполненных на базе лаборатории Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Татарстан» согласно руководству [3]. В список канцерогенов были включены 10 веществ: кадмий, мышьяк, сажа, бензол, свинец, бенз[а]пирен, формальдегид, дихлордифенил трихлорметилметан (ДДТ), бензин, хлороформ.

Комплексная оценка канцерогенного риска при многосредовых путях поступления химических веществ для здоровья взрослого населения показала, что существует риск ($TCR = 2,1 \cdot 10^{-2}$) возникновения канцерогенных эффектов при ежедневном поступлении загрязняющих веществ.

Суммарный канцерогенный риск для всех путей поступления во всех исследованных районах г. Казани составил от $4,2 \cdot 10^{-3}$ в Приволжском районе до $6,0 \cdot 10^{-3}$ в Кировском районе, что соответствует высокому уровню риска (от 10^{-1} до 10^{-3}) во всех зонах (рис. 1). Наибольший вклад в суммарный канцерогенный риск на изученной территории города вносила 1 зона – 28,4%, 2 зона и 3 зона имели примерно равные значения (26,4 и 25,2%), наименьший вклад вносила 4 зона – 19,9% (рис. 2).

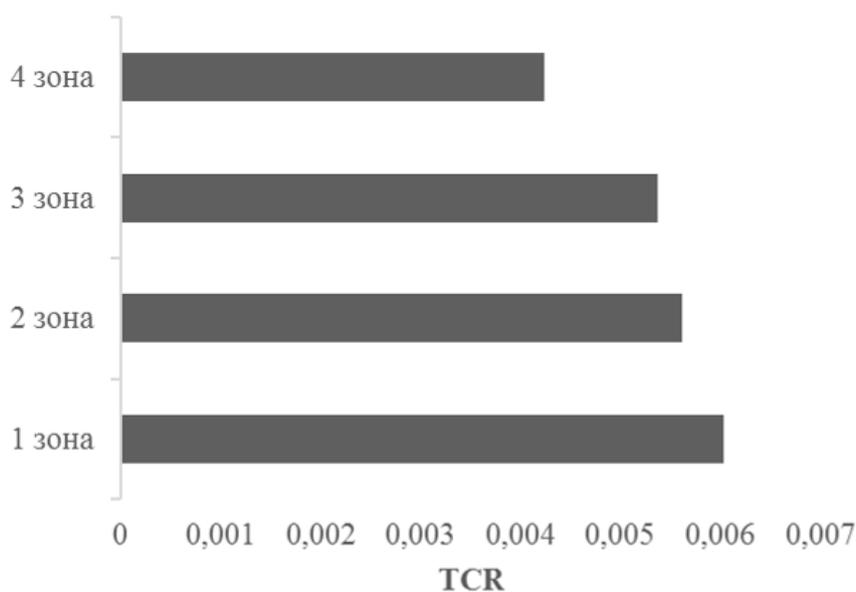


Рис. 1. Суммарный канцерогенный риск (TCR) здоровью взрослых в отдельных зонах г. Казани

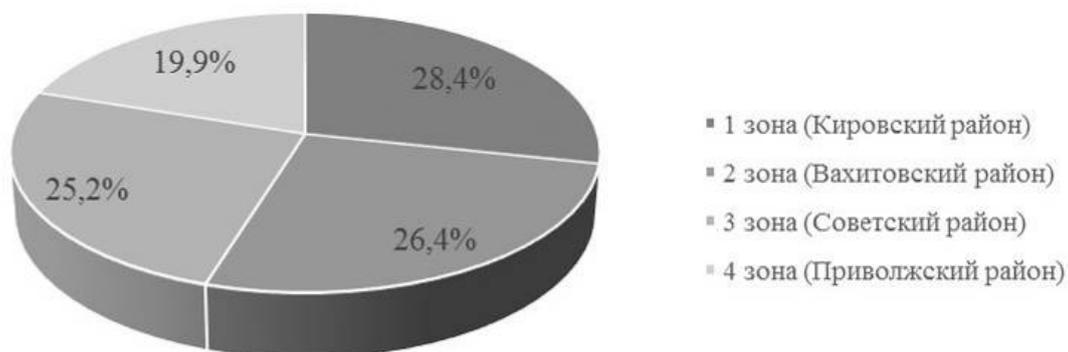


Рис. 2. Распределение зон г. Казани по вкладу в суммарный канцерогенный риск

Приоритетным путем поступления канцерогенных веществ в организм взрослых являлся пероральный (от $3,8 \cdot 10^{-3}$ до $4,5 \cdot 10^{-3}$), вклад которого в суммарный канцерогенный риск по всем районам составил 80%. Значительный удельный вес приходился также на ингаляционный путь, вклад которого по всем районам составил 17% (от $3,6 \cdot 10^{-4}$ до $1,4 \cdot 10^{-3}$). Вклад кожного пути был незначителен и составлял 1,86%.

Ведущими средами переноса веществ в формировании индивидуального канцерогенного риска являлись продукты питания (82,92%) и питьевая вода (14,95%), а также атмосферный воздух (91,98%). Основными канцерогенами, формирующими риск, являлись свинец ($1,88 \cdot 10^{-4}$), хлороформ ($1,05 \cdot 10^{-4}$) и кадмий ($6,28 \cdot 10^{-4}$), поступающие с водой, а также мышьяк ($9,21 \cdot 10^{-5}$), аккумулирующийся в почве. Ведущее место среди канцерогенов атмосферного воздуха во всех исследуемых зонах города принадлежало саже ($9,18 \cdot 10^{-4}$). Приоритетным поллютантом, присутствующим в продуктах питания и определяющим канцерогенный риск для здоровья, являлся свинец ($2,40 \cdot 10^{-3}$).

Библиографический список

1. Берестенко Е. Д., Григорьев Ю. И. Факторы среды обитания и состояние здоровья населения // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. 2011. № 4. С. 147–153.
2. Актуальность оценки многосредового канцерогенного риска для здоровья населения от воздействия химических веществ, загрязняющих окружающую среду / В. И. Курчанов, Т. Е. Лим, И. А. Воецкий, С. А. Головин // ЗНиСО. 2015. № 7. С. 8–12.
3. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М. : Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 143 с.

СОДЕРЖАНИЕ ЦИНКА В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ И ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ДЕТСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ГОРНОРУДНЫХ РАЙОНОВ

*И. Н. Семенова, Ю. С. Рафикова, Р. Ф. Хасанова, Г. Р. Ильбулова,
М. Б. Суюндукова, Я. Т. Суюндуков*
*Сибайский филиал Государственного автономного научного учреждения
«Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»,
alex-94@mail.ru*

Целью исследования явилось изучение содержания цинка в окружающей среде горнорудного региона Республики Башкортостан, а также установление связи между этим показателем и заболеваемостью детей в возрасте до 14 лет. Выявлена связь между содержанием цинка в почве и количеством таких заболеваний, как нарушения свертываемости крови и другие геморрагические состояния, болезни нервной системы, болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани, врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения, а также между содержанием цинка в волосах детей и количеством заболеваний кожи и подкожной клетчатки.

Ключевые слова: почва, микроэлементы, тяжелые металлы, цинк, горнорудные предприятия.

Цинк является одним из жизненно важных микроэлементов. Он входит в состав многих ферментных систем организма, участвующих в обмене белков, жиров, углеводов, нуклеиновых кислот. При дефиците цинка происходит замедление роста детей, нарушается течение всех этапов полового цикла, возникает анорексия, медленное заживление ран, аномалии эмбрионов, изменения иммунных параметров, отклонения в поведении, трудности в обучении детей и др. [1, 2].

Переизбыток цинка в организме наблюдается редко, поскольку данный элемент довольно быстро выводится из организма. Избыточное накопление цинка в организме возможно в случае длительного приема препаратов цинка или при нарушениях работы выделительной системы. Следствием переизбытка цинка могут служить тошнота, лишний вес, недостаток некоторых микроэлементов (марганца, меди или железа) [1, 2].

Основным способом попадания цинка в организм человека является алиментарный. Содержание цинка в окружающей среде (ОС) также может наложить отпечаток на его уровень в организме. Считается, что цинк является одним из микроэлементов, которые человек получает в недостаточных количествах [3].

Аккумуляция цинка в ОС может быть обусловлена как естественными геохимическими процессами, так и промышленным загрязнением.

Горнорудный кластер Республики Башкортостан в течение длительного времени занимается разработкой месторождений медно-колчеданных и медно-цинковых руд. Интенсивное и длительное функционирование горнорудных предприятий привело к загрязнению компонентов ОС тяжелыми металлами [4–5].

Цель данного исследования: изучение содержания цинка в окружающей среде горнорудного региона Республики Башкортостан (РБ).

Регион исследования включал в себя муниципальные районы РБ с крупными горнорудными предприятиями (Учалинский, Хайбуллинский, Белорецкий, Баймакский районы, г. Сибай), а также районы с отсутствием выраженного техногенного загрязнения (Абзелиловский, Бурзянский, Зианчуринский, Зилаирский). Анализ почв, воды и растениеводческой продукции проводили в соответствии с СанПин 2.1.7.1287-03 методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Элементный анализ волос проводили в АНО «Центр биотической медицины», г. Москва, Россия (ISO 9001:2008 сертификат 54Q10077 от 21.05.2010). Полученные результаты сравнивали с референтными значениями [6].

Согласно полученным данным, статистически значимое отличие в содержании цинка в компонентах ОС районов с разным уровнем техногенного загрязнения было показано только в отношении почвы (табл.).

Таблица

Содержание цинка в компонентах окружающей среды горнорудного региона Республики Башкортостан, мг/кг

Субстрат	ПДК ¹ / референтные значения ²	1 группа (Техногенная зона: Баймакский, Хайбуллинский, Учалинский и Белорецкий районы)	2 группа (Фоновые территории: Абзелиловский, Бурзянский, Зианчуринский и Зилаирский районы)
Почва пастбищная, мг/кг	100 ¹	223,41±156,65*	62,95±50,25
Почва пахотная, мг/кг		8,93±2,86	8,73±2,42
Вода питьевая, мг/мл	5 ¹	0,13±0,11	0,04±0,02
Пшеница яровая (зерно), мг/кг	50 ¹	30,70±24,99	48,63±28,11
Картофель (клубни), мг/кг		10,43±8,24	27,25±17,32
Волосы детей, мг/кг	155–206 ²	191,16±44,13	195,76±19,11

Примечание: * – статистически значимое ($p < 0,5$) различие показателей 1-й и 2-й групп.

Корреляционный анализ взаимосвязи между содержанием цинка в ОС и показателями заболеваемости населения проводили на основании сведений официальной отчетности Медицинского информационно-аналитического центра (МИАЦ) РБ за 2016–2019 гг. методом ранговой корреляции Спирмена,

позволяющим определять связь между двумя признаками и при этом не требующим реализации условия нормальности статистического распределения признаков.

Выявлено, что статистически значимые коэффициенты корреляции имели место между содержанием цинка в почве и количеством таких заболеваний, как нарушения свертываемости крови и другие геморрагические состояния ($r = 0,720$), болезни нервной системы ($r = 0,695$), болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани ($r = 0,828$), врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения ($r = 0,845$), а также между содержанием цинка в волосах детей и количеством заболеваний кожи и подкожной клетчатки ($r = - 0,738$).

Публикация подготовлена в рамках поддержанного РФФИ и Правительством Республики Башкортостан научного проекта 19-413-020003p_a.

Библиографический список

1. Оберлис Д. Харланд Б., Скальный А. В. Биологическая роль макро-и микроэлементов у человека и животных. СПб. : Наука, 2008. 544 с.
2. Кожин А. А., Владимирский Б. М. Микроэлементозы в патологии человека экологической этиологии. Обзор литературы // Экология человека. 2013. № 9. С. 56–64.
3. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология / А. П. Авцын, А. А. Жаворонков, М. А. Риш, Л. С. Строчкова. М. : Медицина, 1991. 496 с.
4. Тяжелые металлы в садово-огородных почвах и растениях в зоне влияния горно-рудного производства / Р. Ф. Хасанова, Я. Т. Суяндукоев, И. Н. Семенова, Ю. С. Рафикова, Г. Ш. Сингизова // Почвы в биосфере : сб. трудов Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Новосибирск, 2018. С. 421–424.
5. Семенова И. Н., Рафикова Ю. С., Ильбулова Г. Р. Воздействие предприятий горно-рудного комплекса Башкирского Зауралья на состояние природной среды и здоровье населения прилегающих территорий // Фундаментальные исследования. 2011. № 1. С. 29–34.
6. Скальный А. В. Референтные значения концентрации химических элементов в волосах, полученные методом ИСП-АЭС (АНО «Центр биотической медицины») // Микроэлементы в медицине. 2003. № 4 (1). С. 7–11.

ТЕХНОЛОГИЯ УСКОРЕННОГО БЕСКИСЛОРОДНОГО СУХОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ОТХОДОВ

В. Ф. Надеев

КРОО «Центр развития инноваций «Новатор», zav43r@gmail.com

В статье предложена технология ускоренного бескислородного сухого разложения для утилизации отходов без вредных выбросов с получением полезных продуктов. Данная технология подходит и для других отраслей, что может значительно повысить экологичность многих производств.

Ключевые слова: мусор, вредные вещества, сухое разложение, температура.

Планета Земля – одна из планет Солнечной системы, на которой созданы благоприятные условия для всего живого. Она существует миллиарды лет, благодаря оптимальной температуре, а также сбалансированному содержанию кислорода, водорода и углерода. Нарушение этого баланса приведет к непоправимым последствиям: всемирному потопу или ледниковому периоду. Сейчас вымирают некоторые виды животных, меняется растительный мир, приспособляясь к изменяющимся условиям.

Начиная со второй половины XX века, когда резко началась индустриализация и увеличились выбросы вредных веществ в атмосферу, климат на Земле стал резко меняться. Содержание углекислого газа повысилось с 0,0387 до 0,0417% и продолжает ежегодно увеличиваться. Если ничего не делать, то к 2050 г. концентрация углекислого газа составит 0,0482%, что на 25% больше нормы. При этом температура повысится на 7–8 °С, что приведет к таянию ледников в северном и южном полушариях и, как следствие, к затоплению огромных территорий.

Основные источники выбросов углекислого газа в атмосферу [1]: животный мир – 4000 млрд т, мертвые деревья, трава – 220 млрд т, океаны – 330 млрд т, вулканы – 220–230 млрд т, пожары – 250 млрд т, промышленность – 250 млрд т, в том числе транспорт – 35 млрд т и сельское хозяйство – 60 млрд т.

Человечество может воздействовать на: нейтрализацию выбросов промышленных предприятий; отсутствие полигонов и гниение миллиардов тонн мусора; уменьшение объемов гниения хвои и листвы, выделяющих парниковые газы; ликвидацию выбросов транспорта. Рассмотрим более подробно эти пути решения.

В 50-тые годы XX столетия в связи с бурным ростом промышленности человечество столкнулось с проблемой утилизации отходов, и срочно началось строительство заводов по сжиганию мусора во всевозможных устройствах: котлах, печах и пр. В технической литературе предлагались сотни вариантов. Сжигание началось на Западе, и в настоящее время таких заводов насчитывается более 4500, которые сжигают только 25% всего мусора. Остальной мусор вывозится на полигоны, которые занимают тысячи гектаров плодородной почвы. В тоже время мусор, разлагаясь на полигонах, выделяет углекислый газ и метан. В начале XXI века обнаружилось, что при сжигании пластмасс выделяются диоксины и фураны, которые вызывают онкологические заболевания. Пластмассы горят при температуре 200–300 °С, поэтому и образуются эти вредные вещества. Чтобы избавиться от вредных выбросов, нужно было осуществлять дорогую многоступенчатую очистку выхлопных газов, которая дороже самого завода в 1,5–2 раза [2].

В настоящее время в России строятся 5 заводов по сжиганию мусора по швейцарско-японской технологии стоимостью по 20,8 млрд руб. Технология заключается в следующем: в котел на решетку мусор задвигается кучей и с помощью газовых горелок сжигается. Разработчики предполагают, что отсутствие кислорода в дымовых газах, предотвратит появление вредных веществ.

Однако это глубокое заблуждение. Во-первых, сам мусор содержит 15–25% кислорода. Во-вторых, создавая высокую температуру в пламени горелок, внутри кучи мусора температура будет только 200–400 °С. Диоксиды и фураны неизбежно появятся, что потребует дорогостоящей очистки отходящих газов. Кроме того, вредные вещества останутся в золе и для их нейтрализации потребуются дополнительные устройства.

Все технологии, разработанные сейчас на Украине, в Китае и в России предусматривают температуру сгорания мусора до 900 °С, и соответственно, не могут гарантировать появление вредных веществ. Имеются также технологии по разложению мусора методом ферментации, который длителен и требует строгого поддержания определенной температуры, что сложно сделать при нашем меняющемся климате (зима – лето).

Предлагаю метод ускоренного бескислородного сухого разложения измельченного подсушенного мусора после сортировочного комплекса. По этой технологии мусор загружается в циклонную печь с газовыми горелками, создающими вихревой поток (патент РФ № 2737656). При температуре 1200–1300 °С частички мусора, двигаясь по спирали, мгновенно прогреются и разложатся на синтез-газ и технический уголь. Дополнительно в бункер добавляется карбонат кальция CaCO_3 (мел), который, реагируя с хлором и серой (находятся в бумаге и резине), превращает их в нейтральные вещества. В результате получается синтез-газ, состоящий из углекислого газа CO_2 , оксида углерода CO , водорода H_2 , азота N_2 и водяного пара H_2O [3]. Кроме этих газов в мусоре могут быть легкокипящие металлы: ртуть, цинк, и другие. В конструкции установки при снижении скорости потока и снижении температуры легкоплавкие металлы попадут в герметичный зольник. А ртуть, сконденсировавшись, скатится в специальный герметичный приемник. Таким образом, все вредные вещества будут удалены из полученного синтез-газа, и дополнительной очистки не потребуется. Часть тепла от циклонной камеры будет использовано для подогрева подводимого на горелки воздуха и для сушки мусора. Это уменьшит габариты всей установки и решит проблему жаростойкости ее материалов. Далее синтез-газ подается на реактор катализа, где на выходе получается метан CH_4 . Затем синтез-газ охлаждается, из него конденсируется вода, и сухой газ подается на мембранный разделитель. После удаления азота и водорода получается газ с теплотворной способностью около 38500 КДж/м³. Назовем его синтетический природный газ. Этот газ можно использовать для выработки электрической энергии, благодаря газовой турбине или дизельной электростанции. Азот и водород можно подавать на колонну синтеза и получать аммиак. Зола из зольника поступает в центробежную центрифугу, где от золы отделяются оксиды металлов, стекло и другие твердые вещества. Они направляются в небольшой плазмотрон, и за счет высокой температуры также превращаются в чистую золу.

Таким образом, данная технология позволяет утилизировать твердые коммунальные отходы (ТКО) без выбросов в атмосферу газов и получать ценные востребованные на рынке продукты. Конструкция установки имеет

небольшие размеры при большой производительности. Предварительные расчеты показывают, что такой комплекс производительностью 25 т мусора в ч может дать в год: 120 млн кВт/ч электроэнергии и 70 тыс. т аммиака. А это около 3 млрд руб. при минимальных расценках за полученную продукцию. Такой комплекс может перерабатывать мусор в городе с населением до 500 тыс. человек. Применение таких установок возможно и в других отраслях.

В энергетике. Используем сырье: фрезерный торф или уголь. На данной установке получаем товарные газы: оксид углерода, водород и азот [4]. Оксид углерода идет на производство дешевой электроэнергии и может использоваться в химической промышленности [5]. При этом не получаем ни каких выбросов в атмосферу.

В химической промышленности. Полученный оксид углерода CO используем для получения карбоновых кислот, метанола, формальдегидов, смол, красителей и других полезных продуктов или производства электроэнергии для собственных нужд. Водород будет использоваться на заправочных станциях. Азот пойдет на производство азотной кислоты и аммиака. Конкретно для филиала «КЧХК» АО «ОХК «УРАЛХИМ»: вместо трубных печей и котлов устанавливаем газификатор и используем в качестве сырья торф и природный газ (1 : 1). Себестоимость полученных газов (CO, H₂, N₂) будет в 2–3 раза ниже, чем на существующем производстве.

В лесной и деревообрабатывающей промышленности. Использование сучьев, хвой и листвы, опила, стружки (это 70% от объема всей древесины) позволит получать электроэнергию, топливо и много других продуктов, при этом исключаются парниковые газы. Реализация данных продуктов даст прибыль большую, чем получаем от деловой древесины.

В сельском хозяйстве. Перерабатывая навоз, помет, солому и другие отходы, получим аммиачную воду, золу и карбоновую кислоту. На их основе получаем свое отличное удобрение (патент РФ № 2729390). Также получим топливо для заправки сельхозмашин или электроэнергию.

В гидролизной промышленности. Из лигнина (отходы) получим электроэнергию и пар для собственных нужд, а также водород для производства фурилового спирта.

Таким образом, к достоинствам предлагаемой технологии можно отнести:

1. Отсутствие вредных выбросов диоксинов и фуранов при попадании в установку пластмасс и других высокоорганических соединений.
2. Возможность использовать все отходы в сельском хозяйстве, лесной промышленности, в гидролизной отрасли и в коммунальном хозяйстве (ТКО) без полигонов.
3. Возрастает рентабельность производств, использующих данную технологию (окупаемость менее 1 года).
4. Установка имеет малые габариты при большой производительности.
5. Применение теплообменника обеспечивает получение большого количества горячей воды, которая может быть использована для отопления.

Итак, для снижения парникового эффекта достаточно переработать ТКО, перевести энергетику и промышленность на замкнутый цикл, отходы в сельском хозяйстве и в лесной промышленности переработать в товарные газы, а транспорт перевести на водородное топливо, и мы значительно снизим выбросы углекислого газа. За 8–10 лет можно прийти к балансу фотосинтеза растений и выделения углекислого газа, тем самым получим чистый воздух и ликвидируем парниковый эффект.

Библиографический список

1. Моисеев Н. Н. Человек, окружающая среда, общество. М. : Наука, 1982. 240 с.
2. Гарин В. М. Утилизация твердых отходов. Ростов на Дону : РГУПС, 2004. 146 с.
3. Доброхотов Н. Н. Расчет газогенераторов и газогенераторного процесса: Петроград : ВСНХ, 1922. 33 с.
4. Гаутман З., Грефе Ю., Ремане Х. Органическая химия. М. : Химия, 1979. 832 с.
5. Лебедев П. Д., Щукин А. А. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий. М. : Энергия, 1970. 408 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ СБОРА ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ОТДЕЛЬНОМ МИКРОРАЙОНЕ г. КИРОВА

Т. А. Мусихина, Е. А. Пинаева, Ю. Н. Зыкина
Вятский государственный университет,
usr04011@vyatsu.ru, stud097441@vyatsu.ru, stud126031@vyatsu.ru

Исследование процессов сбора твердых коммунальных отходов в отдельно взятом микрорайоне города Кирова является актуальным, поскольку до сих пор отсутствует четкое понимание относительно системы совместного пользования контейнерными площадками населением и субъектами городской социальной инфраструктуры. Выявлено, что фактическое использование контейнерных площадок в микрорайоне улиц Карла Маркса, Герцена, Спасской и Володарского во многом не соответствует данным, размещенным на официальном сайте администрации города (реестр контейнерных площадок города Кирова).

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, контейнерные площадки, мусор.

Организация сбора твердых коммунальных отходов (ТКО) в г. Кирове предусматривает совместное использование контейнерных площадок населением и субъектами социальной инфраструктуры (СИ), что приводит к невозможности должного учета и контроля за объемами ТКО, выбрасываемыми последними.

Для исследования выбран отдельный микрорайон г. Кирова с границами улиц Карла Маркса, Герцена, Спасской и Володарского. Методы исследования – визуальный осмотр и фоторегистрация. Исследование территории

микрорайона показало, что в микрорайоне расположены: 10 многоквартирных жилых домов; 4 двухэтажных жилых дома на 2 семьи; земельный участок с жилым домом и хозяйственными постройками; подземно-наземная стоянка для автомобилей; более 35 субъектов инфраструктуры, среди которых 4 магазина, кафе, частный детский сад, кукольный театр, музей, пекарня, 2 отделения банка, 2 отдельных офисных здания, образовательные, медицинские и социальные учреждения, офисные помещения, расположенные на первых этажах жилых домов.

Для сбора ТКО в микрорайоне расположено 4 контейнерные площадки с общим количеством обычных пластиковых контейнеров – 6 шт. Результаты сравнения фактического использования контейнеров и данных Реестра мест (площадок) накопления ТКО на территории муниципального образования «Город Киров» представлены в таблице.

Таблица

Сравнение данных по фактическому использованию контейнерных площадок с данными реестра

№	Адрес площадки (реестр)	Фактические данные по использованию	Данные официального реестра
1	Ул. К. Маркса, 80 3 бачка	Жильцы домов: ул. Герцена 25а, 33, 35а, 37, ул. К. Маркса 80 Субъекты инфраструктуры: ул. К. Маркса, 80: продовольственный, цветочный, сувенирный магазины, кафе-пекарня «Зерно», отделение банка ул. Герцена, 37: Центр «Томатис», нотариальная контора, учебный центр ПАО Сбербанк, круглосуточное интернет-кафе ул. К. Маркса, 78: ПОУ «Вятский колледж управления и новых технологий»	Товарищество собственников жилья «Согласие-1», г. Киров, ул. Герцена, д. 37
2	Ул. Спасская, 22 1 бачок	КОГАУК «Кировский театр кукол им. А. Н. Афанасьева», ул. Спасская, 22	КОГАУК «Кировский театр кукол им. А.Н. Афанасьева», ул. Спасская, 22
3	Ул. Герцена, 25а 1 бачок	Жильцы дома: ул. Володарского, 117а Субъекты инфраструктуры: частный детский сад – ул. Володарского, 115, детские развивающие центры	Товарищество собственников жилья «Володарского, 117а»
4	Ул. Спасская, 26б 1 бачок	Жильцы домов: ул. К. Маркса, 80, ул. Спасская 24–30 Субъекты инфраструктуры: ул. К. Маркса, 74: Правление ВОИ, 3 офиса ул. Спасская, 26б: 3 медицинских учреждения ул. К. Маркса, 76: 3-х этажное офисное здание ул. К. Маркса, 80: МКУ «Центр психолого-педагогической, медицинской и социальной помощи»	КОГАУ «Редакция газеты «КИРОВСКАЯ ПРАВДА», ул. Спасская, 47

Согласно данным таблицы, на территории микрорайона существует только одна контейнерная площадка (1 бачок), которая соответствует официальным данным и используется только объектами СИ – театром кукол и палеонтологическим музеем. Остальными площадками (5 бачков) пользуются совместно жители и объекты СИ. При этом население регулярно оплачивает вывоз мусора в соответствии с площадью жилья, а объекты СИ должны согласно экологическому законодательству вести учет образующихся отходов и подавать соответствующие декларации, однако проконтролировать фактические объемы и структуру ТКО весьма затруднительно.

Осталось не понятным, какими контейнерными площадками пользуется кафе «Пельменное ухо», а также жильцы домов по ул. Герцена, 25 и ул. Володарского, 119.

Анализ реестра контейнерных площадок г. Кирова (официальный сайт администрации г. Кирова) показал, что пользователем контейнерной площадки по ул. Спасской, 26б числится сторонняя организация, при этом фактически этой площадкой пользуется население и несколько офисов, а закрепленными за сообществом жильцов контейнерными площадками по ул. Герцена, 37 и ул. Володарского, 117 дополнительно бесконтрольно пользуются порядка 20-ти объектов СИ.

Так называемый «мусорный коллапс» начала 2021 г. способствовал выявлению структуры и объема отходов от некоторых объектов СИ. Так, например, продовольственный магазин по адресу ул. К. Маркса, 80 в день выбрасывает по 2 пакета мусора – один с чеками, второй с бытовыми отходами, но при этом в январе 2021 г. было также выброшено значительное количество испорченных продуктов в ящиках. Магазин цветов «Флорист 43» регулярно складировать большое количество картонных коробок. Приведенные факты подтверждены фоторегистрацией.

Таким образом, исследование показало, что на территории квартала внутри улиц Карла Маркса, Герцена, Спасской и Володарского г. Кирова отсутствует отдельный сбор ТКО, а фактическое использование контейнерных площадок не соответствует данным официального сайта.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОМУТИНСКОГО РАЙОНА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

***В. В. Константинов, О. С. Козловцева**
Ишимский педагогический институт им. П. П. Ершова (филиал)
ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»,
Ishim_Institute@utmn.ru*

В данной статье рассмотрены экологические проблемы, характерные для Омутинского муниципального района Тюменской области. Это проблемы загрязнения подземных вод, земель, пожары, загрязнение воздуха, нашествие тутового шелкопряда, бешенство. Часть проблем является постоянными, зло-

бодневными. Отдельные проблемы проявляются на территории района периодически, циклично. Но каждая из них оказывает негативное влияние на качество жизни всего населения.

Ключевые слова: экологические проблемы, загрязнение воздуха, качество питьевой воды, свалки бытовых отходов, бешенство, пожары, нашествие непарного шелкопряда.

Экологическая проблема – это такое изменение состояния природной среды, которое возникает по причине антропогенного вмешательства или природных стихийных бедствий. Такие изменения неизбежно ведут к изменению и нарушению состояния и функционирования отдельных компонентов природы или природы в целом [1].

Среди экологических проблем можно выделить 3 группы. К первой группе относятся локальные проблемы, являющиеся объективными для отдельной территории, будь то район, область или край. Две другие группы экологических проблем – это проблемы региональные, характерные для отдельно взятого региона и глобальные, актуальные для всей территории земли [2].

Рассмотрим экологические проблемы Омутинского района Тюменской области, расположенного в лесостепной зоне юга Тюменской области в 178 км от г. Тюмень.

Район включает в себя 8 сельских поселений с тридцатью девятью населенными пунктами, из которых крупнейшими являются три: Омутинское, Вагай, Ситниково.

Для района характерен ряд экологических проблем: загрязнение подземных вод, земель, пожары, загрязнение воздуха, нашествие тутового шелкопряда, бешенство.

Проблема загрязнения воздуха на территории района существует в большинстве своем за счет выбросов в атмосферу загрязняющих веществ действующими производственными и сельскохозяйственными предприятиями. Кроме того, источниками загрязнения воздуха выступают 3 автозаправочные станции, котельные, зерносушилки и автотранспорт [3].

Во избежание ухудшения экологической обстановки в районе ежегодно проводится санитарная очистка лесов и других зеленых насаждений, высаживаются сотни новых растений, которые являются природными очистителями воздуха.

Проблема качества питьевой воды. По данным департамента экологии и недропользования Тюменской области, в Омутинском районе в 2019 г. при проведении анализа водопроводной сети было выявлено, что доля проб воды, которая не соответствует гигиеническим нормативам по санитарно-химическим и микробиологическим показателям, превышает среднеобластной показатель в 1,3 и 2,4 раза соответственно. Кроме того, отмечена динамика роста таких показателей практически в два раза по сравнению с предыдущим 2018 г. [4].

Причина таких показателей, вероятно, состоит в том, что скважины, из которых поступает вода, не имеют строгого режима ограждения. Очистка русел рек и родников не всегда осуществляется вовремя. Загрязнение воды происходит за счет сброса талых и ливневых вод, которые несут с собой отходы жизнедеятельности с территорий поселений и производственных предприятий [3].

Одной из самых актуальных экологических проблем района является наличие *свалок твердых бытовых отходов*, которые оказывают негативное влияние на качество подземных вод и сокращают количество пахотных земель. После разложения продуктов распада, в почву поступают токсические вещества, болезнетворные бактерии и гельминты. На смену плодородным пахотным землям приходят негодные для сельскохозяйственного производства почвы.

Количество мусора и отходов в свалках на каждого жителя Омутинского района, составляет $46,8 \text{ м}^3$, что превышает среднестатистические показатели по всей Тюменской области [5].

До проведения «мусорной» реформы, в каждом населенном пункте была своя санкционированная свалка, куда вывозился мусор с частных подворий, с промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Большинство свалок нуждалось в капитальном ремонте и не соответствовало санитарным и экологическим нормам.

Помимо санкционированных свалок, имелись, и, к сожалению, имеются до сих пор места несанкционированного сброса мусора. То там, то здесь можно наблюдать кучи пластиковых и жестяных бутылок и банок. Имеются и отходы биологического происхождения: внутренности забитых животных, шкуры, кости, а также трупы павших животных.

Летом 2012 г. в результате планового осмотра земель сельскохозяйственного назначения Омутинского муниципального района были обнаружены следы присутствия на почве жидких бытовых отходов. По результатам исследования почвы на месте слива обнаружено, что имеет место превышение количества индекса энтерококков и коли-индекса. Такие показатели свидетельствуют об опасной степени загрязнения почвы [6].

После проведения «мусорной» реформы большинство свалок закрыто, очищено, мусор отсортирован, часть его отправлена на переработку в соседний Голышмановский район, на территории которого открылся цех по переработке твердых бытовых отходов ПЭТ-бутылок. В районе осталась только одна свалка – центральная, расположенная на расстоянии около 4 км от районного центра по направлению к с. Большой Краснояр. Ее временное функционирование согласовано с департаментом экологии и недропользования по Тюменской области.

В каждом населенном пункте установлены контейнеры для сбора мусора, вывоз которого осуществляет компания «Восток». Однако установленные контейнеры не решают проблему загрязнения. Во-первых, нет твердого покрытия под баками и контейнерами. Во-вторых, контейнеры не закреплены и

постоянно «перемещаются» по прилегающей территории, нередко оказываясь перевернутыми. Мусор, находящийся в них, разлетается по прилегающей территории, засоряя все вокруг. В-третьих, отсутствие экологического воспитания у жителей района приводит к тому, что баки и контейнеры переворачивают, и даже имелись случаи поджога. По обочинам дорог можно наблюдать наличие выброшенных мусорных пакетов. Все это способствует ухудшению экологической ситуации.

Следующая проблема – *бешенство* – острое инфекционное заболевание, которое характеризуется поражением нервной системы и вызвано вирусами семейства рабдовирусов. Встречается как у животных, так и у человека. Всплески заболевания происходят циклически примерно через каждые пять лет. Летальный исход при заболевании составляет практически 100% [7].

По данным Омутинского Ветцентра, наш район относится к числу неблагоприятных по наличию данного заболевания. По статистике в период с 2010 по 2020 годы на территории района практически каждый год отмечены случаи бешенства в населенных пунктах района. Так, в 2010 г. в Омутинском зафиксировано 12 случаев заболевания у лисиц и енотовидных собак. К счастью, из жителей района никто не пострадал.

2011 г. «принес» еще 6 случаев заболевания диких животных в 6 населенных пунктах района: в с. Окуневское, д. Томская, д. Савинова, д. Большекрутинская, с. Южно-Плетнево и с. Шабаново (по одному случаю соответственно).

В 2012 г. был зафиксирован один единственный случай бешенства, в д. Свобода заболело домашнее животное (собака). В 2013 г. ограничительные мероприятия по причине выявления очагов бешенства были введены на территории с. Омутинское и в районе ООО «Вега Плюс», расположенной на 159-м км трассы Тюмень – Омск. Заболевшие животные – лисицы.

В 2014 г. на территории охотничьих угодий района был организован отстрел лисиц и енотовидных собак после выявления двух очагов бешенства. Больные животные (лисицы) зашли на подворья местных жителей в с. Омутинское и с. Окуневское. Животных обнаружили уже умершими.

2015 г. ознаменовался тем, что именно в этом году после контакта с больным животным (енотовидная собака) пострадало сразу два жителя с. Омутинское. Один мужчина получил укусы от больного животного в область руки, второй – в область ноги. Оба пострадавших прошли курс лечения [8].

В 2018 г. был выявлен только один случай заболевания, а вот следующий 2019 г. «отметился» сразу семью случаями бешенства. Среди заболевших животных – лисицы и енотовидные собаки (5 и 2 соответственно). Случаи бешенства отмечены в с. Окуневское, Омутинское и с. Шабаново. В с. Окуневское от укуса лисицы на одном из частных подворий пострадала собака. Лисицу убили местные жители, собаку вылечить не удалось. Пострадавших среди жителей нет.

В с. Шабаново вдоль обочины дороги была обнаружена больная лисица. По ее агрессивному поведению было ясно, что она страдает бешенством. После попытки нападения на местного жителя, лисица была убита.

За 2020 г. в трех населенных пунктах района: в с. Шабаново, с. Вагай и с. Окуневское зафиксированы 3 случая бешенства у диких животных, которые пришли на частные подворья. Среди зараженных животных – 2 лисицы и одна енотовидная собака. После каждого случая обнаружения новых очагов бешенства на территории устанавливается двухмесячный карантин со всеми вытекающими последствиями.

Проблема нашествия непарного шелкопряда. Непарный шелкопряд – типичный вредитель лесных насаждений. При массовом появлении гусениц происходит полное оголение деревьев на больших территориях. Насекомые данного вида способны повреждать все лиственные породы деревьев, многие кустарники и часть хвойных растений [9].

По данным Омутинского лесхоза, в лесах нашего района очаги непарного шелкопряда появлялись и затухали, начиная с 1993 г. Так, в 2000 г. непарным шелкопрядом было поражено 50 тыс. га леса. Следующая вспышка отмечена спустя 10 лет, в 2010 г. (периодичность вспышек очага непарного шелкопряда около десяти лет). В этот период площадь очага составляла 6568,8 га леса. В 2011 г. – около 9500 га. Еще одно поражение лесных массивов непарным шелкопрядом было выявлено на площади 9,5 тыс. га в 2018 г.

За последнее время новых очагов не отмечено. Возможно, это связано с биологическими мерами борьбы (для борьбы с непарным шелкопрядом был завезен вредитель), а возможно, еще не наступила новая волна жизни этого вредителя лесных массивов.

Лесные пожары. В Омутинском районе около 98 тыс. га занято лесами, из которых более 4 тыс. га составляют хвойные леса. По статистике каждый год в среднем в районе отмечается примерно по 40 лесных и ландшафтных пожаров [10].

В период с пятого по 8 мая 2016 г. были ликвидированы 1 лесной и 2 ландшафтных пожара на площади более 2 га. Причина пожаров – человеческий фактор [11].

Согласно информации Омутинского лесхоза, в 2018 г. произошло 11 пожаров: 6 ландшафтных и 5 лесных. Общая площадь возгорания составила 463 га: 436 и 27 га соответственно. В 2019 г. отмечено 16 пожаров: 9 ландшафтных общей площадью возгорания и 7 лесных с площадью 278 и 179,55 га. Итого пострадало 452,55 га насаждений. 2020 г. «добавил» в копилку еще четыре ландшафтных пожара общей площадью 21 га.

К счастью, пострадавших среди населения нет. Но причина практически всех пожаров – человек и его необдуманная хозяйственная деятельность. Только один пожар случился по причине природного фактора – во время грозы оторвался провод линии электропередач, упал на землю, и произошло возгорание.

Таким образом, основная причина всех экологических проблем кроется в хозяйственной деятельности человека. От этого страдает природа, а в конечном итоге и сами люди. Поэтому пока мы не научимся жить в гармонии с природой, мы не сможем решить ни одну экологическую проблему.

Библиографический список

1. Экологическая проблема [Электронный ресурс] – URL: https://studopedia.ru/-19_415711_ekologicheskaya-problema.html (дата обращения: 25.03.2021).
2. Проблемы экологии [Электронный ресурс] – URL: [spravochnick.ru>problemy ekologii](http://spravochnick.ru/problemy-ekologii/) (дата обращения: 25.03.2021).
3. Экологическое состояние Омутинского сельского поселения [Электронный ресурс] – URL: <https://omutinskoe.ucoz.ru/index/0-19> (дата обращения: 25.03.2021).
4. Доклад об экологической ситуации в тюменской области в 2019 году [Электронный ресурс] – URL: https://admtyumen.ru/files/upload/OIV/D_nedro/Доклад%20об%20экологической%20ситуации%20в%20Тюменской%20области%20в%202019%20году.pdf (дата обращения: 25.03.2021).
5. Козин В. В. Современная экологическая ситуация в Тюменской области и задачи формирования экологического каркаса [Электронный ресурс] – URL: <http://www.bookre.org/reader?file=568807> (дата обращения: 25.03.2021).
6. В Омутинском районе выявлены факты порчи земель сельскохозяйственного назначения [Электронный ресурс] – URL: <http://www.ursn72.ru/gos/633.html> (дата обращения: 25.03.2021).
7. Бешенство. Большая медицинская энциклопедия [Электронный ресурс] – URL: <https://xn--90aw5c.xn--c1avg/index.php/%D0%91%D0%95%D0%A8%D0%95%D0%9D%D0%A1%D0%A2%D0%92%D0%9E> (дата обращения: 25.03.2021).
8. В Омутинском бешеная енотовидная собака укусила двоих человек [Электронный ресурс] – URL: <https://tumen.bezformata.com/listnews/omutinskombeshenayaenotovidnaya-sobaka/33953888/> (дата обращения: 25.03.2021).
9. Шелкопряд непарный [Электронный ресурс] – URL: https://www.pesticidy.ru/Шелкопряд_непарный (дата обращения: 25.03.2021).
10. О мероприятиях по пожарной безопасности [Электронный ресурс] – URL: <https://tyumedia.ru/192274.html> (дата обращения: 29.03.2021).
11. Майские праздники не обошлись без пожаров [Электронный ресурс] – URL: <https://tyumedia.ru/193434.html> (дата обращения: 29.03.2021).

АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ Г. КРАСНОЯРСКА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНКЕТИРОВАНИЯ ЖИТЕЛЕЙ

А. А. Князева¹, И. П. Мучкин²

¹ *Сибирский федеральный университет, anna.knyazeva.1999@bk.ru*

² *Красноярский государственный аграрный университет,
emuchkina@yandex.ru*

В статье представлены данные по результатам анкетирования жителей Красноярской агломерации о степени значимости конкретных экологических проблем территории. Мнение респондентов сопоставлено с данными официальных органов по градациям экологических проблем региона.

Ключевые слова: окружающая среда, урбанизированные территории, экологические проблемы, загрязнение.

Рост урбанизации вызывает загрязнение компонентов городских экосистем. Поэтому в настоящее время актуализируются проблемы, связанные с экологическим состоянием городов. Обозначение экологических проблем и поиск их решения имеют важное значение для оценки качества жизни населения, и являются предметом обеспокоенности различных социальных и возрастных групп [1, 2].

Сведения об объемах загрязнения окружающей среды (ОС), размерах полигонов отходов, степени использования чистой воды, сброса сточных вод публикуют государственные органы и представлены в ежегодных государственных докладах по каждому субъекту РФ [3–5]. В связи со значительным загрязнением компонентов городской среды [6–8] очевидна необходимость оценки экологической ситуации в различных городах не только для выявления общественного мнения, но и для разработки рекомендаций по улучшению урбоэкологических условий.

Степень антропогенной нагрузки на ОС имеет неоднородный характер. В крупных городах – это работа ТЭЦ в течение внутригодового периода, большое количество единиц автотранспорта, многоотраслевая промышленность, недостаток зеленых насаждений, а также недостаточная деятельность коммунальных служб (уборка и утилизация мусора, контроль над бездомными животными и др.).

В современной России актуальны проблемы, связанные с повышением качества жизни населения. Высокое качество жизни современного человека подразумевает достаточную продолжительность жизни, здоровье на протяжении всей жизни, обеспеченное комфортными экологическими условиями, социальной и информационной безопасностью, эффективной деятельностью основных социальных институтов. Показатели экологического состояния тер-

ритории оказывают большое влияние на самочувствие и продолжительность жизни людей, а также на их социальную активность.

Целью работы явилось выявление значимости экологических проблем для населения крупного промышленного центра (г. Красноярск) на основе анкетирования.

Метод анкетирования в экологических исследованиях является одним из основных методов качественного обзора, анализа, оценки и ранжирования экологических проблем. Данный метод позволяет собрать качественные или количественные сведения о состоянии ОС. Он может служить важным руководством при оценке качества среды и влияния экологических факторов на здоровье человека. Основной целью метода является содействие в простом и быстром выявлении проблем. В данной работе использовали анкетирование, которое проводили в период 2020–2021 гг., опрос проводили среди населения г. Красноярска. Для этого была разработана анкета, в которой предложены восемь социально-экологических факторов: увеличение мусора; увеличение количества автотранспорта; снижение плодородия почвы; слабое озеленение; наличие бездомных животных; загрязненная питьевая вода; грязный воздух; вырубка деревьев.

Данные факторы требовалось расставить по значимости влияния на человека в городе [9]. Анкета была предложена на электронном ресурсе – survio. В течение двух дней были собраны ответы, которые впоследствии проанализированы и результаты представлены в виде графиков. В качестве информационной базы был использован анкетный опрос жителей г. Красноярска, в том числе 112 участников в 2020 г. и 90 участников в 2021 г. Эмпирические данные были проанализированы при помощи программы Microsoft Excel.

На первое место среди экологических проблем респонденты в 2020 г. поставили проблему грязного воздуха (38%), на второе – увеличение количества автотранспорта (19%), на третье – увеличение мусора (16%) (рис. 1).

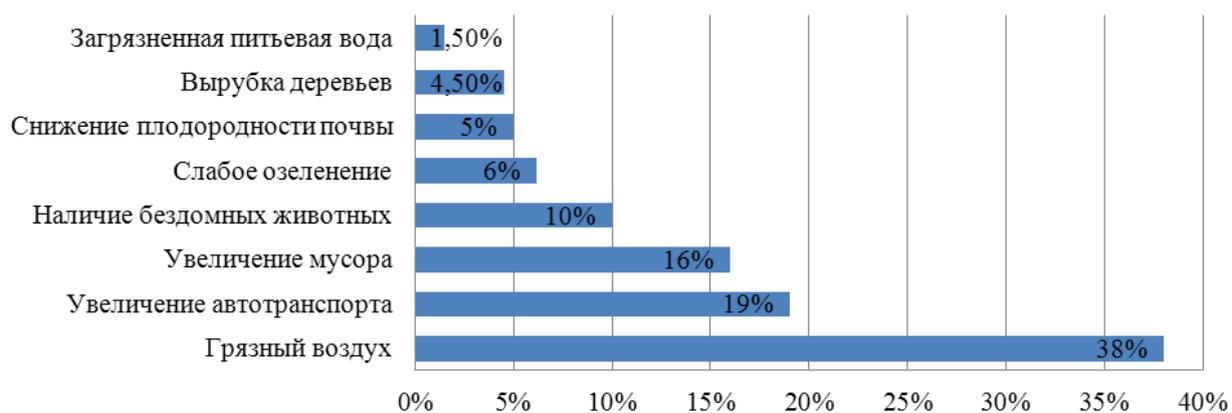


Рис. 1. Наиболее значимые экологические проблемы (%) по результатам анкетирования г. Красноярск, апрель 2020 г.

В 2021 г. респонденты поставили на первое место проблему грязного воздуха (72%), на второе – увеличение количества автотранспорта (8,3%), на третье – увеличение мусора (7,1%) (рис. 2).

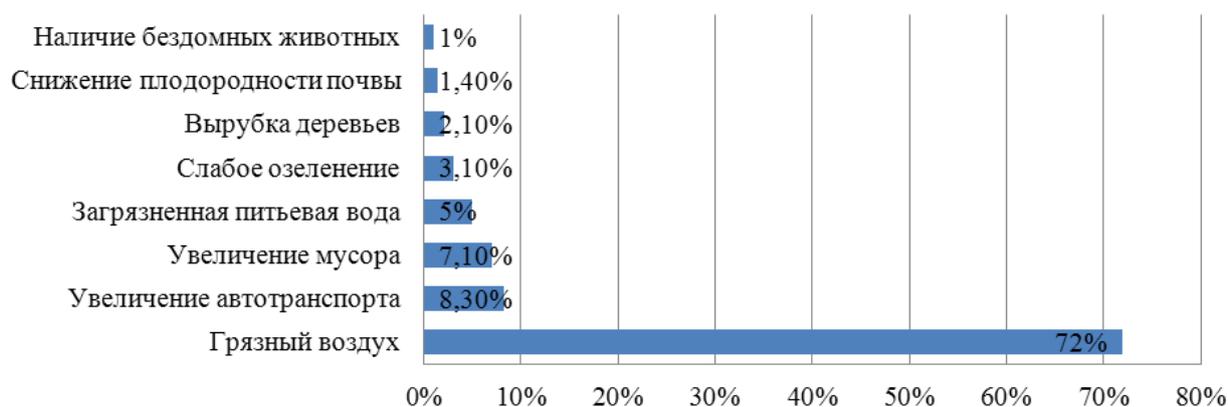


Рис. 2. Наиболее значимые экологические проблемы (%) по результатам анкетирования г. Красноярск, март 2021 г.

Представленные данные указывают на существенный рост значимости благополучной ОС для проживания человека. Для сравнения нами изучены сведения, представленные в государственном докладе о состоянии окружающей природной среды в Красноярском крае за 2016–2018 гг. Анализ градации экологических проблем с использованием метода «Эксперт» [10] выявил для г. Красноярска наиболее важные экологические проблемы: загрязнение воздуха и образование отходов.

Таким образом, в ходе исследования выявлены важнейшие экологические проблемы г. Красноярска как по результатам анкетирования населения, так и по данным официальной статистики. Это должно быть учтено при разработке мероприятий по улучшению качества окружающей среды органами государственной власти, промышленными и хозяйствующими структурами.

Библиографический список

1. Экология : учебное пособие / О. А. Барабанова, И. Н. Безкоровайная и др. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2011. 325 с.
2. Экономика Красноярского края: Система региональной экономической безопасности в условиях кризиса / Е. Б. Бухарова, С. А. Самусенко, И. П. Воронцов, М. В. Гольд. Красноярск : Ежегодник СФУ, 2014. 226 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2016 году». Красноярск, 2017. 298 с.
4. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2017 году». Красноярск, 2018. 301 с.
5. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2018 году». Красноярск, 2019. 298 с.
6. Коротченко И. С., Мучкина Е. Я. Тяжелые металлы техногенных поверхностных образованиях Красноярской агломерации // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 4. С. 224.

7. Анализ распределения подвижных форм тяжелых металлов в почвенном покрове промышленно урбанизированных территорий г. Красноярск / Е. Я. Мучкина, С. Э. Бадмаева, И. С. Коротченко, К. С. Горлушкина // Экология и промышленность. 2020 Т. 24. № 4. С. 66–71. doi: 10.18412/1816-0395-2020-4-66-71

8. Коротченко И. С., Первышина Г. Г., Мучкина Е. Я. Воздействие процесса сжигания углей Ирша-Бородинского разреза на депонирование тяжелых металлов в почве (на примере Минусинской ТЭЦ) // Уголь. 2020. № 6. С. 67–69. doi: 10.18796/0041-5790-2020-6-67-69

9. Сушко В. А., Бухтиярова И. Н., Зубова О. Г. Экология как фактор формирования качества жизни: методология социологического анализа // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 2. С. 58–63.

10. Аналитический центр «Эксперт». Сергей Ермак Рейтинг экологического развития городов России – 2017 [Электронный ресурс] – URL: <http://www.acexpert.ru/ac/> (дата обращения: 12.03.21).

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТРОПА КАК СРЕДСТВО РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ ВПЕЧАТЛЕНИЙ В КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е. В. Лелекова¹, Е. В. Краева²

¹ Вятский государственный университет, bioket24@mail.ru

*² Вятский государственный агротехнологический университет,
kraeva-ket@rambler.ru*

В статье приведено обоснование использования экологической тропы на территории ООПТ «Медведский бор» как одной из составляющих экономики впечатлений. Являясь уникальным по наполнению геологическими и эколого-биологическими компонентами, сосновый бор на материковых дюнах становится инструментом развития внутреннего туризма в Кировской области.

Ключевые слова: особо охраняемая природная территория, материковые песчаные дюны, карстовые провалы, степные виды, экскурсионный продукт, дестинация.

Одна из основных составляющих экономики впечатлений – туристический бизнес, который вынужден развиваться и в условиях пандемии с ограничением внешних передвижений. Внутренний туризм в России от этого только выигрывает. Новая модель потребления услуги сегодня – устойчивое и разноплановое развитие регионов завтра.

Формирование экологической культуры и этики, особенно у подрастающего поколения, в условиях парадигмы потребления выходит на первый план и ищет пути для решения [1, 2]. Особенность человеческой психологии такова, что потребность в новых ощущениях играет ведущую роль при выборе дестинаций для их получения. И именно таковой – востребованной и неисчерпаемо-актуальной – является территория Медведского бора, на которой располагается экологическая тропа, в совокупности с экскурсионным маршрутом по купеческому Нолинску (рис. 1).



Рис. 1. Стоянка с аншлагом на экологической тропе (слева); дом П. М. Братухина (справа)

В 2019 г. команда проекта «Жемчужина в ожерелье» [3–8], в которой участвовал и ВятГУ, при поддержке Фонда президентских грантов реализовала и оснастила экологическую тропу в Нолинском районе. В течение трех лет, с мая по октябрь включительно, этот маршрут востребован у туристических фирм и привлекает ценителей природы и архитектуры малых городов конца XIX – начала XX века. Территория Нолинского района, где стало возможным не только приобрести сувениры в виде знаменитых матрешек, пряников и лимонада, но и узнать историю города-музея под открытым небом, пройтись по дюнам с вековыми корабельными соснами, искупаться в карстовых озерах удивительной красоты и насладиться сборами сезонных даров, оформилась в богатую на впечатления дестинацию.

Один из аспектов современности – то, что вещи перестали показывать статус. Сегодня это делают впечатления, которыми люди спешат наполниться и обязательно поделиться. Сфера услуг, и туристических в том числе, начинает свою перестройку и ориентируется на всевозможные объединения и коллаборации. Поэтому природные объекты так удачно сочетаются с элементами городской архитектуры прошлых веков, и наполняют разноплановым содержанием технологические карты экскурсий.

Итак, в составе организованных туров или самостоятельном посещении, маршрут Киров–Нолинск–Медведок–Киров не оставит никого равнодушным и будет манить к себе снова и снова. Чем же притягивает он к себе? Что способствовало его участию в развитии экономики впечатлений нашего региона?

Главная роль в этом маршруте неоспорима и по праву принадлежит Медведскому бору – особо охраняемой природной территории с озерами карстового происхождения. Сообщество сохранилось до наших дней с далеких геологических эпох, когда холодные ветра перевевали пески и отложения, принесенные ледником. В результате сформировались нетипичные для области материковые песчаные дюны, где наряду с растениями и животными подзоны хвойно-широколиственных лесов встречаются и степные виды (рис. 2.).



Рис. 2. Материковые песчаные дюны Медведского бора

Как, откуда и каким образом они появились и остаются у нас? Эти вопросы неизменно задают экскурсанты. Вслед за потеплением климата и сменой направления ветра на южный, в нашу природную зону постепенно проникли и виды, для нее совершенно не характерные: ковыль перистый, тимофеевка степная, качим метельчатый, наголоватка васильковая, ракитник русский, лапчатка распростертая и другие. Кроме того, по мелколесью, в песке можно увидеть воронки личинок муравьиного льва. Здесь же встречаются норки паука-тарантула. Все они нашли приют на послеледниковых песках и открытых участках, прогреваемых солнцем.

Прокладывая маршрут, мы не могли обойти стороной многочисленные карстовые провалы и суффозионные формы рельефа, которые в настоящее время продолжают меняться, а также появляются вновь. На сравнительно небольшой площади бора можно увидеть воронки, озера и провалы до 100 м в диаметре. Окутывая рассказ легендами и рассказами очевидцев, экскурсоводы завораживают ими воссоздают события прошлого, которые подкрепляются наглядностью современных природных картин (рис. 3).



Рис. 3. Озеро Чваниха (слева); сухая карстовая воронка (справа)

Многогранности эмоций способствуют остановки в местах произрастания сезонных лесных недревесных ресурсов: россыпи земляники сменяются черникой, брусникой, грибными полянами с ароматными травами, полезными для здоровья. Уставшие и счастливые, участники туров положительно о них отзываются, развивая тем самым экономику впечатлений.

Разрабатывая содержание экскурсий для групп разного возраста, экскурсоводы способствуют наполнению их разноплановым материалом, формируя экологическую культуру и этику отдыхающих. Команда проекта шла к этому дружно и весело, помогая друг другу во всем. Мы сомневались, мечтали и обсуждали, разрабатывали и переделывали, писали и переписывали, рисовали и все начинали сначала. Горели глаза, работа спорилась, маленькие победы окрыляли и подгоняли вперед.

Мы рады причастности к этому светлому и наполненному маршруту! Мы ждем вас на каждой из наших экскурсий и точно уверены: экономике впечатлений в Кировской области быть!

Библиографический список

1. Инновации в экскурсионной работе: концепции, технологии, практика: в 2 частях / О. Е. Афанасьев, К. В. Агнаева, К. А. Лебедев и др. Москва; Берлин : Директ-Медиа, 2020. Ч. 1. 545 с.
2. Коновалова Е. Е. Дифференциация экскурсионного продукта в условиях внутреннего туризма // Сервис в России и за рубежом. 2016. Т. 10, № 3(64). С. 220–229.
3. Лелекова Е. В., Коновалова И. А. По экологической тропе среди сосен на дюнах // Устойчивое развитие особо охраняемых природных территорий. Том 6 : сб. статей VI Всерос. науч.-практ. конф. Сочи : ГКУ КК «Природный орнитологический парк в Имеретинской низменности» (2–4 октября 2019 г.). Донской издательский центр, 2019. С. 160–168.
4. Лелекова Е. В. Экологическая тропа в особо охраняемой природной территории «Медведский бор» // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (16–18 апреля 2019 г.). Киров, 2019. С. 15–19.
5. Лелекова Е. В. Удивительный мир карстовых озер и провалов // Вятский край. № 8. 22.02.2019. С. 16.
6. Лелекова Е. В. Манящая краса Медведского бора // Вятский край. № 11. 15.03.2019. С. 16.
7. Лелекова Е. В. Остановись, оглядись и прислушайся... // Вятский край. № 14. 05.04.2019. С. 16.
8. Лелекова Е. В. По экологической тропе Медведского бора // Вятский край. № 22. 31.05.2019. С. 16.

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ ЛИЧНОСТИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В. А. Кондаурова

*Воронежский институт экономики и социального управления,
kondaurova75@list.ru*

В статье представлены теоретические аспекты и основные проблемы формирования экологической культуры личности в современном российском обществе.

Ключевые слова: экологическая культура, личность, экологическое воспитание, экологическое образование.

Экологический дисбаланс большинством российских граждан оценивается лишь как проблема свалок с отходами производства и потребления, а также проблема загрязнения окружающей среды в целом. Но, при всех масштабах информационного и научного пространства, мало кто осознает роль экологической культуры в системе взаимодействия человека и природы. Самым существенным недостатком в понимании проблем окружающей среды является несформированное экологическое сознание, определяющее значение поступков индивидов, социальных групп, культуру общества в целом. К сожалению, все экологические, социальные и экономические проблемы современного общества заключаются в самом человеке, в его сознании, которое определяет его деятельность.

Далеко не каждый человек способен осознать, что экологические проблемы способны возникать в результате влияния его образа жизни на экологическую ситуацию как в стране, так и во всем мире.

Поэтому формирование экологической культуры в современном обществе становится весьма актуальным. Что же такое экологическая культура? Почему такое важное значение в вопросах становления личности отводится именно ей?

Проблема формирования экологической культуры – сравнительно новая проблема, которая остро встала в связи с тем, что человечество вплотную подошло к глобальному экологическому кризису. Все мы прекрасно видим, что многие территории из-за хозяйственной деятельности человека оказались загрязненными. Можно прямо сказать, что в результате антропогенной деятельности окружающая природа оказалась перед прямой угрозой уничтожения. Из-за неразумного отношения к ней и к ее ресурсам, из-за неправильного понимания своего места и положения во вселенной человечеству грозит деградация и вымирание. Поэтому проблема «экологической культуры» выходит в настоящий момент на передний план. Чем раньше люди начнут переосмысливать результаты своей деятельности и корректировать цели, соразмеряя свои цели со средствами, которыми располагает природа, тем быстрее

можно будет перейти к исправлению ошибок, как в мировоззренческой сфере, так и в сфере экономической.

Но, к большому сожалению, проблема «экологической культуры» ещё мало изучена недостаточно литературы, посвященной этой важнейшей теме. Одним из первых, кто подошел к проблеме экокультуры был знаменитый мыслитель и исследователь В. И. Вернадский [1].

Сущность культурологического подхода к исследованию экологических проблем на современном этапе может быть осмыслена при условии интерпретации природы как ценности культуры. Формирование экологической культуры тесно связано с такими понятиями, как экологическое воспитание и образование.

Образовательная система должна обеспечить постепенное внедрение в практику обучения нравственных ценностей экологического сознания. При этом целостность экологического образования должна быть осознана во всех параметрах процесса обучения.

Практическая реализация формирования экологической культуры предусматривает непрерывный характер экологического образования, начиная с дошкольных лет и завершая взрослыми годами, экологизацию образовательного процесса, реализацию межпредметных связей и использование разнообразных форм обучения с особым акцентом на практическую деятельность обучающихся.

Другим условием формирования экологической культуры обучающихся является повышение таковой у учителей и преподавателей. Экологическая культура должна стать важным квалификационным критерием при оценке профессиональной деятельности учителя и преподавателя.

В настоящее время политика государства в сфере образования определяет воспитание как первостепенный приоритет в образовании. Одним из основных направлений воспитательной работы является именно экологическое воспитание, которое предполагает:

- формирование современного научного мировоззрения, включающего оценку возможных неблагоприятных последствий антропогенной деятельности для биосферы и человечества;

- понимание необходимости личного, конкретного участия в практической экологической деятельности и ее результативное осуществление.

Экологическое воспитание должно способствовать:

- формированию экологической культуры обучающегося;
- формированию бережного и ответственного отношения к своему здоровью (физическому и психическому) и здоровью других людей, живой природе, окружающей среде;

- развитию культуры безопасной жизнедеятельности.

Среди критериев экологической культуры обучающихся можно выделить:

- наличие фундаментальных экологических знаний и представлений;

- сформированность системы убеждений и ценностей, характеризующих отношение личности к природе;
- выполнение научных исследований по экологической проблематике;
- понимание ответственности за результаты своей деятельности в связи с сохранением гармоничных отношений в системе природа – человек – общество.

При воспитании конкурентоспособного выпускника образовательное учреждение должно сформировать экологическую ответственность через вовлечение обучающихся в экологические мероприятия. Каждый обучающийся должен приобрести умения и навыки разумного природопользования, нетерпимого отношения к действиям, приносящим вред окружающей среде, опыт эколого-направленной деятельности.

На данном этапе развития общества формирование экологической культуры личности является важнейшей задачей, стоящей перед основными институтами экологического воспитания (семья, школа, средние и высшие учебные заведения).

Таким образом, экологическая культура, экологическое образование и воспитание личности обучающегося являются в современном мире очень важными и значимыми.

Библиографический список

1. Батукаев Н. С. Формирование экологической культуры и компетентности студентов [Электронный ресурс]. – URL: <https://moluch.ru/th/3/archive/14/449/> (дата обращения: 16.03.2021).

СЕКЦИЯ 4 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

ПОЧВЫ АРКТИЧЕСКИХ ОСТРОВОВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

С. В. Любова

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова,
s.lyubova@narfu.ru*

Исследованы почвы некоторых арктических островов Архангельской области: описаны профили почв, установлено их классификационное положение, определены агрохимические свойства: реакция почвы, поглотительная способность, содержание органического вещества и другие.

Ключевые слова: почвенный профиль, условия почвообразования, химические свойства, реакция почвы, физико-химическая поглотительная способность, содержание органического вещества.

Исследования почвенного покрова арктических островов Архангельской области проводились во время экспедиции «Арктический плавучий университет» в 2015 г. в местах высадок экспедиции. Экспедиция организуется ежегодно ФГАОУ ВО Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (г. Архангельск) совместно с другими российскими и зарубежными научно-исследовательскими организациями и образовательными учреждениями.

Матвеев остров находится на территории Ненецкого государственного природного заповедника. Это остров на юго-востоке Баренцева моря площадью 40 км². Высота над уровнем моря 11 м и остров представляет собой плоскую моренную террасу. Берега скалистого острова изрезаны бухтами. Низкоарктические тундры характеризуются преобладанием равнин с озерно-аллювиальными, моренными и другими рыхлыми отложениями. На этих территориях в гумидном климате и в условиях плохого дренажа формируются почвы отдела глеевые (Классификация почв России, 2004) с профилями O-G-CG, T-G-CG и H-G-CG.

Под подстильно-торфяными горизонтами в исследуемых профилях почв на острове Матвеев располагались глеевые горизонты: сизо-грязно-голубой окраски, тиксотропные, криотурбированные (мерзлотные). Между торфяным горизонтом и глеевым сформировался переходный горизонт TG, представляющий смесь органических и минеральных веществ. В нижней части глеевого горизонта окраска менялась на буровато-сизую.

Органические горизонты T₁, T₂ характеризуются высоким содержанием органического вещества, кислотными свойствами, высокой емкостью поглощения и ненасыщенностью обменными основаниями (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ и т. д.) (табл. 1).

Почвообразование на острове происходило под действием глеевого процесса, торфообразования, криогенеза. Процесс криогенеза можно представить в следующей последовательности: в зимний период замерзающая вода в толще почвы расклинивает субстрат, образуются пространства, заполненные льдом. При таянии льда в летнее время в трещинах накапливается органический материал верхних горизонтов.

Таблица 1

Химические свойства горизонтов глеезема торфяного мерзлотного

Горизонт	П/М	ППП	C _{орг}	C _г	pH _{вод}	pH _{сол}	Нг	СПО	ЕКО	СНО
T ₁	$\frac{0-20}{20}$	60,58	24,41	42,08	6,31	5,66	23,73	65,09	88,82	73,28
T ₂	$\frac{20-40}{20}$	45,60	10,63	18,33	6,00	5,05	27,32	45,79	73,11	62,63
TG	$\frac{40-50}{10}$	38,31	10,48	18,06	6,11	5,38	22,61	51,68	74,30	69,57
G	>50	10,12	2,50	4,44	6,50	6,00	10,12	19,22	29,32	60,12

Примечание: П/М – протяженность/мощность горизонтов, см; ППП – потери при прокаливании, %; C_{орг} – содержание органического вещества, %; C_г – содержание гумуса, %; pH вод – актуальная кислотность, pH ед; pH сол – обменная кислотность, pH ед; Нг – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г; СПО – сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г; ЕКО – емкость катионного обмена, мг-экв/100 г; СНО – степень насыщенности основаниями, %.

В результате криогенных процессов сформировался полигонально-бугорковый рельеф острова. В результате мерзлотных пучений формируется почвенный покров из комплексов бугристых болот с описанными выше торфяно-глееземами, торфяными деструктивными почвами бугров и торфяными эутрофными почвами междубугорных трещин.

Вайгач – остров на границе Баренцева и Карского морей с равнинным рельефом. Остров сложен глинистыми сланцами, песчаниками и известняками. Растительность тундровая: распространены мхи и лишайники, сосудистые растения, большинство из них низкорослые или стелющиеся. Встречаются карликовые березы и ивы. Исследования на острове проводились на типичной плоской морской террасе, слабо наклоненной к югу. Рельеф криогенный: бугорчато-полигональные формы и валиковые вогнутые полигоны.

Почвенный покров исследованной части острова представлен комплексами самостоятельных плоских и с уклоном менее 0,5° поверхностей, где преобладают глееземы криотурбированные в комплексе с почвами пятен. Образование их связано с мерзлотными процессами: пучением грунтов и солифлюкцией. Почвенный профиль глеезема грубогумусированного криотурбированного окисленного глеевого с наличием в нем горизонта АН является при-

мером полигонально-трещинного комплекса почв. На длинных пологих склонах распространены полосчатые криогенные комплексы криометаморфических почв площадью до 50%, связанных с проявлением процессов структурной солифлюкции.

Исследованные почвы, расположенные на возвышениях, сформировались на карбонатных материнских породах, что положительно отразилось на их свойствах. Реакция в верхних горизонтах почвы нейтральная, в нижних – щелочная, для профиля характерна высокая емкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями (табл. 2). Почва с такими свойствами может аккумулировать гумусовые и питательные вещества, однако неблагоприятный водно-воздушный режим, избыток влаги замедляет эти процессы.

Таблица 2

Химические свойства горизонтов глеезема грубогумусированного криотурбированного окисленно-глеевого

Горизонт	П/М	ППП	C _{орг}	C _г	pH _{вод}	pH _{сол}	H _г	СПО	ЕКО	СНО
разрез В-1										
Оао	$\frac{0-5}{5}$	78,50	6,77	11,68	6,80	6,05	14,14	119,51	133,65	89,42
Bg	$\frac{5-15}{10}$	11,89	1,08	1,86	7,92	7,11	0,45	102,69	103,14	99,56
G	$\frac{15-30}{15}$	6,00	0,35	0,60	8,02	7,18	0,89	49,59	50,48	98,24
[АН]	$\frac{30-55}{20}$	23,98	2,04	3,52	6,78	6,00	7,74	114,90	122,64	98,52
Dca1	$\frac{55-65}{10}$	19,24	0,43	0,75	8,19	7,44	–	48,81	48,81	100,00
Dca2	$\frac{65-75}{10}$	11,22	0,36	0,62	8,11	7,47	–	49,68	49,68	100,00
морфон		10,09	0,08	0,14	8,31	7,15	–	99,44	99,44	100,00

Глееземы торфяные мерзлотные расположены в понижениях, сформировались в условиях избыточного увлажнения. За счет поступления небольшого количества растительных остатков, при разложении которых образуется много низкомолекулярных органических и фульвокислот, почвы кислые, не насыщенные основаниями, с низким содержанием питательных веществ.

Архипелаг Новая Земля состоит из 2 больших островов и множества малых. Острова и побережье архипелага Новая Земля имеют гористый рельеф, поверхность представлена каменной мостовой, скоплением обломков горных пород, в котором поверхностные камни под влиянием мерзлотных процессов и, в частности, вымораживания, уложены наподобие мозаики, на камнях имеется «загар» из водорослей и лишайников. Растительный покров слабо развитый очаговый, представлен мхами и лишайниками, реже сосудистыми растениями семейства Камнеломковые *Saxifragaceae*. Почвы маломощные, со слабо развитыми органическими горизонтами.

Исследования проводили на высокой плоской поверхности морской террасы Оранских островов архипелага Новая Земля со слабовыраженным криогенным рельефом в виде пологих трещин, неупорядоченных полигонов и микроповышений. На поверхности Оранских островов преобладают выходы пород, образуется каменная мостовая, лишенная растительности, распространены почвопенки. Они развиваются под тончайшей пленкой водорослей, накипных лишайников и печеночных мхов, произрастающих как на плотных, так и на рыхлых породах. Почвы тундропустошей островов Новой Земли представлены неполнопрофильными типами отдела слаборазвитых почв ствола первичного почвообразования: пелоземами, петроземами и псаммоземами. Эти типы слаборазвитых почв имеют общее строение почвенного профиля: верхний горизонт – слаборазвитый серовато-бурый органический (подстильно-торфяной, гумусовый, перегнойный) горизонт мощностью не более 5 см, нижний – минеральный, характеризуется разным гранулометрическим составом (это является основанием деления на типы). В зависимости от характера субстрата, на котором формируется органический горизонт, почвы относятся к разным типам. На плотных или сильнощебнистых субстратах формируются петроземы, на суглинисто-глинистом материале формируются пелоземы, а на супесчано-песчаном – псаммоземы. В неполнопрофильных почвах происходят следующие почвообразовательные процессы: гумусонакопление, торфообразование, метаморфизм минеральной массы, оподзоливание, оглеение, латеральное заиливание органических остатков, миграция карбонатов и т.д. Химические свойства пелозема типичного представлены в таблице 3.

Таблица 3

Химические свойства горизонтов пелозема типичного

Горизонт	П/М	ППП	C _{орг}	C _г	pH _{вод}	pH _{сол}	СПО	ЕКО	СНО
ОС	$\frac{0-5}{20}$	5,30	0,47	0,82	7,82	7,26	50,09	50,09	100,00
C ₁	$\frac{5-15}{10}$	4,68	0,03	0,04	8,10	7,84	49,12	49,12	100,00
C ₂	$\frac{15-30}{15}$	4,04	0,07	0,13	7,91	7,34	49,48	49,48	100,00

На острове Северный архипелага Новая Земля очень неровная береговая линия с множеством бухт, заливов, полуостровов и мысов. Растительный покров – мохово-лишайниковая ассоциация. Почва на мысе Желания – серогумусовая глинисто-иллювирированная. В почвенном профиле выделен самостоятельный полноценный гумусовый горизонт – серогумусовый АУ с комковатой структурой и высоким содержанием органического вещества – 5%. Такие почвы формируются в микропонижениях под лишайниково-моховым покровом с некоторым количеством мелких высших растений. Верхний горизонт серогумусовых почв мощностью 5 см содержит отмершие нижние части живых мхов, перемешанные с минеральным материалом, который за счет таяния снега и после дождей, а также в результате деятельности ветра пере-

носится с «голых» микроповышений в микропонижения, где находится растительный покров и формируется почва.

Высокое содержание органического вещества в серогумусовой почве отмечается в горизонтах O_{ao} и A_Y за счет поступления растительных остатков. В горизонте A_Y в результате процессов трансформации OB образуются низкомолекулярные органические и фульвокислоты, в результате увеличивается кислотность и снижается степень насыщенности почв основаниями (Ca^{2+} , Mg^{2+} и т. д.) (табл. 4).

Таблица 4

Химические свойства горизонтов серогумусовой глинисто-иллювирированной почвы

Горизонт	П/М	ППП	$C_{орг}$	C_r	$pH_{вод}$	$pH_{сол}$	H_r	СПО	ЕКО	СНО
O_{ao}	$\frac{0-4}{4}$	10,19	6,56	11,30	7,47	6,38	9,48	125,6	135,1	92,99
A_Y	$\frac{4-10}{6}$	5,47	2,75	4,74	6,90	6,23	13,24	109,8	123,0	65,83
C_t	$\frac{10-25}{15}$	2,47	0,66	1,13	7,66	5,50	4,83	7,3	12,5	61,54
C_2	$\frac{25-40}{15}$	3,14	0,36	0,61	7,82	6,77	0,45	27,3	27,6	98,38

В местах высадок экспедиции «Арктического плавучего университета» в 2015 г. проведено исследование почвенного разнообразия островов Арктики Архангельской области: выполнено описание почвенных профилей, диагностика и установление классификационного положения почв в соответствие Классификацией почв России (2004); изучены состав и свойства почв островов, установлены взаимосвязи между ними. Результаты комплексной экспедиции по исследованию почв и почвенного покрова использованы для дополнения баз данных Единого государственного реестра почвенных ресурсов России по субъектам Российской Федерации и по почвенным зонам [1].

Почвенные исследования с установлением точного географического положения с помощью спутниковых средств связи позволяют использовать накопленный материал для картографирования почвенного покрова, что особенно важно для особо охраняемых природных территориях. На крупномасштабных картах возможно представить более подробно и достоверно комплексный почвенный покров.

Библиографический список

1. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [Электронный ресурс]: [официальный сайт] / Почвенный институт им. В. В. Докучаева [Москва, 2014] – Режим доступа: <http://egrpr.esoil.ru/content/1sem.html>, свободный (дата обращения: 05.03.2021).

ПОЧВЫ БАССЕЙНА РЕКИ СУМКА

А. Б. Александрова, В. В. Маланин, А. А. Марасов, Э. Е. Паймикина
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, adabl@mail.ru

Дана характеристика почв бассейна р. Сумка в границах Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника. Почвенный покров водосборной территории р. Сумка представлен подзолистыми, дерново-подзолистыми, аллювиальными луговыми кислыми, аллювиальными луговыми насыщенными почвами

Ключевые слова: подзолистые почвы, аллювиальные почвы, Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник.

Река Сумка – основная водная артерия на территории Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ). Площадь ее бассейна равна 135 км². Общая длина реки 37,5 км, в границах ВКГПБЗ протяженность р. Сумка составляет 3,4 км [1].

Около 45% бассейна р. Сумка покрыто лесом, остальная территория занята сельскохозяйственными угодьями, на которых получили развитие эрозийные процессы, оказывающие негативное воздействие на водоемы Раифского участка ВКГПБЗ [2]. Антропогенная деятельность также приводит к трансформации почв водосборной территории.

Геолого-геоморфологическое строение исследуемого района определяют палеодолины р. Волги, врезанные в толщу карбонатных пород. Пермские и плиоценовые отложения перекрыты четвертичными отложениями – мелкозернистыми песками, алевритами, суглинками. Рельеф бассейна р. Сумка переработан карстовыми, суффозионными и эоловыми процессами [3].

На территории бассейна р. Сумка было заложено 30 разрезов на всю глубину почвенного профиля и отобраны образцы по генетическим горизонтам. Систематическую принадлежность определяли по [4]. В пробах определяли гранулометрический состав пипеточным методом, рН водной вытяжки, содержание гумуса по И. В. Тюрину.

Почвенный покров бассейна р. Сумка представлен тремя типами почв: дерново-подзолистыми, аллювиальными луговыми кислыми и аллювиальными луговыми насыщенными.

В типе дерново-подзолистых почв в бассейне р. Сумка выделяются подтипы подзолистых и дерново-подзолистых почв.

Подзолистые почвы развиваются на ровных элементах рельефа под ельниками с черникой. Под дерниной мощностью 4 см здесь залегает мало-мощный (до 2 см) гумусовый горизонт, заметно переходящий в белесый подзолистый горизонт, с небольшим количеством железисто-марганцевых новообразований в виде пятен диаметром 1–2 мм. Ниже подзолистого горизонта диагностируется иллювиальный горизонт, цветовая гамма которого меняется

от желто-бурового в верхней части, до желтого в нижней. Развитие подзолистых почв на песчаных почвообразующих отложениях обуславливает преобладание желтых и светло-желтых тонов в нижней части их почвенного профиля. Гранулометрический состав супесчаный крупнопылеватомелкопесчаный. По профилю содержание фракции физической глины увеличивается с 3,0% в горизонте А1 до 9,1% в почвообразующей породе. Содержание гумуса в верхнем горизонте составляет 3,2%. Реакция среды по профилю почв кислая и варьирует от 4,4 ед. рН в верхней до 5,4 в нижней части профиля.

В условиях холмисто-волнистого рельефа в небольших понижениях под сосняками ландышевыми на песчаных почвообразующих породах развиваются дерново-подзолистые песчаные псевдофибровые почвы. Их усредненный морфологический профиль представлен следующими горизонтами А0 (0-3 см) – А1 (3-10 см) – А2 (10-25 см) – В (25-130 см) – С (\geq 130 см). Характерной особенностью почв, формирующихся на песчаных отложениях, является присутствие в них бесструктурного гумусового горизонта серого цвета, представляющего собой сочетание светлоокрашенных минеральных зерен с хорошо заметными гранями и темноокрашенных зерен с блестящими гумусовыми пленками на поверхности и слабовыраженными гранями. Его мощность варьирует от 6 до 9 см, что позволяет отнести исследуемые почвы к виду слабодерновых. По глубине залегания подзолистого горизонта А2 выделены виды мелко- и неглубокоподзолистых почв. С глубины 65 см в профиле отмечалось наличие железистых псевдофибр шириной от 1–2 до 10–15 мм. В гранулометрическом составе дерново-подзолистых псевдофибровых почв преобладали фракции среднего (5–11%) и мелкого (75–88%) песка. Содержание гумуса в верхнем горизонте варьировало в диапазоне 1,4–2,5%, рН – от 4,3 до 4,6. Вниз по профилю реакция среды смещается в сторону слабокислой – до 6,0.

В условиях холмисто-волнистого рельефа на вершинах холмов под сосняками с мхом, папоротником и брусникой на песчаных почвообразующих породах развиваются дерново-подзолистые слабодифференцированные почвы. Характерной особенностью этих почв является отсутствие горизонта А2. Под гумусовым горизонтом небольшой мощности (до 7 см) и содержанием органического вещества до 2% залегает иллювиальный горизонт. Гранулометрический состав дерново-подзолистых слабодифференцированных почв по соотношению фракций сходен с дерново-подзолистыми псевдофибровыми почвами; содержание фракций физической глины в них не превышает 10%. Реакция среды меняется от 4,8 в верхней до 5,5 в нижней части профиля.

В пойме р. Сумка под ольшаниками хвощево-страусниковыми формируются аллювиальные луговые кислые почвы. Учитывая, что грунтовые воды залегают на пойме довольно близко к дневной поверхности – на глубине порядка 75 см, наиболее характерным признаков луговых почв поймы р. Сумка является наличие оглеения в нижней части профиля. Мощность горизонта А1 варьирует от 13 до 15 см, а содержание в нем гумуса не превышает 3%. Почвы также характеризуются кислой реакцией среды, рН ниже 6,0. Грануломет-

рический состав легкосуглинистый с преобладанием фракций мелкого песка (45–58%) и крупной пыли (21–27%).

В пойме притока р. Сумка – р. Сер-Булак отмечены аллювиальные луговые насыщенные почвы. Наличие постоянного грунтового увлажнения, сочетание дернового и глеевого процессов почвообразования ведут к формированию в них гумусового горизонта с относительно повышенным содержанием органического вещества (2–4%) и наличием оглеения по всему профилю. Глеевый горизонт расположен на глубине 45–50 см. Гранулометрический состав глинистый (69%) с преобладанием фракций ила (34%) и мелкой пыли (27%). Реакция среды верхнего горизонта нейтральная (рН 7,2).

Таким образом, разнообразие почв бассейна р. Сумка обусловлено гранулометрическим составом почвообразующих пород, положением почв в рельефе, формированием почв под определенными типами фитоценозов и близостью залегания грунтовых вод в почвенном профиле.

Библиографический список

1. Водные объекты Республики Татарстан. Гидрографический справочник. Казань : Изд-во Фолиант, 2018. 512 с.
2. Унковская Е. Н., Мингазова Н. М, Павлова Л. Р. Гидрологическая и гидрохимическая характеристика водоемов Раифы // Труды Волжско-Камского государственного заповедника. Выпуск 5 / под общ. ред. О. В. Бакина и Ю. А. Горшкова. Казань : 2002. С. 9–36.
3. Тайсин А. С. Раифский лес в составе Боральных лесов Евразии. Казань : Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2008. 252 с.
4. Классификация и диагностика почв СССР. М. : Колос, 1977. 224 с.

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА СВОЙСТВА ПОЧВ В ПОСТАГРОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КОМИ)

*Е. М. Лаптева¹, И. Г. Захожий¹, И. В. Далькэ¹, Ю. В. Холопов¹,
Н. Н. Бондаренко¹, Е. М. Перминова¹, И. А. Лиханова¹,
Г. Я Елькина¹, Э. А. Генрих²*

¹ *Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, lapteva@ib.komisc.ru*

² *Сыктывкарский государственный университет имени Путьирима Сорокина,
genrih.edvard@yandex.ru*

В статье представлены результаты исследования агродерново-подзолистых почв на постагроденном этапе их функционирования в подзоне средней тайги Республики Коми. Показана связь растительного сообщества (многолетний луг, лиственный молодняк, монодоминантные заросли борщевика Сосновского) со спецификой физико-химических свойств почв бывших пахотных угодий, трансформирующихся в процессе постагроденеза.

Ключевые слова: подзолистые почвы, постагроденные экосистемы, плодородие почв, свойства почв, инвазия, борщевик Сосновского.

Во второй половине XX века и, особенно на рубеже XX-XXI веков, в связи с выводом значительных площадей земель из сельскохозяйственного оборота начался обратный процесс – процесс восстановления зональных типов экосистем с последовательным восстановлением зональных черт соответствующих им типов почв [1]. В Республике Коми (РК) из сельскохозяйственного оборота в этот период были выведены как высоко-, так и слабокультуренные пахотные почвы (агродерново-подзолистые), которые начали активно зарастать травянистой и древесной растительностью.

Цель данной работы заключалась в выявлении закономерностей изменения физико-химических свойств почв пахотных угодий при формировании на постагрогенном этапе их развития разных типов растительных сообществ.

Объектами исследования послужили модельные участки, выделенные в окрестностях г. Сыктывкара (Республика Коми, подзона средней тайги), где постагрогенная трансформации пахотных угодий происходит под влиянием: многолетних трав; зарастания молодыми сообществами древесных пород (береза, осина); развития монодоминантных зарослей *Heracleum sosnowskyi*. Все модельные участки приурочены к водораздельным территориям, почвенный покров которых изначально (до сельскохозяйственного освоения) был представлен автоморфными подзолистыми текстурно-дифференцированными почвами. Такие почвы, развитые в регионе на крупнопылеватых покровных и моренных суглинках, имеют низкое естественное плодородие и при освоении требуют внесения значительных количеств органических и минеральных удобрений для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур [2, 3]. При проведении исследований использовали традиционные методы геоботаники и почвоведения. Комплекс физико-химических исследований выполнен в отделе почвоведения и Экоаналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Известно, что скорость и направленность преобразования почв и растительного покрова на залежных участках определяется спецификой почвенно-климатических условий, уровнем окультуренности пахотных почв, особенностями их использования до и после перевода в залежное состояние [4–6]. При изучении выделенных нами модельных участков установлено, что в условиях средней тайги РК наиболее интенсивной демулационной сукцессии подвержены заброшенные участки пашни с низкой мощностью обработки (мощность пахотного горизонта менее 20 см), невысоким уровнем плодородия (содержание Сорг. менее 1,5%), низкой продуктивностью травянистых сообществ. На таких участках в короткие сроки происходит смена рудеральной и луговой стадий стадией мелколиственных молодняков с формированием на суглинистых почвах древесных насаждений из березы и осины с участием ольхи, на песчаных и супесчаных – сосны.

Развитие травянистой растительности (многолетние злаково-разнотравные сообщества) обуславливает формирование в верхней части профиля постагрогенных почв серогумусового (дернового) горизонта, который сохраняется на первых этапах древесной стадии зарастания. В после-

дующем под пологом мелколиственных лесов в постагрогенных почвах происходит резкая дифференциация бывшего пахотного горизонта по содержанию органического углерода, азота и элементов питания с их накоплением в формирующемся органогенном горизонте (лесная подстилка) и резким обеднением ими минеральной части профиля (содержание Сорг. на глубине 5–10 см меньше 1%, 10–20 см – 0,5% и ниже). Сокращение доли травянистых растений и специфика химического состава листового опада способствуют снижению на древесной стадии сукцессии почвенного плодородия по сравнению с залежными лугами. Об этом свидетельствуют: возрастание в почвах мелколиственных лесов на залежных участках кислотности, ухудшение качества почвенного органического вещества (гумуса), ухудшение структуры почвы. В верхних горизонтах таких почв снижена доля агрономически ценных агрегатов (0,25–10 мм) до 47–48% по сравнению с луговой залежью (55–56%). В составе гумуса возрастает доля фульвокислот (в мелколиственном лесу Сгк/Сфк 0,5–0,6, в почвах залежного луга – 0,7–0,8), снижается его обогащенность азотом (в почве мелколиственного молодняка C/N – 13–15, в почве луга C/N – 10–12).

Как показали проведенные нами исследования, внедрение на залежные земли *Heracleum sosnowskyi* в условиях средней тайги РК препятствует их заселению древесными породами и приводит к постепенному формированию на залежах монодоминантных сообществ. В таких сообществах почвы постагрогенных экосистем сохраняют благоприятные физико-химические свойства. Они имеют хорошее агрегатно-структурное состояние (коэффициент структурности 1,1–1,2), количество агрономически ценных агрегатов в них соответствует таковому в почвах залежей с многолетними травянистыми сообществами (54–56%). Кроме того, по сравнению с почвами залежных лугов и мелколиственных сообществ, в почвах под *Heracleum sosnowskyi* в 1,1–1,3 раза ниже плотность сложения и выше уровень почвенного плодородия: содержание Сорг. в почвах составляет 3–4%, в составе гумуса преобладают ценные с агрономической точки зрения гуминовые кислоты (Сгк/Сфк – 1,2–1,5).

Таким образом, на примере нескольких модельных участков показано, что в биоклиматических условиях средней тайги внедрение в постагрогенные экосистемы *Heracleum sosnowskyi* позволяет в течение длительного времени сохранять высокий уровень плодородия почв. Развитие на залежных землях древесных растительных сообществ способствует формированию в почвах постагрогенных экосистем наиболее устойчивого в данных биоклиматических условиях типа гумуса, соответствующего параметрам целинных подзолистых почв. Снижение в таких экосистемах почвенного плодородия требует более значительных финансовых затрат при возвращении в систему сельскохозяйственного производства залежных земель, занятых вторичными мелколиственными лесами по сравнению с постагрогенными экосистемами с участием *Heracleum sosnowskyi*.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Республики Коми в рамках научного проекта №20-44-110009 р_а. «Влияние инвазии борщевика Сосновского (*Herculeum sosnowskyi*) на плодородие почв и состав почвенных микробных сообществ в постагрогенных экосистемах Европейского Северо-Востока (на примере средней тайги Республики Коми)» (номер госрегистрации АААА-А20-120082090084-2).*

Библиографический список

1. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв / Д. И. Люри, С. В. Горячкин, Н. А. Караваева, Е. А. Денисенко, Т. Г. Нефедова. М. : ГЕОС, 2010. 246 с.
2. Change in soil carbon following afforestation / K. I. Paul, P. J. Polglase, J. G. Nyakuengama, P. K. Khanna. // Forest Ecology and Management. 2002. Vol. 168. P. 241–257.
3. Особенности морфологии и химических свойств постагрогенных почв южной тайги на легких отложениях (Костромская область) / В. М. Телеснина, И. Е. Ваганов, А. А. Карлсен, А. Е. Иванова, М. А. Жуков, С. М. Лебедев // Почвоведение. 2016. № 1. С. 115–129. doi: 10.7868/s0032180x16010111
4. Изменение денсиметрического фракционирования состава органического вещества почв лесостепной зоны в процессе постагрогенной эволюции / Л. А. Овсепян, И. Н. Курганова, В. О. Лопес де Гереню, А. В. Русаков, Я. В. Кузяков // Почвоведение. 2020. № 1. С. 56–68. doi: 10.31857/s0032180x20010128
5. Забоева И. В. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.
6. Атлас почв Республики Коми / Под ред. Г. В. Добровольского, А. И. Таскаева, И. В. Забоевой. Сыктывкар, 2010. 356 с.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО РЕЛЬЕФУ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПОЙМЕ р. ВЯТКИ

*Е. В. Дабах¹, Е. А. Домнина^{1,2}, А. П. Кислицына³,
Г. Я. Кантор^{1,2}, А. С. Тимонов^{1,2}*

¹ *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, ecolab2@gmail.com*

² *Вятский государственный университет,*

³ *ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр
Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»*

Изучались почвы и растительность на участке сегментно-гривистой поймы р. Вятки, отличающемся выраженным микрорельефом. Комплексность почвенного покрова заключается в чередовании в пространстве аллювиальных дерновых и иловато-торфяно-глеевых почв, обусловленном неоднородностью рельефа. На участке сформировалось большое количество растительных ассоциаций даже на одном гипсометрическом уровне (при одинаковой длительности затопления). Подобная мозаичность растительности, вероятно, обусловлена как природными факторами, в частности, выветриванием, так и антропогенным воздействием.

Ключевые слова: рельеф поймы, аллювиальные почвы, пойменные луга.

Река Вятка относится к рекам равнинного типа с хорошо выработанной долиной. Ширина пойменной террасы местами достигает 10 км. В среднем течении реки на лугах центральной поймы под ценными кормовыми травами: мятликом луговым, лисохвостом луговым, овсяницей красной, клевером луговым, мышинным горошком, чиной луговой развиты дерновые зернистые и дерновые оподзоленные почвы. На гривах центральной поймы отмечены заросли шиповника, липы, дуба, черемухи [1].

Такая растительность характерна для гривистой поймы р. Вятки со слабо выраженным микрорельефом. Нами рассматриваются почвы и растительность участка поймы р. Вятки в районе г. Кирово-Чепецка, отличающегося выраженным микрорельефом, осложненным антропогенным вмешательством. Вследствие смещения русла на этом участке долины р. Вятки сформировалась сложная пойма с многочисленными, различным образом ориентированными веерами блуждания, старицами. Антропогенное вмешательство проявилось в рельефе в виде дорожных дамб, отводных канав, искусственных выемок грунта – заполненных водой котлованов, следов прокладки трубо- и газопроводов и др.

На исследуемом фрагменте поймы площадью около 100 га при относительно спокойном мезорельефе и перепаде высот в пределах 3 м, почвенный покров неоднородный: на повышенных участках поймы и верхних частях склонов грив распространены аллювиальные дерновые зернистые почвы суглинистого гранулометрического состава, в плоских неглубоких межгривных понижениях – аллювиальные дерновые грунтово-глеевые, а в более глубоких депрессиях рельефа – аллювиальные иловато-торфяно-глеевые почвы (рис.). Изучался состав и свойства почв. Концентрации макроэлементов в валовом химическом составе аллювиальных суглинистых почв данной территории типичны для почв поймы р. Вятки среднего уровня [1] и рек Русской равнины [2].

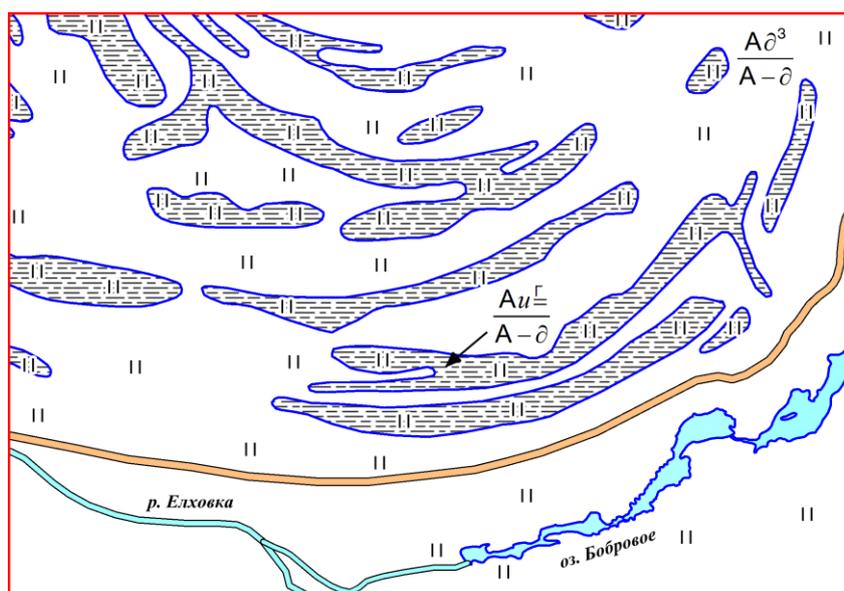


Рис. Карта-схема почвенного покрова участка поймы

Все почвы характеризуются сильно кислой реакцией среды pH_{KCl} – от 4,0 до 4,9. Содержание органического вещества высокое (7,5–9%) и незначительно отличается по почвенным подтипам. Почвы хорошо обеспечены калием, но очень бедны подвижным фосфором [3].

Различия агрохимических свойств по подтипам незначительны: в почвах понижений – аллювиальных иловато-торфяно-глеевых – отмечено более высокое содержание подвижного фосфора, оцениваемое как среднее, при низком его содержании в других почвах. Более существенные различия отмечаются в микроэлементном составе. В частности, в аллювиальных иловато-торфяно-глеевых почвах понижений выше содержание меди, цинка, свинца, ртути, сурьмы, серы, стронция, урана; в почвах на гривах выше концентрация марганца, кобальта, мышьяка – элементов, в данной местности не связанных со специфическими загрязняющими веществами. Относительно существующих нормативов в целом в изученных почвах содержание цинка немного превышает ОДК, а концентрации таких элементов как никель, мышьяк, кобальт в 2–2,5 раза выше ОДК и фоновых значений, на уровне ПДК содержание ванадия, близкое к фоновым концентрациям содержание хрома, выше относительно допустимых значений концентрации марганца, серы, стронция, урана. Таким образом, расположение участка поймы в окрестностях промышленного центра проявляется в превышении ПДК, ОДК и фоновых концентраций ряда элементов, связанном, в основном, с загрязнением грунтовых вод, однако, превышения небольшие и степень загрязнения оценивается как допустимая.

Изменения характера растительности по рельефу зависят от частоты затопления и длительности стояния паводковых вод, от избыточного увлажнения понижений после выпадения осадков, близкого залегания грунтовых вод и др. Фактор освещенности также влияет на распределение растительности, но, учитывая, что перепады высот на данном участке не превышают 3 м, его роль второстепенна.

В зависимости от этих факторов формируются различные многовидовые фитоценозы с доминированием наиболее устойчивых в данных условиях видов, и на небольшой территории отмечается достаточно резкая горизонтальная смена растительности.

На поверхности грив расположены мелкоразнотравные луга, характерные для почв нормального (относительно слабого) увлажнения. Весьма типичны ассоциации с преобладанием разнотравья: поповник (*Leucanthemum vulgare* Lam.) колокольчик скученный (*Campanula glomerata* L.), клевер луговой (*Trifolium pratense* L.). Вместе с ними довольно обычными являются василистник малый (*Thalictrum minus* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), лютик едкий (*Ranunculus acris* L.), подмаренник северный (*Galium boreale* L.), хвощ луговой (*Equisetum pratense* Ehrh.), щавель кислый (*Rumex acetosella* L.). В понижениях на гривах со значительным увлажнением почвы в составе растительности участвуют и влаголюбивые виды – купальница европейская (*Trollius europeus* L.), вероника длиннолистная (*Veronica longifolia* L.), гравилат речной (*Geum rivale* L.).

На богатых и достаточно увлажненных почвах грив развивается растительность, характерная для крупнозлаковых лугов. В видовом составе таких лугов преобладают злаки – овсяница луговая (*Festuca pratensis* L.), полевица белая (*Agrostis alba* L.), лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis* L.), пырей ползучий (*Agropiron repens* L.), костер безостый (*Bromus inermis* L.), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth).

На склонах и гребнях низких грив при недостаточном количестве воды и на довольно бедных почвах преобладают мелкозлаковые луга с невысоким травостоем, состоящим из овсяницы красной (*Festuca rubra* L.) с примесью мятлика лугового (*Poa pratensis* L.), тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) и др. В составе растительности этих лугов встречается большое количество видов разнотравья (*Thalictrum minus* L., *Achillea millefolium* L., *Ranunculus acris* L., *Galium boreale* L. и др.), что приводит к формированию смешанных разнотравно-злаковых ассоциаций.

Анализ видового разнообразия в растительных ассоциациях на увлажненных почвах в нижних частях склонов указывает на значительный процент корневищных и корневищно-дерновинных видов и гидромезофитов.

В условиях повышенного увлажнения ближе к водным объектам преобладает крупноразнотравье. Оно представлено *Filipendula denudata* (J. Presl & C. Presl) Fritsch., *Valeriana officinalis* L., *Urtica dioica* L. *Angelica sylvestris* L. Среди этих видов обычна таволга обнаженная (*F. denudata*).

На территориях, насыщенных и даже покрытых водой, занятых аллювиальными иловато-торфяно-глеевыми почвами распространены растения, характерные для болотистых лугов. Мелкоосоковые болотистые луга представлены в основном осокой черной (*Carex nigra* (L.) Reichard), но в травостое встречаются и другие виды осок.

Внутри отдельных ассоциаций также отмечается мозаичность травостоя, который состоит из отдельных микрогруппировок. Мозаичность обусловлена неоднородностью экотопа или образована зарослями некоторых видов растений в результате их вегетативного размножения при благоприятных условиях, например, активное разрастание *Filipendula denudata* (J. Presl & C. Presl) на аллювиальных иловато-торфяно-глеевых почвах понижений.

На исследуемой территории встречается и древесно-кустарниковая растительность. Шиповник иглистый (*Rosa acicularis* Lindl.) и шиповник майский (*Rosa majalis* Herzm.) образуют обширные заросли на гривах и вдоль границ понижений рельефа. Молодые побеги этого растения высотой 40–60 см отмечаются в большом количестве на всех гривах. Значительные площади занимает ива (*Salix* sp.), произрастающая более или менее широкими ареалами во всех понижениях.

Таким образом, на участке центральной сегментно-гривистой поймы, ограниченном цепью пойменных озер, на небольшой площади отмечена высокая комплексность почвенного покрова и мозаичность растительности.

Выявлено, что главным фактором, обуславливающим эту неоднородность, является рельеф и связанная с ним степень гидроморфизма пойменных почв.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техногенного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.

Библиографический список

1. Гущина А. М. Почвы поймы реки Вятки в ее среднем течении // Труды Кировского сельскохозяйственного института. 1969. Т. 22. Вып. 44. С. 126–136.
2. Добровольский Г. В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. М. : Изд-во МГУ, 2005. 293 с.
3. Дабах Е. В., Кислицына А. П., Домнина Е. А. Сравнительное изучение содержания микроэлементов в системе почва–растения луговых биоценозов // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 1. С. 139–146. doi: 10.25750/1995-4301-2021-1-139-146

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРИИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ ЕЛЬНИКА ЧЕРНИЧНО-ЗЕЛЕНОМОШНОГО (средняя тайга Республики Коми)

Е. М. Перминова¹, Е. М. Лаптева¹, Э. А. Генрих²

¹Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,

*²Институт естественных наук Сыктывкарского государственного университета имени Путьирима Сорокина,
perminova@ib.komisc.ru*

В работе представлены результаты исследований физико-химических свойств торфяно-подстилочного горизонта ельника мелкотравно-чернично-зеленомошного. Показана пространственная вариабельность мощности, плотности подстилки, её кислотности и содержания углерода органических веществ.

Ключевые слова: средняя тайга, ельник чернично-зеленомошный, лесная подстилка.

Лесная подстилка играет значимую роль в функционировании лесных экосистем, обуславливая направление почвообразовательных процессов, осуществляя связь живых организмов с минеральной частью почвы, являясь источником питательных элементов для растений. Не менее важным является и то, что горизонты лесной подстилки способны отражать условия своего формирования, при этом достаточно быстро реагируя на происходящие изменения.

Цель исследования – оценить пространственное варьирование свойств лесной подстилки ельника мелкотравно-чернично-зеленомошного.

Исследования проводились в подзоне средней тайги (Республика Коми, Усть-Куломский район). Район исследования характеризуется умеренно-континентальным климатом. Объекты исследования – ельник мелкотравно-чернично-зеленомошный, под пологом которого формируются подзолистые текстурно-дифференцированные почвы.

Отбор образцов проводили в июле 2020 г. Образцы подстилки отбирали в стволовой зоне деревьев, в середине крон и на границе кроны (или в межкрановом пространстве). Определение pH водной и солевой (KCl) вытяжек в образцах подстилок проводили потенциометрическим методом на иономере «Анион-4100» со стеклянным и проточным хлорсеребряным электродами [1]. Содержание массовой доли углерода в подстилочных образцах определяли фотометрическим методом с классическим окислением при кипячении по методу Тюрина.

Интенсивность и направленность процессов накопления подстилки, её мощность, состав и запасы обусловлены не только структурой растительного покрова, но и влажностью, температурным режимом почв, погодными условиями [2]. В исследуемом нами ельнике мелкотравно-чернично-зеленомошном в условиях гумидного климата мощность подстилки в среднем составляла $4,8 \pm 0,5$ см. Статистически значимых различий в мощности подстилки в зависимости от микрозон не установлено, при этом наибольшей мощностью характеризуется подстилка пристволевой микрозоны, где её величина составляет $5,4 \pm 0,9$ см, в направлении к межкрановому пространству мощность подстилки снижается до $4,3 \pm 1,0$ см. Минимальные значения плотности сложения остатков растительного материала также характерно для межкранового пространства $0,09 \pm 0,01$ г/см³, для подкрановой и пристволевой микрозон этот показатель составляет $0,15 \pm 0,02$ и $0,11 \pm 0,02$ г/см³ соответственно.

Ранее Лукиной Н. В. с соавторами [3] на примере северотаежных лесных экосистем были показаны основные закономерности пространственной изменчивости таких свойств почв как кислотность, содержание обменного кальция, биогенная аккумуляция некоторых элементов, буферность почв. Отсутствие статистически значимой разницы между показателями кислотности лесных подстилок в почвах исследуемого нами ельника свидетельствует о близком уровне кислотности выделенных микрозон. В среднем актуальная кислотность горизонта лесной подстилки в межкрановом пространстве составляет $4,3 \pm 0,2$, в проекции кроны – $4,2 \pm 0,08$, в пристволовой части – $4,2 \pm 0,007$ ед. pH. Наибольшим содержанием углерода органического вещества характеризуется подстилка межкранового пространства – 56,2%, значения содержания углерода в пристволовой и подкрановой микрозонах близкие и составляют 41,7 и 40,5 % соответственно.

Таким образом, в ходе исследования установлены физико-химических параметры подстилки ельника мелкотравно-чернично-зеленомошного среднетаежной подзоны Республики Коми. Показано, что пространственное варьирование свойств торфяно-подстилочного горизонта почв ненарушенных

еловых экосистем в большинстве случаев не имеет статистически значимых различий в зависимости от микроразнообразия.

Библиографический список

1. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л. А. Воробьевой. М. : Геос, 2006. 400 с.
2. Бобкова К. С., Машика А. В., Смагин А. В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах. СПб. : Наука, 2014. 270 с.
3. Лукина Н. В., Полянская Л. М., Орлова М. А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М. : Наука, 2008. 342 с.

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА СОСТАВ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ

*Н. Н. Бондаренко, Е. М. Лаптева, Е. В. Кызьюрова, А. Б. Новаковский
Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, BondNikropolNik@mail.ru*

Дана оценка влияния погодных условий на формирование комплекса водорастворимых органических соединений в подзолистых текстурно-дифференцированных почвах средней тайги. Установлен качественный и количественный состав их низкомолекулярных компонентов – углеводов, спиртов, низкомолекулярных органических кислот. Определена специфика их изменения в зависимости от стадии восстановления древесной растительности на вырубках.

Ключевые слова: водные вытяжки, водорастворимые органические соединения почв, вырубки, подзолистые почвы.

Водорастворимые органические соединения (ВОС) – часть почвенного органического вещества (ПОВ), характеризующаяся высокой миграционной способностью, высокой скоростью минерализации. Их качественные и количественные характеристики являются показателями биологической доступности ПОВ [1] и гумусного состояния почв [2]. Комплекс ВОС по разным оценкам составляет 19–50% почвенного углерода [3]. Состав ВОС определяется генезисом почв, характером поступающих растительных остатков и условиями их разложения, видовым разнообразием и периодом активности почвенного зоомикробного комплекса [4].

Цель работы – оценить особенности изменения состава низкомолекулярных водорастворимых органических соединений в подстильно-торфяных горизонтах почв хронологического ряда вырубок в зависимости от погодных условий года.

Исследования проводили на стационарных участках в подзоне средней тайги Республики Коми (Усть-Куломский район) в 2007 и в 2013 гг., разли-

чающихся по погодным условиям вегетационного периода. 2007 г. характеризовался прохладным летом с избыточным количеством осадков, 2013 г. отличался аномально жарким летним периодом с резким дефицитом осадков [5, 6], что могло оказать соответствующее влияние на процессы функционирования почвенного зоомикробного комплекса [7], а также процессы синтеза и трансформации ПОВ.

Объектами исследования послужили почвы коренного ельника черничного (ПП-1) и разновозрастных лиственнично-хвойных насаждений, сформировавшихся после рубок главного пользования в зимний период 2001/2002 (ПП-2) и 1969/1970 гг. (ПП-3). Их детальная характеристика представлена в работе [8]. Основной вклад в образование подстилично-торфяных горизонтов почв на участках ПП-1 и ПП-2 вносят компоненты хвойного опада и продукты деградации мхов. Органогенный горизонт почвы участка ПП-3 характеризуется грубогумусной подстилкой, представленной листовыми пластинками березы и осины, находящейся на разных стадиях разложения.

Общее содержание органического углерода ($C_{\text{общ}}$), углерода ВОС ($C_{\text{вос}}$) и качественный состав ВОС определяли в образцах лесных подстилок, отобранных на ключевых участках в 8-10-кратной повторности. Анализировали смешанные образцы. Общее содержание органического углерода ($C_{\text{общ}}$) в образцах почв определяли на CNHS-O анализаторе EA-1110 фирмы Carlo Erba, содержание углерода ВОС ($C_{\text{вос}}$) – в фильтрах водных вытяжек. Массовую концентрацию низкомолекулярных органических веществ оценивали методом газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии (ГХ/МС) [9].

Как показали проведенные исследования, содержание $C_{\text{общ}}$ в органогенных горизонтах исследованных почв практически не меняется по годам наблюдения. Более показательны в этом отношении параметры ВОС (рис. 1). Их общее содержание в почвах, а также содержание углерода ВОС существенно меняется по годам наблюдений, особенно в почве ненарушенного участка ПП-1. На вырубках (участки ПП-2 и ПП-3) изменения не столь существенны, однако содержание углерода идентифицированных компонентов ВОС снижается в почвах всех ключевых участков в более благоприятном для жизнедеятельности микроорганизмов 2013 г. в 1,4–5,7 раза (рис. 1Б).

В составе комплекса ВОС идентифицировано 30 индивидуальных соединений, в их числе 14 низкомолекулярных органических кислот (НМОК), 11 углеводов и 5 спиртов. Основу определяемых компонентов ВОС составляют углеводы, в составе которых преобладают гексозы (табл.). В 2013 г. отмечено возрастание их доли в почвах ПП-1 и ПП-2. Как видно (табл.), в условиях дефицита осадков и высоких температур (летний период 2013 г.) в почвах доля незамещенных НМОК составляет менее 0,5%.

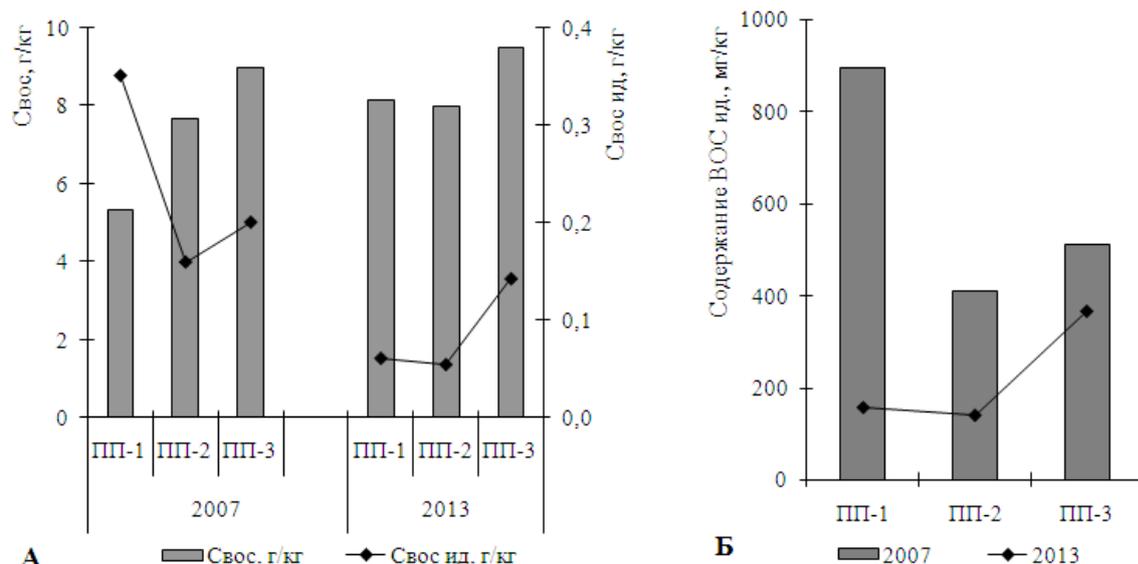


Рис. 1. Содержание общего углерода водорастворимых органических соединений (Свос), их идентифицированных компонентов (Свос ид) (А) и массовая доля в почвах идентифицированных органических соединений по годам наблюдений (Б)

Таблица

Доля идентифицированных компонентов групп ВОС от общего содержания ВОС, %

Идентифицированные группы		2007 г.			2013 г.		
		ПП-1	ПП-2	ПП-3	ПП-1	ПП-2	ПП-3
Кислоты	Незамещенные	2,88	2,41	2,05	0,07	0,22	0,37
	Замещенные	19,37	22,19	23,28	19,77	15,31	26,72
	Сумма	22,25	24,60	25,33	19,84	15,53	27,1
Сахара	Пентозы	6,32	12,18	9,56	11,58	8,71	6,63
	Гексозы	32,41	42,29	39,60	50,26	58,60	50,60
	Дисахариды	12,44	1,52	10,48	6,76	6,54	3,60
	Сумма	51,17	55,99	59,64	68,60	73,85	60,83
Спирты		26,58	19,41	15,04	11,55	10,62	12,07

Результаты кластерного анализа полученных данных показали следующее (рис. 2). На состав ВОС решающее влияние оказывают погодные условия года - вне зависимости от участков четко выделяются два кластера, в которые сгруппированы данные для 2007 и 2013 гг. наблюдений. При этом в неблагоприятных для функционирования почвенной микробиоты условиях 2007 г. качественный и количественный состав ВОС в нарушенных почвах (участки ПП-2 и ПП-3) сближается (на дендрограмме они более близко расположены друг к другу). В условиях резкого дефицита влаги и высоких летних температур в 2013 г. ведущую роль в формировании комплекса ВОС начинает играть характер напочвенного покрова и специфика состава органогенного горизонта почв, нивелирующую неблагоприятное воздействие абиотических факторов.

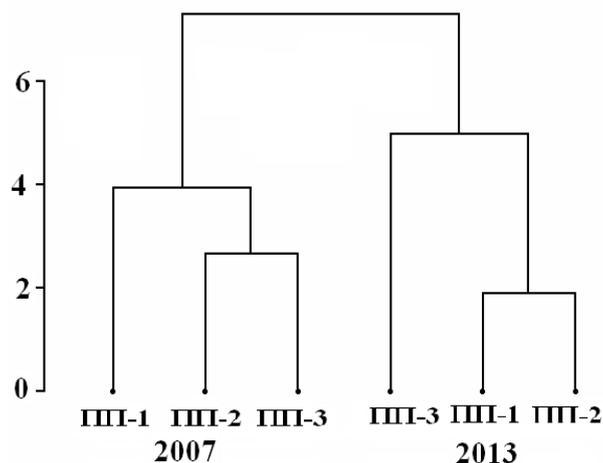


Рис. 2. Дендрограмма сходства состава идентифицированных компонентов ВОС в лесных подстилках коренного елового леса (ПП-1) и лиственнично-хвойных насаждений, сформировавшихся на вырубках 2001/2002 гг. (ПП-2) и 1969/1970 гг. (ПП-3) по годам наблюдений

Таким образом, погодные условия года оказывают значимое влияние на качественный и количественный состав водорастворимых компонентов почвенного органического вещества. В условиях средней тайги наиболее чувствительны к изменению температурного режима и влагообеспеченности почвы ненарушенных еловых лесов. Это подтверждается более выраженными колебаниями в почве участка ПП-1 по сравнению с нарушенными в результате вырубки экосистемами (участки ПП-2 и ПП-3) общего содержания водорастворимых компонентов и их индивидуальных соединений по годам наблюдений.

Библиографический список

1. Семенов В. М., Когут Б. М. Почвенное органическое вещество. М. : ГЕОС, 2015. 233 с.
2. Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Розанова М. С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918–926.
3. Kalbitz K., Kaiser K. Contribution of dissolved organic matter to carbon storage in forest mineral soils // Plant Nutrition and Soil Sci. 2008. Vol. 171, No. 1. P. 52–60.
4. Луценко Т. Н., Аржанова В. С., Ким Н. Ю. Трансформация растворенного органического вещества почвы на вырубках пихтово-елового леса (Приморский край) // Почвоведение. 2006. № 6. С. 674–680.
5. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2007 году» / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «ТФИ РК». Сыктывкар, 2008. С. 4–7.
6. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2013 году» / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, ГБУ РК «ТФИ РК». Сыктывкар, 2014. С. 5–7.
7. Микробные сообщества подзолистых почв на вырубках среднетаежных еловых лесов / Ю. А. Виноградова, Е. М. Лаптева, Е. М. Перминова, С. С. Анисимов, А. Б. Новаковский // Известия Самарского НЦ. 2014. № 5. С. 74–80.
8. Путеводитель научной почвенной экскурсии. Подзолистые суглинистые почвы разновозрастных вырубков (подзона средней тайги). Сыктывкар, 2007. 84 с.

9. Низкомолекулярные органические кислоты почв северной и крайнесеверной тайги Республики Коми / Е. В. Шамрикова, И. В. Груздев, В. В. Пунегов, Н. Б. Александрова // Вода: химия и экология. 2012. № 11. С. 102–107.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ГУМУСОВОГО И КАРБОНАТНОГО ПРОФИЛЕЙ ЧЕРНОЗЕМОВ РАЗНЫХ ПОДТИПОВ

А. И. Громовик

Воронежский государственный университет, agrom.ps@mail.ru

Рассмотрены особенности генетической связи гумусового и карбонатного профилей черноземов разных подтипов. Показано, что подтиповые особенности карбонатных профилей обусловлены типом водного режима почв и условиями минерализации органического вещества в черноземах.

Ключевые слова: черноземы, гумусовый и карбонатный профили.

Одним из ярких проявлений черноземообразовательного процесса является наличие в них карбонатного профиля [1–5]. В отличие от гумусового профиля, отличающего относительной консервативностью, карбонатный профиль черноземов весьма динамичен, как во времени, так и в пространстве. Так, для черноземов характерен существенный размах сезонных и годовых колебаний верхней границы карбонатного профиля. При этом, каждый подтип черноземов имеет свой характер сезонной и годичной миграции карбонатов. Карбонатный профиль черноземов можно разделить на три горизонта: верхний горизонт с минимальным содержанием карбонатов; средний – зона интенсивного накопления карбонатов, совпадающая с аккумулятивно-карбонатным горизонтом; нижний горизонт с относительно равномерным накоплением карбонатов. Эти особенности строения карбонатного профиля являются общими для черноземов, однако разные подтипы имеют существенные различия [3].

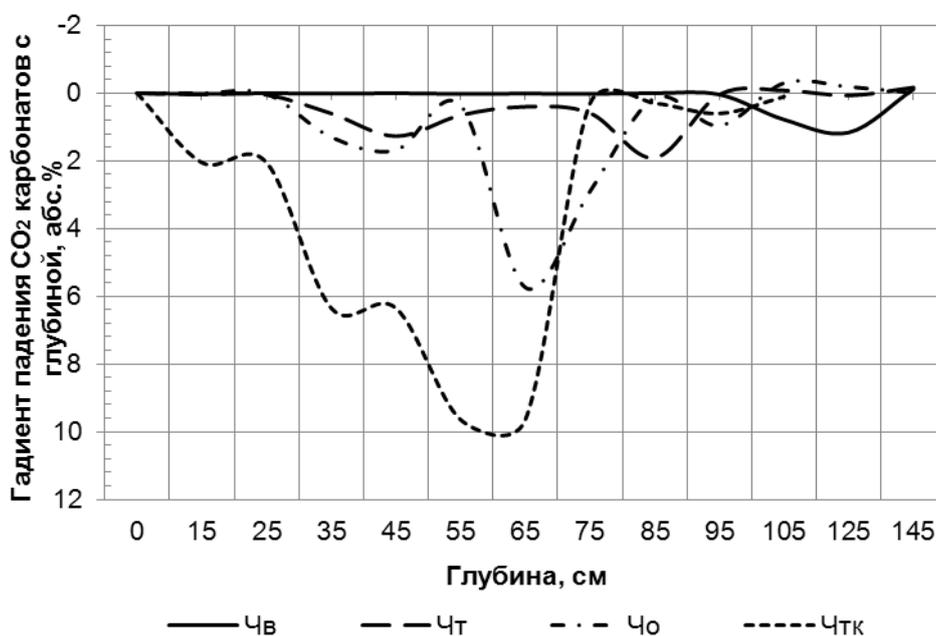
Многие исследователи отмечают, что карбонатные профили черноземов в отличие от гумусовых профилей, в большей мере соответствуют современным гидротермическим условиям и, прежде всего, определяются гидротермическим и газовым режимами в почвенном профиле [5, 6].

Исследования проводили в ряду подтипов: выщелоченные – типичные – обыкновенные среднегумусные среднемощные. Также были рассмотрены гумусовые профили черноземов типичных карбонатных малогумусных. Почвы характеризуются тяжелым гранулометрическим составом с содержанием физической глины от 50 до 57%. Был проанализирован большой массив данных по профильному распределению гумуса и CO_2 карбонатов в приведенном ряду почв.

Черноземы выщелоченные среди других подтипов имеют максимальный горизонт выщелачивания карбонатов (мощность 98 см). Градиент рас-

пределения карбонатов до этой глубины практически не подвержен колебаниям (рис. 1). Ниже горизонта выщелачивания содержание карбонатов резко возрастает. Максимальная аккумуляция карбонатов отмечается на глубине 120–130 см. Ниже зоны аккумуляции, отмечается незначительное уменьшение содержания CO_2 карбонатов и равномерное их распределение. В целом характер профильного распределения карбонатов иллювиальный.

Черноземы типичные имеют меньшую мощность горизонта выщелачивания карбонатов и горизонт иллювиальной аккумуляции CO_2 карбонатов в них находится выше (максимум на глубине 90 см). Ниже горизонта иллювиальной аккумуляции, распределение карбонатов равномерное. Кривая градиента изменения CO_2 карбонатов с глубиной носит слабый волнообразный характер.



Условные обозначения: Чв – черноземы выщелоченные, Чт – черноземы типичные, Чо – черноземы обыкновенные, Чтк – черноземы типичные карбонатные.

Рис. 1. Распределение градиента падения CO_2 карбонатов в почвенном профиле черноземов

В черноземах обыкновенных первый максимум аккумуляции карбонатов находится на глубине 50 см, то есть горизонт иллювиальной аккумуляции карбонатов подтягивается еще выше к дневной поверхности.

Характер профильного распределения карбонатов в черноземах типичных карбонатных отличается от обычных родов. В них отсутствует горизонт выщелачивания карбонатов. Эти почвы карбонатны с поверхности. Максимум накопления карбонатов отмечается с глубины 60 см.

Отмеченные особенности карбонатных профилей черноземов во многом обусловлены характером их увлажнения. В черноземах выщелоченных тип водного режима характеризуется как периодически промывной [7]. Здесь преобладают нисходящие токи влаги, и часто наблюдается промачивание

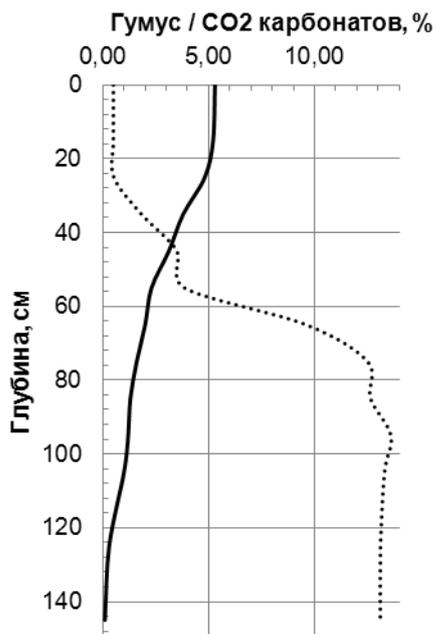
почвенно-грунтовой толщи. Подтверждением тому служит наличие в почвенном профиле глинисто-иллювиального горизонта (Вt). По этой причине карбонатный горизонт выщелоченных черноземов залегает на значительной глубине и имеет достаточно ровную границу вскипания, что является свидетельством слабой миграции карбонатов. Отмеченное резкое увеличение содержания карбонатов ниже границы вскипания до хорошо выраженного максимума также свидетельствует о нисходящих токах влаги.

Для черноземов типичных также характерен периодически промывной водный режим. Однако для них характерно более частое сквозное промачивание во влажные годы с постепенным иссушением почвенной толщи и развитием как нисходящих, так и восходящих токов влаги. В связи с этим изменяется положение верхней границы карбонатного горизонта, которая может, как подниматься, так и опускаться. Это зависит от мощности зоны активного влагооборота и положения границы вскипания в сухой период. Периодическая смена нисходящих и восходящих токов влаги приводит к развитию в них миграционных форм карбонатных новообразований. Кривая градиента изменения CO_2 карбонатов с глубиной в этих почвах носит слабый волнообразный характер, что подтверждает вышеуказанное положение.

Водный режим черноземов обыкновенных по классификации определяется как эпизодически промывной с господством восходящих токов почвенной влаги. Влага хоть и эпизодически, но все же поступает в нижние горизонты почвенной толщи. Интенсивное развитие восходящих потоков влаги, несущих в себе растворенные карбонаты повышает линию вскипания в почвенном профиле, и появляются сегрегационные формы выделения карбонатных новообразований в карбонатном горизонте (четко выраженный пик изменения градиента падения CO_2 карбонатов). Волнообразная кривая распределения градиентов CO_2 карбонатов также может свидетельствовать о миграционных процессах, что связано с эпизодическим промыванием почвенного профиля. Так в черноземах обыкновенных в карбонатном профиле можно выделить зону миграционных карбонатов, ниже которой залегает горизонт с сегрегационными формами (белоглазка) карбонатных новообразований.

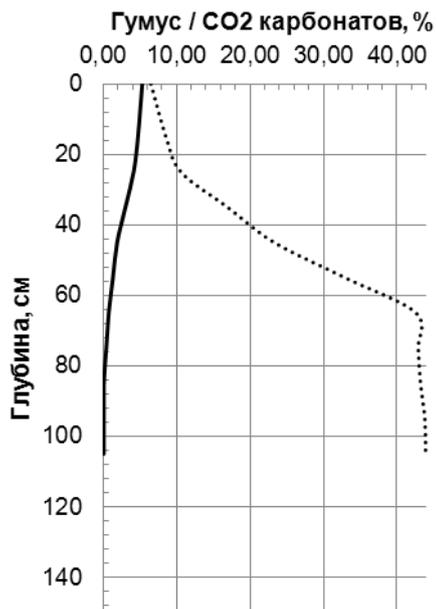
На рисунке 2 показаны графики профильного распределения CO_2 карбонатов и гумуса в разных подтипах черноземов, включая карбонатные роды.

В черноземах выщелоченных отрыв линии вскипания от нижней границы переходного горизонта АВ составляет 32 см (рис. 2 А). Глубокое залегание карбонатного горизонта обусловлено периодически промывным типом водного режима, следствием чего является миграция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, образовавшегося в результате минерализации растительных остатков с нисходящими токами воды и аккумуляцией его в форме карбоната кальция на значительной глубине.



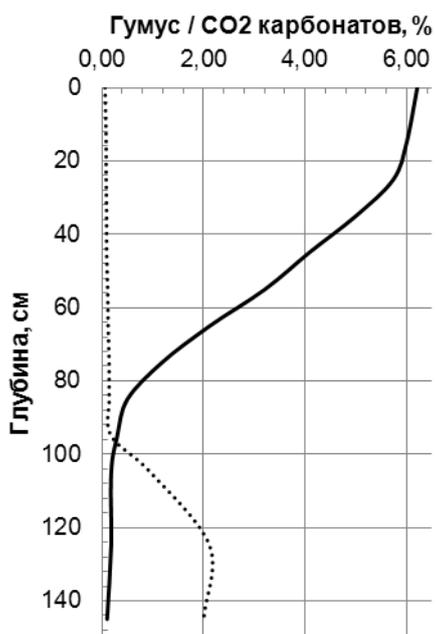
— Гумус CO2 карбонатов

А (Чв)



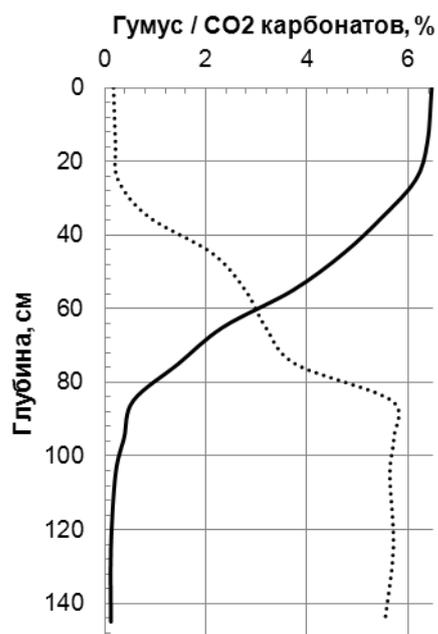
— Гумус CO2 карбонатов

Б (Чт)



— Гумус CO2 карбонатов

В (Чо)



— Гумус CO2 карбонатов

Г (Чтк)

Условные обозначения: Чв – черноземы выщелоченные, Чт – черноземы типичные, Чо – черноземы обыкновенные, Чтк – черноземы типичные карбонатные.

Рис. 2. Взаимосвязь гумусовых и карбонатных профилей разных подтипов черноземов

В черноземах типичных кривые профильного распределения CO_2 карбонатов пересекаются на глубине 60 см (рис. 2 Б), что свидетельствует о сба-

лансированности между гумусовым и карбонатным профилем рассматриваемого подтипа. Линия вскипания в этих почвах поднимается в нижнюю часть гумусовой толщи.

В черноземах обыкновенных линия вскипания поднимается еще ближе к поверхности (30 см). На глубине 44 см кривые профильного распределения карбонатов и гумуса пересекаются (рис. 2 В). В рассматриваемом подтипе идет более интенсивная минерализация органического вещества. Образовавшийся в результате минерализации бикарбонат кальция в виду непромывного водного режима не способен мигрировать в глубокие слои почвы и аккумулируется в виде карбоната кальция в пределах гумусовой толщи. Дополнительные порции карбонатов поступают с восходящими токами почвенной влаги.

Карбонатные роды черноземов типичных вскипают с поверхности и обладают невысокой гумусированностью и мощностью гумусовой толщи, которая едва превышает 30 см. Небольшая мощность А+АВ обусловлена отсутствием гумусовых веществ способных к миграции, так как гумусовые вещества закрепляются кальцием. Кроме того, карбонатность с поверхности и близкое залегание высококарбонатных почвообразующих пород не дает возможности развитию мощных корневых систем травянистых растений, которые являются одним из главных материальных источников для гумусообразования черноземов. В отличие от обычных родов, в карбонатных черноземах кривые профильного распределения CO_2 карбонатов и гумуса не пересекаются.

Таким образом, показана тесная генетическая связь гумусового и карбонатного профилей черноземов различных подтипов. Подтиповые особенности обусловлены типом водного режима почв и условиями минерализации органического вещества. Наибольшая сбалансированность между гумусовым и карбонатным профилем отмечена у черноземов типичных.

Библиографический список

1. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). Ленинград : Изд-во «Наука», 1980. 222 с.
2. Ахтырцев Б. П., Ахтырцев А. Б. Почвенный покров Среднерусского Черноземья. М. : Изд-во «Наука», 1993. 222 с.
3. Щеглов Д. И. Черноземы центра Русской Равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. М. : Изд-во «Наука», 1999. 214 с.
4. Овечкин С. В. Карбонатный профиль черноземов лесостепи ЦЧО и его трансформация в зависимости от глобальных изменений климата // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. 2008. № 1(20). С. 40–46.
5. Лебедева И. И. Гумусовые и карбонатные аккумуляции как диагностические критерии в черноземах восточной Европы // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2011. Вып. 68. С. 3–18.
6. Морозов И. В., Безуглова О. С., Минаева Е. Н. О формировании карбонатного горизонта черноземов обыкновенных Нижнего Дона // Научное электронное периодическое издание ЮФУ «Живые и биокосные системы». 2017. № 22.
7. Роде А. А. Водный режим некоторых основных типов почв СССР (по многолетним данным) // Избранные труды почвенного института им. В. В. Докучаева. 2009. Т. 4. С. 292–345.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ НА ОСНОВЕ ИХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Ю. В. Холопов¹, Д. Д. Хайдапова², Е. М. Лантева¹

¹ *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, vegalyn@mail.ru*

² *МГУ им. М. В. Ломоносова, dkhaydapova@yandex.ru*

Настоящее исследование направлено на выявление реологических свойств дерново-подзолистых почв, формирующихся в разных условиях увлажнения для оценки их структурно-механических особенностей. Определены величины прочности, пластичности, упругости почвенных межчастичных взаимодействий исследуемых почв. Выявлены зависимости реологических характеристик дерново-подзолистых почв от их физико-химических свойств и гидротермических условий.

Ключевые слова: южная тайга, дерново-подзолистые почвы, гидроморфизм, реология.

Интенсификация техногенного воздействия на таежные экосистемы (вырубка лесов, проезд тяжелой техники, строительство различных инфраструктурных объектов и пр.) обуславливает развитие эрозионных процессов, нарушающих строение и функционирование лесных почв. Особенно это актуально в отношении полугидроморфных почв, характеризующихся постоянным или периодическим переувлажнением. Учитывая возможность повышения количества осадков в условиях климатических изменений, которое прогнозируется в северном полушарии [1], следует ожидать увеличения влажности почв, что, естественно, отразится и на их физических свойствах. Для оценки физико-механических изменений необходимы почвенно-реологические исследования, которые позволяют охарактеризовать микроструктурное состояние почв и дать прогноз устойчивости почвенной системы при различных механических нагрузках природного и техногенного происхождения. Реологический подход хорошо зарекомендовал себя в работах исследователей [2–4].

Цель настоящих исследований – оценить с помощью почвенно-реологического подхода структурно-механические особенности дерново-подзолистых почв, формирующихся в различных условиях увлажнения.

Исследования проводили в подзоне южной тайги на территории Республики Коми (Прилузский р-н, окрестности с. Летка). Объектами исследования послужили почвы, занимающие различные ландшафтные позиции в пределах водораздельного увала с абсолютной высотой 183 м над ур. м. На вершине увала, в автоморфных условиях представлена дерново-подзолистая неоглеенная почва (разрез Л-2; координаты: 59°38'27" с.ш. 49°22'36" в.д.), в средней части увала – дерново-подзолистая слабogleеватая (разрез Л-1; 59°38'25" с.ш. 49°22'38" в.д.), в нижней части увала в ложбине – дерново-

подзолистая глеевая (разрез Л-3; 59°38'31" с.ш. 49°22'43" в.д.). Подробное описание физико-химических свойств исследуемых почв дано ранее [5]. Реологические исследования образцов почв выполняли на базе модульного реометра MCR-302 (Австрия) методом амплитудной развертки (колебательный метод) с измерительными системами плита-плита. В ходе проведенных испытаний были получены следующие параметры, характеризующие реологические свойства почв: модуль упругости (G'), модуль вязкости (G''), предел упругой деформации ($LVE-range$), точка пересечения модулей ($G'=G''$ *CROSSOVER*), обозначающая переход системы из твердообразного пластичного состояния (гель) в вязкое текучее состояние (золь).

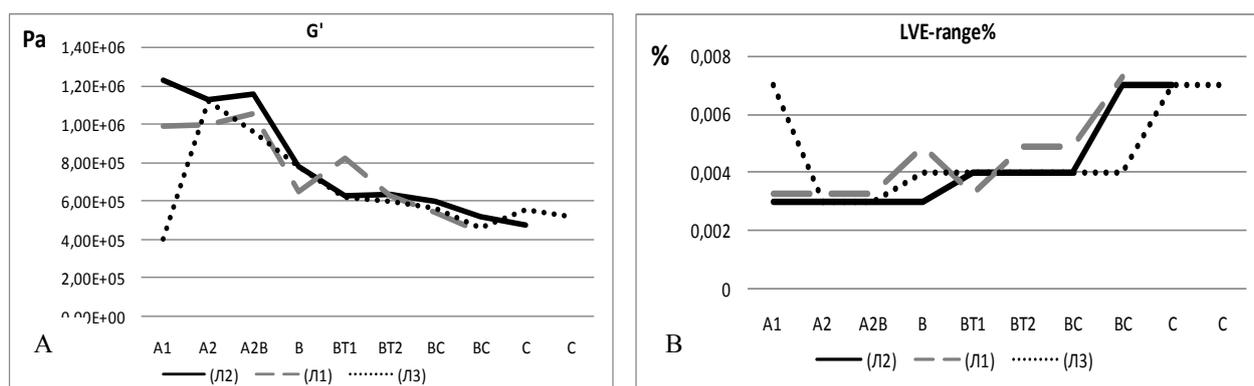


Рис. 1. Профильное изменение диапазона упругого сопротивления – $LVE-range$ (А) и модуля упругости – G' (В). Почвы: Л2 – дерново-подзолистая неоглеевая; Л1 – дерново-подзолистая слабоглеевая; Л3 – дерново-подзолистая глеевая

Наиболее прочные ($1,00 \cdot 10^6$ – $1,23 \cdot 10^6 Pa$) межчастичные контакты в рассмотренных почвах формируются в верхней части профиля (горизонты А1, А2, А2В), в области накопления органических веществ и гумуса (рис. 1А). По данным физико-химических исследований [5], гумусовый профиль в данных почвах вытянут, гумус содержит высокую долю фракций, связанных с кальцием (5,4–13%), что, несомненно, способствует формированию прочной и устойчивой структуры. При этом гумусо-аккумулятивный горизонт А1 дерново-подзолистой глеевой почвы (Л3) отличается сочетанием крайне низкой прочности (рис.1А; $4,04 \cdot 10^5 Pa$) с высокими значениями упругой деформации (рис.1В; 0,007%). Такой результат обусловлен повышенным содержанием слаборазложившихся органических остатков и низкомолекулярных органических веществ, поступающих из оторфованной подстилки. В гумусо-аккумулятивном горизонте А1 глеевой почвы (Л3) содержится до 20,4% органического углерода, в аналогичном горизонте А1 неглеевой почвы (Л2) содержание углерода составляет 10–15% [5]. Сцепленные органические компоненты действуют подобно пружине, увеличивая упругое сопротивление почвы в начале деформационного воздействия. Однако, при этом значительно теряется общая жесткость структуры или прочность межчастичных контактов. Высокое содержание органических веществ способствует повышенному на-

коплению влаги, которая обволакивает минеральные почвенные частицы, увеличивая расстояние между ними и ослабляя тем самым межчастичное взаимодействие.

Повышенная прочность нижележащих элювиальных горизонтов (А2 и А2В) в большей мере, вероятно, обусловлена процессами промерзания, так как содержание органических веществ здесь сокращается до 2,6–5,6%. По данным температурных наблюдений мощность промораживания исследуемых почв достигает 30–55 см в течение 100–128 дней [5]. Промерзание способствует созданию прочных, но более хрупких конденсационных связей, которые легко разрушаются и слабо восстанавливаются при механическом воздействии.

В средней и нижней части профиля всех рассматриваемых почв показатели реологического поведения выравниваются и становятся менее динамичными. Высокая прочность контактов постепенно ослабляется с глубиной, при этом значения упругой деформации, наоборот, увеличиваются (рис. 1А, В). Такое изменение реологических свойств обусловлено постепенным утяжелением гранулометрического состава почв вниз по профилю. Минеральные глинистые частицы обладают повышенным влагопоглощением, что создает эффект аналогичный органическим веществам. Набухшие под действием влаги глинистые частицы значительно теряют жесткость межчастичного взаимодействия. Повышенный диапазон упругости в нижней части профиля, вероятно, обусловлен как тяжелым гранулометрическим составом, так и различным минералогическим составом глинистых частиц, что создает дополнительное упругое сопротивление при деформации.

На рисунке 2 представлены значения диапазона пластичности почв. Точка выравнивания модулей упругости и вязкости ($G' = G''$) означает, что микроструктура почвы полностью разрушена и система из пластичного состояния переходит в текучее. Как видно из графика, минимальные значения пластичности (1,57–1,88%) характерны для гумусо-аккумулятивных горизонтов А1 дерново-подзолистой неоглеенной (Л2) и слабogleеватой (Л1) почв. Низкая пластичность обусловлена хорошей агрегированностью почв, наличием в них более прочных и устойчивых внутриагрегатных связей. Согласно исследованиям [5], в неоглеенных (Л2) и слабogleеватых почвах (Л1) содержится до 80% агрономически ценных агрегатов, в глеевых почвах их содержание сокращается до 62%. Переувлажнение, сопровождаемое интенсивными процессами оглеения, приводит к значительной деградации почвенных агрегатов. При механическом воздействии эти агрегаты легко разрушаются до более мелких частиц, в результате чего увеличивается площадь межчастичных контактов, что на графике отражается в виде увеличения диапазона пластичности (рис. 2). На это также указывает увеличение пластичности в подзолистом горизонте А2, где степень агрегированности снижается вследствие низкого содержания здесь илистых и коллоидных частиц, вынесенных в процессе оподзоливания. Ниже по профилю, вследствие близких литологических условий, а

также ослабления педогенного влияния, значения пластичности во всех исследуемых почвах выходят на средний уровень без резких колебаний.

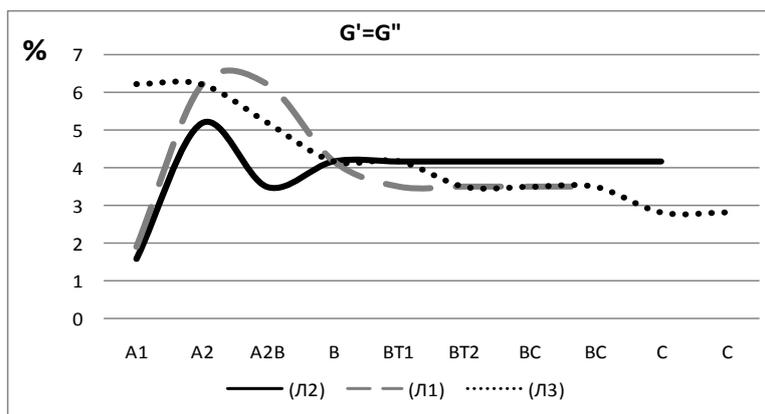


Рис. 2. Профильное изменение диапазона пластичности в дерново-подзолистых почвах. Условные обозначения те же, что на рисунке 1

Таким образом, деформационная устойчивость почвенной микроструктуры дерново-подзолистых почв, формирующихся в разных условиях увлажнения, зависит от содержания и качества органико-минеральных соединений, а также процессов оглеения и промораживания. Наиболее устойчивые межчастичные контакты формируются в верхних гумусо-аккумулятивных горизонтах (A1). Устойчивость межчастичного взаимодействия в автоморфных условиях ограничивается хрупкостью контактов, которые слабо восстанавливаются после разрушения. При продвижении от автоморфных к полугидроморфным условиям значения пластичности увеличиваются в 2–3 раза, что указывает на ослабление межчастичного и межагрегатного взаимодействия при усилении гидроморфизма почв.

Библиографический список

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации // Общее резюме. РОСГИДРОМЕТ, 2014. 58 с.
2. Абрикова В. В., Манучаров А. С. Реологическая характеристика тундровой поверхностно-глеевой почвы // Почвоведение. 1986. № 9. С.44–52.
3. Markgraf W., Horn R., Peth S. An approach to rheometry in soil mechanics: Structural changes in bentonite, clayey and silty soils. Soil Tillage Res. 2006. Vol. 91. Pp. 1–14. doi: 10.1016/j.still.2006.01.007
4. Реологические свойства черноземов типичных (Курская область) при различном землепользовании / Д. Д. Хайдапова, В. В. Честнова, Е. В. Шеин, Е. Ю. Милановский // Почвоведение. 2016. № 8. С. 1–9. doi: 10.7868/S0032180X16080049
5. Канев В. В. Параметры оглеения и подзолообразования в почвах на покровных суглинках северо-востока Русской равнины. Екатеринбург : УрО РАН, 2001. 221 с.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НОВООБРАЗОВАНИЙ В АВТОМОРФНЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВАХ ЮЖНОЙ ТУНДРЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ (РЕСПУБЛИКА КОМИ)

О. В. Шахтарова, С. В. Денева, Е. М. Лантева

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, olga.shakhtarova@mail.ru

В работе рассмотрен химический состав и распределение почвенных новообразований: скелетан (песчано-пылеватые кутаны) и Fe-Mn-конкреций в профилях двух тундровых глеевых почв, отличающихся степенью оглеения и уровнем залегания мерзлоты. Изучены закономерности формирования новообразований в этих почвах.

Ключевые слова: новообразования, распределение и химический состав, глеезем криометаморфический, глеезем криотурбированный, южная тундра

Изучение особенностей морфологического строения почв, химического состава и распределения в профиле почв различных новообразований играет важную диагностическую роль при проведении почвенных исследований и позволяет ответить на многие вопросы, касающиеся формирования почв как в прошлом, так и на современном этапе их развития [1–3]. Учитывая, что подобные исследования для почв тундровой зоны единичны [4–6], цель данной работы заключалась в изучении характера распределения и химического состава новообразований (скелетаны, Fe-Mn-конкреции) в двух типах тундровых суглинистых почв.

Исследования проводили в Воркутинском районе Республики Коми. Объекты исследования – глеезем криометаморфический (Гкм) и глеезем криотурбированный (Гкт) – формируются в биоклиматических условиях южной тундры Европейского Северо-Востока России. Химический анализ почв выполнен общепринятыми в почвоведении методами [7]. Названия почв и горизонтов даны в соответствии с [8].

Почвы Гкм формируются в дренированных автоморфных ландшафтах кустарниково-моховой тундры, где глубина залегания мерзлоты ниже 1,5 м. Такие почвы наиболее распространены на территории южной тундры. Их профиль представлен сочетанием органогенного, оглеенного и криометаморфических горизонтов: O–G–CRM–C. Криометаморфические оструктуренные горизонты CRM с угловато-овальными агрегатами характеризуются обилием скелетан, особенно в средней части профиля. Анализ валового состава скелетан и внутриваловой массы (ВВМ) свидетельствует о дифференциации профиля под влиянием элювиально-глеевого процесса [4]. Для ВВМ выявлено отчетливое элювиально-иллювиальное распределение Fe₂O₃ и CaO (накопление в горизонтах CRM, где присутствуют агрегаты с ожелезненным центром).

Профильное распределение Al_2O_3 и MgO имеет сходный характер, но вынос этих элементов выражен в меньшей степени. Для скелетан выявлена обратная картина в распределении валовых форм R_2O_3 : накопление в горизонте G, и снижение – в CRM горизонте. Это может быть связано с проявлением редокс-процессов в этих частях профиля и/или заметным участием Al-Fe-гумусового иллювиирования. Возможно, ВПМ, блокируемая кутанами от выщелачивания и консервирующая свойства, более четко отражает элювиально-иллювиальную дифференциацию профиля.

Оксалат- и дитионитрастворимые формы железа (Fe_o и Fe_d) в составе скелетан аккумулируются в средней части профиля (гор. CRM). Общее содержание этих форм выше в ВПМ. Содержание Fe_o и Fe_d в составе ВПМ более равномерно распределено в пределах профиля и тесно коррелирует с профильным распределением Сор_г в ВПМ. Последнее свидетельствует о преимущественной миграции органо-минеральных комплексов в составе скелетан и, вероятнее всего, отражает процесс Al-Fe-гумусового иллювиирования как стадию единого макропроцесса – Al-Fe-гумусовой дифференциации почв [9].

По всему профилю почвы Гкм преобладают мелкие конкреции (диаметр < 2 мм). В верхней части профиля отмечено максимальное количество конкреций неправильной овальной формы, реже трубчатых буровато-коричневой и ржаво-бурой окраски. В CRM горизонте конкреции редкие, рыхлые, темно-бурые, с неровными краями. В нижней части CRM горизонта образуется наибольшее количество крупных конкреций (диаметр > 2 мм).

Соединения железа и марганца являются ведущими конкрециеобразующими компонентами. По сравнению с вмещающей массой почвы конкреции (особенно в CRM горизонтах) активно аккумулируют Mn (коэффициенты накопления (Кн) варьируют от 6,5 до 22,5) и Fe (Кн = 8–4,0). Для остальных элементов Кн < 1. Исключением являются конкреции, формирующиеся в верхнем горизонте, где отмечается аккумуляция биофильных элементов – Ca, Mg, K, Na (Кн = 1,3–2,1). Это может быть связано с минерализацией растительного опада, миграцией биофильных элементов из органогенных горизонтов Гкм вниз по профилю и их аккумуляцией в конкрециях.

Почвы Гкт (строение профиля: O–T–Vh–G–C) формируются в кустарничково-моховых тундрах при более близком залегании мерзлоты (менее 1 м). Для данного типа почвы характерно практически полное оглеение по всему профилю. Глеевые горизонты G тиксотропны, в нижней части профиля слабо агрегированы. Единично встречаются отдельные округлые и угловатые агрегаты, единичные зерна скелетан присутствуют только в порах.

В отличие от почвы Гкм, профиль почвы Гкт не дифференцирован по валовому содержанию R_2O_3 и SiO_2 [10]. Исследования показали, что для общей массы и ВПМ глеевого горизонта G характерно обеднение Al_o и Fe_d . Это может быть связано с глеевой мобилизацией соединений Al_o и Fe_d . Косвенно наличие процессов мобилизации соединений Fe и Al подтверждает разница в их содержании в общей массе и ВПМ, которая наиболее выражена в верхних

горизонтах профиля. Явное преобладание содержания Fe и Al в ВПМ почвенных агрегатов по сравнению с общей массой почвы свидетельствует о снятии железо-алюминевых пленок с поверхности почвенных агрегатов и миграции этих соединений к окислительным барьерам и фронту промерзания в верхней части профиля. Эти процессы осуществляются, скорее всего, в виде миграции неорганических соединений Fe и Al, поскольку гумусовые вещества в глееземе криотурбированном, в отличие от соединений Fe и Al, локализованы преимущественно на поверхности почвенных агрегатов. Об этом свидетельствует практически 3–4-кратное превышение содержания Сорг. в общей массе почвы над его содержанием в ВПМ почвенных агрегатов.

Процессы образования конкреций в профиле Гкт менее выражены, чем в профиле Гкм, поскольку профильное оглеение затрудняет возможность образования конкреций. В Гкт образуются конкреции небольших размеров (диаметр < 2 мм) разной плотности, окраски (темно-серые, охристые, ржаво-бурые) и формы (дробовидные округлые, овальные, трубчатые). В отличие от Гкм, в горизонтах G₁ и G₂ Гкт доля крупных конкреций (диаметр 2–3 и > 3 мм) относительно высока (10–22%). Для вещественного состава конкреций в Гкт также как и в Гкм характерна преимущественная аккумуляция Fe и Mn. Но аккумуляция Mn выражена в меньшей степени, чем в конкрециях Гкм.

Таким образом, изучены химический состав и особенности распределения новообразований в двух типах почв, наиболее характерных для южной тундры европейского севера. Анализ скелетан, сосредоточенных на путях современной миграции растворов, диагностирует в профиле Гкм современный процесс Al-Fe-гумусового иллювиирования, а состав ВПМ отражает элювиально-иллювиальную дифференциацию, унаследованную от более ранних стадий почвообразования. В профиле Гкт отсутствует элювиально-иллювиальная дифференциация. Конкреции формируются в обеих рассмотренных почвах, но их доля в Гкт в 2,5–7,5 раз меньше, по сравнению с Гкм. В их составе преимущественно аккумулируются соединения Mn и Fe. Конкреции, формирующиеся в верхней части профиля Гкм, характеризуются относительным накоплением биофильных элементов (Ca, Mg, K, Na).

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ИБ Коми НЦ УрО РАН «Выявление общих закономерностей формирования и функционирования торфяных почв на территории Арктического и Субарктического секторов Европейского Северо-Востока России» (АААА-А17-117122290011-5). Авторы посвящают данную работу светлой памяти Г.В. Русановой, под руководством которой были проведены данные почвенные исследования.

Библиографический список

1. Бронникова М. А., Таргульян В. О. Кутанный комплекс текстурно-дифференцированных почв. М. : Академкнига, 2005. 197 с.
2. Зайдельман Ф. Р., Никифорова А. С. Ортштейны – марганцево-железистые конкреционные новообразования (итоги исследований) // Почвоведение. 2010. № 3. С. 270–281.

3. Gasparatos D., Massas I. and Godelitsas A. Fe-Mn concretions and nodules formation in redoximorphic soils and their role on soil phosphorus dynamics: Current knowledge and gaps // *Catena*. 2019. No. 1 82. P. 104–106. doi.org/10.1016/j.catena.2019.104106
4. Слобода А. В. Профильная и внутригоризонтная дифференциация веществ в поверхностно-глеевой суглинистой почве кустарниковой тундры // *Почвоведение*. 1980. № 1. С. 33–43.
5. Русанова Г. В. Полигенез и эволюция почв Субарктического сектора (на примере Большеземельской тундры). СПб. : Наука, 2009. 165 с.
6. Русанова Г. В., Шахтарова О. В. Структурная организация и профильная дифференциация веществ в автоморфных почвах юго-востока Большеземельской тундры // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2012. № 3. С. 18–32.
7. Теория и практика химического анализа почв / под ред. Л. А. Воробьевой. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.
8. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
9. Тонконогов В. Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнины. М. : Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2010. 304 с.
10. Русанова Г. В., Шахтарова О. В. Особенности автоморфного почвообразования в ландшафтах Большеземельской тундры // *Известия Коми НЦ УрО РАН*. 2013. № 3(15). С. 27–34.

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНКРЕЦИОННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЯХ ТУНДРОВЫХ ПОЧВ (ВОРКУТИНСКИЙ РАЙОН, РЕСПУБЛИКА КОМИ)

С. В. Денева, Е. М. Лаптева, В. А. Ковалева
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, denewa@rambler.ru

Исследование роли железо-марганцевых конкреций (ЖМК) в процессах аккумуляции и миграции макро и микроэлементов в почвах под влиянием природных и антропогенных факторов проведено на примере целинных и постагрогенных (почвы сеяного луга) тундровых почв. Различия между железо-марганцевыми новообразованиями двух почв прослеживаются как в верхней части профиля, нарушенной в результате антропогенного воздействия, так и в нижней, сохраняющей особенности строения целинной почвы. Максимум подвижных элементов представлено в конкрециях с диаметром до 2 мм, данная фракция преобладает в тундровых почвах. По мере увеличения размера конкреций доля подвижных форм снижается, при этом нарастает интенсивность накопления валового содержания ряда микроэлементов (Co, Pb, Cu, Ni, Mn, Fe, As). Для ЖМК почв, подвергшихся сельскохозяйственной обработке, характерны аккумуляция валовых и подвижных форм макроэлементов Mg, Ca, K, Na и уменьшение содержания Fe по сравнению с новообразованиями природных почв. Наибольшие значения коэффициента накопления (K_x) установлены для Fe, Mn, Co, Cd, Pb и As.

Ключевые слова: тундровые почвы, железо-марганцевые образования, макро- и микроэлементы, подвижные формы, реградация.

Конкреционные новообразования играют важную роль в распределении химических элементов внутри почвенной системы, отражают особенности почвообразовательных процессов и служат важным объективным диагностическим признаком. Основное внимание уделяется содержанию главных конкрециеобразующих элементов (Fe и Mn). Однако сведения о содержании большей части макро- и микроэлементов единичны и фрагментарны.

Систематизация сведений о свойствах макрообразований почв, оценка их информационного и диагностического значения, установление не только особенностей их генезиса, но и тесной связи свойств с литологическими, гидрологическими и гидрохимическими условиями гумидных ландшафтов позволят понять влияние этих новообразований на миграционные циклы элементов в педосфере и их вклад в процессы почвенного очищения, что особенно актуально в условиях интенсивного антропогенного воздействия.

Цель данной работы заключается в выявлении влияния закономерностей распределения макро- и микроэлементов в результате постагрогенной эволюции тундровых почв на изменение качественного и количественного состава Fe-Mn-конкреций.

Исследования проводили в тундровой зоне Европейского Северо-Востока России (Республика Коми, окрестности г. Воркута). Объектами послужили пылевато-суглинистые целинные почвы (глееземы криометаморфические), формирующиеся на холмисто-рядовых возвышенностях в кустарниковой бугорковатой южной тундре с массивно-островным типом многолетнемерзлых пород на глубине 2-5 м (67°31'47,60" с. ш., 63°7'52,89" в. д.), и освоенные почвы сеяного луга (глееземы криометаморфические постагрогенные), находящиеся в настоящее время в процессе реградации (67°31'50,92" с. ш., 63°7'56,83" в. д.).

Посев на участке с освоенной почвой производили в 1986 году по фону органического и минеральных удобрений смесью двух злаков местных форм – мятлика лугового (*Poa pratensis*) и лисохвоста лугового (*Alopecurus pratensis*), при норме высева семян 40 кг/га в соотношении 3:1. По разработанной системе ухода за многолетним лугом комплексное минеральное удобрение 30 кг/га д.в. вносили ежегодно в конце мая, либо в начале июня. Сенокошение происходило обычно в конце июля. С 1997 года (12-го года жизни трав) внесение удобрений прекратилось, нерегулярно проводилась уборка урожая, которую позднее прекратили совсем. В результате к 15-му году жизни трав было отмечено снижение обилия мятлика, обилие лисохвоста практически не изменилось. Проведен анализ результатов исследований за 2007–2009 гг. – тот период, когда почва находилась 10 лет в процессе реградации. Поскольку коренной смены типа растительного покрова в рассматриваемый период не происходило, почва лугового биогеоценоза сохраняла морфологические признаки, сформировавшиеся в предшествующий период развития

сеяного луга. В течение периода стабильного функционирования многолетней агроэкосистемы почва характеризовалась устойчивыми агрохимическими показателями. Общая мощность культурного слоя почвы составляла в среднем 10–14 (до 22) см. Именно в этом слое сосредоточена подавляющая масса корней, гумуса, элементов-биогенов [1, 2].

Исследуемые почвы, как природные, так и освоенные, характеризуются кислой реакцией, особенно на глубине 10–46 см, где наблюдается наибольший вынос поглощенных оснований. Распределение органического углерода (Corg.) по профилю природной почвы характеризуется накоплением его в верхних горизонтах и резким уменьшением вниз по профилю, в освоенной почве также наблюдается аккумуляция Corg. в верхней части, но его содержание более низкое, а падение с глубиной не столь резкое. Профильная дифференциация органического углерода сходна с дифференциацией оксалат- и дитионитрастворимых форм железа, что может быть связано с образованием органо-минеральных комплексов, и отражает процесс Al-Fe-гумусового иллювиирования, или стадию единого макропроцесса – Al-Fe-гумусовой дифференциации почв [3]. При промерзании почвы восходящая миграция к фронту промерзания растворенных веществ также способствует аккумуляции соединений в поверхностных горизонтах и криогенной коагуляции. При сельскохозяйственной обработке почв усиливается контрастность окислительно-восстановительных процессов, изменяется картина профильного распределения илстой фракции. В Bg(G) горизонте освоенной почвы отмечено присутствие темных линз с повышенным содержанием Corg., поскольку в результате фрезерования в массу нижележащих минеральных горизонтов почвы заделывались растительные остатки. В целом, освоенные почвы наследуют глеевый процесс почвообразования и элювиальный тип дифференциации профиля. Результаты валового анализа почв иллюстрируют унаследованную дифференциацию профилей по подзолистому типу.

Таким образом, под влиянием антропогенных факторов (залужение тундры) на участках с многолетними сеяными лугами происходит изменение воздушного и водного режимов, морфологических и физико-химических свойств почв, что, соответственно, оказывает воздействие на количество и фракционный состав конкреционных новообразований (табл. 1), а также на содержание в них макро и микроэлементов (табл. 2).

Таблица 1

Содержание и фракционный состав конкреций тундровых почв

Горизонт	Глубина, см	Содержание конкреций; % от массы почвы	Фракционный состав, % от общей массы конкреций			
			< 1 мм	1–2 мм	2–3 мм	>3 мм
1	2	3	4	5	6	7
Почва: глеезем криометаморфический						
O3ao	5–14	0,36	31	56	5	8
Bg(G)	14–28	0,45	69	29	2	1
CRM	28–46	0,10	25	65	3	7
CRMC1(g)	46–89	0,04	10	72	12	5

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
CRMС2g	89–137	0,01	64	36	–	–
Почва: глеезем криометаморфический постагрогенный						
AY2ao	4–13	1,01	59	29	8	4
AY3pa, g	13–22(35)	0,57	28	63	8	1
Bg(G)	22(35)–38	0,60	11	56	25	7
CRM	38–60	0,95	18	69	11	2
CRM1C(g)	60–100	0,14	51	38	6	5
CRM2Cg	100–140	0,23	26	32	7	35

Таблица 2

Химический состав вмещающего мелкозема и конкреций целинной и постагрогенной тундровых почв

Глубина (см)	Проба	Cu	Pb	Cd	Zn	Ni	Co	Cr	As	Mn	Fe	Al	Mg	Ca	K	Na
		(мг/кг)										(г/кг)				
Почва: глеезем криометаморфический																
10–14	BM	6,1	14,1	0,35	27	16	11	43	5,3	510	24	21	3,6	2,2	2,2	0,13
	ЖМК	6,6	67	1,6	34	21	90	54	47	5000	110	24	3,9	2,3	2,2	0,19
14–46	BM	8,1	13	0,25	32	19	14	44	5,1	570	20	21	4,0	2,3	2,4	0,14
	ЖМК	15	56	1,4	38	32	140	53	40	4300	77	27	4,5	1,7	2,9	0,17
Почва: глеезем криометаморфический постагрогенный																
4–13	BM	5,5	14	0,28	31	14	5,7	48	5,3	260	20	25	3,5	1,8	2,5	0,15
	ЖМК	14,3	33	0,55	41	30	49	53	12	1700	36	32	4,7	3,8	3,8	0,25
13–22 (35)	BM	8,3	12	0,18	41	18	9	51	5,2	340	21	25	4,1	2,0	2,8	0,16
	ЖМК	6,0	71	1,1	34	19	110	55	30	6700	83	25	3,7	1,5	2,3	0,15
22(35)– 38	BM	9,0	11,7	0,23	36	19	11	45	5,8	400	20	22	4,5	2,5	2,6	0,16
	ЖМК	8,8	67	0,6	35	24	260	46	22	9000	45	23	3,3	1,3	1,8	0,12
38–60	BM	16	15	0,29	48	33	11	54	7	550	25	29	5,6	3,8	3,7	0,22
	ЖМК	11,1	73	0,47	34	32	340	52	28	10000	44	25	4,1	2,2	2,6	0,17

Примечание: BM – вмещающий мелкозем; ЖМК – железо-марганцевые конкреции.

Конкреции в почвах распределены крайне неравномерно. В природной почве наибольшее количество конкреций отмечено на глубине 14–46 см (табл. 1), что связано с сезонной динамикой окислительно-восстановительного процесса на фоне сильно выраженных тиксотропных свойств в нижележащем горизонте, ограничивающих вертикальное перемещение влаги. Преобладают новообразования эллипсоидной формы, но встречаются трубчатые конкреции. Окраска зерен в органогенных горизонтах буровато-коричневая и ржаво-бурая. В нижней части Bg(G) горизонта и нижележащих слоях редкие конкреционные образования рыхлые, темно-бурые, с неровными краями, преобладают зерна размером менее 1 мм.

В освоенной почве под одернованным аккумулятивным слоем почвенный профиль сохраняет черты природной почвы, однако, судя по морфологическим признакам, оглеение и тиксотропность ослабевают. В окультуренном слое (верхних горизонтах до 14 см) в наибольших количествах представлены темно-серые (на изломе черные), твердые, с четко очерченными краями кон-

креции. Часто встречаются их сростки типа желвачков с ростом на 2–3, реже 4–6 центрах. Ниже по профилю конкреции становятся более рыхлыми, неровными, охристо-бурого цвета с мелкими черными пятнами, много сростков на 2–3 центра, также распространены мелкие трубчатые конкреции. Наибольшее количество новообразований обнаружено в криометаморфическом (CRM) горизонте, на глубине 38–60 см (табл. 1), где, по-видимому, в данной почве происходит смена окислительно-восстановительных условий. Преобладают мелкие фракции <1 и 1–2 мм. Вниз по профилю количество конкреций уменьшается.

Окраска новообразований обусловлена их химическим составом. Главные конкрециеобразующие компоненты – система различных соединений железа и марганца в большой степени влияют на морфологические свойства конкреций. Поскольку (гидр)оксиды железа и марганца способны удерживать значительные количества микроэлементов в результате сорбции, соосаждения и окклюзии [4], в составе минеральной части образований выделяется две группы микроэлементов: группа марганца, в которую входят Pb, Co, Cu, Ni, и группа железа, включающая Cd и As. Распределение каждой группы микроэлементов соответствует распределению связанного с ними основного минерального элемента при вероятности небольших отступлений. В конкреционных новообразованиях максимальное содержание микроэлементов группы железа обнаружено в верхнем горизонте. Количество элементов группы марганца увеличивается с глубиной, максимальное содержание наблюдается в нижних минеральных горизонтах почвенных профилей.

Биоклиматические особенности тундр определяют низкую активность биогеохимических процессов, в т.ч. почвообразования. Химическое выветривание протекает слабо, при этом высвобождающиеся основания вымываются из почв. Почвы теряют калий, натрий, кальций, магний, но относительно обогащаются железом и алюминием. В освоенных же почвах дополнительное поступление макро- и микроэлементов, благодаря внесению удобрений, приводит к увеличению аккумуляции валовых форм макроэлементов, которые в фоновых условиях накапливаются слабо (Mg, Ca, K, Na), но уменьшению Fe и Al.

Для подвижных форм картина аккумуляции и интенсивности накопления по элементам сходна с вышеописанной по валовому содержанию: также обращает на себя внимание заметная аккумуляция макроэлементов и уменьшение содержания железа в освоенной почве. Сравнение проводится по верхней антропогенно-преобразованной части профиля освоенной почвы и соответствующим верхним горизонтам природной тундровой почвы, учитывая, что на водоразделах самое интенсивное накопление элементов происходит в поверхностных горизонтах тундровых почв.

По величине коэффициентов накопления (K_x) установлено, что наиболее активно конкреции поглощают Fe, Mn, Co, Cd, Pb и As, в меньшей степени макроэлементы (Ca, Mg, K, Na), а также Zn, Cr, Al (табл. 3). Для конкреций почв, бывших в сельскохозяйственном производстве, характерно увеличение интенсивности инактивации и поглощения элементов. В новообразованиях

окультуренного слоя (АУ2ао, АУ3ра горизонты) освоенной почвы в максимальных количествах представлены как макроэлементы Ca, Mg, K, Na, так и микроэлементы Zn, Cu, а также Al. Элементы группы железа в наибольших количествах отмечены в горизонте CRM с переменным окислительно-восстановительным потенциалом.

Таблица 3

Коэффициент накопления (K_x) элементов в конкрециях по сравнению с вмещающим мелкоземом почв

Глубина, см	Форма	Cu	Pb	Cd	Zn	Ni	Co	Cr	As	Mn	Fe	Al	Mg	Ca	K	Na
Почва: глеезем криометаморфический																
10–14	Валовые	1,1	4,8	4,6	1,3	1,3	8,2	1,3	8,9	9,8	4,6	1,1	1,1	1,0	1,0	1,5
	Подвижные	0,6	1,8	–	1,0	1,2	7,3	3,3	1,8	3,8	14,3	1,5	1,0	2,4	1,1	4,2
14–46	Валовые	1,9	4,3	5,6	1,2	1,7	10,0	1,2	7,8	7,5	3,9	1,3	1,1	0,7	1,2	1,2
	Подвижные	0,7	2,3	–	1,0	2,3	14,5	2,7	1,0	9,8	5,7	1,7	1,2	1,4	1,5	2,3
Почва: глеезем криометаморфический постагрогенный																
4–13	Валовые	2,6	2,4	2,0	1,3	2,1	8,6	1,1	2,3	6,5	1,8	1,3	1,3	2,1	1,5	1,7
	Подвижные	1,5	2,5	–	1,0	8,8	20,8	1,1	1,0	13,2	0,7	0,8	15,2	7,4	3,3	4,5
13–22	Валовые	0,7	5,9	6,1	0,8	1,1	12,2	1,1	5,8	19,7	4,0	1,0	0,9	0,8	0,8	0,9
	Подвижные	0,8	2,0	–	1,0	1,3	4,8	1,8	1,0	6,0	2,6	1,0	0,9	1,2	0,9	1,4
22–38	Валовые	1,0	5,7	2,6	1,0	1,3	23,6	1,0	3,8	22,5	2,3	1,0	0,7	0,5	0,7	0,8
	Подвижные	0,6	2,3	–	1,0	1,2	42,9	1,9	1,0	40,7	4,2	2,1	0,5	0,7	0,9	1,0
38–60	Валовые	0,7	4,9	1,6	0,7	1,0	30,9	1,0	4,0	18,2	1,8	0,9	0,7	0,6	0,7	0,8
	Подвижные	0,8	2,6	–	1,0	0,9	48,0	5,2	1,0	20,9	6,3	2,1	0,4	0,4	0,4	0,6

Примечание: “–” не определено.

Более существенные различия по химическому составу Fe-Mn новообразований обнаруживаются в разных типах почв в переходных от органогенных к минеральным горизонтах и при увеличении степени оглеения.

Повышенное накопление тяжелых металлов в конкрециях по сравнению с вмещающим мелкоземом является своеобразным механизмом защиты и очистки мелкозёма от тяжелых металлов и может служить индикатором загрязнения растворов, мигрирующих в почвах.

Выводы. 1. Под влиянием антропогенных факторов (залужение тундры) происходит изменение воздушного и водного режимов, морфологических и физико-химических свойств почв, что, соответственно, оказывает воздействие на количество и фракционный состав конкреционных новообразований, а также на содержание в них макро- и микроэлементов.

2. Главные конкрециеобразующие компоненты – система различных соединений железа и марганца – в большей степени влияют на морфологические свойства конкреций.

3. Для Fe-Mn новообразований почв, подвергшихся сельскохозяйственной обработке, характерны аккумуляция валовых и подвижных форм макроэлементов Mg, Ca, K, Na и уменьшение содержания железа по сравнению с образованиями природных почв.

4. В освоенных почвах дополнительное поступление макро- и микро-элементов, благодаря внесению удобрений, приводит к увеличению интенсивности инактивации и поглощения элементов конкреционными новообразованиями. Наиболее высокие величины коэффициентов накопления в конкрециях отмечены для Pb, Cd, Co, Mn, Fe, As.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (AAAA-A17-117122290011-5).

Библиографический список

1. Ковалева В. А., Денева С. В., Панюков А. Н. Микробиологические показатели почвы постагрогенного биогеоценоза в тундровой зоне // Вестн. Ин-та биологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 4. С. 2–9.

2. Ковалева В. А., Денева С. В., Лаптева Е. М. Микробиологическая характеристика целинных и постагрогенных тундровых почв (на примере арктической зоны Республики Коми) // Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 5. С. 5–16. doi: 10.17076/eco1162

3. Тонконогов В. Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М. : Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2010. 304 с.

4. Heavy metal compounds in soil: transformation upon soil pollution and ecological significance / T. M. Minkina, G. V. Motusova, O. G. Nazarenko, S. S. Mandzhieva. New York : Nova Science Publishers, 2010. 184 p.

ВАРЬИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОЧВАХ УРБОЭКОСИСТЕМ ГОРОДА ЭЛЕКТРОСТАЛЬ

Д. Н. Липатов, В. А. Вараченков, Г. И. Агапкина

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
dlip@soil.msu.ru, kapkan09@mail.ru, Galina_Agapkina@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования уровней содержания нефтепродуктов в почвах промышленных, транспортных и селитебных экосистем города. Распределение измеренных значений содержания суммы нефтепродуктов в исследованных почвах аппроксимировано логнормальным законом, определен средний уровень и размах варьирования. Рассмотрено профильное варьирование содержания нефтепродуктов в городских почвах.

Ключевые слова: загрязнение почв, почвенный профиль, распределение нефтепродуктов, городские экосистемы

Основными источниками эмиссии нефтепродуктов в городской среде являются автомагистрали и автозаправочные станции [1]. Дополнительный вклад в загрязнение городских почв нефтепродуктами вносят выбросы, сбросы, отходы промышленных предприятий и объектов теплоэнергетики, коммунального хозяйства. Значительное накопление нефтепродуктов отмечается в почвах придорожных территорий [2]. Загрязнение нефтепродуктами имеет широкое распространение во многих городах [3, 4] и вызывает ухудшение

биологических, физических и химических свойств почв, нарушает естественные почвенные и биогеохимические процессы. Нефтепродукты в ходе своей трансформации в почве способны образовывать токсичные соединения, обладающие повышенной канцерогенной и мутагенной опасностью. Загрязнение почв нефтепродуктами может приводить к глубокому изменению всех компонентов урбоэкосистем. Актуальной задачей является мониторинг загрязнения природной среды Московского региона с оценкой уровней содержания нефтепродуктов в почвах транспортных, промышленных зон, а также на сельтебных и жилых территориях.

Исследования проводились в июле 2018 г. в г. Электросталь Московской области. Обследованный район включал улицу Жулябина, проспект Ленина, улицы Советскую, Первомайскую и Красную вблизи завода тяжелого машиностроения, охватывая территорию в пределах географических координат: $55^{\circ}4'35,5''$ – $55^{\circ}47'51,8''$ северной широты и $38^{\circ}26'26,6''$ – $38^{\circ}27'21,7''$ восточной долготы. В 18 контрольных точках, выбранных в различных функциональных зонах города, проведен почвенный пробоотбор цилиндрическим пробоотборником из слоя 0–10 см. В двух контрольных точках были заложены скважины, из которых послойно отбирались почвенные пробы до глубины 80 см. После высушивания и гомогенизации во всех почвенных пробах выполнялось определение суммы нефтепродуктов в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2.22-98.

В ходе полевого этапа исследования на территории города в котловане зафиксирован профиль дерново-подзолистой турбированной почвы со следующим строением профиля: [AY–EL]tr–BEL–BT–C. Турбированные дерново-подзолистые почвы характеризуются поверхностными нарушениями своего сложения, в верхней толще в гумусовом горизонте можно выделить фрагменты осветленного элювиального горизонта. Почвы с техногенными нарушениями распространены во многих урбоэкосистемах.

Уровни содержания суммы нефтепродуктов, зафиксированные на исследованной территории в верхнем слое (0–10 см) почвы, варьируют от 67 до 6384 мг/кг. Среднее значения для всех точек равно 841 мг/кг, медиана – 456 мг/кг. Рассчитанный коэффициент вариации этого показателя достаточно высок – 134%, коэффициент асимметрии – 3,6, коэффициент эксцесса – 16,7. Распределение значений содержания нефтепродуктов не удовлетворяло нормальному закону, проверка проводилась с помощью критерия Уилка-Шапиро при уровне значимости 0,05. Распределение измеренных значений содержания суммы нефтепродуктов в исследованных почвах аппроксимировано логнормальным законом.

Ориентировочно допустимая концентрация содержания нефтепродуктов в почвах (ОДК_{нп}) составляет 1000 мг/кг [5]. Среднее значение находится в пределах допустимого уровня. Превышение наблюдалось в нескольких точках и достигало значения 6384 мг/кг, что почти в 6,5 раз выше ОДК_{нп}. Точка с максимальным уровнем находилась в 15 метрах от автодороги улицы Первомайской и рядом с гаражным комплексом, поэтому загрязнение нефтепро-

дуктами можно связать с проливами горюче-смазочных материалов. Остальные локальные участки загрязнения нефтепродуктами приурочены к другим придорожным зонам, а также к пустырям с участками несанкционированного складирования отходов.

Наибольшие уровни загрязнения нефтепродуктами отмечаются в почвах транспортной зоны города (рис. 1). Средний уровень в исследованных почвах транспортной зоны города Электросталь составил 1114 мг/кг и превысил ОДК. Для этих урбопочв, исследованных в придорожных экосистемах, отмечен и наиболее широкий размах варьирования. Загрязнение почв в транспортной зоне города связано с проливами топлива и других технических жидкостей. Еще одним фактором загрязнения почв в этих урбоэкосистемах является накопление продуктов истирания протекторов шин и самих дорожных покрытий.

Средние уровни содержания нефтепродуктов в исследованных почвах промышленных и селитебных зон города не превышают ОДК. Вместе с тем, в этих урбоэкосистемах также выявлены локальные участки, характеризующиеся загрязнением почв нефтепродуктами с двухкратным превышением ОДК (рис. 1). Наименьшие уровни содержания нефтепродуктов отмечаются в верхних горизонтах городских почв, сформированных из насыпных слоев при обустройстве дворовых территорий. Как правило, такие почвенные образования сформированы из привозного грунта, который не подвергался загрязнению.

В исследованных профилях городских почв отмечено два типа вертикального распределения нефтепродуктов (рис. 2). Поверхностная локализация загрязнения, по-видимому, характерна для «свежих» проливов горюче-смазочных материалов, при этом содержание нефтепродуктов резко уменьшается вниз по профилю. В одном из изученных профилей накопление нефтепродуктов выявлено в слое 10–20 см. Такое распределение указывает на возможную инфильтрацию и консервацию нефтепродуктов в более глубоких слоях городских почв. Основным процессом разложения нефтепродуктов в почвах является биохимическое окисление, которое осуществляют микроорганизмы. В условиях городской среды биодеструкция нефтепродуктов почвенными микроорганизмами нарушается вследствие возможного токсического воздействия самих нефтепродуктов и других экотоксикантов (тяжелых металлов, полициклических ароматических углеводородов, остаточных гербицидов, диоксинов и других соединений). Накопление нефтепродуктов в верхнем горизонте городской почвы в совокупности с процессами вымывания и испарения их легких фракций может приводить к консервации трудно разлагаемых углеводородов, таких как твердые парафины, смолы и асфальтены [4], которые запечатывают почвенные поры. Такие процессы приводят к нарушению воздушного, водного и окислительно-восстановительного режимов городских почв.

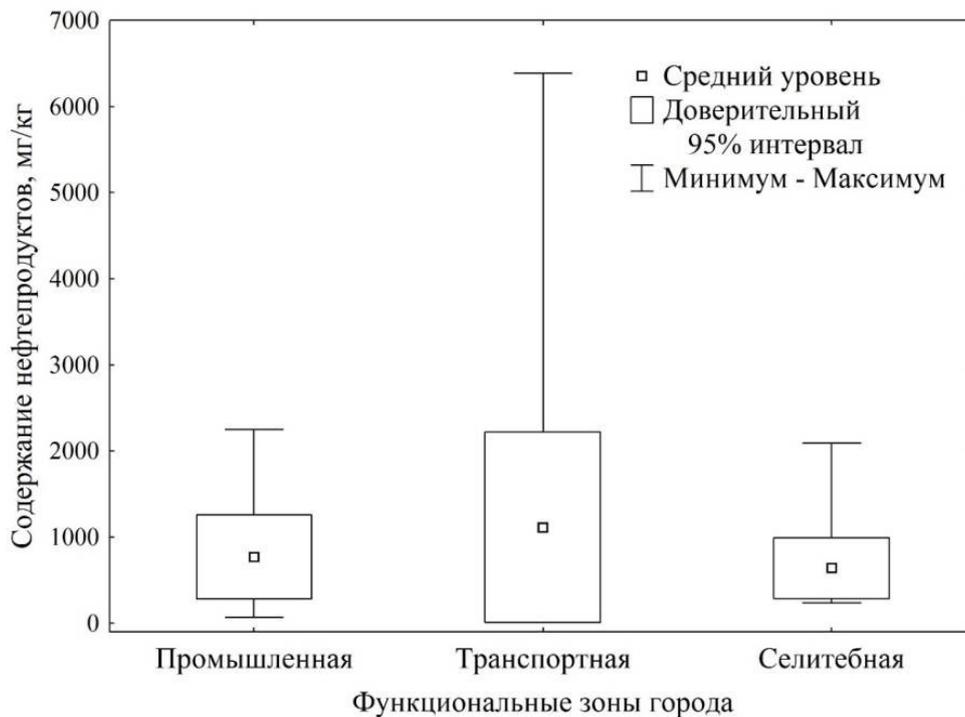


Рис. 1. Средние уровни и размах варьирования содержания нефтепродуктов в почвах для отдельных функциональных зон города Электросталь

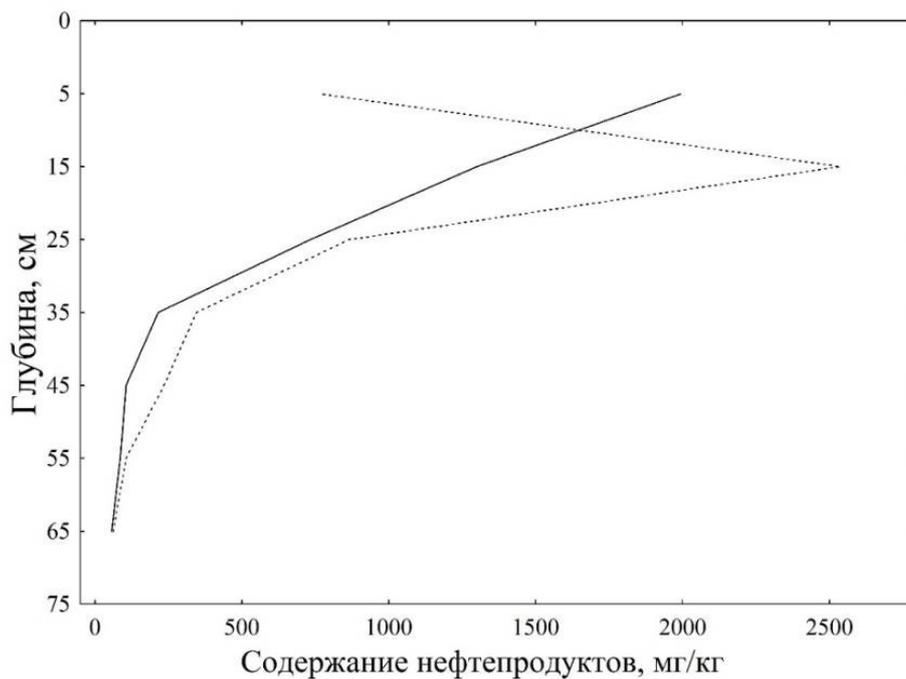


Рис. 2. Вертикальное распределение содержания нефтепродуктов в профилях исследованных городских почв

Таким образом, на исследованной территории г. Электросталь содержание нефтепродуктов в верхнем слое (0–10 см) почв варьирует от 67 до 6384 мг/кг. Превышение ОДК нефтепродуктов (1000 мг/кг) в почвах отмечено на участках возможных проливов горюче-смазочных материалов.

Исследование проводилось в рамках НИОКТР № АААА-А21-121012290189-8, выполняемой по государственному заданию и при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ им. М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

Библиографический список

1. Хомич В. А. Экология городской среды : учеб. пособие для вузов. Омск : Изд-во СибАДИ, 2002. 267 с.
2. Капелькина Л. П. Эколого-гигиенические аспекты нормирования загрязняющих веществ в почвах мегаполисов // Проблемы обращения с отходами лечебно-профилактических учреждений : сб. материалов 5 Междунар. конф. М., 2009. С. 58–68.
3. Вишнева Ю. С., Попова Л. Ф., Попов С. С. Пространственно-временная динамика содержания углеводородов нефтепродуктов в почвах селитебного ландшафта г. Архангельска // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2016. Т. 59. Вып. 10. С. 88–94.
4. Каверина Н. В. Нефтепродукты в почвах придорожных пространств // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География и геоэкология. 2002. № 1. С.108–111.
5. Другов Ю. С., Родин А. А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. Практическое руководство. 2-е изд., перераб. и доп. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 270 с.

ИЗМЕНЕНИЕ РЕАКЦИИ ПОЧВЕННОЙ СРЕДЫ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

*Э. Р. Зайнулгабидинов, А. А. Утомбаева, Ю. А. Игнатъев, А. М. Петров
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, comp05@mail.ru*

В статье рассматривается изменение рН почвенного раствора выветренных нефтезагрязненных серых лесных почв. Установлено, что степень подкисления почвенной среды зависит от уровня начального загрязнения нефтью. Предполагается, что причиной изменения реакции почвенной среды могут быть промежуточные соединения, образующиеся в ходе микробиологической трансформации нефти.

Ключевые слова: серые лесные почвы, загрязнение нефтью, микробиологическая трансформация, почвенный раствор.

Загрязнение нефтью приводит к глубокому изменению верхних, наиболее ценных горизонтов почв, что ведет к потере плодородия и невозможности их использования в лесном и сельском хозяйстве. Восстановление свойств нефтезагрязненных земель является длительным, многоэтапным процессом и зависит от многих факторов окружающей среды [1].

Реакция почвенного раствора является важным свойством почвы [2]. С ней связаны многие протекающие в почве биотические и абиотические процессы. Рядом исследований было показано, что в процессе нефтезагрязнения

заметно изменяется реакция почвенной среды, повышается сумма поглощенных оснований, изменяется солевой состав [3, 4].

Нефть является особым видом загрязнителя. Этот поллютант характеризуется сложным и непостоянным (в зависимости от месторождения) составом и изменением его во времени [5]. Попавшая в окружающую среду нефть вследствие деятельности микроорганизмов подвергается деструкции и трансформации, образуя интермедиаты с различными физико-химическими свойствами [6–8]. Трансформация входящих в состав нефти соединений может отличаться скоростями и направлением их преобразования в зависимости от биологических и физико-химических свойств загрязненной почвы и времени, прошедшего после загрязнения. Образующиеся соединения, вероятно, могут лучше растворяться в почвенном растворе и менять его реакцию.

Целью работы явилось изучение изменения реакции почвенного раствора серых лесных почв при длительном воздействии различных уровней нефтяного загрязнения.

Объектом исследования являлись светло серые лесные (ССЛ), серые лесные (СЛ) и темно серые лесные (ТСЛ) почвы, загрязненные обезвоженной и обессоленной (товарной) нефтью Ямашинского месторождения Республики Татарстан. Уровень исходного содержания нефти составлял 5%, 10%, 15% и 20% от массы почвенных образцов. Почвы в течение 5 лет подвергались технической рекультивации в лабораторных условиях, которая заключалась в периодическом ее рыхлении и поддержании влажности на уровне 60% полной влагоемкости. Контролем служили чистые почвенные образцы, содержащиеся в аналогичных условиях. Подробные физико-химические характеристики рассматриваемых почв и условия эксперимента изложены в ранней публикации [9].

Определение рН водной вытяжки проводили в фильтрате, полученном при отношении почвы к воде 1:5 [10]. В работе использовался рН-метр «рН 150МИ».

Исследование показало, что на выветренных нефтезагрязненных серых лесных почвах происходит изменение реакции почвенного раствора (таблица). В рассматриваемых почвенных образцах в зависимости от уровня начального загрязнения отмечается увеличение кислотности среды. Максимальные изменения зарегистрированы в водном растворе серой лесной почвы. Если рН почвенной среды чистого образца составляла 7,24, то в пробах почвы с 20% начальным загрязнением данный показатель через 5 лет упал до 5,48. Аналогичная взаимосвязь подкисления почвенного раствора от уровня загрязнения зарегистрирована для остальных типов рассматриваемых почв. Значения рН снизились с 6,89 и 6,32 до 6,17 и 5,35 для ССЛ и ТСЛ почв соответственно.

**Значения рН рекультивированных серых лесных почв в зависимости от
уровня начального загрязнения нефтью**

Тип почвы	Контроль	Уровень начального загрязнения, %			
		5%	10%	15%	20%
ССЛ	6,89	6,77	6,55	6,27	6,17
СЛ	7,24	7,45	6,32	6,00	5,48
ТСЛ	6,32	6,12	5,68	5,36	5,35

В ряде опубликованных работ было указано, что изменение рН почвы сильно зависит от содержания в ней высокоминерализованных пластовых вод. Так загрязнение различных типов почв сырой нефтью (нефть с содержанием нефтепромысловых сточных вод) приводило к засолению и подщелачиванию почвенного раствора [3, 4, 11]. Степень подщелачивания почвенной среды зависела от концентрации нефти [12]. Ф. Х. Хазиев [13], в частности, связывал уменьшение кислотности и появление щелочности с заменой ионов водорода в почвенном поглощающем комплексе (ППК) на ионы натрия в избытке содержащихся в нефтепромысловых сточных водах. Загрязнение почв товарной нефтью (обессоленной и обезвоженной) на начальном этапе загрязнения не сказывалось на кислотно-щелочном балансе почв [12, 14]. Однако в хроническом эксперименте по изучению воздействия нефтезагрязнения на почвенных инфузорий и нематод было выявлено повышение кислотности почвенной среды во времени, которая напрямую зависела от уровня начального содержания поллютанта [14].

Известно, что главным фактором, который контролирует кислотно-основное состояние нативных, незагрязненных почв является деятельность микробиоты [15]. Микробиологические процессы разложения различных органических соединений являются одним из главных источников продуцируемых в почве органических кислот. Органические соединения нефти, являясь источником углерода и энергии, также могут разлагаться микроорганизмами, у которых эволюционно выработались пути биodeградации различных классов углеводородов [16, 17]. Например, в обзоре F. Rojo [7] показано, что при различных биохимических путях деградации n-алканов, одними из образующихся промежуточных метаболитов могут быть различные органические кислоты.

Таким образом, на основании полученных данных предполагается, что в ходе хронического эксперимента основной вклад в изменение кислотности почвенной среды, вероятно, вносит микробиологическая трансформация нефтяного загрязнения, приводящая к образованию органических кислот, которые снижают рН водной вытяжки.

Библиографический список

1. Глазовская М. А., Пиковский Ю. И., Коронцевич Т. И. Комплексное районирование территории СССР по типам возможных изменений природной среды при нефтедобыче

// Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана окружающей среды. сер. Вопросы географии. М. : Мысль, 1983. Вып. 120. С. 84–108.

2. Захаров К. К. Основы почвоведения и географии почв: Учебное пособие. Йошкар Ола : Марийский гос. техн. ун-т, 1999. 342 с.

3. Шаркова С. Ю. Изменения химических характеристик почвы под действием нефтезагрязнения // Известия Пензенского государственного Педагогического университета. Естественные науки. 2011. № 25. С. 610–613.

4. Булуктаев А. А. Изменение солевого состава почв черных земель при нефтяном загрязнении // Юг России: экология, развитие. 2018. Т. 13, № 2. С. 184–195.

5. О некоторых методических аспектах оценки нефтяного загрязнения водных объектов с учетом деградации нефтепродуктов во времени / З. А. Темердашев, Л. Ф. Павленко, И. Г. Корпакова, Я. С. Ермакова, В. С. Экилик // Аналитика и контроль. 2016. Т. 20, № 3. С. 225–235. doi: 10.15826/analitika.2016.20.3.006

6. Гэрэлмаа Т. Исследование процессов биodeградации вязких нефтей Монголии для создания методов увеличения нефтеотдачи и рекультивации нефтезагрязненных почв : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 02.00.13. Томск, 2010. 26 с.

7. Rojo F. Degradation of alkanes by bacteria. Minireview // Environmental microbiology. 2009. Vol. 11. P. 2477–2490. doi: 10.1111/j.1462-2920.2009.01948.x

8. A comprehensive review of aliphatic hydrocarbon biodegradation by bacteria / F. Abbasian, R. Lockington, M. Mallavarapu, R. Naidu // Applied biochemistry and biotechnology. 2015. Vol. 176. P. 670–699. doi: 10.1007/s12010-015-1603-5

9. Игнатъев Ю. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Применение метода прокалывания для определения аллохтонных углеводородов нефти в почвах // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 3. С. 34–37.

10. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во МГУ, 1970. 487 с.

11. Пиковский Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М. : МГУ, 1993. 207 с.

12. Воеводина Т. С., Русанов А. М., Васильченко А. В. Влияние нефти на химические свойства чернозема обыкновенного южного Предуралья // Вестник Оренбургского государственного университета. 2015. № 10. С. 157–161.

13. Хазиев Ф. Х., Фатхиев Ф. Ф. Изменение биохимических процессов в почвах при нефтяном загрязнении и активация разложения нефти // Агрохимия. 1981. № 10. С. 102–115.

14. Залялетдинова Н. А., Антропова С. А., Карташев А. Г. Влияние нефтезагрязнений на сообщества почвенных инфузорий и нематод в лабораторных условиях // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Химия. Биология. Фармация. 2016. № 2. С. 50–55.

15. Соколова Т. А., Толпешта И. И., Трофимов С. Я. Почвенная кислотность. Кислотно-основная буферность почв. Соединения алюминия в твердой фазе почвы и почвенном растворе. Тула : Гриф и К, 2012. 124 с.

16. Atlas R. M. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective // Microbiology Review. 1981. Vol. 45. P. 180–209. doi:10.1007/978-1-4899-0824-7_14

17. Bartha R. Biotechnology of Petroleum Pollutant Biodegradation // Microbiology Ecology. 1985. Vol. 12. P. 155–172. doi:10.1007/BF02153231

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНОГО СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ДЕРНОВЫХ ПОЧВАХ НА РОСТ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

А. А. Утомбаева, А. М. Петров, Т. В. Кузнецова, Э. Р. Зайнулгабидинов
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
semionova.alin@yandex.ru

Изучено влияние содержания нефтепродуктов в рекультивированной аллювиальной дерновой тяжелосуглинистой и легкосуглинистой почвах на урожайность зеленой биомассы и развитие корневой системы высших растений. Одно- и двудольные культурные растения при культивировании на тяжелых почвах более устойчивы к отрицательному действию НП. В сравнении с пшеницей, двудольное растение горох посевной более чувствительно к присутствию нефтепродуктов в рекультивированной почве.

Ключевые слова: нефтепродукты, аллювиальная дерновая почва, урожайность, биомасса, пшеница, горох.

Значительную роль в загрязнении биосферы играют нефть и нефтепродукты, поэтому изучению различных аспектов проблемы нефтяного загрязнения уделяется большое внимание [1, 2].

Проведенные ранее исследования показали, что нефтяное загрязнение почв приводит к изменению морфологических признаков растений [3, 4]. Нефтяные углеводороды ингибируют ростовые процессы, наблюдается торможение роста растения в высоту. В условиях загрязнения значительно снижается биопродуктивность растений.

При антропогенном воздействии корневая система наиболее сильно подвержена изменениям, вплоть до трансформации корневой системы мочковатого типа в стержневую. Изменение функционального состояния корневой системы, ее строения затрудняет процессы проникновения питательных веществ и воды в растения, ослабляет фотосинтетическую активность, приводит к временному или фатальному увяданию. В условиях нефтяного загрязнения не развиваются клубеньковые бактерии, что нарушает обеспечение растений доступными формами азота и, соответственно, также влияет на продуктивность растений [3].

Устойчивость растений к нефтяному загрязнению также сильно зависит от стадии их развития и накопленной биомассы. Наиболее чувствительны к токсическому воздействию нефтепродуктов (НП) растения, находящиеся на ранних стадиях развития, а устойчивы – многолетние взрослые растения, так как у них происходит отрастание новых органов из спящих почек после гибели части растений после загрязнения.

Цель исследований – изучить влияние остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в рекультивированной аллювиальной дерновой

тяжелосуглинистой (АДтс) и легкосуглинистой (АДлс) почвах на урожайность зеленой биомассы и развитие корневой системы высших растений.

В качестве тест-объектов были использованы два вида растений: односемядольное – пшеница яровая (*Triticum vulgare* L.) сорта «Йолдыз» и двусемядольное – горох посевной (*Pisum sativum* L.) сорта «Казанец». Всхожесть семян составляла 95% и более.

Эксперимент по определению фитотоксичности включал несколько вариантов с различным остаточным содержанием поллютанта в условно рекультивированных загрязненных сернистой нефтью Ямашинского месторождения аллювиальных почвах (Варианты В1-В4). В качестве контроля использовали чистую, не загрязненную нефтью почву. Количество повторностей – 3 [5]. Лабораторно-вегетационные опыты проводили согласно [6], при температуре окружающего воздуха 19–26 °С. Влажность почвенных образцов поддерживалась на уровне 60% от полной влагоемкости. Зеленую массу растений и биомассу корней растений определяли на 42 сутки вегетационного эксперимента.

Остаточное содержание нефтепродуктов в почвах (табл.) определяли сопоставлением потерь при прокаливании массы образцов чистых и загрязненных нефтью почв [7].

Таблица

Остаточное содержание НП в аллювиальных почвах

Почва	Содержание НП, г/кг				
	К	В1	В2	В3	В4
АДтс	<0,05	4,5	8,1	11,8	16,9
АДлс	<0,05	5,4	9,7	11,7	21,8

Сопоставление урожайности зеленой биомассы пшеницы с контролем выявило ингибирование роста растений в вариантах с максимальным содержанием НП (рис. 1). В легкосуглинистой почве, содержащей 21,8 г/кг НП наблюдалось 48,4% снижение урожайности, в тяжелосуглинистой, при содержании поллютанта 16,9 г/кг – 23,3%. В вариантах В4 нарушение массообменных процессов приводило к более активному развитию корневой системы пшеницы, масса которой была в 1,9–2 раза больше, чем в контроле. Достоверное, более интенсивное развитие корневой системы также было зафиксировано во всех опытных вариантах с АДтс и варианте В1 АДлс почвы.

Следует отметить, что в опытных вариантах к концу эксперимента корневая система пшеницы не превращалась в обильно разветвленную массу мочковатых корней, а имела тонкую и длинную форму.

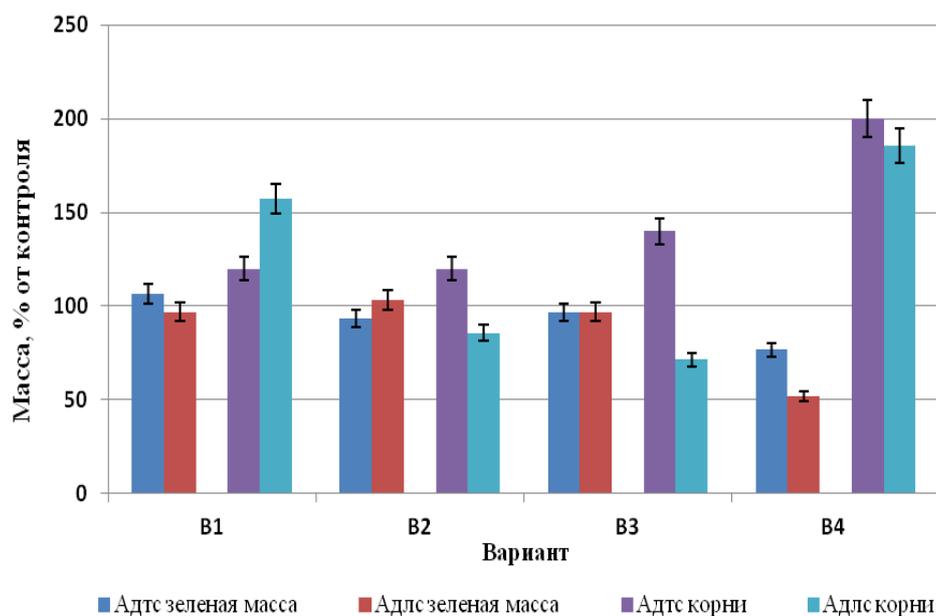


Рис. 1. Урожайность сухой зеленой массы и развитие корневой системы пшеницы, выросшей на аллювиальной дерновой почве разного гранулометрического состава

В опытных вариантах В2-В4 хронического эксперимента с горохом, урожайность зеленой массы была ниже, чем в контроле (рис. 2). Культивирование на тяжелосуглинистой нефтезагрязненной почве, содержащей до 8,1 г/кг НП, стимулировало развитие корневой системы гороха при отсутствии отрицательного влияния более высоких концентраций поллютанта. Во всех опытных вариантах на АДлс почвы масса корневой системы гороха была на 9–36% меньше, чем в контроле

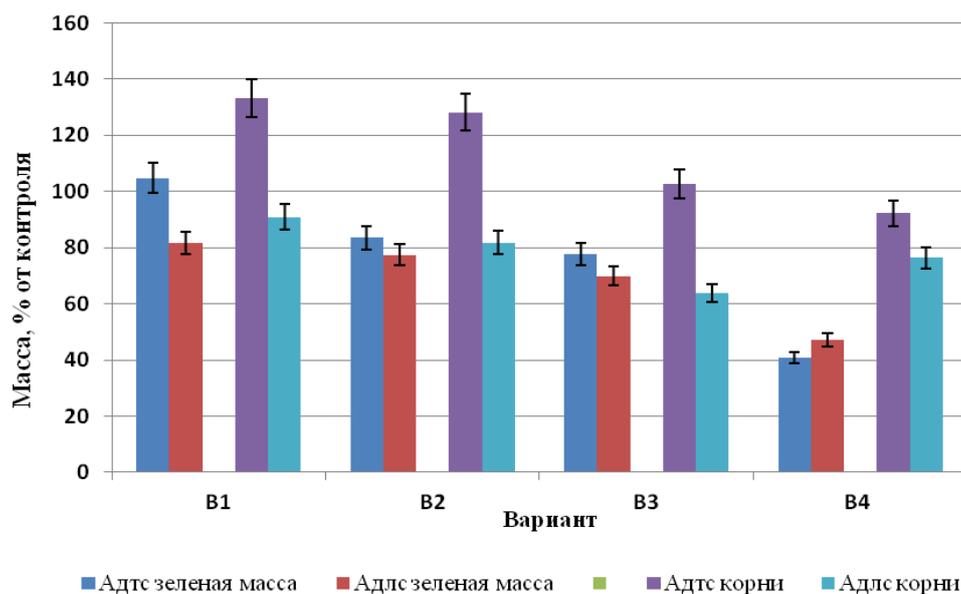


Рис. 2. Урожайность сухой зеленой массы и развитие корневой системы гороха, выросшего на аллювиальной дерновой почве разного гранулометрического состава

По мере роста содержания НП в почве наблюдалось уменьшение толщины основного корня гороха при увеличении его длины. В опытных вариантах у растений формировалась достаточно развитая стержневая корневая система.

Результаты показывают, что остаточное содержание НП в аллювиальной дерновой почве 8,1 г/кг и выше ингибирует развитие растений гороха, приводит к снижению урожайности зеленой массы. Концентрации нефтепродуктов до 11–12 г/кг в рекультивированной аллювиальной дерновой почве не оказывают влияние на урожайность пшеницы. Одно- и двудольные культурные растения при культивировании на тяжелых почвах более устойчивы к отрицательному действию НП. В сравнении с пшеницей двудольное растение горох посевной более чувствительно к присутствию нефтепродуктов в рекультивированной почве.

Библиографический список

1. Суслонов А. В. Влияние нефтяного загрязнения почв на формирование растительного покрова // Молодой ученый. 2012. № 3 (38). С. 116–118.
2. Разработка нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах для земель лесного фонда Республики Татарстан / А. М. Петров, Э. Р. Зайнулгабидинов, Р. Р. Шагидуллин, Д. В. Иванов, Т. В. Кузнецова, Л. К. Каримуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 20. С. 265–270.
3. Мазунина Л. Е. Особенности анатомии и морфологии высших растений в условиях нефтяного загрязнения // Вестник Нижневартовского государственного гуманитарного университета. 2009. № 1. С. 16–18.
4. Киреева Н. А., Мифтахова А. М., Салахова Г. М. Рост и развитие растений яровой пшеницы на нефтезагрязненных почвах и при биоремедиации // Агрехимия. 2006. № 1. С. 85–90.
5. Динамика роста высших растений на рекультивированных нефтезагрязненных аллювиальных луговых почвах разного гранулометрического состава / А. А. Утомбаева, А. М. Петров, Э. Р. Зайнулгабидинов, Ю. А. Игнатъев, Т. В. Кузнецова // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 1. С. 60–65.
6. ГОСТ Р ИСО 22030-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений».
7. Игнатъев Ю. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Применение метода прокалывания для определения содержания аллохтонных углеводов нефти в серых лесных почвах // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 3. С. 34–37.

ВЛИЯНИЕ НАВОЗНЫХ СТОКОВ СВИНОФЕРМ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ

Н. В. Сырчина¹, Л. В. Пилип²

¹ *Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru*

² *Вятский государственный агротехнологический университет,
pilip_larisa@mail.ru*

Использование навозных стоков свиноферм в качестве органических удобрений приводит к загрязнению почв тяжелыми металлами, входящими в состав минеральных подкормок для животных. Для предотвращения деградации почв, находящихся в районах размещения свинокомплексов, необходима разработка системы нормирования внесения навозных стоков в агроземы с учетом содержания в них тяжелых металлов.

Ключевые слова: навозные стоки свиноферм, микроэлементы, тяжелые металлы, загрязнение почв.

Функционирование предприятий АПК приводит к загрязнению окружающей среды отходами различного физико-химического состава, прежде всего навозом и навозными стоками (НС) [1–3]. Включение комплекса основных микроэлементов в рацион сельскохозяйственных животных является важнейшим условием обеспечения их высокой продуктивности. Недостаточное поступление микроэлементов с кормом приводит к развитию таких специфических заболеваний как железодефицитная анемия, акупроз, паракератоз, бело-мышечная болезнь, эндемический зоб. В состав стандартных минеральных добавок, используемых в свиноводстве, входят соединения Fe, Zn, Cu, Mn, Se, Co, I [4, 5], при этом содержание и соотношение отдельных микроэлементов в различных добавках изменяется в широких пределах. Нормирование микроэлементов в рационах определяется с учетом половозрастных групп, назначения животных, состава используемых кормов, условий содержания и технологии кормления [6]. Несмотря на нормирование, коэффициент усвоения микроэлементов никогда не достигает 100%. Неусвоенные из кормов микроэлементы попадают с НС в почву, оказывая существенное влияние на баланс и состояние тяжелых металлов (ТМ) в окружающей среде. Ситуация усугубляется тем, что практически все НС поступают в почвы, расположенные в непосредственной близости от свиноферм. С учетом того, что содержание Cu в НС в среднем достигает 20 мг/кг, а Zn – 55 мг/кг [7, 8], ежегодное поступление этих элементов в окружающую среду от свинокомплекса на 108 тыс. голов составит до 8 и 22 тонн соответственно. При этом вынос Cu с урожаем зерновых находится в пределах 7–20 г/га, а вынос Zn – 50 – 80г/га. Простейшие расчеты показывают, что для безопасной утилизации 8 т Cu потребуется по крайней мере 400 тыс. га пашни.

Тяжелые металлы в составе НС поступают в почву совместно с широким спектром разнообразных малогумусированных органических компонентов, некоторые из которых (аминокислоты, амины, индолы, фенолы и др.) могут образовывать с ТМ хорошо растворимые комплексы. В результате естественные процессы, приводящие к связыванию ТМ в почвах, нарушаются, а миграционная способность экотоксикантов увеличивается.

Цель настоящей работы состояла в изучении влияния НС на содержание тяжелых элементов в почвах вблизи крупных свинокомплексов.

Пробы почвы (экспериментальные образцы) для проведения исследований отбирали в сентябре 2020 г. на пахотном поле, в которое на протяжении 5 лет в качестве жидкого органического удобрения вносились обезвреженные НС. Обезвреживание проводилось путем сепарации на жидкую и твердую фракции и последующего длительного выдерживания (на протяжении 12 месяцев) жидкой фракции в открытых лагунах. Твердая фракция после вылеживания на твердых забетонированных площадках также вносилась в почву (твердое органическое удобрение). Нормы внесения НС рассчитывались в соответствии с рекомендациями агрохимической службы свиноводческого комплекса. Контрольные образцы почв отбирали на покрытом кустарником участке, расположенном в 150 м от границ пахотного поля. Механический состав почв определяли полевым методом. Почвы соответствовали средним суглинкам.

Отбор точечных проб проводили на глубину пахотного слоя согласно ГОСТ Р 58595-2019. Для отбора проб использовали ручной почвенный бур. Отбор проб почвы с контрольных участков производили также ручным буром на аналогичную глубину. Из точечных проб составляли объединенные пробы массой 500 г. Анализ проб выполняли через 7 суток после отбора.

Пробы анализировали по следующим показателям: pH_{H_2O} , pH_{KCl} , содержание органического вещества, содержание Zn, Cu, Pb, Cd. Первые два элемента входили в состав минеральных подкормок для животных. Остальные ТМ не относятся к числу биогенных и в состав подкормок не включаются, но присутствуют в НС как загрязняющий компонент кормов. Кислотность и содержание в почвах органического вещества оценивали в связи с тем, что соответствующие показатели могут оказать непосредственное влияние на подвижность ТМ в почвах. Полученные результаты приведены в таблице.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что внесение НС приводит к аккумуляции в почвах таких элементов, как Cu и Zn, включаемых в состав минеральных добавок для животных. Также прослеживается некоторая тенденция к накоплению в агроземах Cd и Pb.

Кроме накопления ТМ, внесение НС привело к незначительному снижению рН и увеличению содержания в агроземе органического вещества.

Содержание ТМ в отобранных образцах почвы

Показатели	Опытные образцы		Контрольные образцы		Метод анализа
	валовая форма	подвижная форма	валовая форма	подвижная форма	
Zn, мг/кг	53,85±17,7 7	3,21±1,07	46,13±15,2 2	2,88±0,96	ФР.1.31.2018.31189
Cu, мг/кг	20,68±4,76	2,93±0,66	12,03±3,01	1,21±0,30	ФР.1.31.2018.31189
Cd, мг/кг	0,23±0,07	0,08±0,03	0,21±0,06	0,07±0,03	ФР.1.31.2018.31189
Pb, мг/кг	7,79±1,95	0,81±0,20	5,30±1,32	0,54±0,13	ФР.1.31.2018.31189
pH _{H2O} , ед. pH	6,2±0,1		6,7±0,1		Потенциометрический по ГОСТ 26423-85
pH _{KCl} , ед. pH	5,9±0,1		6,2±0,1		Потенциометрический по ГОСТ 26483-85
Органическое вещество, %	2,7±0,4		1,6±0,3		По ГОСТ 26213-91 (метод Тюрина в модификации ЦИНАО)

В результате выполненных исследований установлено, что систематическое внесение завышенных объёмов НС приводит к существенному накоплению в агроземах ТМ. Вероятными источниками поступления ТМ в почву сельскохозяйственных угодий являются сбалансированные по микроэлементам премиксы для животных. Длительное внесение в почвы НС, содержащих значительное количество ТМ и малогумусированных органических соединений, может привести к деградации агроземов, используемых для утилизации отходов свиноводства.

Площадь пахотных земель свинокомплексов должна быть достаточной для внесения всей массы органических удобрений, без причинения вреда окружающей среде. Нормы внесения НС в качестве органических удобрений следует рассчитывать с учетом количества содержащихся в них тяжелых металлов.

Библиографический список

1. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Экологическая проблема отрасли свиноводства // Аграрная наука – сельскому хозяйству : материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул : РИО Алтайского ГАУ, 2019. С. 193– 196.
2. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Новые подходы к дезодорации свиного навоза // Импология и ветеринария. 2018. № 4 (30). С. 99– 106.
3. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Л. В. Пилип // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 113–120. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-113-120
4. Использование различных форм микроэлементов в кормлении молодняка свиней / М. Г. Чабаев, Р. В. Некрасов, Н. И. Анисова, В. П. Надеев, А. А. Зорикова // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 3. С. 29– 30.

5. Влияние свиного навоза на агроэкологическую характеристику светло-серой лесной почвы / В. И. Титова, Л. Д. Варламова, Р. Н. Рыбин, Т. В. Андропова // Пермский аграрный вестник. 2019. № 3 (27). С. 79– 86.

6. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (ИТС 41-2017 – Интенсивное разведение свиней). 2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/556173711> (Дата обращения: 25.03.2021).

7. Крисанов Д. П., Петин А. Н. Сельскохозяйственные отходы и их дальнейшее использование с целью улучшения физико-химического состава почв на примере предприятий красноружского района Белгородской области // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства : материалы III Междунар. науч. экологической конф. Краснодар. 2013. С. 126– 131.

8. Селюкова С. В. Тяжелые металлы в органических удобрениях // Агрохимический вестник. 2016. № 5. С. 47–51.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ

Е. А. Даниленко, Е. В. Куреева
ФГБОУ «Воронежский государственный университет»,
kkateee@yandex.ru

В условиях стационарного опыта показано, что длительное парование и выращивание культур без удобрений приводят к развитию процесса дегумификации, снижению скорости разложения клетчатки и ухудшению фитосанитарных свойств почвы. Минеральные удобрения оптимизируют химические и биологические свойства почв.

Ключевые слова: длительный опыт, чернозем выщелоченный, удобрения, гумус, обменные основания, кислотность, активность целлюлаз, фитотоксичность

Почва обладает характерным для неё комплексом свойств и процессов с конкретными показателями величин. В природе наблюдается их динамичность, что связано с изменением конкретных экологических факторов, ритмами биологической активности, антропогенным воздействием [1, 2].

Целью настоящей работы была оценка влияния различных агротехнических приёмов на изменение химических, физико-химических и биологических свойств чернозёмов выщелоченных.

Исследования проводили на территории Воронежского филиала ФГБНУ ВНИИ кукурузы [3]. Почва – чернозем выщелоченный, среднемощный, малогумусный, тяжелосуглинистый на покровном карбонатной глине. На момент закладки опыта в 1960 г., в слое 0–20 см содержалось: гумуса 5,65%, общего азота 0,24%, фосфора 0,15%, калия 2,0%, рН_{вод} 6,6 ед., сумма поглощенных оснований 38,4 ммоль⁽⁺⁾/100 г. почвы, степень насыщенности основаниями более 90%. Использованы следующие варианты: «вечный пар»,

монокультура кукурузы без удобрений, на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{120}P_{60}K_{60}$, севооборот овса без удобрений, на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ и $N_{120}P_{60}K_{60}$.

Основные показатели плодородия чернозёмов выщелоченных оценивали общепринятыми методами [4], скорость разложения клетчатки аппликационным методом, фитотоксичность методом биотеста [5].

Пахотные почвы повсеместно обеднены активным органическим веществом. Так, в верхнем 0–20 см слое почвы исследуемых вариантов количество гумуса изменялось от 4,3% до 5,5%. Под паром количество гумуса снижается во всех слоях (табл. 1). Причинами потерь органического вещества являются: уменьшение количества растительных остатков, поступающих в почву, усиление процессов минерализации в результате интенсивной обработки. Минеральные удобрения компенсировали потери гумуса, сумму обменных оснований. Вниз по профилю количество обменных оснований постепенно уменьшается, что связано с изменением содержания гумуса и с биогенным накоплением кальция и магния в верхних слоях почвы.

Таблица 1

Показатели плодородия чернозёмов выщелоченных

Вариант	Слой, см	Гумус, %	рН _{водн.}	Ca ²⁺ + Mg ²⁺	H _г	V, %
				ммоль (экв)/100г		
«Вечный пар»	0-10	4,4	6,13	35,90	3,69	90,67
	10-20	4,1	6,29	34,33	3,25	91,35
	20-30	3,5	6,35	33,55	3,03	91,72
Кукуруза монокультура						
Без удобрений	0-10	4,9	6,37	35,96	4,21	90,33
	10-20	4,4	6,46	35,15	3,76	91,25
	20-30	4,1	6,52	34,43	3,30	92,37
$N_{60}P_{60}K_{60}$	0–10	5,2	5,76	37,98	5,13	88,69
	10-20	4,9	5,80	36,74	4,68	89,09
	20-30	4,7	6,22	35,96	4,40	92,62
$N_{120}P_{60}K_{60}$	0–10	5,6	5,70	38,33	5,91	89,22
	10-20	5,3	5,80	37,52	4,53	89,85
	20-30	4,8	6,25	37,19	4,20	90,40
Овёс севооборот						
Без удобрений	0–10	4,7	5,94	36,11	4,30	89,35
	10-20	4,4	6,10	35,44	3,24	91,62
	20-30	4,2	6,14	34,94	2,83	92,50
$N_{60}P_{60}K_{60}$	0–10	5,3	5,44	38,36	5,10	88,26
	10-20	4,8	5,74	36,92	4,90	88,28
	20-30	4,6	5,77	35,83	4,32	89,22
$N_{120}P_{60}K_{60}$	0-10	5,6	5,04	38,84	6,40	85,84
	10-20	5,6	5,36	37,20	5,66	86,78
	20-30	5,5	5,55	36,65	5,11	87,75

Отмечена слабо выраженная тенденция снижения суммы кальция и магния в вариантах чистый пар и монокультура кукурузы без использования удобрений (табл. 1), что можно объяснить отсутствием или незначительным поступлением растительных остатков как главного источника биогенных

элементов в почве. В вариантах с удобрениями увеличилась кислотность. Так, у выщелоченных чернозёмов гидролитическая кислотность верхних горизонтов обычно не превышает 4 ммоль(+) / 100г почвы [1]. В образцах почвы неубоженных вариантов – чистый пар, монокультура кукурузы и севооборотный фактор значения гидролитической кислотности практически не отличались от литературных данных и не достигали более 4,5 ммоль(+)/100 г почвы (табл. 1). Минеральные удобрения повысили актуальную кислотность чернозёмов. В слоях 0–20 см абсолютные значения рН снизились в среднем на 0,8 ед. Действию удобрений подвергался только пахотный горизонт почвы.

Одним из основных показателей, определяющих экологическое состояние почв, является их фитосанитарное благополучие.

В длительно парующей почве по сравнению с лесополосой интенсивность разложения клетчатки падала в 3,7 раза. Вероятно, это объясняется снижением содержания гумуса, общего азота и отсутствием энергетического субстрата – растительных остатков. Длительное систематическое внесение минеральных удобрений мало повлияло на скорость разложения клетчатки. Во всех удобренных вариантах она составляла около 17%, что характеризуется слабой степенью разложения. По сравнению с лесополосой активность целлюлозолитиков падала в 1,8 раза, но по сравнению с парующей почвой, наоборот увеличивалась более чем в 2 раза (табл. 2).

Для оценки фитосанитарного состояния почв использовали метод биотестирования с использованием в качестве тест-объекта семян кресс-салата, а тест-реакции – энергию прорастания, длину корешка, высоту проростка. Использование таких тестов дает надежную характеристику экотоксикологического состояния почвы [2, 5]. В нашем эксперименте наилучшие условия для роста и развития растений складываются под естественными биоценозами – лесными и под овсом, выращиваемым в севообороте на фоне повышенной дозы азотного компонента. Выращивание пропашных культур, потребляющих большое количество элементов питания, без использования удобрений усиливает фитотоксичность – ингибирование всхожести семян превысило 20%. Почва длительного пара оказалась наиболее токсичной (табл. 2).

Таблица 2

**Скорость разложения клетчатки и фитотоксичность
чернозёмов выщелоченных**

Вариант	Всхожесть семян, %	Ингибирование всхожести, %	Длина проростков, мм	Интенсивность разложения клетчатки, %
1	2	3	4	5
«Вечный пар»	69,63	30,37	3,23	7,37
Лесополоса	89,83	9,17	3,31	30,45
Кукуруза монокультура				
Без удобрений	76,13	23,87	2,93	8,88
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	80,07	19,93	3,31	16,34
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	83,3	16,7	3,36	16,09

1	2	3	4	5
Овёс севооборот				
Без удобрений	78,16	21,84	2,77	11,16
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	84,4	15,6	2,70	16,47
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	89,8	9,2	2,68	18,95

Ингибирование всхожести семян было более 30%, а проростки были тонкие и короткие, а некоторые имели морфологические отклонения по сравнению с удобренной пашней. Все исследованные почвенные образцы имели слабый уровень загрязнения. Всхожесть семян не опускалась ниже 70% (табл. 2). Регулярное внесение минеральных удобрений и севооборотный фактор улучшали всхожесть семян и стимулировали рост кресс-салата.

Таким образом, длительное систематическое внесение минеральных удобрений замедляет скорость минерализационных процессов, но приводит к повышению кислотности верхних горизонтов. Удобрения и севооборотный фактор улучшают биологические свойства черноземов выщелоченных, что приводит к улучшению условий питания растений и повышению урожайности.

Библиографический список

1. Королев В. А., Стахурлова Л. Д. Изменение основных показателей плодородия выщелоченного чернозема под влиянием удобрений // Почвоведение. 2004. № 5. С. 604–611.
2. Стахурлова Л. Д., Свистова И. Д., Щеглов Д. И. Биологическая активность как индикатор плодородия чернозёмов в различных биоценозах // Почвоведение. 2007. № 6. С. 769–774.
3. Реестр аттестатов длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации. Вып. 4. М. : Изд-во ВИУА, 2012. С. 12–15.
4. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М. : МГУ, 1998. 272 с.
5. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М. : МГУ, 1991. 304 с.

ПЕРЕРАБОКА НИЗКОКАЧЕСТВЕННЫХ ФОСФОРИТОВ НА ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

И. Р. Миназов, Р. Х. Хузиахметов, Д. Д. Пономарев
Казанский национальный исследовательский
технологический университет, ilnur062@yandex.ru

На примере низкокачественного желвакового фосфорита Слюдюковского месторождения Татарстана (P₂O₅ ОБЩ ~ 11–13%) предложены варианты получения дешевых удобрений с более высоким содержанием усвояемой «лимоннорастворимой» формы фосфора (P₂O₅ ЛР ~ 14% при P₂O₅ ОБЩ ~ 17–18%).

Ключевые слова: желваковый Сюдюковский фосфорит (ФС), Вятско-Камский фосфорит, измельчение, механоактивация, спекание, термофосфат.

Экологические проблемы применения минеральных удобрений обостряются с каждым годом. Это связано с тем, что основные виды азотных (аммиачная селитра, карбамид) и фосфорных удобрений (простой и двойной суперфосфаты, получаемые кислотной переработкой апатита), подкисляют почву, а также приводят к эвтрофикации водоемов [1].

С учетом этого необходимо уделять больше внимания бескислотным способам получения фосфорных удобрений, соответствующих принципам так называемой «зеленой химии» (механоактивация, биоактивация и т. д.) [2–9].

В литературе особое внимание уделяется разработке новых видов удобрений (органоминеральных, биоорганоминеральных и т. д.) на основе Вятско-Камского фосфорита (наиболее крупное месторождение страны, где сконцентрирована половина запасов всех фосфоритов ~ 325 млн т P_2O_5), а также фосфоритов различных месторождений Казахстана (~ 740 млн т P_2O_5) [2–4].

Анализ патентной литературы показывает, что наиболее изученным направлением исследований является активация фосфоритов (химическая, механохимическая, биоактивация и т.д.). Увеличивается количество работ по получению органобиоинеральных удобрений с использованием азотфиксирующих и фосфатмобилизующих микроорганизмов для экологизации почв (при этом почва обогащается атмосферным азотом, фосфатные соединения переводятся в доступную форму) [6].

Предложен способ получения из Сюдюковского фосфорита Татарстана (P_2O_5 общ ~ 10 – 12%) наноструктурной водно-фосфоритной суспензии (НВФС) путем обогащения руды (до P_2O_5 общ $\sim 20\%$), механоактивации концентрата и смешения его с водой (концентрация ~ 200 г/л) [7]. Указывается, что в вегетационных опытах с кукурузой на фоне НК-удобрений (по 200 мг/кг почвы) фосфоритовая мука способствует увеличению массы на 26% , а НВФС – до 44% . Однако высокая агроэффективность указанных удобрений проявляется лишь при внесении значительных их количеств – 1000 кг в пересчете на 1 га (при дозах 100 – 200 кг/га разница между фосфмукой и НВФС отсутствует).

По данным [8, 9] из «хвостов» обогащения Вятско-Камского фосфорита также можно получить высокоэффективные органоинеральные удобрения с использованием дешевого торфа и серы (которая является также отходом). Установлено, что при внесении такого удобрения в почву содержание подвижного фосфора в ней значительно возрастает за короткий промежуток времени.

На основе анализа литературы можно сделать вывод, что наиболее перспективными для переработки низкокачественных фосфоритов можно считать методы механохимической и биоактивации, а также термощелочной обработки. В то же время следует сразу отметить основные недостатки этих методов: при механоактивации доля усвояемых фосфатов остается относительно низкой, при термообработке требуются достаточно высокие энергозатраты.

Цель данной работы – определение возможности получения бюджетного фосфорного удобрения на основе низкокачественной фосфоритовой руды Сюддюковского месторождения Татарстана ($P_2O_5 \sim 10\text{--}13\%$) с использованием различных методов переработки.

Месторождения фосфоритов имеются во многих регионах страны (суммарные запасы P_2O_5 в них – более 1000 млн т P_2O_5) [1]. Однако большинство из них являются маломощными и имеют лишь относительно небольшое содержание P_2O_5 в руде (в частности, в Татарстане к 2016 г. балансовые запасы фосфатов по категориям А+В+С₁+С₂ составили всего ~ 225 тыс. т). С учетом этого нами были проведены также исследования с фосфоритами других месторождений: с Вятско-Камским желваковым и Каратауским (Казахстан) микрозернистым фосфоритом.

Сущность работы заключалась в предварительном концентрировании исходной руды известными способами (тонкое измельчение и классификация) с последующей оценкой возможности термощелочной переработки концентрата на пролонгированное щелочное фосфорное удобрение (термофосфат, в котором фосфор находится в усвояемой «лимоннорастворимой» форме).

Возможность обогащения фосфатного сырья каждого месторождения может быть определена только экспериментальным путем (т.к. обычно состав руды в карьерах меняется в широких интервалах значений компонентов). Химический и расчетный солевой составы Сюддюковского фосфорита Татарстана ($P_2O_5_{\text{общ}} \sim 13\%$) представлены в таблице 1.

Таблица 1

Состав Сюддюковской фосфоритовой руды

Химический состав, %										
P_2O_5	CaO	F	CO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	S	SO ₃	SiO ₂
13,0	29,4	1,5	9,3	5,5	6	0,1	3,2	0,1	1,7	25,8
Солевой состав, %										
Ca ₃ (PO ₄) ₂	CaF ₂	CaSO ₄	CaCO ₃	MgCO ₃	FeS ₂	Fe ₂ Si ₂ O ₇	Al ₂ Si ₂ O ₇	Mg ₂ SiO ₄	SiO ₂ (кварц)	
28,4	3,1	2,9	20,0	0,9	0,2	10,5	6,9	8,8	17,6	

Как видно из таблицы 1, в руде имеются минералы, твердость которых по шкале Мооса относительно фосфорита [твердость Ca₃(PO₄)₂ – 5] значительно ниже [гипс (CaSO₄) – 2, кальцит (CaCO₃) – 3, флюорит (CaF₂) – 4], в то же время имеется большое количество более твердого кварца (твердость SiO₂ – 7). Следовательно, Сюддюковский фосфорит можно обогащать путем тонкого измельчения с последующим отсеиванием мелкой фракции с малым содержанием фосфора (преимущественно гипс, кальцит).

Опыты по обогащению руд проводили путем их измельчения с последующей классификацией на ситах. Концентрат Сюддюковского фосфорита далее перерабатывали на различные удобрения: механоактивацией получали фосфоритовую муку (с более высоким содержанием P_2O_5 ЛР), спеканием – термофосфат.

Качество фосфоритовой муки и термофосфата оценивали по величине $P_2O_5_{\text{ЛР}}$ и коэффициенту усвояемости фосфора: $K_{\text{УСВ}} = (P_2O_5_{\text{ЛР}} / P_2O_5_{\text{общ}}) \cdot 100, \%$.

В соответствии с ГОСТ 5716-74 при получении фосфоритовой муки руду измельчают до 0,18 мм (расчетная удельная поверхность $S_{уд} \sim 0,01 \text{ м}^2/\text{г}$). В настоящее время наблюдается тенденция исключения из технологических линий тонкого помола мельниц классической конструкции (шаровые, молотковые). Доля измельчителей, работающих на принципе помола материала посредством динамического удара (струйные мельницы, дисмембраторы, дезинтеграторы и т. д.), постоянно растет [10]. При более тонком измельчении в современных энергонасыщенных измельчителях даже за очень короткий промежуток времени размер частиц уменьшается до $\sim 0,1\text{--}0,2 \text{ мкм}$ (удельная поверхность достигает $S_{уд} \sim 10\text{--}15 \text{ м}^2/\text{г}$).

С целью предотвращения сверхтонкого измельчения на 1 этапе исходную руду Сюдюковского фосфорита измельчали в шаровой мельнице лишь до $\sim 0,6 \text{ мм}$. При этом в первую очередь измельчаются «мягкие» минералы и, следовательно, путем классификации исходную руду удается концентрировать. Для сравнения проводили также опыты с концентратом Вятско-Камского фосфорита – ФВК(К), измельченным до полного прохождения через сито 0,3 мм (курскит – 47%, гипс – 2,3%, кальцит – 14%, кварц – 12%).

Эффективность измельчения оценивали по выходу фракции ($W, \%$), содержанию $P_2O_5_{лр}$ и величине коэффициента усвояемости (табл. 2).

Таблица 2

Содержание P_2O_5 в различных фракциях фосфоритов

Размер частиц, мм	ФС (руда)			ФВК (концентрат)			
	0–0,16	0,16–0,31	0,31–0,63	0–0,1	0,1–0,16	0,16–0,2	0,2–0,31
W, %	40	20	40	5	25	30	40
$P_2O_5_{общ}, \%$	8,06	13,34	18,6	20,5	20,8	21	22,7
$P_2O_5_{лр}, \%$	1,14	1,23	1,85	4,7	4,94	4,9	4,9
$K_{усв}, \%$	14	9	10	21	21	21	21

В качестве концентрата Сюдюковского фосфорита ФС(К) можно отбирать фракцию размером +0,3 мм ($P_2O_5_{общ} \sim 18,6\%$, выход фракции 40%). При отборе фракции +0,16 мм выход составляет 60%, однако $P_2O_5_{общ}$ уменьшается до $\sim 17\%$. В случае ФВК(К), как и ожидалось, величина $P_2O_5_{лр}$ практически остается неизменной.

На следующем этапе работы была оценена возможность увеличения усвояемой части фосфора концентрата Сюдюковского фосфорита ($d=0,31\text{--}0,63 \text{ мм}$) путем механоактивации (табл. 3). Для сравнения проводили опыты с концентратом ФВК(К) с содержанием $P_2O_5_{общ} \sim 22\%$, измельченного до 0,3 мм (0–0,5 мм – 15%; 0,05–0,063 мм – 27%; 0,063–0,1 мм – 26%; 0,1–0,16 мм – 29%; 0,16–0,2 мм – 4%), а также с Каратауским фосфоритом (ФКт).

Таблица 3

Механоактивация различных видов фосфатов в вибромельнице

Показатели	ФС(К) (0,31–0,63мм)		ФВК(К) (0–0,3 мм)				ФКт (0–0,3 мм)	
	0	10 час	0	2 час	8 час	20 час	0	10 час
$P_2O_5_{лр}$	2	4,1	4,6	5	5,7	6,1	3,3	2,6
$K_{усв}, \%$	11	22	21	24	27	29	14	13

Как видно из таблицы 3, в концентрате желвакового Сюдюковского фосфорита при продолжительном измельчении в вибромельнице величина $K_{УСВ}$ возрастает в 2 раза (однако P_2O_5 ЛР остается относительно низкой). Для концентрата ФВК(К) данный способ малоэффективен (увеличение $K_{УСВ}$ от 21 до 29%), а при измельчении прочного микрозернистого Каратауского фосфорита, как и следовало ожидать, механоактивация не дает видимого эффекта.

«Хвосты» обогащения Сюдюковского фосфорита с размерами частиц менее 0,14 мм (с значительным содержанием $CaCO_3$ при малом содержании P_2O_5 ОБЩ $\sim 8\%$) рекомендуется использовать в качестве нейтрализатора кислотности почв на близлежащих полях.

Концентрат Сюдюковского фосфорита ($d=0,31-0,63$ мм, P_2O_5 ОБЩ=18,6%) можно перерабатывать термическим способом на щелочное пролонгированное удобрение (термофосфат) путем спекания с кальцинированной содой (табл. 4):



Таблица 4

Условия получения и составы термофосфатов, полученных из концентрата Сюдюковского фосфорита путем спекания шихты «ФС(К)+Na₂CO₃»

Соотношение, мас		Условия обжига		Состав ТФ, %		$K_{УСВ}$, %
Na ₂ CO ₃ :ФВ(К)	Na ₂ O:P ₂ O ₅	T, °C	τ, мин	P ₂ O ₅ ЛР	P ₂ O ₅ ОБЩ	
0,1	0,37	700	30	2	19,05	11
0,1	0,37	1000	30	9,6	20,03	48
0,2	0,73	850	20	4,9	18,03	27
0,3	1,10	1000	10	13,1	17,01	77
0,3	1,10	1000	30	14,4	18,41	78

Основным веществом термофосфата является $CaNaPO_4$ или условно $2CaO \cdot Na_2O \cdot P_2O_5$ [по данным рентгенофазового анализа в его составе имеются также и другие фосфаты: остаток исходного $Ca_3(PO_4)_2$ (условно $3CaO \cdot P_2O_5$), $Ca(PO_3)_2$ (условно $CaO \cdot P_2O_5$) и т. д.].

Как видно из таблицы 4, путем спекания концентрата ФС(К) с кальцинированной содой можно получить пролонгированное щелочное удобрение с содержанием P_2O_5 ЛР $\sim 13-14\%$ (при P_2O_5 ОБЩ $\sim 17-18\%$ и $K_{УСВ} \sim 80\%$).

Для сравнения были проведены опыты с концентратом ФВК(К) и при аналогичных оптимальных условиях спекания шихты «ФВК(К)+Na₂CO₃» были получены удобрения с содержанием P_2O_5 ЛР $\sim 20\%$ (в случае «ФКТ+Na₂CO₃» – термофосфат с содержанием P_2O_5 ЛР $\sim 18,4\%$).

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

– из желваковых фосфоритов с небольшим содержанием P_2O_5 ОБЩ при относительно большом количестве примесей «мягких» минералов можно получить концентраты (путем простого измельчения и классификации), пригодные для дальнейшей переработки (в частности, для получения термофосфата);

– на примере желвакового фосфорита Сундюковского месторождения Татарстана (P_2O_5 ОБЩ $\sim 13\%$) показана возможность концентрирования руды и получения из концентрата пролонгированного щелочного удобрения (путем спекания с содой) с содержанием P_2O_5 ОБЩ $\sim 17\text{--}18\%$ при P_2O_5 ЛР $\sim 13\text{--}14\%$;

– предлагаемый способ может быть реализован на других месторождениях с аналогичным составом фосфоритовых руд (желваковые фосфориты, «мягкие» минералы) при условии наличия достаточного количества их запасов.

Библиографический список

1. Технология фосфорных и комплексных удобрений / под ред. С. Д. Эвенчика и А. А. Бродского. М. : Химия, 1987. 464 с.

2. Изучение бескислотного метода переработки фосфорита Вятско-Камского месторождения в комплексные удобрения / А. Ф. Минаковский, В. И. Шатило, О. И. Ларионова, О. Б. Дормешкин, Л. Ф. Стоянова, С. С. Ахтямова // Вестник Казанского технологического университета. 2016. № 8. С. 43–49.

3. Оптимизация состава удобрений на основе молотых фосфоритов / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырева, Г. Я. Кантор // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 60. № 12. С. 133–139.

4. Куанышева, Г. С., Далабаева Н. С. Механохимическая активация фосфоритов Чилисия и Каратау (Казахстан) // Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург, 2013. Т. 17. № 10. С. 17–26.

5. Заньков Б. И. Пат. РФ 2245309. Способ получения удобрения из сапропеля. № 2001131644/12; заявл. 09.11.2001; опубл. 27.01.2005. Бюл. № 10. 12 с.

6. Пат. РФ 2283821. Способ получения комплексного селен-цеолитового минерального удобрения пролонгирующего действия / В. А. Ревенский, Э. Л. Зонхоева, Д. Б. Андреева [и др.]. № 2016783486/03; заявл. 06.09.05; опубл. 20.09.06, Бюл. № 8. 12 с.

7. Наноструктурная водно-фосфоритная суспензия – новое перспективное удобрение / Н. Л. Шаронова, А. Х. Яппаров, Н. Ш. Хисамутдинов, А. М. Ежкова, И. А. Яппаров, В. О. Ежков, И. А. Дегтярева // Российские нанотехнологии. 2015. Т. 10. № 7–8. С. 119–126.

8. Состав и технология производства серного удобрения с активированным торфом и глауконитовым эфелем / Ю. Н. Терентьев, Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 134–141. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-134-141

9. Сырчина Н. В., Богатырёва Н. Н., Мельникова А. Е. Бюджетные фосфорные удобрения на основе хвостов обогащения Верхнекамского фосфоритного рудника // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы Междунар. науч. конф. Киров : Изд-во ВятГУ, 2020. С. 148–152.

10. Корнилов А.В., Лыгина Т. З., Хацринов А. И. Активационное измельчение природных алюмосиликатов. Казань : Изд-во КНИТУ, 2017. 152 с.

МЕЛИОРАНТ НА ОСНОВЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ФОСФОРИТОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ СОДОВО-ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

*Н. Н. Богатырёва, И. А. Потапова, Н. В. Сырчина
Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru*

На основе хвостов обогащения фосфоритов разработан эффективный натуральный мелиорант для восстановления плодородия почв с содовым засолением. Мелиорант отличается низкой себестоимостью, экологической безопасностью, удобством внесения в почву, пригодностью для использования в органическом земледелии.

Ключевые слова: содовое засоление, химическая мелиорация, натуральные мелиоранты, хвосты обогащения фосфоритов, сера.

Утрата продуктивности земель вследствие накопления в них избытка растворимых солей представляет глобальную угрозу устойчивому развитию и обеспечению продовольственной безопасности населения [1]. Засоление почв входит в число наиболее разрушительных экологических факторов, приводящих к значительному сокращению посевных площадей, снижению урожайности и качества урожая, росту затрат на единицу производимой продукции [2]. В РФ засоленные почвы занимают до 9% от площади сельскохозяйственных угодий, при этом наиболее остро проблема засоления проявляется в южных регионах, играющих ключевую роль в производстве сельскохозяйственной продукции [3].

Как правило, засоленные почвы характеризуются повышенным содержанием растворимых хлоридов, сульфатов, карбонатов, гидрокарбонатов. Растворимые карбонаты и гидрокарбонаты обуславливают щелочное (содовое) засоление. Почвы с содовым засолением характеризуются повышенным значением рН водной суспензии (8,5 и выше), а также высокой долей обменного натрия в емкости катионного обмена (15% и выше). Для восстановления плодородия таких почв могут быть использованы методы химической мелиорации (кислование, гипсование), направленные на снижение рН за счет удаления карбонат- и гидрокарбонат-ионов из почвенного раствора [4]. Однако процесс химической мелиорации сопряжен с серьезными материальными затратами, в число которых прежде всего входят расходы на приобретение реагента и затраты на его внесение в почву. Для успешного внедрения технологий химической мелиорации в практику необходима разработка мелиорирующих реагентов, характеризующихся низкой стоимостью, доступностью, простой технологией внесения в почву, экологической безопасностью, исключающей загрязнение почв токсичными соединениями. В качестве таких реагентов могут найти применение некоторые виды промышленных отходов, содержащие в своем составе гипс, кислоты, соединения железа, серу, а также

компоненты, оказывающие положительное влияние на развитие растений и почвенных микроорганизмов [5].

Цель настоящей работы состояла в разработке состава натурального экологически безопасного мелиоранта для снижения щелочности содово-засоленных почв.

В состав мелиоранта включали следующие компоненты: глауконитсодержащие хвосты обогащения фосфоритов (эфеля), отобранные на территории хвостохранилища Вятскокамского фосфоритного рудника; серу молотую для сельского хозяйства (ГОСТ 127.5-93), образующуюся в качестве отхода переработки природных углеводородов; активированный торф, получаемый методом кавитационной обработки торфяной пульпы, содержащий до 50 г/дм³ гумусовых кислот (преимущественно в форме фульвокислот).

В таблице 1 приведены данные о химическом составе эфелей, включаемых в состав мелиоранта. Для определения химического состава применялись атомно-эмиссионный, масс-спектральный и фотометрический методы анализа.

Таблица 1

Состав хвостов обогащения Верхнекамского фосфоритного рудника

Показатель	Содержание, %	Показатель	Содержание, мг/кг
P ₂ O ₅	6,0	Микроэлементы	
K ₂ O	4,5	Co	75,2
S _{общ.} (в форме гипса и пирита)	1,0	Cu	6,5
		Zn	110
CaO	9,6	Mo	0,77
MgO	1,8	Токсичные элементы, мг/кг	
Fe ₂ O ₃	13,5	Cd	0,18
Al ₂ O ₃	8,6	Pb	14,2
Na ₂ O	0,25	As	37,9
SiO ₂	до 55	Hg	Менее 0,005

В состав эфелей входили такие минералы, как глауконит (до 70% масс.), фосфориты мелких фракций, кварц, известковые и глинистые материалы. Для глауконита (основной компонент эфелей) характерна выраженная сорбционная и ионообменная способность, а также положительное влияние на структуру, свойства и микробиологическую активность почвы [6].

Мелиорант получали методом смешивания компонентов с последующим гранулированием и высушиванием полученных гранул при температуре 100±2°С до остаточной влажности не более 10%.

Исследования влияния мелиоранта на свойства почвы (грунта) проводили в лабораторных условиях. Для моделирования содового засоления использовали искусственно приготовленную почву (по ГОСТ Р ИСО 22030-2009), в которую добавляли гидрокарбонат натрия до рН_{водн.} 8,5±0,1. Мелиорант вносили в дозировке 2 г/кг грунта, что ориентировочно составляет 9–10 т/га. Грунт загружали в пластиковые контейнеры, увлажняли деионизированной водой до влажности 50% и выдерживали в открытом состоянии при

температуре 21 ± 2 °С на протяжении всего эксперимента. При снижении массы контейнера на 5%, в контейнеры добавляли деионизированную воду.

Варианты эксперимента: 1 – содово-засоленная почва без добавки мелиоранта; 2 – содово-засоленная почва с добавкой мелиоранта.

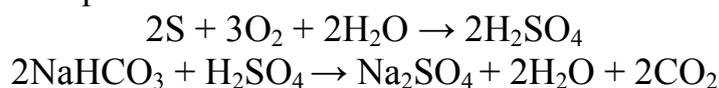
Отбор проб проводили через 7 дней после внесения мелиоранта. Эксперимент выполняли в трех повторностях. Полученные результаты статистически обрабатывали в программе «Microsoft Excel» по общепринятым методикам. Полученные в ходе эксперимента результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Влияние мелиоранта на свойства содово-засоленной почвы

Показатель	Начало эксперимента		Через 7 суток после начала эксперимента		Метод определения
	1 вариант	2 вариант	1 вариант	2 вариант	
$pH_{\text{водн.}}$, ед pH	$8,5 \pm 0,1$	$8,5 \pm 0,1$	$8,12 \pm 0,1$	$8,03 \pm 0,1$	Потенциометрический по ГОСТ 26483-85
Количество эквивалентов гидрокарбонат-иона, ммоль в 100 г почвы	$5,1 \pm 0,1$	$5,4 \pm 0,1$	$4,9 \pm 0,2$	$1,27 \pm 0,2$	Титриметрический по ГОСТ 26424-85
Каталазная активность, O_2 см ³ /г почвы за 1 мин	$0,7 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,2$	$1,3 \pm 0,2$	Газиметрический по Ф. Х. Хазиеву

Согласно полученным результатам, внесение мелиоранта приводит к существенному снижению содержания гидрокарбонатов в грунте уже через неделю после начала эксперимента. Одновременно наблюдается повышение каталазной активности, что свидетельствует об активации почвенной микрофлоры. Снижение содержания соды обусловлено разложением гидрокарбонатов продуктами микробиологического окисления тонкодисперсной серы, входящей в состав мелиоранта:



Активации почвенной микрофлоры способствует как удаление из почвы соды, так и внесение фульвокислот и элементов минерального питания, входящих в состав мелиоранта [7]. Существенную роль в улучшении условий для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов играет входящий в состав мелиоранта глауконит [8]. Глауконит не только является источником комплекса микроэлементов, фосфора и калия, но и способствует улучшению структуры и водно-физических свойств почвы, что играет ключевую роль в процессах восстановления содово-засоленных почв.

Следует отметить, что именно молотая сера и серная кислота являются основными мелиорантами для почв с содовым засолением, однако оба указанных реагента имеют существенные недостатки, органичивающие их практическое применение. Для серы характерны такие неблагоприятные технологические характеристики, как высокая пожароопасность, сильное пыление

при внесении, слабая эффективность при использовании в гранулированном виде. Серная кислота проявляет высокую коррозионную активность, при ее применении не исключена опасность проливов, а также возникают сложности при транспортировке, приготовлении рабочих растворов и внесении реагента в почву. Включение серы в состав композиции «сера+эфель+активированный торф» позволяет устранить все эти недостатки и повысить эффективность мелиоранта.

Выводы. Выполненные исследования свидетельствуют о том, что композиция на основе серы молотой, эфеля и активированного торфа может применяться в качестве мелиоранта для почв с содовым засолением.

Внесение мелиоранта в содово-засоленную почву в норме 8–10 т/га приводит к снижению содержания гидрокарбонатов почти в 4 раза уже через неделю после внесения.

Разработанный состав мелиоранта отличается экологической безопасностью и простой технологией применения.

Производство мелиоранта является безотходным и может быть налажено на предприятиях любой мощности.

Библиографический список

1. Sakadevan K., Nguyen M. Chapter two - Extent, Impact, and Response to Soil and Water Salinity in Arid and Semiarid Regions // *Advances in Agronomy*. 2010. Vol. 109. P. 55–74.
2. Shrivastava P., Kumar R. Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation // *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2015. Vol. 22. № 2. P. 123–131.
3. Конюшкова М. В. Дистанционная оценка засоления почв с использованием автоматизированного дешифрирования снимков (материалы доклада) // Евразийский центр по продовольственной безопасности (Аграрный центр МГУ). 2014. Бюллетень № 10. С. 2–6 [Электронный ресурс] https://ecfs.msu.ru/images/documents/bulletins/newsletter_10_rus.pdf - (Дата обращения: 22.03.2021).
4. Воробьева Л. А., Панкова Е. И. Щелочные засоленные почвы России // *Почвоведение*. 2008. № 5. С. 517–532.
5. Способы мелиорации орошаемых солонцовых почв. Научный обзор / Г. Т. Балакай, Л. М. Докучаева, Р. Е. Юркова, Т. В. Усанина, Т. П. Андреева, Е. В. Долина, Э. Н. Стратинская, О. Ю. Шалашова. Новочеркасск, 2011. 73 с.
6. Глаукониты Вятско-Камского фосфоритоносного бассейна / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 2. С. 117–122. doi: 10.25750/1995-4301-2020-2-117-122
7. Григорьев В. В., Маркина Е. О., Сырчина Н. В. Влияние гуминовых веществ, полученных методом кавитационной обработки торфа, на свойства почв // *Актуальные проблемы биологии и экологии : материалы междунар. заочной науч.-практ. конф.* Грозный, 2017. С. 271–275.
8. Перспективы использования хвостов обогащения фосфоритов в качестве удобрений для органического земледелия / Н. В. Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Н. Н. Богатырёва, Г. Я. Кантор // *Теоретическая и прикладная экология*. 2020. № 1. С. 160–166. doi: 10.25750/1995-4301-2020-1-160-166

Научное издание

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции
с международным участием
27–28 апреля 2021 г.

Книга 1

Компьютерная верстка: Е. М. Кардакова

Дизайн обложки: А. С. Тимонов

Подписано в печать 22.04.2021 г. Печать цифровая.

Бумага для офисной техники.

Усл. печ. л. 25,59. Тираж 40 экз. Заказ № 7038.

Отпечатано с готового оригинал-макета
в центре полиграфических услуг
Вятского государственного университета.

610000, г. Киров, ул. Московская, 36.