



Материалы XV Всероссийской с международным  
участием научно-практической конференции

# ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ: проблемы и пути их решения

## КНИГА 1



ИБ Коми НЦ  
УрО РАН

Киров, 2020

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

Институт биологии Коми научного центра  
Уральского отделения Российской академии наук

**ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ:  
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

Материалы

XV Всероссийской с международным участием  
научно-практической конференции

18 мая 2020 г.

Книга 1

Киров 2020

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

XV Всероссийская с международным участием научно-практическая конференция  
«Экология родного края: проблемы и пути их решения» проводится в рамках  
Программы развития ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет»

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. биол. наук, **Е. В. Дабах**, доцент, канд. биол. наук, **Е. А. Домнина**, доцент, канд. биол. 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**, инженер, **Е. В. Рябова**, канд. биол. наук, **С. Г. Скугорева**, доцент, канд. биол. наук, **Н. В. Сырчина**, доцент, канд. хим. наук, **А. С. Тимонов**, н. с., **Е. В. Товстик**, канд. биол. наук, **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 XV Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. Книга 1. (г. Киров, 18 мая 2020 г.). – Киров: ВятГУ, 2020. – 270 с.

ISBN 978-5-98228-221-7 (Книга 1)  
ISBN 978-5-98228-220-0

В сборник материалов XV 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, методов и подходов к оценке состояния экосистем.

Значительное место в сборнике занимают материалы по изучению биологии и экологии растений, животных и микроорганизмов в изменяющихся условиях окружающей среды. Представлены работы по химии и экологии почв. Рассмотрены вопросы экологической этики и культуры в современном обществе.

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

Благодарим руководство Филиала «КЧХК» АО «ОХК «УРАЛХИМ» в г. Кирово-Чепецке за партнерство и сотрудничество.

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 978-5-98228-221-7 (Книга 1)  
ISBN 978-5-98228-220-0

© ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» (ВятГУ), 2020

# СОДЕРЖАНИЕ

## СЕКЦИЯ 1 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНА

<i>Сазонов А. Д., Комаров Р. С., Нижельский М. С.</i> Оценка эффективности водопользования в Ростовской области.....	8
<i>Демисова А. М., Галимова И. Ж., Нугаева Д. Р.</i> Рекреационная нагрузка родников Саратовского района Саратовской области .....	13
<i>Манылов А. Ю., Лобанова Л. Л.</i> Экологическая ситуация на очистных сооружениях машиностроительных заводов.....	16
<i>Дьяченко С. А., Касаткина А. С., Фукс С. Л.</i> Применение золы Кировского биохимического завода в полимерных композитах на основе отходов полиэтилена .....	21
<i>Фукс С. Л., Башарин И. И.</i> Получение композитов из отходов полимеров и переработки химических источников тока.....	24
<i>Пилип Л. В., Сырчина Н. В.</i> Экологические проблемы регионального животноводства .....	29
<i>Верзилин В. В., Верзилина Н. Д., Тимофеев А. Н., Закабунина Е. Н., Гончаров А. В.</i> Биоразнообразии агроэкосистем как фактор оптимизации экологической устойчивости агроценозов .....	34
<i>Рутман В. В., Сырчина Н. В.</i> Применение геоинформационных технологий для выявления загрязнений окружающей среды отходами свиноводства.....	39
<i>Десятков И. А., Сырчина Н. В.</i> Торфа Кировской области и перспективы их применения в сельском хозяйстве .....	43
<i>Торская А. Г., Гуров Д. Б., Сырчина Н. В., Богатырёва Н. Н.</i> Химический состав и перспективы использования хвостов обогащения Верхнекамского фосфоритного рудника в органическом земледелии.....	48
<i>Каримуллин Л. К., Петров А. М., Утомбаева А. А., Игнатьев Ю. А.</i> Влияние высших растений на ферментативную активность рекультивированных нефтезагрязненных аллювиальных дерновых почв .....	54
<i>Князев И. В., Петров А. М., Зайнулгабидинов Э. Р., Вершинин А. А.</i> Токсические характеристики рекультивированных нефтезагрязненных аллювиальных луговых почв после выращивания высших растений .....	57
<i>Новаковский А. Б., Канев В. А., Маркарова М. Ю.</i> Оценка долговременной динамики растительных сообществ после биологической рекультивации нефтезагрязненных почв в условиях крайнего севера.....	60
<i>Островский Н. В.</i> Общественные обсуждения и публичные слушания как инструмент исправления проектных ошибок.....	64
<i>Голуб О. Н., Жаворонков В. И.</i> О целесообразности использования медоносной пчелы в экологическом мониторинге городской среды в Кирове.....	67

<b>Опалев Е. А., Кобликов Е. С., Мусихина Т. А., Гарюгин Ю. А., Зыкина Л. Н.</b> Оценка интенсивности транспортных потоков и расчет массы выбросов от автотранспорта на перекрестке улиц Спасская и Карла Маркса в г. Кирове .....	70
<b>Лещенко Е. Ф., Рыжих Ю. С., Хапкина А. В.</b> Оценка жизненного состояния дуба черешчатого <i>Quercus robur</i> L. на территории Малиновой засеки.....	72
<b>Хитрин С. В., Имамалиев Э. А., Фукс С. Л.</b> Вопросы утилизации отходов фторопластов.....	77
<b>Холманских И. А., Фукс С. Л.</b> Определение состава и свойств золы уноса предприятия и разработка условий ее применения .....	81
<b>Фукс С. Л., Ушаков Н. В.</b> Адсорбционные свойства золы уноса Кировской ТЭЦ-5 по отношению к ароматическим соединениям .....	85
<b>Фукс С. Л., Хитрин С. В., Михалицына Ю. С.</b> Получение композиционных покрытий, обладающих высокими защитными свойствами, с использованием промышленных отходов с упорядоченными фазами .....	89
<b>Башарин И. И., Девяткова А. Н., Девятерикова С. В.</b> Разработка противоскользящего состава для обуви.....	96
<b>Докучаева В. А., Девятерикова С. В.</b> Разработка средства для очистки материалов «SpotOff».....	99
<b>Мусихина Т. А., Анисимов А. М., Сметанин А. А., Потанина О. П., Недорезов С. В.</b> Экологическое районирование г. Кирова. Выбор таксономических единиц .....	103
<b>Кулакова Е. С., Сафаров А. М.</b> Математическая оценка содержания диоксида серы в атмосферном воздухе города .....	106

## СЕКЦИЯ 2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

<b>Ашихмина Т. Я., Пугач В. Н.</b> Конверсия объекта уничтожения химического оружия в межрегиональный производственно-технический комплекс по утилизации отходов .....	111
<b>Кургузкин М. Г., Кургузкин П. М.</b> Использование интегрального векторного критерия для оценки изменения экологического состояния территории .....	114
<b>Шаров С. А., Ашихмина Т. Я., Дабах Е. В.</b> Процессы трансформации фосфор- и фторсодержащих органических веществ в природных средах.....	116
<b>Злобина Т. Г.</b> Мониторинг свалок твердых коммунальных и промышленных отходов в Удмуртии с использованием методов дистанционного зондирования Земли .....	119
<b>Селезнев А. А., Илгашева Е. О., Рянская А. Д.</b> Снегогрязевая пульпа как индикатор процессов современного седиментогенеза в городах с продолжительной снежной зимой .....	123

<i>Абдухалилов О. М., Скугорева С. Г.</i> Исследование содержания полициклических ароматических углеводов в автомобильном топливе .....	126
<i>Сырчина Н. В., Пилип Л. В.</i> Содержание сероводорода в атмосферном воздухе вблизи свиноводческих предприятий .....	129
<i>Ёлкина А. В., Кантор Г. Я., Кантор Е. В.</i> Потенциометрический анализ водных растворов многоканальным иономером при наличии мешающих ионов .....	132
<i>Назаренко Н. Н., Свистова И. Д.</i> Микробиологическая индикация почвы рекреационных зон г. Воронежа .....	135
<i>Маркова А. В., Таляр А. С., Камнева А. А., Кручинина Н. В., Кутявина Т. И., Ашихмина Т. Я.</i> Изучение содержания подвижных форм свинца, меди, цинка и кадмия в почве в присутствии сапропеля .....	140
<i>Акулова А. Ю., Хазанова К. П., Глуховский И. А.</i> Оценка экологического состояния р. Москвы по микробиологическим показателям .....	145
<i>Шатунов В. М., Ашихмина Т. Я.</i> Определение высоких концентраций аммонийного азота в воде водоемов методом добавки «проба к стандарту» .....	148
<i>Кутявина Т. И., Ашихмина Т. Я.</i> Оценка качества поверхностных вод по водородному показателю и содержанию растворенного в воде кислорода .....	150
<i>Ашихмина Т. Я., Шаров С. А., Тимонов А. С.</i> Анализ состояния грунтовых, поверхностных вод и донных отложений на территории объекта «Марадыковский» .....	153
<i>Огородникова С. Ю., Кутявина Т. И., Домрачева Л. И., Ковина А. Л., Вахмянина С. А., Благодатских Я. Ю., Трушников П. А.</i> Сравнение различных методов биотестирования при оценке токсичности жидких сред .....	156
<i>Сафонов А. И.</i> Перспективные фитоиндикаторы Донбасса для биотестирования .....	161
<i>Скугорева С. Г., Кутявина Т. И., Чикишев С. В.</i> Использование тест-системы «Эколюм» для оценки токсичности фторид-ионов в водных растворах .....	164
<i>Мирненко Э. И.</i> Особенности выбора биоиндикаторов состояния водной среды .....	166
<i>Тарасова Е. М., Целищева Л. Г., Кондрухова С. В., Бакка С. В., Борняков Г. А.</i> Инвазионные виды государственного природного заповедника «Нургуш» .....	169
<i>Бедова П. В.</i> Некоторые результаты изучения донных беспозвоночных р. Петьялка .....	175
<i>Кочурова Т. И.</i> Зообентос малой реки в условиях сброса хозяйственно-бытовых сточных вод .....	178

<b>Таскаева А. А., Мелехина Е. Н.</b> Характеристика населения коллембол (Collembola, Hexapoda) в почвах, загрязненных нефтью и рекультивированных разными методами.....	182
<b>Гордиенко Т. А., Гордиенко С. Г.</b> Исследования популяции оленька обыкновенного в условиях крупного промышленного города.....	185
<b>Сурнина Т. А., Аринина А. В.</b> Оценка состояния биотопов с использованием орнитоценозов на примере горы Семиродникии (Карачаево-Черкессия).....	188
<b>Ершов И. Ю., Курбатова С. А.</b> Мониторинг состояния растительности и зоопланктона городского водоема, подвергшегося очистке биопрепаратом.....	193
<b>Дрожжина В. Н.</b> Воздействие городской среды на посадки <i>Aesculus hippocastanum</i> L.....	197
<b>Бачурина А. Ф., Прохорова Н. В.</b> Влияние нефтеперерабатывающего предприятия на эколого-биогеохимические характеристики древесных растений .....	200
<b>Вершинин А. А., Кузнецова Т. В., Каримуллин Л. К., Петров А. М.</b> Функциональное состояние рекультивированной аллювиальной дерновой почвы после выращивания высших растений.....	205
<b>Калинина А. В., Сыщиков Д. В.</b> Особенности формирования эдафотопы некоторых отвалов угольных шахт г. Макеевки.....	209
<b>Калиничев М. Д., Романенко А. А.</b> Поступление <sup>137</sup> Cs в урожай яровой пшеницы .....	213
<b>Макаренко З. П.</b> Использование методик школьного экологического мониторинга для выявления и решения экологических проблем.....	216

### СЕКЦИЯ 3 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

<b>Любова С. В.</b> Почвы острова Вайгач и мыса Белый Нос, их свойства (по материалам экспедиции «Арктический Плавающий университет – 2015»).....	219
<b>Вартан И. А., Стародумова У. А., Крысов А. А., Прокашев А. М.</b> Свойства почв пуговых холмов палеоледниковой зоны Вятско-Камского Предуралья .....	224
<b>Крысов А. А., Стародумова У. А., Вартан И. А.</b> Литогенная основа и почвенный покров заказника «Былина» .....	228
<b>Кобечинская В. Г., Пышкин В. Б.</b> Оценка качества почв под виноградниками в степном Крыму с учетом химических нагрузок.....	230
<b>Утомбаева А. А., Петров А. М., Кузнецова Т. В., Зайнулгабидинов Э. Р.</b> Влияние концентрации нефтепродуктов в рекультивированных аллювиальных луговых почвах на содержание сухого вещества в высших растениях .....	234

<b>Игнатьев Ю. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М.</b> Влияние фиторекультивационных мероприятий на состав нефтяных углеводородов в аллювиальной дерновой почве.....	236
<b>Зайнулгабидинов Э. Р., Игнатьев Ю. А., Утомбаева А. А., Петров А. М.</b> Изменение содержания нефтяных углеводородов в рекультивированной аллювиальной дерновой почве при выращивании высших растений .....	240
<b>Акайкин Д. В.</b> Изменение сроков естественной детоксикации нефтезагрязненных почв в условиях действия комплекса переменных и постоянных факторов среды .....	243
<b>Кузнецова Т. В., Петров А. М., Князев И. В., Вершинин А. А.</b> Микробный пул аллювиальной луговой почвы при различном остаточном содержании нефтепродуктов.....	247
<b>Осипов А. Ф., Машков П. Ф., Дымов А. А.</b> Запасы органического углерода в почвах полугидроморфных ландшафтов разного гранулометрического состава на европейском Северо-Востоке России.....	251
<b>Дабах Е. В.</b> Нормирование содержания мышьяка в почвах Кировской области .....	253
<b>Долинина Е. С., Адамович Т. А., Кулаков В. Н.</b> Изучение загрязнения тяжелыми металлами почв вблизи железной дороги в районе г. Шахунья.....	256
<b>Сырчина Н. В., Богатырёва Н. Н.</b> Перспективы эксплуатации Вятско-Камского месторождения фосфоритов в современных условиях .....	258
<b>Хузиахметов Р. Х., Накып А. М.</b> Агрохимическая эффективность пролонгированных удобрений, полученных из полигалита и азотнокислотных отходов.....	262
<b>Середина В. П., Носова М. В.</b> Экологическая оценка воздействия и методы рекультивации аллювиальных почв в условиях загрязнения нефтью и минерализованными жидкостями.....	267

# СЕКЦИЯ 1

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНА

### ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*А. Д. Сазонов<sup>1,2</sup>, Р. С. Комаров<sup>1,2</sup>, М. С. Нижельский<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Южный федеральный университет,

<sup>2</sup> ФГБУ «Гидрохимический институт», alexei.sazonow2016@ya.ru

Рассмотрена эффективность водопользования в Ростовской области с учетом природно-климатических особенностей и социально-экономических условий. Изучена динамика эффективности водопользования на основе безразмерных показателей за период 2008–2018 гг. Выявлена положительная тенденция повышения эффективности водопользования в Ростовской области.

Ключевые слова: Ростовская область, водопользование, экологические проблемы, водоснабжение, сточные воды, река Дон.

Использование водных ресурсов в целях специального водопользования неизбежно влечет за собой воздействие на окружающую среду, так как приводит к образованию и сбросу сточных вод разной степени очистки в поверхностные водные объекты. Обеспеченность водой важна не только для личных нужд и хозяйственной деятельности населения, но и для фито- и зооценозов, так как вода является главнейшим средообразующим компонентом природной среды. Особенно остро проблема водообеспечения стоит в регионах с засушливыми климатическими условиями и/или высокой плотностью населения, что, как правило, приводит к высокой степени антропогенной нагрузки на водные объекты.

Ростовская область расположена на юге европейской части России. Климатические условия области характеризуются избытком солнечной радиации при недостатке влаги. Среднегодовое количество осадков составляет порядка 432 мм/год, причем большая часть осадков выпадает в теплый период года. Испарение с водной поверхности достигает порядка 1500 мм/год, то есть 3–4 раза превышает годовую сумму осадков. Река Дон и ее притоки имеют снеговой тип питания. Снежный покров формируется, как правило, в конце декабря – начале января [1].

Наибольшую часть территории области (87,8% в 2019 г.) занимают земли сельскохозяйственного назначения [2]. Плотность населения составляет порядка 40 чел./км<sup>2</sup>, что в несколько раз превышает плотность населения по стране [3]. Водообеспеченность одного жителя Ростовской области равна

6,2 тыс. м<sup>3</sup>/год (2019), что в несколько раз меньше показателей по России и Южному федеральному округу [4].

Забор водных ресурсов происходит в бассейнах рек Дон, Северский Донец, Маныч, Калитва и водохранилищах, расположенных на перечисленных и других реках (Цимлянское, Веселовское, Пролетарское, Усть-Манычское и др.). Подземные воды составляют около 30% добываемых природных вод [5]. Основными водопользователями в Ростовской области являются энергетические предприятия, жилищно-коммунальные хозяйства, а также предприятия сельского хозяйства. Самый большой вклад в загрязнение водных объектов вносят промышленные предприятия и городские водоканалы (рис. 1). По причине неравномерного распределения поверхностных вод по территории области, происходит переброс речного стока реки Дон в юго-восточные районы для обеспечения сельскохозяйственных нужд (орошения) при помощи Донского магистрального канала.

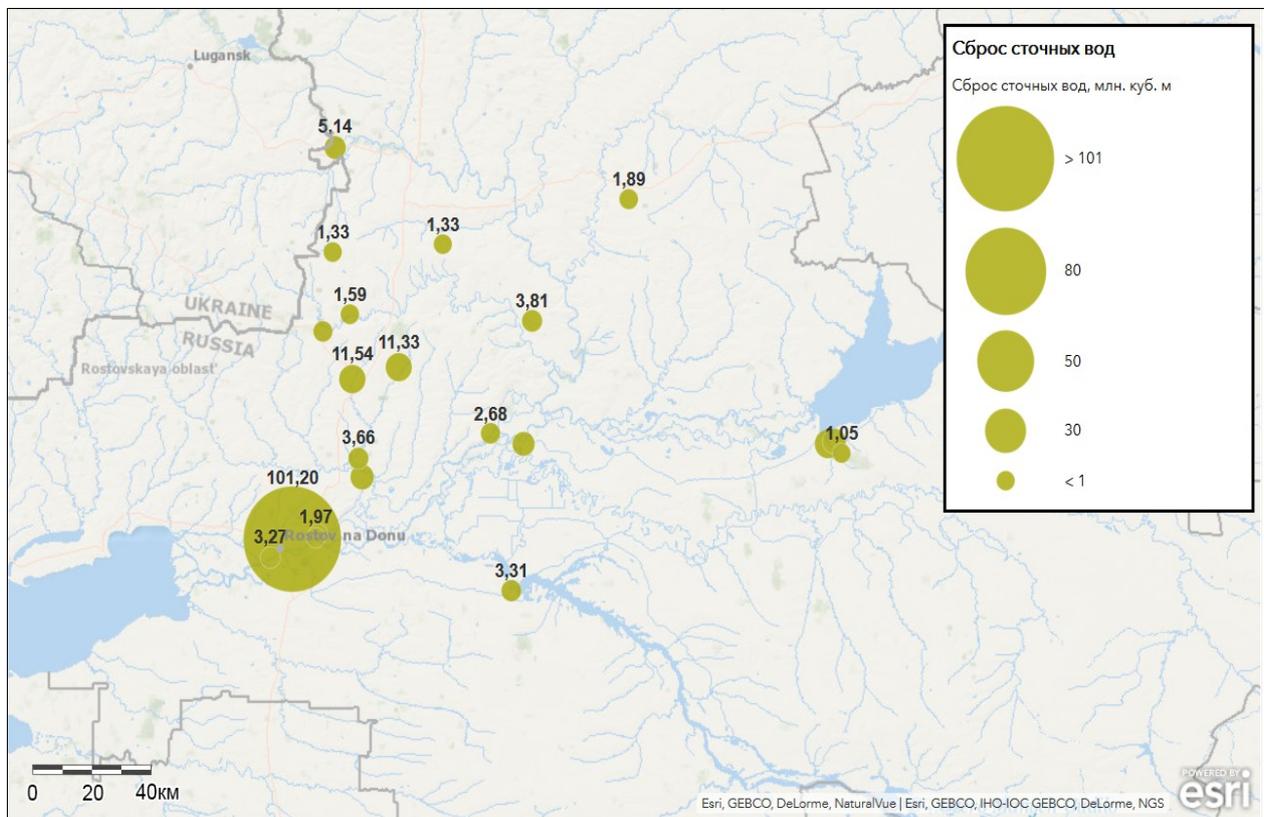


Рис. 1. Картосхема расположения основных источников сброса сточных вод в пределах Ростовской области в 2018 г. (составлено авторами по [2])

В связи с природно-климатическими особенностями и социально-экономическими условиями, Ростовская область является вододефицитным регионом, требующим оценки эффективности водопользования и регулярного мониторинга экологического состояния водных объектов.

Для оценки эффективности водопользования в Ростовской области были применены следующие безразмерные коэффициенты [6]:

коэффициент эффективности водоснабжения:

$$K_1 = \frac{Q_{заб} - Q_{п.тр.}}{Q_{заб}}$$

коэффициент эффективности водоотведения:

$$K_2 = 1 - \frac{Q_{б/оч.}}{Q_{сбр.} - Q_{н/чист.}}$$

комплексный коэффициент оценки эффективности водопользования:

$$K = K_1 \cdot K_2$$

где  $Q_{заб}$  – забор воды из природных водных источников для использования (млн м<sup>3</sup>);  $Q_{п.тр.}$  – потери воды при транспортировке (млн м<sup>3</sup>),  $Q_{б/оч.}$  – сброс сточных вод без очистки (млн м<sup>3</sup>);  $Q_{сбр.}$  – сброс сточных вод в водные объекты (млн м<sup>3</sup>);  $Q_{н/чист.}$  – сброс нормативно-чистых сточных вод (не требующих очистки) в водные объекты (млн м<sup>3</sup>).

Представленные коэффициенты показывают динамику изменения эффективности водопользования во времени на основе главных показателей водопользования, учет которых ведется практически во всех субъектах РФ. Целесообразно использовать данные коэффициенты не только для оценки изменения эффективности водопользования во времени, но и для сравнения с другими регионами и государствами при наличии необходимой информации. Чем выше значение коэффициентов, тем эффективнее и рациональнее водопользования в изучаемом регионе.

Источниками фактических статистических данных для расчета безразмерных коэффициентов и изучения экологической ситуации послужили Экологические вестники Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области» за 2008–2018 гг., подготовленные Министерством природных ресурсов и экологии Ростовской области [2].

Квота сброса сточных вод в Ростовской области составляет, как правило, около половины квоты забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов. Данное соотношение в основном объясняется потерями воды при ее использовании в сельскохозяйственной деятельности, потерями при транспортировке и вовлечением вод в повторно-последовательное водоснабжение. По состоянию на начало 2019 г. количество юридических и физических лиц, осуществляющих пользование водными объектами в Ростовской области, составляет 485.

По итогам проведенных расчетов за весь исследуемый период (2008–2018 гг.) были получены следующие результаты:

- коэффициент эффективности водоснабжения в течение периода наблюдений вырос незначительно (рис. 2);
- коэффициент эффективности водоотведения существенно вырос, что можно объяснить сокращением доли сброса вод без очистки (рис. 3);
- выявлена тенденция возрастания комплексного коэффициента оценки эффективности водопользования (рис. 3).

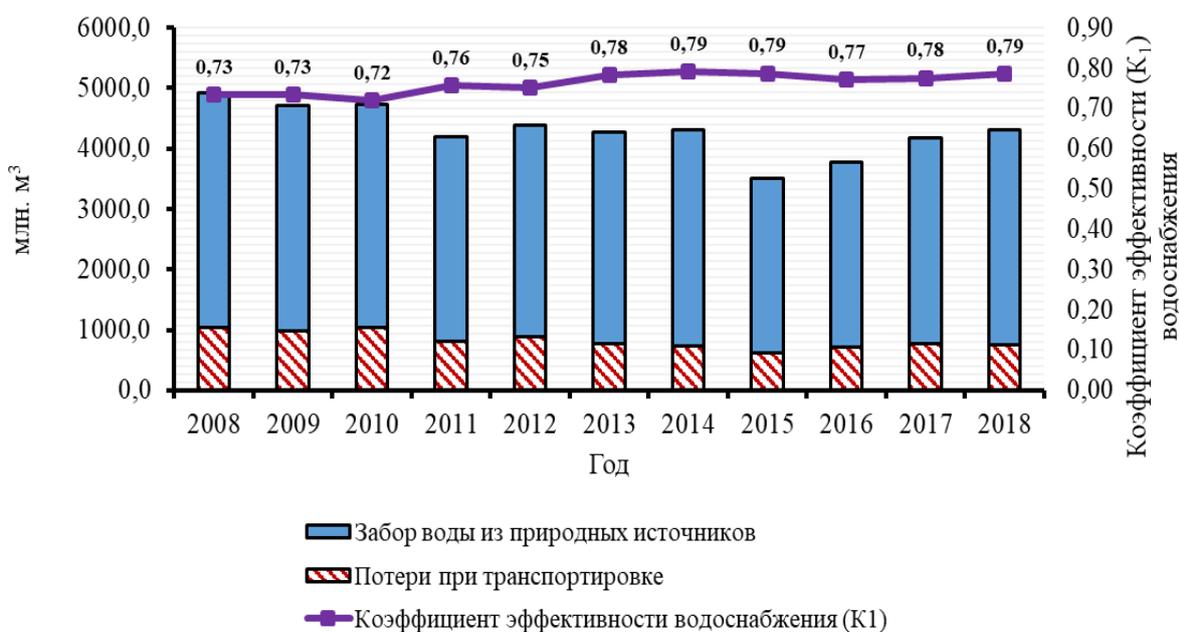


Рис. 2. Динамика изменения коэффициента эффективности водоснабжения в Ростовской области в 2008–2018 гг. (составлено авторами по [2])

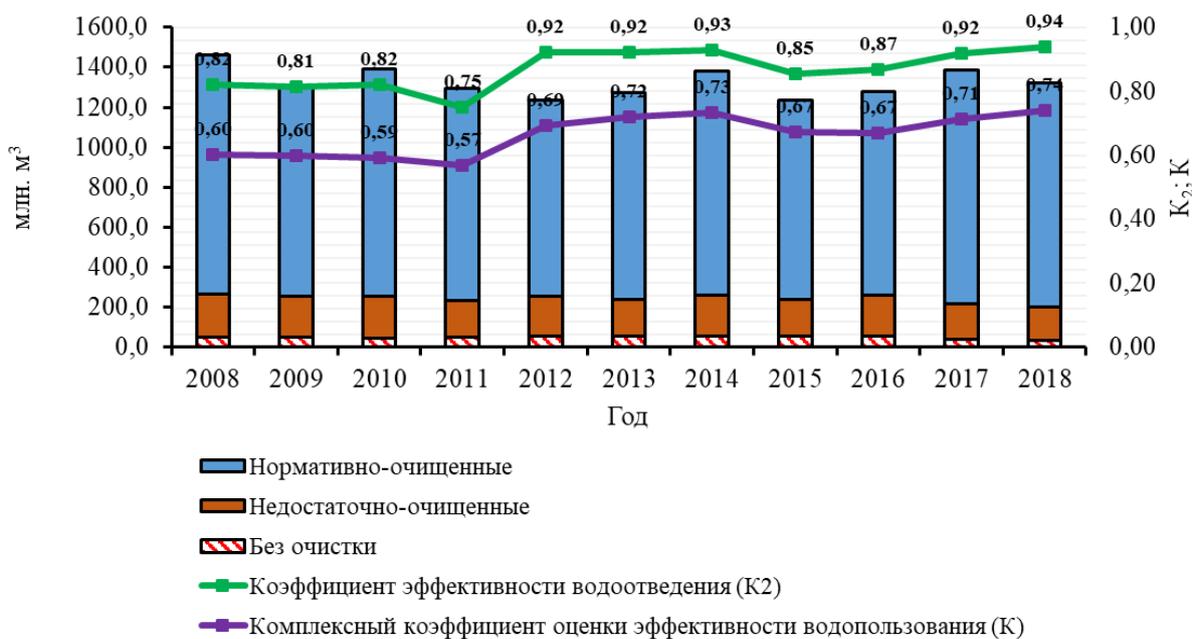


Рис. 3. Динамика изменения коэффициентов эффективности водоотведения и водопользования в Ростовской области в 2008–2018 гг. (составлено авторами по [2])

Результаты проведенных исследований свидетельствуют об общей слабой тенденции улучшения эффективности водопользования в Ростовской области. Однако, по-прежнему, качество воды в нижнем течении реки Дон в большинстве пунктов наблюдения соответствует 3-му и 4-му классам качества («очень загрязненная» и «грязная», соответственно). Основными загрязняющими веществами являются сульфатные ионы, магний, нитритный азот, нефтепродукты и соединения железа [7, 8].

В рамках исследования было создано веб-приложение (интерактивная ГИС-карта), в котором можно найти более подробную информацию о предприятиях-загрязнителях поверхностных вод Ростовской области в 2018 г.

Основываясь на результатах проведенного исследования, можно сделать вывод о том, что эффективность водопользования в Ростовской области нуждается в преобразовании, так как развивается очень медленно. Намечившаяся положительная тенденция повышения эффективности водопользования в Ростовской области пока не привела к улучшению качества воды в нижнем течении реки Дон. Именно поэтому следует проводить регулярный мониторинг состояния водных объектов и осуществлять на его основе рациональную водохозяйственную политику в части установление квот на забор (изъятие) водных ресурсов.

*Исследование проведено в рамках работы Студенческого научного общества «Современные проблемы экологической геохимии» на базе Института наук о Земле ЮФУ. Научный руководитель: канд. геогр. наук Ольга Сергеевна Решетняк.*

#### **Библиографический список**

1. Лурье П. М., Панов В. С. Река Дон: гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону : ООО «Издательский дом», 2018. 592 с.
2. Экологические вестники Дона «О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области» за 2008–2018 гг. Ростов-на-Дону : Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области. 2009–2019 гг.
3. Плотность населения субъектов Российской Федерации / Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gks.ru/folder/12781> (дата обращения: 09.03.2020).
4. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году». М. : НИА-Природа, 2019. 290 с.
5. Назаренко О. В. Проблемы водоснабжения на территории Ростовской области // Теоретические и прикладные проблемы географической науки: демографический, социальный, правовой, экономический и экологический аспекты : Материалы междунар. науч.-практ. конф. Воронеж : Изд-во: Воронежский государственный университет, 2019. С. 290–293.
6. Кулаков А. А., Шафигуллина А. Ф. Мониторинг источников техногенной нагрузки на водные экосистемы // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2017. Т. 28. № 6. С. 99–105. DOI: 10.21513/0207-2564-2017-6-99-105.
7. Качество поверхностных вод Российской Федерации / Е. Е. Лобченко, В. П. Емельянова и др. Ростов-на-Дону : Росгидромет, 2018.
8. Pollution Degree of the Don River Water / R. G. Dzhamalov, A. E. Kosolapov, K. G. Vlasov, K. G. Myagkova, O. S. Reshetnyak, T. I. Safronova // Water Resources. 2019. Vol. 46 Suppl. 1, P. S1–S10. DOI: 10.1134/S0097807819070066.
9. Гис-карта [Электронный ресурс]. – URL: Режим доступа: <https://sfedugis.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=a7bffc73b07f4e17ab654e4d10725532>

## РЕКРЕАЦИОННАЯ НАГРУЗКА РОДНИКОВ САРАТОВСКОГО РАЙОНА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

*А. М. Демисова, И. Ж. Галимова, Д. Р. Нугаева*

*Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова,  
zay-84-84@mail.ru*

В статье представлен сравнительный анализ рекреационной нагрузки обустроенных и необустроенных родников Саратовского района Саратовской области, влияния обустройства и эстетических особенностей на динамику пользования родниками.

Ключевые слова: родники, рекреация, рекреационная нагрузка, эстетические особенности.

Бурное развитие рекреации в последние годы отражает объективные тенденции социального развития в мире, в нашей стране и практически во всех ее регионах. Без рекреации теперь невозможно представить себе экономику ни одной более или менее развитой страны или социально сбалансированный территориально-производственный комплекс.

Под рекреацией понимают восстановление здоровья, трудоспособности людей в процессе отдыха на природе, а также ознакомление с интересными для обозрения памятниками природы, истории и культуры, ландшафтами и другими природно-культурными комплексами.

Рекреации рассматриваются во многих источниках и научных исследованиях [1–5].

Однако рекреация многогранна и многие аспекты рекреации для условий Саратовской области слабо изучены. Практически отсутствуют сведения о ландшафтных особенностях и уровне благоустройства общедоступных мест отдыха сельских муниципальных образований Саратовской области, а также туристических маршрутов и троп природы.

Особенно важна рекреация родников, так как их использование может привести к различным антропогенным загрязнениям.

Использование родников в Саратовском районе играет огромную роль в основном для местных жителей и соседних районов, так как родники являются источником питьевой воды, и используются в других хозяйственных нуждах.

На данный момент в Саратовской области расположено более 900 действующих родников, но наиболее активно для питьевых целей используются 152 источника, остальные – эпизодически, из-за удаленности их от жилья или из-за расположения в труднодоступных местах, таких как овраги и леса. По данным Роспотребнадзора, вода более в 90% родников соответствует гигиеническим нормативам.

В Саратовском районе насчитывается 79 родников, паспортизованы и используется местным населением для хозяйственно-питьевых и рекреационных нужд 11 родников, обустроенных – 6, необустроенных – 5 (табл.).

**Рекреационная нагрузка родников, в зависимости  
от обустройства родника Саратовского района**

Родники обустроенные		Родники, требующие обустройства	
Название и местоположение	Количество посетителей в сутки	Название и местоположение	Количество посетителей в сутки
Родник, святой источник Архистратига Божия Михаила село Михайловка	40–50 человек	Родник «Дачный» у села Михайловка	120 человек
Родник «Серебряный источник» поселок Соколовой	60–150 человек	Родник у села Константиновка	60 человек
Родник деревня Злобовка	80–100 человек	Родник у деревни Буркин Буерак	50–80 человек
Родник у села Широкий Буерак	80–120 человек	Родник «Таречка» у села Багаевка	70 человек
Родник село Поповка	80–120 человек.	Родник «Светлый» у села Рыбушка	60 человек
Родник деревня Юрловка	150–180 человек		

Ежедневное количество посетителей обустроенных родников Саратовского района в среднем составляет 104 человека в сутки, количество посетителей, не обустроенных, родников в среднем составляет 71 один человек в сутки. Таким образом, необустроенные родники используются меньше, чем обустроенные, но все, же количество посетителей, используемых родниковую воду необустроенных родников достаточно большое.

Эстетика родников является некоторой универсальной характеристикой всех объектов, используемых в туристско-рекреационных целях, и определяет их способность привлекать определенное количество посетителей или их внимание. В настоящее время на территории Саратовской области интенсивно развивается рекреационная деятельность, эта отрасль экономики является перспективной. Родники, региона относятся к рекреационным объектам, и поскольку поток туристов с каждым годом возрастает, соответственно возрастает и нагрузка на экологическую обстановку околородных ландшафтов родников. Особенно большую нагрузку получают наиболее доступные источники, расположенные вблизи населенных пунктов. В связи с тем, что увеличивается воздействие на родники, соответственно ухудшается качество воды и теряется рекреационная привлекательность окружающих ландшафтов, что негативно сказывается и на развитии рекреации.

Как же влияют эстетические особенности на динамику пользования родников Саратовского района? Проведем анализ двух родников, равноудаленных от областного центра, благоустроенного родника «святой источник Архистратига Божия Михаила» село Михайловка и необустроенного родника «Дачный» село Михайловка. Качество воды в родниках у села Михайловка по санитарно-химическим показателям соответствует требованиям СанПиН 2.1.4.1175-02 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников».



Рис. 1. Родник «Святой источник  
Архистратига Божия Михаила»



Рис. 2. Родник «Дачный»

По данным таблицы, необустроенный родник «Дачный» пользуется большей популярностью (рис. 1), чем благоустроенный родник «Святой источник Архистратига Божия Михаила» (рис. 2). Таким образом, на динамику пользования родниками, обустройство и эстетические особенности не оказывают влияния, так как для посетителей важна доступность и качество родниковой воды.

#### **Библиографический список**

1. Оценка рекреационной устойчивости ландшафтов особо охраняемых природных территорий Татищевского района Саратовской области / Ю. М. Андриянова, И. В. Сергеева, Ю. М. Мохонько, А. А. Гришина, Ю. С. Носкова // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : материалы Междунар. науч. конф. Киров : ВятГУ, 2019. С. 281–285.
2. Оценка эколого-рекреационного потенциала особо охраняемых природных территорий Саратовской области / Ю. М. Андриянова, И. В. Сергеева, Ю. М. Мохонько, В. А. Федюкина, А. М. Демисова // Актуальные проблемы экологии и природопользования : сб. науч. тр. XX Междунар. науч.-практ. конф. М. : РУДН, 2019. С. 34–42.
3. Белов В. С. Родники Саратовской области. Саратов : Сателлит, 2008. С. 222–225.
4. Экологическая химия : учеб. пособие / И. В. Сергеева, Ю. М. Андриянова, Ю. М. Мохонько, Н. Н. Гусакова. Саратов : ООО «Амирит», 2018. 194 с.
5. Сергеева И. В., Андриянова Ю. М., Мохонько Ю. М. Экология и охрана окружающей среды : учеб. пособие. Саратов : ООО «Амирит», 2016. 202 с.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ

*А. Ю. Манылов, Л. Л. Лобанова*  
Вятский государственный университет,  
*anta.mana@yandex.ru, ludoshkina@mail.ru*

Статья посвящена анализу экологической ситуации на очистных сооружениях машиностроительных предприятиях г. Кирова. Актуальность проблемы очистки сточных вод связана с ужесточением норм предельно допустимых концентраций (ПДК) рыбохозяйственных водоемов и предельно допустимых норм (ПДН) для сброса в городской коллектор бытовых стоков, а машиностроительные предприятия платят большие штрафы за превышение этих норм.

Ключевые слова: гальваническое производство, очистка сточных вод, токсичные металлы, экология.

Ведущее направление использования воды из природных источников – производственное водоснабжение, в 2018 г. его объем составил 29,3 млрд м<sup>3</sup>, или 55,3% от общего объема использованной воды по стране.

Объем сброса сточных вод в поверхностные природные водоемы Российской Федерации в 2018 г., по данным Росводресурсов, составил 40,1 млрд м<sup>3</sup>. По сравнению с 2018 г. за период 2010–2018 гг. данный показатель сократился на 9,1 млрд м<sup>3</sup>, или на 18,6% [1].

В таблице 1 представлены данные по сбросу загрязняющих веществ в составе сточных вод в поверхностные природные водные объекты в РФ за 2010–2018 гг. [1].

*Таблица 1*

### **Анализ данных по сбросу загрязняющих веществ в составе сточных вод в поверхностные природные водные объекты в РФ за 2010–2018 гг. [1]**

Год	2010	2014	2015	2016	2017	2018
Загрязняющие вещества						
Железо (Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup> ) (все растворимые в воде формы), т	6482,81	2975,09	2560,48	2383,27	2137,02	3005,7
Никель (Ni <sup>2+</sup> ), кг	37364,2	30940,7	28159,6	28339,3	22854,1	30284
Марганец (Mn <sup>2+</sup> ), кг	525309	375690	327323	323668	241387	242024
Медь (Cu <sup>2+</sup> ), кг	73876	51114	48173	32385	31272	27020
Цинк (Zn <sup>2+</sup> ), кг	588679	404136	411080	365317	223024	213987
Хром (Cr <sup>3+</sup> ), кг	24849	11732	13088	13577	16353	19602
Алюминий (Al <sup>3+</sup> ), кг	979,51	516,76	488,86	534,97	504,98	507,93

Из таблицы 1 видно, что с 2010 по 2018 гг. количество токсичных металлов, попадающих в поверхностные воды, уменьшилось. Это связано с несколькими факторами. Во-первых, с сокращением объема сброса загрязненных сточных вод, отводимых в поверхностные природные водоемы, на 20% за период с

2010 по 2018 гг. Во-вторых, улучшение качества сточных вод и снижение загрязняющей нагрузки на водные объекты РФ. Несмотря на эти мероприятия, экологическая опасность производств все равно существует, так как существуют значительные по масштабам и не устраненные до настоящего времени многочисленные недостатки в области водопользования и качества очистки сточных вод [1].

Экологическая опасность гальванохимических предприятий определяется вредным воздействием их отходов на окружающую среду. Наибольшую опасность представляют образующиеся в больших количествах жидкие отходы: отработанные технологические отходы и сточные воды после промывных операций. Эти отходы направляются на заводские очистные сооружения для нейтрализации и обезвреживания. При плохом качестве очистки жидких отходов вредные и токсичные соединения попадают в окружающую среду. Металлы, применяемые в гальванических покрытиях, обладают мутагенным (Cd, Cu, Ni, Cr, Zn), аллергенным (Ni, Cr), тератогенным (Cd), канцерогенным (Ni, Cr, Zn), токсическим (Cd, Cu, Ni, Cr) действием [2].

В связи с ужесточением норм ПДК рыбохозяйственных водоемов и ПДН для сброса в городской коллектор бытовых стоков предприятия платят большие штрафы за превышение этих норм при сбросе плохо очищенных сточных вод.

На машиностроительных предприятиях основным, и часто единственным методом обезвреживания гальванических жидких отходов, остается реагентный метод. Несмотря на универсальность и простоту эксплуатации метод имеет недостатки, главными из которых являются трудность очистки до ПДН от токсичных соединений и высокое остаточное солесодержание. Это не позволяет возвращать такие воды обратно в технологический процесс.

Актуальной экологической задачей для многих машиностроительных предприятий остается повышение качества очистки сточных вод при минимальных изменениях технологического цикла, как на заводских очистных сооружениях, так и в плане работы гальванохимических цехов. В настоящее время существуют общие решения по снижению экологической опасности гальванохимического производства, но эти пути носят, в основном, рекомендательный характер в виду большого разнообразия жидких отходов по составу и концентрации.

В настоящей работе был проведен анализ работы очистных сооружений одного действующего предприятия г. Кирова и предложены пути повышения эффективности очистки сточных вод.

На гальваническом участке предприятия проводят следующие технологические операции: лужение щелочное; анодирование в серной и хромовой кислоте; никелирование; электрохимическое полирование; хромирование; фосфатирование; цинкование. При этом на заводские очистные сооружения поступают следующие гальванические стоки:

– Промывные разбавленные кисло-щелочные стоки, образующиеся после процессов обезжиривания, травления, осветления, хромирования, наполнения; эти стоки содержат натр едкий, соду кальцинированную, тринатрий фосфат, соляную и азотную кислоты, хромовый ангидрид, бихромат калия. Кислые и

щелочные компоненты взаимно нейтрализуют друг друга, обезвреживания требуют соединения Cr (VI).

– Отработанные (залповые) щелочные концентраты, образующиеся после слива электролита с ванн обезжиривания, щелочного цинкования и щелочного лужения; в этих сливах содержится едкий натр, сода кальцинированная, тринатрий фосфат, окись цинка, станнат натрия.

– Отработанные (залповые) кислые, хромсодержащие концентраты образуются после слива электролитов с ванн анодирования, никелирования, наполнения, травления, снятие шлама, фосфатирования, нейтрализации; этих сливы могут содержать серную, азотную, ортофосфорную, борную кислоты, ангидрид хромовый, сульфат никеля, хлорид натрия, фтористый натрий, калия бихромат, цинк фосфорнокислый, цинк азотнокислый, нитрит натрия.

Хромсодержащие разбавленные стоки очищаются гальванокоагуляционным методом с помощью гидроксида железа, получаемого электрохимическим путем в специальных генераторах из отходов металлопроизводства. Генераторы были спроектированы на предприятии. Гидроксид железа является и восстановителем, и коагулянтом, и сорбентом, благодаря чему он может эффективно переводить Cr(VI) в Cr(III). Достоинством этого метода является широкий диапазон pH обезвреживания сточных вод, содержащих Cr(VI), отпадает необходимость в сильном подкислении стоков по сравнению с сульфитным методом [3].

Процесс происходит в специальных ваннах, откуда после восстановления до Cr (III) стоки самотеком поступают в реактор, куда дозаторами подается раствор кальцинированной соды для доведения pH стоков до 8,5–9,5 с целью образования гидроксидов тяжелых металлов. Так же в стоки подается флокулянт полиакриламид для лучшего слипания частиц и ускорения седиментации осадка. Затем стоки подаются в трехсекционный горизонтальный отстойник. В отстойниках ил еженедельно откачивается в накопитель ила, из которого уплотненный ил подается на фильтр-пресс для обезвоживания. Далее очищенные сточные воды идут через контрольный колодец в городской коллектор.

Залповые щелочные и кислые хромсодержащие стоки собираются в соответствующих накопителях. Кислые хромсодержащие стоки обезвреживаются сульфитным методом при pH = 2–3. Далее щелочные и кислые стоки дозированно поступают в реактор, где смешиваются с разбавленными стоками и происходит очистка от солей токсичных металлов раствором кальцинированной соды [3].

Средняя величина pH начала осаждения для исследуемых гидроксидов металлов 5,8–6, а полного осаждения pH=8–8,5 [4]. Это обуславливает pH при осаждении металлов реагентным методом в пределах 8,5–9. Подщелачивание pH более 10 недопустимо, так как возможно образование растворимых соединений металлов, в частности гидроксокомплексов, что ухудшает качество очистки сточных вод.

На исследуемом предприятии анализ сточных вод после очистки на заводских очистных сооружениях перед их сбросом в городской коллектор проводит аккредитованный филиал ЦЛАТИ по Кировской области. По результатам анализа содержание хрома (III) в очищенной сточной воде меньше 0,01 мг/л, что значительно ниже установленных в г. Кирове ПДН для сброса в городской

коллектор по хрому (0,25 мг/л [5]). Результаты анализов (табл. 2) подтверждают высокую эффективность использования свежегенерированного гидроксида железа для очистки сточных вод от Cr (VI) [3]. По ионам цинка, меди и никеля наблюдается периодически превышение ПДН (табл. 3).

Таблица 2

Результаты анализа сточных вод за 2019 год

Дата анализа	рН	Железо	Цинк	Медь	Никель	Хром (III)	Хром (VI)
ПДН	6,5–8,5	0,45	0,02	0,002	0,05	0,25	0,05
ПДК <sub>рх</sub>	6,5–8,5	0,1	0,01	0,001	0,01	0,07	0,02
15.01	8,5	0,15	0,078	0,013	0,23	< 0,01	< 0,01
22.01	7,5	0,35	0,58	0,01	0,008	< 0,01	< 0,01
12.02	6,2	3,8	1,6	0,004	0,67	< 0,01	< 0,01
26.02	6,8	0,08	2	0,083	0,87	< 0,01	< 0,01
12.03	8,5	< 0,05	0,18	0,013	0,79	< 0,01	< 0,01
26.03	8	0,102	0,25	0,012	0,75	< 0,01	< 0,01
16.04	7,2	0,32	0,13	0,006	0,219	< 0,01	< 0,01
23.04	7,8	0,64	0,083	0,0035	0,131	< 0,01	< 0,01
14.05	8,1	0,06	0,027	0,037	0,062	< 0,01	< 0,01
21.05	7,4	0,09	0,24	0,53	0,9	< 0,01	< 0,01
04.06	7,8	0,07	0,018	0,025	0,048	< 0,01	< 0,01
11.06	7,3	0,08	0,22	0,077	0,135	< 0,01	< 0,01
09.07	7,8	0,056	0,24	0,014	0,2	< 0,01	< 0,01
27.08	7,4	0,08	0,012	0,0085	0,01	< 0,01	< 0,01
03.09	7,1	0,63	0,23	0,021	0,125	< 0,01	< 0,01
17.09	7,4	0,19	0,054	0,025	0,120	< 0,01	< 0,01
12.11	7,8	0,050	0,042	0,007	0,021	< 0,01	< 0,01

*Примечание:* 1) ПДН – предельно-допустимые нормативы загрязнений в сточных водах, поступающих в систему муниципальной канализации г. Кирова (г/л) [5]. 2) Ионы железа, цинка, меди, никеля, хрома трехвалентного считаются как все растворимые в воде формы. 3) ПДК<sub>рх</sub> – предельно допустимые концентрации вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (г/л) [6].

Анализ работы очистных сооружений показал, что на заводских очистных сооружениях рН реагентной очистки поддерживается в районе значения 8, что явно ниже рекомендованных значений. Время отстаивания суспензии трудно-растворимых соединений металлов перед сбросом в горколлектор составляет около 30 минут, что также ниже рекомендованных 2–3 часов. Все это ухудшает качество очистки сточных вод.

Для повышения качества очистки сточных вод предложены два направления.

Первое направление связано с уменьшением объема сточных вод. Это можно достигнуть совершенствованием и оптимизацией работы гальванического цеха, а в частности:

1. Использование автоматизации процесса нанесения покрытий. Это позволит соблюдать нормы выстоя деталей над ваннами для наиболее полного

стекания растворов, тем самым уменьшится вынос электролитов и унос токсичных компонентов в сточные воды.

2. Продление срока службы растворов и электролитов за счет совершенствования методов корректировки и очистки технологических растворов [7]. Это позволит уменьшить количество концентрированных залповых сбросов.

3. Сокращением расхода воды на промывочные операции за счет оптимизации систем промывки [7]. Это позволит уменьшить объем сточных вод и, следовательно, нагрузку на очистные сооружения.

Второе направление связано с повышением эффективности работы самих очистных сооружений и включает в себя:

1. Автоматизацию процесса очистки сточных вод.

2. Увеличение времени отстаивания очищенной сточной воды в отстойнике (в пробах наблюдается взвесь темно-коричневого цвета). Это легко будет осуществить при снижении общего объема сточных вод.

3. Дополнительную очистку от анионов с целью снижения общего солевого содержания.

#### **Библиографический список**

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М. : Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с.

2. Хранилов Ю. П. Экология и гальванотехника: проблемы и решения : учеб. пособие. Киров : ВятГТУ, 2000. 97 с.

3. Манылов А. Ю., Лобанова Л. Л. Пути повышения эффективности работы очистных сооружений машиностроительных заводов // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2019. Кн. 1. С. 32–35.

4. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. 6-изд. М. : Химия, 1989. 448 с.

5. Распоряжение главы администрации г. Кирова от 25.02.2005 № 906 «О порядке приема сточных вод в систему муниципальной канализации муниципального образования «город Киров» (с изменениями на 22 января 2019 года).

6. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации приказ от 13 декабря 2016 года № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями на 12 октября 2018 года).

7. Виноградов С. С. Экологически безопасное гальваническое производство / под ред. проф. В. Н. Кудрявцева. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : Глобус, 2002. 352 с.

# ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЫ КИРОВСКОГО БИОХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТАХ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНА

*С. А. Дьяченко, А. С. Касаткина, С. Л. Фукс*

*Вятский государственный университет,*

*lana.dyachenko.98@mail.ru, annochka.kasatkina@gmail.com, tzb\_fuks@vyatsu.ru*

Рассматривается проблема утилизации магнитной и немагнитной фракций золы Кировского биохимического завода совместно с отходами полиэтилена. Проведены исследования влияния золы утилизационного котла на свойства композита полиэтилена высокого давления. Анализ результатов показал увеличение твердости композиционного материала, содержащего золу по сравнению с полиэтиленом.

Ключевые слова: композит, отход, лигнин, зола, полиэтилен высокого давления.

В настоящее время при использовании гидролизного способа для получения целлюлозы из древесины образуется большое количество гидролизного лигнина, который занимает большие площади вблизи биохимических предприятий [1]. Шламоотвалы располагаются в городской черте, выделяя загрязняющие вещества в окружающую среду, поэтому гидролизный лигнин подвергается утилизации. Чаще всего для уменьшения количества гидролизного лигнина используется метод сжигания в утилизационных котлах, в ходе которого получается тепловая энергия. Однако, после сжигания образуется большое количество золы и шлака, которые также хранятся на золошлакоотвалах и ухудшают экологическую обстановку. На данный момент времени подвергается переработке всего лишь около 1% золы от всех золошлакоотвалов. В основном она используется при производстве строительных материалов [2]. Зола уноса по крупности входит в диапазон от 1 до 200 мкм, частицы которой имеют сферическую форму с замкнутыми порами [3]. Известно, что золы твердого топлива на 98–99% состоят из таких элементов как Si, Al, Fe, O, Ca, Ti, Mg, S, K и Na, которые можно назвать золообразующими (макроэлементы) [4]. В связи с этим нами высказано предположение, что золу целесообразно использовать для получения композитов на основе отходов пластмасс и их составляющих.

Также отходом, требующим утилизации, является использованный полиэтилен высокого давления. В литературе имеются сведения о получении и использовании композиционных материалов на основе полиэтилена [5]. К ним относятся пластмассы, содержащие в своем составе связующий компонент, наполнитель и пластификатор, также в состав пластмасс могут входить стабилизаторы, отвердители, красители и др.

Целью исследования являлась разработка условий использования золы утилизационного котла для получения композиционных материалов на основе полиэтилена высокого давления.

Для решения поставленной цели были выведены следующие задачи: создание композиционного материала и исследование его механических характеристик.

Первая модель композиционного материала была создана без добавления золы, для этого происходила расплавка полиэтилена с добавлением стеарата кальция, вступающего в качестве стабилизатора, и парафина. Плавление проводилось на электрической плитке, модель отливалась в керамическую форму, охлаждение происходило в два этапа: на воздухе и под струей проточной воды.

Модель композита с содержанием золы проводилась тем же путем, только при добавлении в расплавленный полиэтилен золы. Далее изучалась структура полученных образцов композита на микроскопе МБС-10 со встроенным видеоокуляром при увеличениях в 10 и 15 раз.

Механические свойства образца изучались ударным методом. На образец сбрасывался груз массой 0,1 кг с высоты 43,4 см, действие повторялось 50 раз. Оценка ударной прочности проводилась на основании оставленных грузом повреждений.

Для определения микротвердости материала использовался микротвердомер ПМТ-3. Его принцип действия основан на вдавливании алмазной пирамиды в исследуемый материал при различных нагрузках.

Из проведенных ранее исследований [6] известно, что масса фракций зависит от размера частиц. Наибольшими по массе являются фракции с линейными размерами частиц 0,450 мм и 0,125 мм, поэтому они были взяты для создания композитов. Также известно, что немагнитная составляющая по массе значительно превышает магнитную составляющую. Элементный состав всех фракций одинаков. Однако количество элементов различно.

Морфологически состав магнитной фракции разнороден и содержит некоторое количество сферических форм, плоских слоистых структур, углеродистых компонентов, сохранивших структуру древесины. Немагнитная фракция более однородна по размеру частиц и их форме [6].

Композиты получали из смеси полиэтилена высокого давления и золы в соотношении 12 : 2,5. Результаты изучения структуры композита и их механических свойств представлены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что в композите с магнитной фракцией распределение частиц более равномерно, чем с немагнитной фракцией золы. Также видно, что в образцах с содержанием 12,5 г золы механических повреждений после 50 ударов гирей не обнаружено. Можно сделать вывод, что данное сочетание составляющих композита, позволяет получить достаточную твердость, без видимого увеличения хрупкости.

Результаты исследования композитов с помощью микротвердомера представлены в таблице 2. Измерение и расчет микротвердости были проведены в соответствии с [7].

Таблица 1

**Внешний вид и структура изделия из полиэтилена до и после  
механических испытаний**

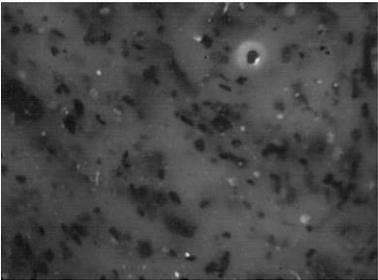
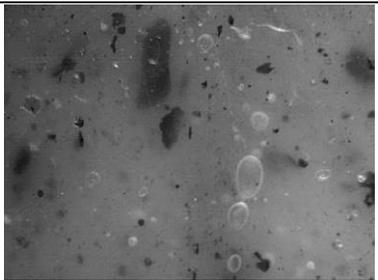
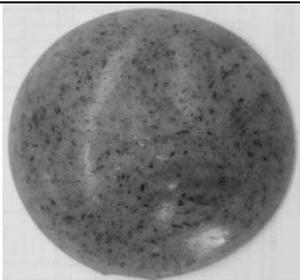
Количество золы в композите	Структура композита при увеличении 15 <sup>x</sup> до механических испытаний	Используемая фракция золы	Фотография изделия после механических испытаний
0	—	—	
12,5		Магнитная	
12,5		Немагнитная	

Таблица 2

**Значения микротвердости**

Материал	№ опы- та	Масса груза, г	d, мм	HV, кгс/мм <sup>2</sup>	Среднее число твердости, кгс/мм <sup>2</sup>
Полиэтилен чистый	1	100	69,35	39	43±7
	2	100	64,90	44	
	3	130	85,20	33	
	4	130	67,40	53	
	5	130	73,70	44	
Полиэтилен + немагнитная фракция золы	1	160	64,80	71	87±31
	2	170	72,35	60	
	3	170	72,65	60	
	4	170	48,45	134	
	5	170	53,90	108	
Полиэтилен + магнитная фракция золы	1	170	81,00	48	50±7
	2	170	82,90	46	
	3	170	82,15	47	
	4	170	83,00	46	
	5	170	70,25	64	

Из таблицы 2 видно, что при добавлении золы к полиэтилену значение твердости увеличивается. Также можно заметить, что в композите с добавлением немагнитной фракции золы значение твердости выше, чем в композите с магнитной золой.

В связи с проведенным исследованием можно сделать следующие выводы: 1) созданы композиты на основе полиэтилена высокого давления с добавлением золы в соотношении 12:2,5.

2) выявлено, что микротвердость выше в композите с добавлением немагнитной фракции золы.

#### **Библиографический список**

1. Евилевич А. З., Евилевич М. А. Утилизация осадков сточных вод. Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. 248 с.
2. Минеральные техногенные отходы как наполнитель композиционных материалов на основе полимерной матрицы / О. В. Ершова, С. К. Ивановский, Л. В. Чупрова, А. Н. Бахаева // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. Пенза : Издательский Дом «Академия Естествознания», 2015. № 6–2. С. 196–199.
3. Казакова Е. В., Фукс С. Л. Получение новых сорбентов из отходов различных производств // Успехи современной науки. 2016. Т. 50, № 9. С. 79–81.
4. Авдеева Л. Н., Борбат В. Ф. Зола ТЭЦ – перспективное сырье для промышленности // Вестн. Ом. Ун-та. 2009. № 2. С. 141–151.
5. Никитина Ю. В. Материаловедение: электрон. образовательный контент по дисциплине Материаловедение [Электронный ресурс]. – URL: <http://repo.ssau.ru/bitstream/Uchebnye-izdaniya/Materialovedenie-Elektronnyi-resurs-elektron-obrazovat-kontent-po-discipline-Materialovedenie-i-TKM.pdf> (дата обращения 16.02.2020).
6. Дьяченко С. А., Касаткина А. С., Фукс С. Л. Разработка условий использования золы утилизационного котла Кировского биохимического завода при получении композитов // Утилизация отходов производства и потребления: инновационные подходы и технологии : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2019. С. 19–23.
7. ГОСТ Р ИСО 6507-1-2007 Металлы и сплавы. Измерения твердости по Виккерсу. Часть 1. Метод измерения [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200060184> (дата обращения 06.03.2020).

## **ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИТОВ ИЗ ОТХОДОВ ПОЛИМЕРОВ И ПЕРЕРАБОТКИ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА**

*С. Л. Фукс, И. И. Башарин*

*Вятский государственный университет,  
tzb\_fuks@vyatsu.ru, basharin97@gmail.com*

Отработанные первичные химические источники тока (ХИТ) могут быть источником ценного сырья для производства композиционных материалов. В связи с этим актуальным является разработка технологии переработки первичных ХИТ, независимо от их состава, технологии производства и получение композиционных материалов на основе остатков активной массы ХИТ.

Ключевые слова: композиционный материал, химические источники тока, переработка ХИТ, морфологический состава активной массы ХИТ, свойства активной массы.

Утилизация отработанных первичных ХИТ является важнейшей проблемой современного мира. В России объем рынка ХИТ составляет приблизительно один миллиард штук в год. Из-за отсутствия технологий по комплексному сбору и утилизации они поступают вместе с твердыми бытовыми отходами (ТБО) на полигоны, свалки, мусоросжигательные заводы.

Актуальность данного исследования заключается в изучении методов переработки первичных ХИТ с отделением фракции активной массы и последующим получением композиционных материалов на их основе.

Целью данной работы являлось изучение возможности механического разделения, термической обработки и химической переработки, полученных полуфабрикатов с целью получения композиционных материалов и последующей химической переработки оставшейся части активной массы ХИТ.

Для определения состава первичных ХИТ они подвергаются операциям предварительной обработки:

Механическая переработки ХИТ с целью сортировки отработанных ХИТ и измельчение их для отделения корпуса от прочих частей.

Термическая переработка ХИТ. Раздробленные составляющие ХИТ подвергаются термической обработке при температуре 400–1000 °С в течение нескольких часов.

Фракционная и магнитная сепарация активной массы ХИТ применяется для извлечения оксидов железа, никеля и цинка.

Химическая переработка активной массы ХИТ применяется с целью удаления растворимых в кислоте соединений и отделения их от нерастворимой фракции ХИТ, путем пропускания раствора через фильтрующие материалы [2].

Полученный полуфабрикат, подвергаются измельчению, после чего определяют морфологический и элементный состав активной массы ХИТ с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) марки JEOL JSM-6510 LV (Япония), подложка для СЭМ (Япония), двухсторонний токопроводящий углеродный скотч (Япония). Для определения элементного состава активной массы ХИТ использовали метод энергодисперсионного рентгеноспектрального микроанализа [3].

Определение механических и физико-химических характеристик проводится экспериментально, на основе методики определения механических характеристик ударным методом при воздействии груза 0,1 кг с высоты 43,4 см.

Определение твердости материала осуществляют с помощью прибора ПМТ-3 измеряя длину диагонали отпечатка и подсчитываем число твердости.

Активная масса образовалась в результате механической переработки следующих марок ХИТ: Magnum, Energizer, Duracell Turbo, АТС.

Результаты механической переработки первичных ХИТ представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Материальный баланс ХИТ после механической переработки**

Приход			Расход		
Вещество	Масса, г	Содержание, %	Вещество	Масса, г	Содержание, %
ХИТ	430,25	100	Активная масса	277,46	64,49
			Корпус	136,47	31,72
			Цинковый электрод	12,02	2,79
			Потери	4,30	1,00
Итого	430,25	100	Итого	430,25	100

Полученные фракции ХИТ подвергается двум последовательным операциям термической обработки. Результаты обжига остатков ХИТ представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Материальный баланс ХИТ после термической обработки**

Наименование	Масса, г	Содержание, %
Активная масса	236,03	54,86
Корпус	112,74	26,20
Цинк	14,67	3,41
Органическая составляющая и влага	62,51	14,53
Потери	4,30	1,00
Итого	430,25	100

Определение элементного состава и морфологии поверхности термически обработанной активной массы ХИТ осуществлялось с помощью СЭМ и методом ЭДА.

В таблице 3 представлены средние значения содержания элементов в активной массе ХИТ.

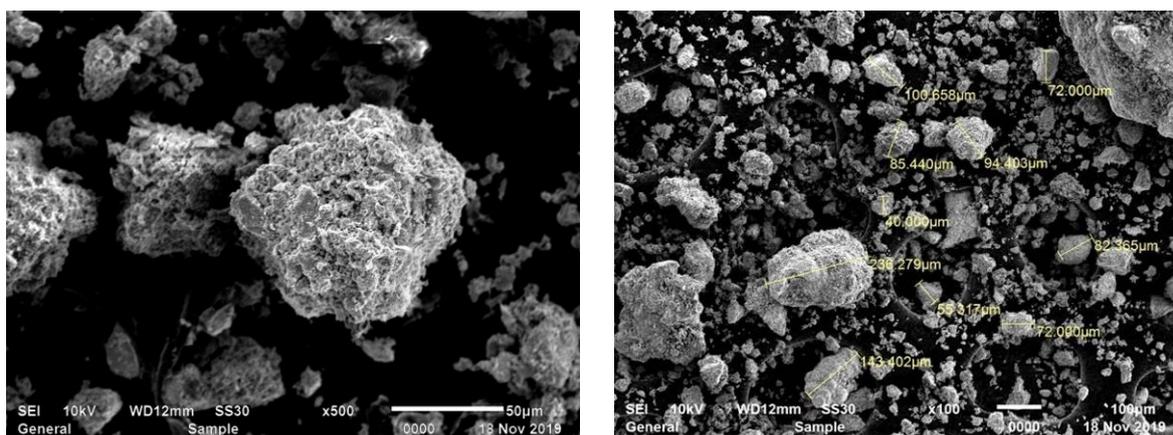
Таблица 3

**Содержание элементов в активной массе ХИТ**

Спектр	Содержание, %								
	С	О	Al	S	Cl	K	Mn	Zn	Ba
1	9,74	38,94	0,26	0,17	0,00	0,83	44,34	5,70	0,04
2	7,95	29,70	0,24	0,21	0,02	0,88	54,38	6,56	0,06
3	8,76	25,89	0,17	0,21	0,01	1,21	61,38	2,46	0,00
4	14,89	36,33	0,21	0,21	0,02	1,52	42,85	3,86	0,12
5	13,29	41,19	0,20	0,26	0,13	2,06	38,72	2,94	1,20
Итого	10,93	34,42	0,22	0,21	0,04	1,30	48,45	4,30	0,04

По результатам таблицы 3 можно сделать вывод, что в активной массе содержится достаточно большое количество непрореагировавшего марганца в связанной форме в виде оксидов, сульфидов. Малое содержание калия может подсказать, что в качестве жидкостного электролита использовался КОН.

Морфология активной массы ХИТ. На рисунке 1 представлена морфология составляющих активной массы ХИТ, характеризующаяся дисперсионным составом.



а) б)  
Рис. 1. Морфология активной массы ХИТ  
а) – увеличение 500×, б) – увеличение 100×

Из рисунка 1а видно, что поверхность частиц имеет пористую структуру, что положительно сказывается на адсорбционной способности частиц, обеспечивая более прочное сцепление между собой частиц активного наполнителя и полимерной массы.

Из рисунка 1б видно, что подавляющее большинство наполнителя имеет примерно равный размер частиц. Однако встречаются крупные агломераты приблизительно 236 мкм, состоящие в основном из оксидов марганца, цинка и спекшегося углерода.

В таблице 4 представлен материальный баланс ПКМ на основе полиэтилена низкого давления (ПЭНД).

Таблица 4

**Материальный баланс композитов на основе ПЭНД**

Наименование	Масса, г	Содержание, %
ПКМ № 1		
Активная масса	10,00	20,80
Полимерная основа	38,10	79,20
Итого	48,10	100
ПКМ № 2		
Активная масса	15,00	29,07
Полимерная основа	36,60	70,93
Итого	51,60	100

Исходя из данных таблицы видно, что содержание активного наполнителя во втором образце больше на 8,27%, а соответствующая сравнительная характеристика представлена в таблице 5.

В таблице 5 приведены результаты определения микротвердости на ПМТ-3 [4].

## Результаты определения микротвердости

Материал	№ опыта	Масса груза, г	$d_{\text{ср}}$ , мкм	Микротвердость HV, кг/мм <sup>2</sup>	Среднее число микротвердости, HV кг/мм <sup>2</sup>
Полиэтилен	1	150	69,4	38,5	38±2,00
	2	150	62,2	47,9	
	3	150	75,2	32,8	
	4	150	67,4	40,8	
	5	150	73,7	34,1	
ПКМ № 1	1	150	81,6	41,8	43±0,01
	2	150	78,2	45,5	
	3	150	79,3	44,2	
	4	150	85,2	38,3	
	5	150	77,1	46,8	
ПКМ № 2	1	150	62,9	70,3	71±0,04
	2	150	67,3	61,4	
	3	150	59,9	77,5	
	4	150	58,7	80,7	
	5	150	65,4	65,0	

В ходе данного исследования было установлено, что выбранные методы переработки первичных ХИТ являются приемлемыми и могут быть использованы для создания технологической схемы по переработке отработанных первичных ХИТ. Исследование морфологического и элементного состава активной массы ХИТ дает необходимые данные о природе и свойствах частиц активного наполнителя. Изучение физических и физико-химических показателей композиционного материала позволяет судить о влиянии частиц активного наполнителя на его прочностные характеристики.

## Библиографический список

1. Экологические проблемы отработанных химических источников тока / Н. П. Тарасова, В. В. Горбунова, С. А. Иванова, В. А. Зайцев // Безопасность в техносфере. 2011. № 4. С. 34–39.
2. Фукс С. Л., Хитрин С. В., Казиенков С. А. Технология защиты биосферы. Киров : ВятГУ, 2009. 85 с.
3. Калмыков К. Б., Дмитриева Н. М. Сканирующая электронная микроскопия и рентгена-спектральный анализ неорганических материалов : методическое пособие для студентов Химического ф-га МГУ. М. : МГУ, 2017. 58 с.
4. ГОСТ 2999-75. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу : действ. с 28.07.1975. М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1975. [Электронный ресурс] – URL: <http://gostexpert.ru/gost/gost-2999-75/> (дата обращения 01.03.2020).

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РЕГИОНАЛЬНОГО ЖИВОТНОВОДСТВА

*Л. В. Пилип<sup>1</sup>, Н. В. Сырчина<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Вятская государственная сельскохозяйственная академия,  
pilip\_larisa@mail.ru*

<sup>2</sup> *Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru*

Недостаточное внимание к внедрению рациональных технологий управления отходами животноводства (навоз, помет) приводит к росту экологической нагрузки на окружающую среду. Кировская область занимает лидирующие позиции в животноводстве, что существенно обостряет экологические проблемы, связанные с этой отраслью, и требует дополнительных усилий для их решения.

Ключевые слова: свиной навоз, помет, экологические риски, запаховое загрязнение, утилизация навоза, промышленное животноводство.

Обеспечение продовольственной безопасности страны входит в число приоритетных задач развития экономики РФ. Успехи сельскохозяйственного производства, наблюдающиеся в последние годы, очевидны. Согласно данным Росстата, за прошедший 2019 г. производство продукции сельского хозяйства в России увеличилось на 4%. Рост производства растениеводческой продукции достиг 6,1%, животноводческой – 1,6%.

Особенностью современного сельского хозяйства является ориентация на создание крупных сельскохозяйственных предприятий. Функционирование таких предприятий неизбежно приводит к обострению экологических проблем в местах их размещения. Серьезную угрозу для экологии представляют, как растениеводческие, так и животноводческие предприятия, однако влияние животноводства на окружающую среду проявляется наиболее наглядно, что преимущественно обусловлено нерешенностью проблемы утилизации основных отходов – навоза животных и помета птиц. По имеющимся оценкам, до 85% негативного воздействия животноводства и птицеводства на окружающую среду связано с неудовлетворительным функционированием систем утилизации соответствующих отходов [1]. Огромные массы навоза и помета концентрируются на ограниченных территориях, расположенных вблизи животноводческих предприятий, приводя к масштабному загрязнению почвы, воздуха и воды. Вместе с тем, устойчивое развитие экономики невозможно без соблюдения базовых экологических принципов. Игнорирование соответствующих принципов неизбежно приводит к разрушению среды обитания человека.

Целью настоящей работы является оценка масштабов воздействия животноводческих предприятий Кировской области на окружающую среду.

Сельское хозяйство играет важную роль в экономике Кировской области, обеспечивая 7,8% регионального валового продукта. На долю животноводства приходится 65% производимой в области продукции сельского хозяйства.

Ведущим направлением является молочное скотоводство: по среднему надою молока от коровы за сутки Кировская область занимает 1-е место в ПФО и 5-е место по РФ, а по валовому производству молока – 3-е место в ПФО и 7-е место по РФ. Нарращивание объемов производства молока достигается за счет строительства и реконструкции молочно-товарных ферм и комплексов. Только в 2018 году завершено строительство 4-х молочных ферм на 2160 голов. Вторым важным направлением является промышленное свиноводство. На конец 2018 г. поголовье свиней в хозяйствах всех категорий области составило 23726,6 тысяч голов, при этом 87,8% поголовья свиней было сосредоточено в сельскохозяйственных организациях.

Официальные статистические данные о поголовье скота и птицы с выходом навоза/помета в сельскохозяйственных организациях Кировской области представлены в таблице.

*Таблица*

**Поголовье скота и птицы и выход навоза/помета  
в сельскохозяйственных организациях Кировской области  
(на конец января 2020 года)**

№ п/п	Вид животного	Поголовье, голов	Суточный выход навоза/помета в кг на голову (укрупненный расчет по Брюханову)	Годовой суммарный выход навоза, тысяч тонн
1	Крупный рогатый скот (КРС)	222573	97–109	7880,2–8855,1
2	Мелкий рогатый скот	1883	нет данных	
3	Свиньи	183759	7,3–10,25	529,9–687,5
4	Птица	2111822	0,09–0,13	69,4–100,2
Итого				8479,5–9642,8

Расчетное количество навоза и помета, образующегося при содержании соответствующего поголовья скота и птицы, достигает 10 млн тонн в год. На долю навоза КРС приходится более 90% соответствующих отходов.

Свежий свиной навоз, навозные стоки при самосплавной системе навозоудаления свиней, свежий куриный помет, согласно ФККО [2] относятся к III классу опасности (умеренно опасные отходы). Свежий навоз КРС является отходом IV класса опасности (мало опасные отходы). Основное направление утилизации навоза и помета – использование их в качестве органических удобрений, однако, прежде чем соответствующие материалы перейдут из категории «отход» в категорию «удобрение», они должны пройти стадии обеззараживания и обезвреживания [3]. Безопасность достигается за счет выдерживания от 8 до 12 месяцев для навоза свиней и от 4 до 8 месяцев для навоза КРС в специально отведенных местах, либо за счет термической сушки, применения химических методов обеззараживания (обработка аммиаком, озоном, жидким хлором), биотермической обработки и компостирования, вермикомпостирования, анаэробной переработки [4]. На животноводческих предприятиях Кировской области безопасность навоза и помета обеспечивается за счет выдерживания соответствующих отходов вблизи ферм. То есть вблизи животноводческих пред-

приятий области ежегодно концентрируется порядка 10 млн т отходов III и IV классов опасности, из них более 9 млн – вблизи ферм по содержанию КРС.

Накопление навоза вокруг животноводческих предприятий в некоторых районах области приобретает угрожающие масштабы. Например, в Зуевском районе Кировской области в окрестностях СПК племзавода «Соколовка» при размещении навоза КРС практически не учитываются существующие экологические требования и нормы. Вывозимый в зимний период года и складированный на полях навоз смывается при таянии снега в р. Косу, которая впадает в р. Чепцу и далее в р. Вятку (рис.).



Рис. Скопления навоза в окрестностях СПК племзавода «Соколовка»

По данным Всемирной организации здравоохранения, через навоз передается более 100 инфекционных болезней сельскохозяйственных животных, в том числе африканская чума свиней [5, 6]. При разложении навоза в атмосферу выделяются аммиак, сероводород, углекислый газ, летучие органические вещества и другие экологически опасные компоненты. Почва и водные объекты загрязняются тяжелыми металлами (Cu, Zn и др.), нитратами, соединениями фосфора, яйцами гельминтов, патогенными микроорганизмами, ветеринарными препаратами (в том числе антибиотиками и дезинфектантами) и т.д. Попадание навозных стоков в ручьи и реки приводит к распространению опасных загрязнений на большие расстояния. Навоз является источником запахового загрязнения окружающей среды, оказывающего негативное воздействие на качество жизни населения, проживающего в местах размещения животноводческих предприятий.

Серьезную опасность для окружающей среды представляют и свиноводческие предприятия. Учитывая то, что в крупных свиноводческих хозяйствах используется самосплавная система удаления навоза и системы гидросмыва, не во всех хозяйствах имеется возможность использования сепарации жидкого навоза и навозных стоков, сезонно ограничены сроки внесения навоза в земли сельскохозяйственных угодий, отсутствуют или не функционируют очистные сооружения, функционирование таких комплексов может привести к серьезным для региона экологическим и санитарно-гигиеническим проблемам.

Утилизация всех видов навоза представляет большую проблему. Каждый год только в Кировской области 10 млн т навоза и помета должны быть вывезены на поля и запаханы в почву. Рекомендуемые нормы внесения навоза КРС составляют 20–30 т/га. Т.е. для утилизации 9 млн т навоза КРС, ежегодно образующегося в области, требуется более 300 тыс. га пашни, причем эта пашня должна находиться в радиусе до 10 км от мест размещения животноводческих ферм. Перемещение навоза на более дальние расстояния экономически нецелесообразно.

Внесение и запахивание навоза возможно в очень сжатые сроки (весной и осенью в период полевых работ). Вывоз навоза на поля в зимний период в нашей области затруднен ввиду высокого снежного покрова. Для того чтобы за короткий период вывезти 10 млн т навоза в поле требуются соответствующие технические возможности, которых животноводческим предприятиям области явно не хватает. Размещение больших объемов навоза в течение длительного времени на ограниченных территориях (вблизи животноводческих предприятий) неизбежно приводит к загрязнению соответствующих земель.

Количество вносимого бесподстилочного навоза и его жидкой фракции необходимо нормировать с учетом содержания азота, фосфора, калия, органического вещества в почве, потребности растений в элементах питания, коэффициента использования биогенных веществ, типа и качества почвы, климатических условий региона, методов подготовки навоза. Одним из требований безопасного использования органических удобрений является соответствие доз внесения по питательным веществам группы NPK экологическим требованиям. Однако экологически обоснованный подход к утилизации навоза в сельскохозяйственных предприятиях чаще всего отсутствует, содержание питательных веществ в навозе не контролируется и не учитывается при внесении удобрения в почву. Такой подход приводит к нарушению процессов саморегулирования и самовозобновления плодородия почвы и усилению ее эрозии.

Жители прилегающих к животноводческим комплексам территорий находятся в условиях запахового загрязнения. Навоз и помет являются источниками эмиссии углекислого газа, метана, аммиака, сероводорода, меркаптанов, летучих жирных кислот, в том числе парниковых газов, образующихся в результате микробиологических процессов разложения органических веществ [7–9]. Особенностью сельскохозяйственных предприятий является распределенность и диффузный характер источников загрязнения, что существенно затрудняет контроль и оценку воздействия отходов производства на окружающую среду.

Затраты на охрану окружающей среды в Кировской области за 2018 г. на сельское, лесное хозяйства, рыболовство и рыбоводство составили менее 0,27% всех затрат на охрану окружающей среды по области, из них на охрану атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата – 0,056%, сбор и очистку сточных вод – 0,10%, обращение с отходами – 0,065%. Практика показывает, что уровень соответствующих затрат ничтожен, по сравнению с уровнем негативного воздействия указанных отраслей на экологию.

В нашей области, как и в РФ, мерами предотвращения загрязнения окружающей среды животноводческими предприятиями только начинают заниматься, в отличие от Европейских стран, где этой проблеме уделяется большое внимание.

В Кировской области экологическим аспектам функционирования животноводческих предприятий и соблюдению этими предприятиями экологического законодательства уделяется крайне недостаточное внимание, вместе с тем защита окружающей среды является одним из основополагающих компонентов устойчивого развития сельского хозяйства. Для обеспечения защиты окружающей среды при проектировании систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза, навозных стоков и помета необходимо руководствоваться принципами минимизации или полного исключения возможности загрязнения воздуха, почвы, открытых и подземных источников соответствующими отходами. Особое внимание следует уделять работам по строительству современных очистных сооружений и по реконструкции действующих.

С целью предотвращения развития экологических проблем, связанных с образованием и накоплением отходов сельского хозяйства, необходимо проводить ежегодный анализ развития отрасли животноводства в Кировской области с точки зрения воздействия отрасли на окружающую среду, заниматься разработкой эффективных и экономичных технологий рациональной переработки навоза в органическое удобрение и внедрять эти технологии в практику.

На территориях размещения животноводческих предприятий необходима организация систематического мониторинга состояния окружающей среды с целью выхода на принципиально новый уровень компетентности для обоснования и принятия решений локального, регионального и глобального масштабов.

#### **Библиографический список**

1. Брюханов А. Ю. Обеспечение экологической безопасности животноводческих и птицеводческих предприятий (Наилучшие доступные технологии). СПб. : ИАЭП, 2017. 296 с.
2. Федеральный классификационный каталог отходов [Электронный ресурс]. – URL: <https://classinform.ru/fkko-2017>. (дата обращения 30.10.2019).
3. ГОСТ Р 53117-2008 Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия.
4. СП 1.2.1170-02. Гигиенические требования к безопасности агрохимикатов [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gosthelp.ru/text/SP12117002Gigienicheskiet> (дата обращения 10.03.2020).
5. Дрю Т. В., Грэм С., Крук Х. Вирусные заболевания свиней: обзор текущей ситуации // Perfect Agriculture (Свиноводство России). 2014. № 11. С. 26–28.
6. Смирнов А. М., Тюрин В. Г. Ветеринарно-санитарные и зоогигиенические мероприятия в свиноводстве // Ветеринария. 2012. № 8. С. 3–8.
7. Пилип Л. В., Сырчина Н. В. Новые подходы к дезодорации свиного навоза // Иппология и ветеринария. 2018. № 4 (30). С. 99–106.
8. 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

9. Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Отходы свиноводческих комплексов – проблемы, пути решения // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2017. С. 180–183.

## **БИОРАЗНООБРАЗИЕ АГРОЭКОСИСТЕМ КАК ФАКТОР ОПТИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АГРОЦЕНОЗОВ**

***В. В. Верзилин<sup>1</sup>, Н. Д. Верзилина<sup>2</sup>, А. Н. Тимофеев<sup>3</sup>, Е. Н. Закабунина<sup>1</sup>,  
А. В. Гончаров<sup>1</sup>***

<sup>1</sup> *Российский государственный аграрный заочный университет,  
vzv.51@bk.ru*

<sup>2</sup> *Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I, verzilina58@mail.ru*

<sup>3</sup> *Воронежский государственный педагогический университет,  
www72@bk.ru*

В статье приведены результаты многолетних стационарных исследований о роли биологического разнообразия агроэкосистем в формировании уровней биогенности и показателей биологической активности почвы агроценозов, определяющих динамику плодородия почв, условия роста и развития полевых культур возделываемых в агроценозах.

Ключевые слова: агроэкосистемы, полевые культуры, севообороты, питательные вещества, экологическая устойчивость, органическое вещество, агроценозы.

Биологическое разнообразие агроэкосистем в системе сельскохозяйственного производства в значительной степени определяется биологическими особенностями сельскохозяйственных культур, возделываемых в агроценозах, составом органического вещества, поступающего в систему с органическими удобрениями, растительными и корневыми остатками возделываемых культур, сидеральными растениями и минеральными удобрениями [1, 2].

Состав и качество органического вещества в агроэкосистемах определяют динамику биогенности почвы и показатели ее биологической активности, что оказывает определяющее влияние на формирование уровня экологической устойчивости окружающей среды, количество и качество продукции растениеводства, производимой в агроценозах [3, 4].

Исследования проводили в агроэкосистемах стационарного опыта в севообороте: предшественники озимых (чистый пар, сидеральный пар (горчица), гречиха – непаровой предшественник) – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень – озимый рапс, горчица – озимая пшеница – кукуруза на зерно – соя – ячмень. Повторность опыта трехкратная, площадь учетной делянки – 120 м<sup>2</sup>.

Анализ основных групп почвенных микроорганизмов проводили в свежих образцах почвы – 0–20; 20–30 см по методике ВНИИСХМ путем высева почвенной суспензии определенных разведений на элективные питательные среды [5]. Изучаемые варианты биологических комплексов воспроизводства плодородия почвы в стационарном опыте (табл. 1).

Таблица 1

**Комплексы воспроизводства плодородия почвы в агроэкосистемах**

Варианты	Эспарцет	Озимая пшеница	Сахарная свекла	Ячмень	Сумма по севообороту
<i>С занятым паром</i>					
1	–	N30	ППк+Соп	–	ППк+Соп+N30
2	–	(NPK)100	ППк+Соп+(NPK)100	–	ППк+Соп+(NPK)200
3	–	(NPK)100	ППк+Н+(NPK)100	–	ППк+Н+(NPK)200
4	–	(NPK)100	ППк+Соп+Н+(NPK)100	–	ППк+Соп+Н+(NPK)200
5	(NPK)50	(NPK)100	ППк+2Соп+(NPK)200	–	ППк+2Соп+(NPK)350
<i>С сидеральным паром</i>					
1	Ся	БЭу+N30	ППу+Соп	–	Ся+БЭу+ППу+Соп+N30
2	Ся	БЭу+(NPK)100	ППу+Соп+(NPK)100	–	Ся+БЭу+ППу+Соп+(NPK)200
3	Ся	БЭу+(NPK)100	ППу+Н+(NPK)100	–	Ся+БЭу+ППу+Н+(NPK)200
4	Ся	БЭу+(NPK)100	ППу+Соп+Н+(NPK)100	–	Ся+БЭу+ППу+Соп+Н+(NPK)200
5	Ся+(NPK)50	БЭу+(NPK)100	ППу+2Соп+(NPK)200	–	Ся+БЭу+ППу+2Соп+(NPK)350

*Примечание:* Ся – оставление на поле соломы ячменя; БЭу – заплата урожая биомассы эспарцета; Соп, 2 Соп – заплата одного и двух урожаев соломы озимой пшеницы соответственно; ППк, ППу – пожнивный посев редьки масличной соответственно на хозяйственные нужды и удобрение; Н – навоз 40 т/га.

При исследовании показателей биогенности комплекса почвенных микроорганизмов в агроценозах с разными комплексами биологизации установлено, что использование разного количества и качества органического вещества как отдельно, так и в сочетании с минеральными удобрениями оказывало разнонаправленное действие на процессы воспроизводства показателей почвенного плодородия, биогенность и биологическую активность почвы агроценозов (табл. 2).

Под озимой пшеницей, в фазу осеннего кушения культуры, численность микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота (на МПА) в почве контрольного варианта агроэкосистемы с сидеральным паром заметно возрастала в сравнении с другими вариантами. Это указывает на то, что в почве варианта, в течение этого периода вегетации растений озимой пшеницы, минерали-

зудается свежее, легкоразлагаемое органическое вещество сидеральной культуры (*эспарцет*), и, именно оно служит источником минерального азота, обеспечивающего высокие показатели биогенности бактериальной части комплекса почвенных микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота.

В весенний период роста и развития озимой пшеницы на динамику численности бактериальной флоры оказывали дополнительное влияние и растения культуры за счет корневой экссудации. В это время численность микроорганизмов, усваивающих органический азот, в почве по сидеральному пару была наибольшей на контрольном варианте. При весеннем отрастании озимой пшеницы, чаще всего из-за пониженных температур складываются менее благоприятные условия для размножения актиномицетов, обеспечивающих медленные темпы трансформации органического вещества.

Таблица 2

**Численность основных групп комплекса почвенных микроорганизмов под озимой пшеницей (2008–2013 гг.)**

Варианты опыта	На МПА	На КАА	Актиномицеты на КАА	Минерализаторы гумуса	Грибы	Нитрификаторы	Клетчатковые	Соотношение МПА КАА
	млн на 1г абсолютно сухой почвы				тыс. на 1г абсолютно сухой почвы			
1	<u>18,4</u> 8,57	<u>15,62</u> 18,33		<u>15,62</u> 8,81	<u>25,2</u> 10,71	<u>0,04</u> 0,38	<u>35,28</u> 33,3	<u>1,18</u> 0,47
2	<u>8,47</u> 6,29	<u>10,56</u> 14,52	<u>2,9</u> 3,87	<u>11,13</u> 7,99	<u>13,31</u> 14,52	<u>0,08</u> 0,18	<u>82,28</u> 41,14	<u>0,8</u> 0,43
3	<u>10,82</u> 8,3	<u>10,33</u> 14,88	<u>1,97</u> 4,88	<u>16,73</u> 11,71	<u>20,91</u> 20,74	<u>0,07</u> 0,07	<u>93,48</u> 34,16	<u>1,05</u> 0,56
4	<u>8,42</u> 7,99	<u>13,30</u> 7,02	<u>3,71</u> 2,42	<u>11,34</u> 6,78	<u>26,12</u> 8,47	<u>0,08</u> 0,08	<u>82,84</u> 29,04	<u>0,83</u> 1,14

*Примечание:* над чертой – фаза отрастания озимой пшеницы, под чертой перед уборкой культуры.

Перед уборкой озимой пшеницы на рост актиномицетов помимо минерализующихся органических веществ, свое влияние оказывают и растения. Численность актиномицетов в этот период увеличивается в среднем на 25–40%, а на варианте с контролем и более. Весной поступившее в почву свежее органическое вещество, богатое клетчаткой, инициирует рост целлюлозолитических микроорганизмов.

Весной различия по вариантам опыта были более заметны, нежели летом, что мы связываем с усилением экссудатного влияния растений озимой пшеницы. Внесение как легкогидролизуемой органики сидеральных культур, так и трудно разлагаемой соломы зерновых культур, вызывает интенсивный рост почвенных микроорганизмов. Чем больше поступает органического вещества в почву, тем выше численность почвенных грибов. Особенно это проявляется на вариантах с внесением минеральных удобрений, пожнивного посева сидеральных культур и соломы озимой пшеницы.

Результаты исследований основных групп микроорганизмов в почве под сахарной свеклой представлены в таблице 3.

Под сахарной свеклой, в весенний период роста и развития растений численность микроорганизмов, усваивающих органические формы азота, превосходила количество микроорганизмов, усваивающих его минеральные формы. Это связано с тем, что в этот период в почве разлагается легкогидролизуемая органика, содержащая легкодоступные формы азота, являющиеся основным источником пищи и энергии для микроорганизмов почвы (аммонификаторы).

Весной, в начальный период роста и развития растений сахарной свеклы, корневые выделения растений не оказывали заметного влияния на свойства почвы, а ведущим фактором, определяющим количество микромицетов, были внесенные в почву растительные остатки. По мере роста и развития растений сахарной свеклы возрастало влияние корневых выделений культуры на количество микромицетов. Численность почвенных грибов по вариантам опыта, как в первый, так и во второй срок определения изменялась незначительно.

Таблица 3

**Численность основных групп комплекса почвенных микроорганизмов под сахарной свеклой**

Варианты опыта	На МПА	На КАА	Акциномицеты на КАА	Минерализаторы гумуса	Грибы	Нитрификаторы	Клетчатковые	Соотношение МПА КАА
	млн на 1г абсолют. сухой почвы				тыс. на 1г абсолют. сухой почвы			
1	<u>10,21</u>	<u>14,38</u>	<u>3,94</u>	<u>14,62</u>	<u>25,52</u>	<u>0,06</u>	<u>53,36</u>	<u>0,71</u>
	3,84	18,33	5,24	8,81	10,71	0,38	33,3	0,47
2	<u>8,78</u>	<u>8,78</u>	<u>1,95</u>	<u>15,13</u>	<u>26,84</u>	<u>0,05</u>	<u>97,6</u>	<u>1</u>
	6,84	14,4	4,72	7,96	22,42	0,09	33	0,48
3	<u>8,73</u>	<u>10,62</u>	<u>3,30</u>	<u>15,34</u>	<u>20,06</u>	<u>0,06</u>	<u>59,0</u>	<u>0,82</u>
	6,0	14,64	4,56	6,0	19,2	0,05	50,4	0,41
4	<u>5,45</u>	<u>14,12</u>	<u>3,96</u>	<u>14,37</u>	<u>21,24</u>	<u>0,12</u>	<u>116,47</u>	<u>0,39</u>
	5,15	13,22	4,91	4,91	14,04	0,07	41,77	0,39

*Примечание:* над чертой – фаза всходов сахарной свеклы, под чертой – перед уборкой культуры.

Применение минеральных удобрений не оказывало заметного влияния на численность акциномицетов, а количество целлюлозолитических микроорганизмов в почве изучаемых вариантов зависело от состава органического вещества.

Результаты исследований основных групп микроорганизмов в почве под ячменем представлены в таблице 4.

Ячмень является четвертой культурой в севообороте и к моменту его посева в почве накапливается довольно большое количество легкогидролизуемой органики.

К этому времени интенсивно разлагается солома озимой пшеницы, а также растительные остатки сахарной свеклы и сидеральных культур. Все это ускоряет рост численности микроорганизмов, усваивающих органические и ми-

неральные формы азота. Однако к концу вегетации их численность снижается, так как в это время легкогидролизуемая органика сидерального пара в почве в значительной степени разложилась. Минерализация внесенных органических удобрений под ячменем протекала достаточно интенсивно в течение всего периода вегетации, о чем свидетельствует размножение микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота.

Таблица 4

**Численность основных групп комплекса почвенных микроорганизмов под ячменем**

Варианты опыта	На МПА	На КАА	Актиномицеты на КАА	Минерализаторы гумуса	Грибы	Нитрификаторы	Клетчатковые	Соотношение МПА КАА
	млн на 1г абсолют. сухой почвы				тыс. на 1г абсолют. сухой почвы			
1	<u>8,53</u>	<u>12,91</u>	<u>2,68</u>	<u>13,51</u>	<u>16,24</u>	<u>0,16</u>	<u>70,64</u>	<u>0,66</u>
	4,68	15,68	4,67	7,86	17,55	0,08	56,51	0,3
2	<u>10,2</u>	<u>11,99</u>	<u>2,0</u>	<u>16,49</u>	<u>26,18</u>	<u>0,26</u>	<u>42,48</u>	<u>0,85</u>
	3,98	9,56	1,99	15,29	20,01	0,09	38,07	0,42
3	<u>9,58</u>	<u>10,08</u>	<u>2,0</u>	<u>16,88</u>	<u>15,6</u>	<u>0,18</u>	<u>47,88</u>	<u>0,95</u>
	8,21	8,07	1,95	15,95	14,1	0,09	39,15	1,02
4	<u>8,34</u>	<u>11,35</u>	<u>2,26</u>	<u>15,61</u>	<u>17,22</u>	<u>0,14</u>	<u>82,35</u>	<u>0,73</u>
	7,96	12,36	1,98	14,97	15,15	0,08	65,04	0,64

*Примечание:* над чертой – фаза всходы ячменя, под чертой – фаза перед уборкой ячменя.

Численность актиномицетов в почве под ячменем была самой низкой по сравнению с остальными культурами севооборота. Весной, когда растения не оказывали заметного влияния на почву, выделяется вариант (СП+N30), где количество актиномицетов превышало остальные варианты. Перед уборкой культуры численность этой группы микроорганизмов снижалась, что указывает на роль вегетирующих растений культуры.

Сравнение приведенных данных по изучаемым вариантам использования комплексов воспроизводства плодородия почвы под всеми культурами агроэкосистем показывает, что численность основных физиологических групп почвенных микроорганизмов была выше на вариантах без внесения соломы. Это указывает на то, что чрезмерное внесение трудноразлагаемой органики на фоне больших доз минеральных удобрений сдвигает показатели биогенности почвы в части сокращения отдельных групп микроорганизмов.

Динамика биогенности почвы в течение периода вегетации возделываемых культур, а также ее проявление по годам исследований указывает на разные темпы разложения различных органических соединений. При этом некоторые группы микроорганизмов увеличивают свою активность под действием разных приемов биологизации в разные фазы роста и развития растений возделываемых культур.

Из всего сказанного можно заключить, что дополнительное использование органического вещества разного количества и качества с применением ми-

неральных удобрений как порознь, так и в совокупности, повышает биогенность почвы агроценозов как базовую основу процессов воспроизводства почвенного плодородия и роста экологической устойчивости агроэкосистем.

#### **Библиографический список**

1. Верзилин В. В. Биологические факторы воспроизводства плодородия черноземов в агроценозах лесостепи ЦЧР : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01, 06.01.03. Курск, 2004. 57 с.
2. Семенов В. М. Количественная оценка процессов азотного цикла при внесении возрастающих доз азотных удобрений // Агрохимия. 1992. № 5. С. 3–10.
3. Тюрин И. В. Органическое вещество почв. М. : Изд-во Колос, 1937. 288 с.
4. Бурков Н. А. Прикладная экология. Киров : Изд-во «Вятка», 2005. 272 с.
5. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М. : Изд-во Колос, 1979. 109 с.

### **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТХОДАМИ СВИНОВОДСТВА**

***В. В. Рутман, Н. В. Сырчина***

*Вятский государственный университет, rutman.slavik@yandex.ru*

В статье представлен опыт применения методов дистанционного зондирования для выявления территорий, загрязненных отходами животноводства. Показано, что дистанционное зондирование с помощью космоснимков является перспективным инструментом экологического мониторинга территорий, расположенных вблизи свиноводческих предприятий.

Ключевые слова: навоз, дистанционное зондирование Земли, мониторинг, загрязнение, удобрение, почва, растительность.

Защита окружающей среды от загрязнения является основным направлением экологической политики современной России. Практическая реализация данного направления в условиях интенсификации промышленного и сельскохозяйственного производства представляет сложнейшую задачу. От того, насколько успешно будет решена соответствующая задача, зависит принципиальная возможность перехода к устойчивому типу развития экономики [1]. Наиболее масштабное воздействие на окружающую среду оказывает современное сельское хозяйство. Оценить реальные масштабы воздействия сельского хозяйства на экологию можно только в процессе систематического и целенаправленного мониторинга. Экологический мониторинг позволяет получать необходимую информацию как об актуальном состоянии окружающей среды, так и о направлениях трансформации этой среды под воздействием различных, в том числе антропогенных факторов. К эффективным инструментам, используемым в общей системе мониторинговых мероприятий, относятся геоинформационные технологии (ГИС), позволяющие обрабатывать большие массивы цифровых

данных, получаемых из разных источников (картографические материалы, данные дистанционного зондирования, материалы полевых изысканий территории, статистические данные, данные стационарных измерительных постов наблюдений и др.) [2].

Дистанционное зондирование Земли по спутниковым снимкам применяется уже достаточно давно. В сельском хозяйстве этот метод успешно используется для контроля влажности почвы, обеспеченности растений элементами питания, выявления неиспользуемых земель и т.п. Космическая съемка по сравнению с другими методами, обладает рядом преимуществ. Все необходимые для проведения мониторинга данные находятся в открытом доступе. Информация, полученная при анализе космических снимков, может считаться объективной и достоверной, отображающей действительную картину состояния природных объектов, в том числе состояние растительности. Спутниковые системы дистанционного зондирования Земли осуществляют съемку территорий с высоким разрешением, а также определенной периодичностью и частотой, что позволяет вести длительный мониторинг выбранного объекта. Данные космической съемки совместимы со всем необходимым программно-аппаратным комплексом для их изучения и не требуют дополнительной обработки. Один космический снимок может покрывать достаточно обширную территорию и охватывать множество интересующих наблюдателя объектов [3]. К недостаткам космической съемки можно отнести зависимость от метеоусловий и потребность в больших объемах цифровой памяти для хранения собранных данных.

Цель настоящей работы состояла в изучении возможности и перспектив применения ГИС-технологий для выявления загрязнения окружающей среды свиноводческими предприятиями.

Выбор объекта исследования был обусловлен большим количеством отходов, образующимся при выращивании животных, и неизбежным переносом этих отходов в окружающую среду.

Наращивание объемов производства свинины входит в число приоритетных направлений отечественного животноводства. Практика показывает, что снизить себестоимость производства и обеспечить высокие экономические показатели соответствующей отрасли можно только в условиях крупного промышленного производства. Ввод в эксплуатацию новых высокопроизводительных свинокомплексов, а также модернизация и расширение действующих приводит к концентрации огромного поголовья животных на ограниченных площадях. Основным отходом свиноводства являются навозные стоки. Согласно [4], средняя масса экскрементов, образующихся на свиноводческих фермах и комплексах с законченным циклом производства составляет 4,5 кг на одну голову (исключая поросят-сосунов). Расчетная влажность экскрементов при этом принимается равной 88%. Если учесть, что навоз в период накопления и удаления разбавляется водой, то масса образующихся навозных стоков увеличивается. Так, при расчете на влажность 97%, принимаемый норматив образования стоков должен составить 13,5 кг на одну голову. То есть на крупном свинокомплексе на 100 тыс. голов будет в сутки образовываться 1350 тонн навозных стоков (отход 3-го класса опасности). За год эта цифра достигает 492750 тонн.

Основным направлением утилизации навозных стоков является их использование в качестве органических удобрений. Переработанный в органические удобрения навоз вывозится на собственные поля предприятия. Допустимая норма внесения навозных стоков на неорошаемых полях составляет 200 кг/га, на орошаемых – 300 кг/га (по азоту). То есть на каждый гектар пашни может быть внесено до 200 и более тонн навозных стоков. Большие объемы образующегося навоза существенно затрудняют возможность его внесения в почву в соответствии с регламентом и в оптимальные для запахивания сроки, поэтому определенная часть навоза вывозится на поля в зимнее время, что повышает опасность загрязнения окружающей среды [5]. Навозные стоки смываются с полей талыми водами и могут попасть в водоемы или распространиться на прилегающих к удобряемым полям территориях.

Загрязнение территории свиным навозом непосредственно отражается на состоянии растительного покрова, что может быть выявлено методом дистанционного зондирования по спутниковым снимкам. Сочетания различных каналов спутниковой съемки позволяют получить представление о типе и состоянии растительности на изучаемой территории. Умеренное загрязнение территории навозом приводит к увеличению биомассы растений. Чрезмерное загрязнение почвы свежим навозом ухудшает состояние растительного покрова.

Для дистанционного исследования растительности используется сочетание красного и ближнего инфракрасного каналов космической съемки. Это связано со способностью поглощения и отражения солнечного света хлорофиллом растений.

Для оценки видового состава растений используются различные вегетационные индексы. Самый распространенный – разностный (дифференцированный) вегетационный индекс NDVI. Для наземной растительности соответствующий индекс принимает положительные значения. Чем выше индекс, тем интенсивнее зелень. На значения индекса влияет и видовой состав растительности, сомкнутость, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под растительностью [3]. Прослеживая показатель колебания NDVI на изучаемой территории и сравнивая его с другими территориальными объектами, можно сделать вывод об изменении видового состава растительного покрова и биомассы растений. Резкое понижение, а затем повышение этого показателя относительно других территорий свидетельствует о поступлении высокой дозы навоза в почву.

Для проведения экспериментальных исследований с использованием ГИС-технологий для выявления загрязнения почвы и водоемов свиным навозом была выбрана территория вблизи г. Кирова, на которой сосредоточены крупные свинокомплексы. Для исследования использовались космические снимки спутника Sentinel-2, с пространственным разрешением 10 м и облачностью менее 10%. Снимки территории были сделаны с мая по сентябрь 2017–2019 гг. Для изучаемой территории был рассчитан индекс NDVI. По результатам исследования карт NDVI, были выявлены участки как со стабильно высоким показателем индекса, так и с изменяющимся в один и тот же период в разные годы. Стабильно высокий индекс NDVI был обнаружен на некоторых участках, расположенных вблизи пахотных полей, на которые вносился свиной навоз. Характер-

ный для загрязненных навозом территорий индекс NDVI был установлен и по берегам малых рек, протекающих вблизи свинокомплексов.

Анализ космоснимков позволил выявить участки нераспаханных земель, на которые предположительно сбрасывался свиной навоз. Выявленные в процессе дистанционного зондирования данные сопоставлялись с результатами полевых исследований. Совпадение результатов полевых исследований и дистанционного зондирования свидетельствовало о достоверности полученных при анализе космоснимков данных.

В местах непосредственного сброса навоза отмечалось угнетение растительности, а на прилегающих территориях – активный рост. Выявленные участки сброса навоза не распахивались, что позволяло проследить воздействие соответствующего отхода на экосистемы, включая видовой состав растительности и сукцессионные ряды. На рисунке приведены значения индекса NDVI для космоснимков территории, расположенной вблизи свинокомплекса. Стрелками обозначены участки, загрязненные навозом.



Рис. Значения NDVI для космоснимков территории, расположенной вблизи свинокомплекса. Черные пятна – значения индекса, превышающие 0,8 (интенсивная растительность). Стрелками показаны места сброса навозных масс

Таким образом, дистанционное зондирование Земли с использованием космоснимков позволяет получить важную информацию о состоянии растительного покрова на территориях, расположенных вблизи крупных животноводческих предприятий, и выявить вероятные участки загрязнения территории отходами животноводства.

Для повышения надежности полученных данных требуется вести длительное дистанционное наблюдение за территориями, сравнение и анализ многолетних данных, использование других вегетационных индексов и комбинаций каналов и проведение аэросъемки.

#### **Библиографический список**

1. Лепихин В. В. Роль мониторинга в экологизации экономической деятельности // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 6 (часть 5). С. 983–986.
2. Краев Д. А. Экологический мониторинг и использование Web-ГИС технологий // *ОНВ*. 2012. № 2 (114). С. 196–199.
3. Жуков В. Д. Методы дистанционного зондирования в землеустройстве : учеб. пособие. Краснодар : КубГАУ, 2016. 90 с.
4. РД-АПК 1.10.15.02-17 Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета
5. Свиначев И. Ю., Михайлова И. Н. Экологические аспекты хранения свиного навоза // *Научный журнал КубГАУ - Scientific Journal of KubSAU*. 2013. № 91. С. 1147–1156.

### **ТОРФА КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

*И. А. Десятков, Н. В. Сырчина*

*Вятский государственный университет, ivan109292@gmail.com*

В статье приведены результаты химического анализа торфа крупнейших месторождений Кировской области. Согласно полученным данным, перспективным направлением использования вятских торфов может стать их переработка в питательные грунты, органоминеральные удобрения, почвенные мелиоранты и другие продукты, востребованные в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: торф, полезные ископаемые Кировской области, питательные торфогрунты, химический состав торфа.

В Российской Федерации болота и заболоченные земли с наличием торфа занимают 21% территории. Ресурсы торфа размещены на 57,4 тыс. месторождений с общей площадью 50,8 млн га и оцениваются по различным источникам до 170 млрд т, при этом хозяйственной ценностью обладает только часть ресурсов – не более 25–30%, исключая мерзлые, засоленные, мелкие, охраняемые, удаленные месторождения [1, 2]. Ежегодный прирост запасов торфа в РФ достигает 100 млн т. Основными сферами применения торфа являются топливная энергетика и сельское хозяйство, причем в сельскохозяйственных организациях России используется менее 1 млн т/год этого полезного ископаемого.

Агрономическая ценность торфа во многом определяется его органической частью, которая состоит из растительных остатков и продуктов их преобразования. Особую агрохимическую ценность представляют гуминовые вещества. В настоящее время проблема создания положительного баланса гумуса в почве становится одной из наиболее важных в отечественном земледелии. За

последние десятилетия содержание гумуса в почвах РФ снизилось в среднем на 20%. Ежегодные потери гуминовых веществ достигают 0,58 т/га [3]. Внесение торфа в агроземы в качестве источника гумуса могло бы иметь большое природоохранное и почвосберегающее значение.

Торф, по сравнению с традиционными органическими удобрениями (навоз животных, помет птиц), имеет ряд преимуществ: микробиологическая и химическая безопасность, наличие гуминовых веществ, отсутствие неприятного запаха, устойчивость к процессам гниения, совместимость с минеральными удобрениями. Торф не представляет опасности для окружающей среды. Использование торфа в производстве не требует соблюдения особых правил санитарной безопасности, кроме того, это полезное ископаемое является возобновляемым ресурсом – развитие болот и накопление торфа происходит постоянно, поэтому рациональное использование торфяных залежей позволит достичь большого экономического эффекта при минимизации ущерба естественным экосистемам.

Крупнейшим торфодобывающим регионом РФ является Кировская область. Балансом запасов на территории области учтены 633 месторождения торфа, из которых 466 подлежат разработке. В распределенном фонде недр находятся 9 торфяных месторождений с промышленными запасами 158,2 млн тонн. К наиболее крупным месторождениям с запасами категории А относятся Дымное (Верхнекамский район) – 94975 тыс. т, Лычное (Верхнекамский район) – 21973 тыс. т, Пищальское (Оричевский и Котельничский районы) – 11928 тыс. т [4]. Добыча торфа на соответствующих месторождениях осуществляется крупнейшей в РФ торфодобывающей компанией – АО «ВяткаТорф». Объем добычи на производственных участках «ВяткаТорф» достигает 500 тыс. т торфа натуральной влажности. Расчетные мощности предприятия позволяют увеличить эту цифру в несколько раз. Площадь активно эксплуатируемой части используемых месторождений составляет 2500 га. Основным рынком сбыта готовой продукции является большая энергетика Кировской области, а также муниципальные котельные. Вместе с тем, газификация территории РФ и переход энергетического комплекса на использование газа, привели к существенному падению спроса на торф. В настоящее время торф как топливно-энергетический ресурс востребован только для прохождения зимних максимумов тепловой нагрузки ТЭЦ, либо в качестве топлива для котельных отдаленных районов, газификация которых нерентабельна. Резкое сокращение рынка сбыта добываемого в области торфа повышает актуальность исследований, направленных на поиск новых направлений применения этого полезного ископаемого.

В современном сельскохозяйственном производстве торф является основным материалом для изготовления экологически безопасных торфяных субстратов. Активное развитие тепличных хозяйств и ориентация на органическое земледелие приводит к повышению спроса на соответствующую продукцию. Ежегодное увеличение спроса на торфяные субстраты в РФ находится на уровне 3%, а в Азиатско-Тихоокеанском регионе достигает 10 %. Большой интерес к экологически чистым торфяным субстратам проявляют такие страны, как Китай, Казахстан, Узбекистан, Корея, Япония.

Цель настоящего исследования состояла в выявлении особенностей торфа крупнейших месторождений Кировской области для определения перспектив использования этого полезного ископаемого в сельском хозяйстве.

В качестве объектов исследования были использованы образцы фрезерного торфа естественной влажности, отобранные на производственных участках Гороховский, Дымный, Каринский, Пищальский. Добыча торфа на данных участках производится компанией АО «ВяткаТорф». Схема расположения участков приведена на рисунке.

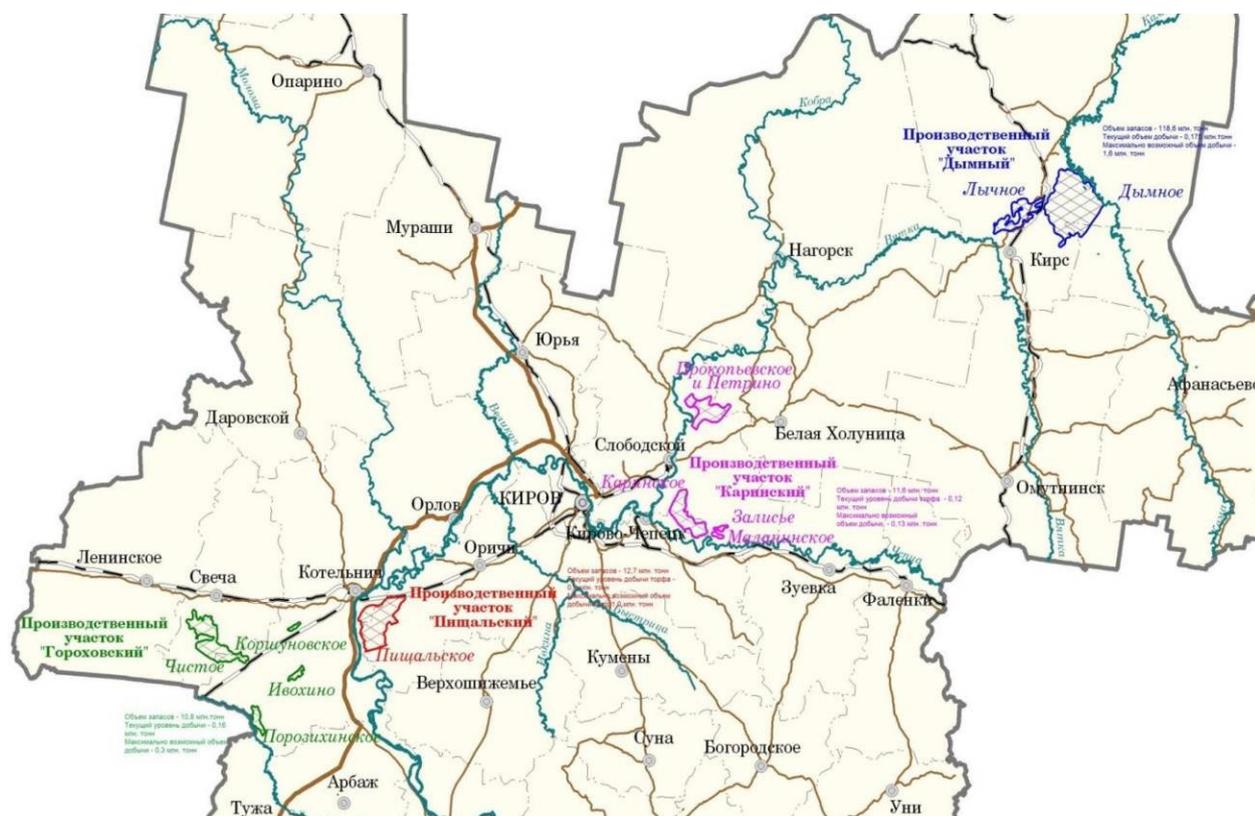


Рис. Схема размещения производственных участков АО «ВяткаТорф»

Определение С, Н и N в торфе выполнялось по ГОСТ 32979-2014; определение S – по ГОСТ 8606-2015; зольность – по ГОСТ 11306-2013; химический состав золы – по ГОСТ Р 54237-2010; гуминовые вещества – по методу Тюрина (модификация М. М. Кононовой и Н. П. Бельчиковой).

В таблице 1 приведены данные об элементном составе органического вещества изученных образцов торфа.

Согласно приведенным данным, торфа участков Каринский и Пищальский имеют повышенную зольность, а торфа участков Гороховский и Дымный - нормальную. Наличие в торфе соединений кальция, магния, калия, фосфора повышает его питательную ценность. Каринский торф превосходит Пищальский по содержанию Са и Mg, но уступает ему по содержанию К и Р (табл. 2). Отношение С/Н характеризует степень обогащенности органического вещества торфа азотом. Данный показатель указывает на биохимическую устойчивость органических веществ торфа. При С/Н более 14 торфяные почвы имеют низкую

биохимической устойчивостью [5]. Согласно результатам исследований, наименьшее значение C/N характерно для торфа Пищальского участка.

Таблица 1

**Химический состав торфа основных разрабатываемых месторождений Кировской области**

Производственный участок	Содержание, %						Отношение C/N
	Зола	S	C	H	N	O	
Гороховский	6,00	0,39	58,92	5,78	1,62	27,29	36,3
Дымный	8,13	0,45	56,65	5,85	2,62	26,30	21,6
Каринский	12,77	0,50	50,94	5,09	2,29	28,41	22,2
Пищальский	13,67	0,55	50,19	5,27	2,89	27,43	17,3

В таблице 2 приведены данные о составе золы торфа различных производственных участков.

Таблица 2

**Элементный состав минеральной части торфа**

Производственный участок	Содержание, %									
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>
Гороховский	57,15	0,58	12,36	6,13	9,95	1,32	1,54	0,77	1,54	7,13
Дымный	47,59	0,45	18,96	20,84	4,88	0,62	1,22	0,38	4,02	0,55
Каринский	30,92	0,37	8,27	8,33	31,14	4,30	0,56	0,23	1,80	11,98
Пищальский	31,97	0,34	10,13	23,42	18,24	1,14	0,71	0,30	2,65	8,95

Приведенные данные показывают, что торфа различных производственных участков характеризуются весьма разнообразным микроэлементным составом. Наибольшее содержание железа выявлено в торфе участков Дымный и Пищальский. Для торфа участка Дымный характерно не только высокое содержание железа, но и повышенное содержание фосфора и калия, что может быть обусловлено геохимическими особенностями территории залегания соответствующего полезного ископаемого (участок Дымный расположен вблизи Верхнекамского фосфоритоносного бассейна). Содержание серы в золе торфа этого участка самое низкое.

Особенностью торфа участка Каринский является высокое содержание кальция, магния и серы. Данные особенности также обусловлены геохимической спецификой территории, т.е. наличием месторождений известняка и гипса, залегающих вблизи разрабатываемых торфяников. Для минеральной части торфа участка Гороховский характерно низкое содержание железа и относительно высокое содержание кремния и калия.

Данные о содержании в торфах гуминовых веществ приведены в таблице 3.

Наиболее богаты гуминовыми веществами торфа участков Гороховский и Дымный. По содержанию гумуса торф Каринского участка можно отнести к слаборазложившимся, а торфа остальных участков – к умеренноразложившимся. Содержание гуминовых веществ в торфах положительно коррелирует с содержанием углерода ( $R = 0,84$ ) и водорода ( $R = 0,96$ ) и отрицательно – с содержанием золы ( $R = -0,82$ ) и кислорода ( $R = -0,88$ ). Наиболее богаты гуминовыми

веществами торфа участков Дымный и Гороховский, однако содержание фульвокистот в торфе участка Гороховский несколько выше.

Таблица 3

**Содержание гуминовых веществ**

Производственный участок	Содержание, %	
	Гуминовые вещества	Фульвокислоты
Гороховский	5,6	3,2
Дымный	5,6	3,0
Каринский	2,7	0,45
Пищальский	4,2	2,5

Следует отметить, что даже в пределах одного производственного участка залежи торфа весьма неоднородны. В таблице 4 приведены данные, характеризующие свойства образцов торфа разной степени разложения, отобранных в пределах одного производственного участка (Пищальский). Залежь месторождения относится к низинному типу и представлена древесно-осоковым и многослойным лесотопяным видами.

Таблица 4

**Свойства образцов торфа производственного участка Пищальский**

Место отбора пробы	Тип торфа	Степень разложения, %	Зольность	Содержание водорастворимых солей, г/дм <sup>3</sup> торфа*	pH КС1
Поле 58, карты 28, 29	Верховой	20	4,3	0,34	2,4
Поле 58, карты 26, 27	Верховой	20	3,9	0,25	2,4
Поле 54, карты 42, 43	Верховой	5	6,7	0,46	2,4
Поле 57, карты 19, 20	Низинный	30	–	0,56	3,7
Поле 57, карты 23, 24	Переходный	30,3	–	0,29	3,3
Поле 56, карты 23–25	Переходный, верховой	25	–	0,40	2,8

*Примечание:* \* 10 см<sup>3</sup> торфа соответствуют 1 г абсолютно сухого вещества.

Из приведенных в таблице 4 данных видно, что в пределах производственного участка Пищальский залегают торфа различного типа и разной степени разложения. По показателю «зольность» торф данного участка соответствует требованиям ГОСТ Р 51661.1-2000 «Торф для приготовления компостов», по показателю «рН<sub>КС1</sub>» ГОСТУ соответствуют низинные и переходные торфа.

Аналогичная картина наблюдается и на других производственных участках, при этом наиболее кислые торфа залегают на производственном участке «Гороховский», а наибольшее содержание водорастворимых солей характерно для торфов участка «Каринский».

*Выводы.* Разнообразие торфов, добываемых на территории Кировской области, позволяет использовать их для производства широкого ассортимента продукции сельскохозяйственного назначения, включая торфяные субстраты, грунты, почвосмеси, компосты, органоминеральные удобрения. Основными потребителями соответствующей продукции могут быть тепличные хозяйства, питомники растений и прочие сельскохозяйственные предприятия. Для перера-

ботки торфа в востребованные на рынке продукты необходимо строительство специализированного завода. Высокое качество и экологическая безопасность вятских торфов позволит поставлять продукцию завода не только отечественным потребителям, но и импортировать ее за рубеж.

#### **Библиографический список**

1. Панов В. В., Мисников О. С. Современные тенденции развития торфяной отрасли России // Труды Инсторфа. 2015. № 11 (64). С. 3–12.
2. Еськов А. И., Лукин С. М., Анисимова Т. Ю. Результаты и перспективы исследований ГНУ ВНИИОУ по использованию торфа в земледелии // Инновационные технологии использования торфа в сельском хозяйстве : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. М. : Россельхозакадемия ГНУ ВНИИОУ, 2010. С. 4–16.
3. Бондаренко А. М. Механико-технологические основы процессов производства и использования высококачественных органических удобрений: монография. Зерноград : ВНИПТИМЭСХ, 2001. 289 с.
4. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2018 году: Региональный доклад. Киров : Министерство охраны окружающей среды Кировской области, 2019. С. 96.
5. Оценка органического вещества западносибирских торфов / Л. И. Инишева, С. Г. Маслов, Т. В. Дементьева, Е. В. Порохина, В. А. Дырин // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 1 (29). С. 36–43.

### **ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ВЕРХНЕКАМСКОГО ФОСФОРИТНОГО РУДНИКА В ОРГАНИЧЕСКОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ**

*А. Г. Торская<sup>1</sup>, Д. Б. Гуров<sup>1</sup>, Н. В. Сырчина<sup>2</sup>, Н. Н. Богатырёва<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ООО «Химинвест», [anna.torskaya@cheminvest.org](mailto:anna.torskaya@cheminvest.org)

<sup>2</sup> Вятский государственный университет, [nvms1956@mail.ru](mailto:nvms1956@mail.ru)

Хвосты обогащения (эфеля) Верхнекамского фосфоритного рудника характеризуются относительно высоким содержанием доступных для растений форм фосфора, калия и микроэлементов, а также низким содержанием экотоксичных элементов. Эфеля являются уникальным сырьем для производства натуральных фосфорно-калийных удобрений, пригодных для органического земледелия и восстановления плодородия поч.

Ключевые слова: Верхнекамский фосфоритный рудник, хвосты обогащения, органическое земледелие, натуральные минеральные удобрения.

В последние десятилетия наблюдается возрастающий интерес к производству экологически безопасных продуктов питания. Производство органических продуктов возможно только на основе экологически чистого продовольственного сырья, получаемого в условиях особых систем ведения сельского хозяйства. К таким системам относится органическое земледелие [1]. Российские аграрии имеют хороший потенциал для внедрения этого перспективного направления в практику. С 1 января 2020 г. вступает в силу Федеральный закон «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законода-

тельные акты Российской Федерации» от 03.08.2018 N 280-ФЗ, который регулирует отношения, связанные с производством, хранением, транспортировкой, маркировкой и реализацией органической продукции. Соответствующий закон существенно ограничивает спектр агропрепаратов, разрешенных для применения в органическом земледелии (ОЗ). В соответствии с законом, традиционные формы минеральных удобрений, получаемых методом химической переработки исходного сырья, в ОЗ использовать запрещено. Ассортимент разрешенных минеральных удобрений крайне ограничен, то есть на настоящем этапе как российские, так и зарубежные производители органических продуктов неизбежно сталкиваются с проблемой обеспечения плодородия почв. В связи с этим, поиск натуральных экологически безопасных удобрений для ОЗ приобретает особое значение.

Цель настоящей работы состояла в изучении возможности и перспектив применения хвостов обогащения Верхнекамского фосфоритного рудника в качестве удобрений для органического земледелия.

Хвосты обогащения (эфеля) являются отходом обогащения желваковых фосфоритов. Обогащение добываемой руды на протяжении всей истории освоения Вятско-Камского месторождения осуществлялось на Верхнекамском фосфоритном руднике. Технология обогащения включала стадии промывки и грохочения, при этом крупные фракции фосфоритов (+1,0 мм, а позднее +0,3 мм) извлекались в концентрат, а более мелкие сбрасывались в хвосты. Обогащенная фракция размалывалась в фосфоритную муку, которая и являлась основным товарным продуктом рудника. Добычные работы на месторождении осуществлялись с 1917 по 2002 гг. включительно. В 2003 г. разработка месторождения была прекращена, а добывающее предприятие – ОАО «Верхнекамский фосфоритный рудник» было признано банкротом. В период с 1980 по 2002 гг. на территории хвостохранилища, расположенного вблизи пос. Рудничный, было накоплено более 20 млн т эфелей, представляющих собой мелко и тонкозернистые кварцево-глауконитовые пески, включающие фосфориты мелких фракций. Как фосфориты, так и глаукониты, входящие в состав эфелей, представляют интерес для сельского хозяйства.

Отбор образцов эфеля для проведения исследований осуществлялся на территории действующего хвостохранилища. Всего было отобрано и проанализировано 40 образцов. Для определения минералогического состава использовался рентгенофазный анализ, а также микроскопическое исследование образцов с идентификацией минералов на основании морфологических признаков. Для определения химического состава применялись атомно-эмиссионный и масс-спектральный методы анализа. Оценка насыпной, объемной и истинной плотности проводилась в соответствии с ГОСТ 32721-2014 и ГОСТ 8735-88; определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов – по ГОСТ 30108-94. Оценка влияния эфелей на химический состав почв проводилась в лабораторных условиях.

В результате исследований установлено, что в состав эфелей входят такие минералы, как кварц, кальцит, глауконит, фосфат, небольшое количество органического вещества, сидерит, магнетит, барит, гипс и гидрослюды (типа иллита

и шилкинита). Фосфат относится к фторкарбонатапатитам (ближе всего к франколиту  $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6(\text{F}_2, [\text{OH}]_2, \text{CO}_3, \text{O})$  с содержанием  $\text{P}_2\text{O}_5$  около 30–35%). Общая радиоактивность отобранных образцов не превышает 277 Бк/кг. Насыпная плотность эфелей варьирует от 1580 до 1690 кг/м<sup>3</sup>; объемная – от 2260 до 2330 кг/м<sup>3</sup>; истинная – от 2750 до 2870 кг/м<sup>3</sup>.

Соотношение минералов в пробах эфеля, отобранных с разных участков хвостохранилища, изменяется в широких пределах. В таблице 1 приведены сведения о минералогическом составе эфелей.

Таблица 1

**Минералогический состав эфелей Верхнекамского фосфоритного рудника**

Минерал	Содержание, об.%	Минерал	Содержание, об.%
Франколит	9,1–21,8	Гидроксиды Fe	7,1–8,9
Глина	9,5–19,9	Гидрослюда	5,6–6,6
Глауконит	72,6–30,3	Кварц	7,5–10,1
Гипс	2,6–7,1	Магнетит	до 0,2
Барит	0,2–1,0	Палеоостаток	1,6–3,7
Кальцит	3,5–6,5	Растительные остатки	0,1–1,0

Агрохимическую ценность представляют франколит (источник фосфора), глауконит (источник калия, микроэлементов, почвенный мелиорант, активатор почвенной микрофлоры), гипс (источник серы), кальцит (источник кальция). Глинистые компоненты в эфелях в основном представлены глауконитом, т.е. их наличие в сырье не следует рассматривать в качестве бесполезного балласта. Общее содержание агрохимически незначимых компонентов в эфелях не превышает 10–15%.

В таблице 2 приведены данные, характеризующие химический состав верхнекамских эфелей.

Таблица 2

**Химический состав хвостов обогащения**

Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %
$\text{Na}_2\text{O}$	0,2–0,4	$\text{K}_2\text{O}$	2,8–4,5
$\text{MgO}$	1,8–2,0	$\text{CaO}$	9,6–22,9
$\text{Al}_2\text{O}_3$	5,3–8,6	$\text{TiO}_2$	0,11–0,21
$\text{P}_2\text{O}_5$	5,4–10,5	$\text{MnO}$	0,071–0,5
$S_{\text{общ}}$	1,0–1,4	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	10,7–13,5
F	1,8–1,9	$\text{FeO}$	1,0–1,2
$\text{CO}_2$	2,4–2,5	$\text{SiO}_2$	35,6–36,3

Согласно приведенным данным, для эфелей характерно достаточно высокое содержание фосфора и калия, причем, как фосфор, так и калий находятся в достаточно доступных для растений состояниях. Биодоступность калия обусловлена тем, что этот элемент входит в состав глауконитов в подвижной обменной форме [2]. Подвижность фосфора является следствием невысокого содержания фтора. Известно, что в фосфоритах большинства других месторождений содержание F достигает 3–6%, что приводит к закреплению фосфора в форме практически нерастворимых в почвах фторапатитов ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ ) [3].

В таблице 3 приведены данные о содержании в эфелях тяжелых металлов и мышьяка в сравнении с содержанием соответствующих элементов в фосфорных удобрениях.

Таблица 3

**Содержание в хвостах обогащения тяжелых металлов и мышьяка**

Компонент	Содержание, мкг/г	
	Хвосты обогащения	Фосфорные удобрения [4]
V	129	2–1600
Ni	78,6	7–38
As	37,9	2–1200
Th	11,6	данные отсутствуют
U	9,1	30–300
Hg	менее 0,005	0,01–1,2
Cd	0,18	0,1–170
Pb	14,2	7–225
Cu	6,5	1–300
Zn	110	50–1450
Se	до 4,0	данные отсутствуют
Mo	1,5	0,1–60
Co	75,2	1–12
Cr	171	66–245

Приведенные данные свидетельствуют о том, что хвосты обогащения Верхнекамского фосфоритного рудника не представляют опасности в плане загрязнения окружающей среды токсичными элементами. Особенно большое значение имеет низкое содержание в эфелях такого экотоксиканта, как кадмий (Cd). Проблема кадмиевого загрязнения агроземов приобретает в настоящее время особую остроту. В органическом земледелии разрешено в качестве фосфорных удобрений использовать только природные фосфаты с содержанием Cd не выше 90 мг на кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Низкое содержание Cd и других токсичных элементов является важным преимуществом верхнекамских эфелей по сравнению с другими фосфорными удобрениями.

Большое агрохимическое значение имеет и наличие в эфелях такого микроэлемента, как кобальт (Co). Более 90% пахотных земель РФ характеризуется недостаточным содержанием подвижного кобальта [5]. В растениях Co оказывает положительное влияние на фотосинтез, активизирует ферменты белкового обмена, способствует процессам фиксации атмосферного азота клубеньковыми бактериями. Благодаря деятельности азотофиксирующих бактерий почвы обогащаются азотом. Накопление аммонийного и нитратного азота в почвах при внесении в них глауконита доказано экспериментальными исследованиями [6, 7].

Для изучения влияния эфелей на свойства почвы использовались образцы грунта (агрозема), отобранные с глубины 5–20 см на пахотном поле вблизи г. Кирова. Грунт высушивали на воздухе до постоянной массы и просеивали через металлическое сито, с размером ячеек 2x2 мм. Навески грунта массой 1,0 кг помещали в открытые пластиковые контейнеры. Высота слоя грунта в контейнере составляла 8 см. Грунт увлажнялся дистиллированной водой до влажности

60%. Содержание влаги в ходе эксперимента поддерживалось на постоянном уровне. Эксперимент проводился в 3-х повторностях при температуре 20–23 °С в течение 10 недель. Полученные результаты подвергались статистической обработке в программе «Microsoft Excel».

Варианты эксперимента:

№ 1 – контрольный образец (агрозем без добавок);

№ 2 – грунт + эфеля (0,5% от массы грунта).

Полученные в ходе эксперимента результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4

#### Влияние эфеля на свойства грунта

Показатель	Значение			
	Контроль (вариант 1)		Грунт+эфеля (вариант 2)	
	1 неделя	10 неделя	1 неделя	10 неделя
pH <sub>KCl</sub>	4,5±0,1	3,5±0,1	4,6±0,1	5,0±0,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> подви, мг/кг	180±36	219±44	354±70	227±45
K <sub>2</sub> O подви, мг/кг	176±26	178±26	180±27	192±28
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/кг	42,7±1,1	38,0±4,2	42,4±1,2	56,4±3,7
Каталазная активность, мл O <sub>2</sub> за 1 мин	1,9±0,2	1,4±0,1	1,6±0,2	2,2±0,4

В результате эксперимента установлено: выдерживание влажного грунта (контроль) в теплом помещении в течение эксперимента приводит к снижению рН. Причиной подкисления являются протекающие в почвах микробиологические процессы. Снижение рН приводит к некоторому повышению подвижности фосфора, что может быть обусловлено процессами перехода малорастворимых фосфатов в более растворимые гидрофосфаты. Каталазная активность подкисленной почвы снижается. Уменьшение каталазной активности свидетельствует о снижении интенсивности окислительно-восстановительных процессов, протекающих в почвах. Содержание нитратов в почве также несколько уменьшается.

Внесение в грунт эфеля (вариант 2) приводит к полному устранению подкисления и существенному повышению содержания подвижного фосфора на начальном этапе эксперимента. Предотвращение подкисления может быть обусловлено связыванием почвенных кислот фосфоритами и известковыми компонентами, входящими в состав эфеля. В конце эксперимента содержание подвижного фосфора существенно снижается, что может быть обусловлено как повышением рН, так и фиксацией фосфатов почвенной биотой. Содержание нитратного азота в грунте с эфелем (в отличие от контроля) в конце эксперимента увеличивается более, чем на 30%. Данный эффект может быть обусловлен активизацией деятельности азотфиксирующих микроорганизмов. Параллельно наблюдается повышение каталазной активности, что свидетельствует об интенсификации окислительно-восстановительных процессов. Установленный факт может иметь большое практическое значение, поскольку позволяет предположить, что внесение эфеля в почвы способствует улучшению не только фосфорного и калийного питания растений, но и снабжению растений азотом. Причем эффект накопления азота (в отличие от содержания подвижного фосфора) имеет положительную динамику.

*Выводы.* Хвосты обогащения Верхнекамского фосфоритного рудника являются уникальным сырьем для производства натуральных минеральных удобрений комплексного действия, пригодных для использования в органическом земледелии. К достоинствам эфелей следует отнести наличие доступных для растений форм фосфора, калия, серы, комплекса ценных микроэлементов, а также низкое содержание экотоксичных элементов и радиоактивных изотопов. Входящий в состав эфелей глауконит улучшает физико-химические свойства почвы, способствует обогащению почв азотом (за счет активации азотофиксирующих микроорганизмов), оказывает положительное влияние на микроэлементный статус. Значительное содержание в эфеле известковых компонентов способствует снижению кислотности почв, что имеет большое значения для восстановления плодородия закисленных агроземов. Переработка эфелей в натуральные удобрения может быть организована непосредственно на руднике. Технология производства удобрений отличается простотой, низкими затратами на производственный процесс и отвечает принципам зеленой химии.

#### **Библиографический список**

1. Alrøe Н. F., Kristensen E. S. Basic principles for organic agriculture: Why? And what kind of principles? // Ecology & Farming. 2004. V. 36. P. 27–30.
2. Сухарев Ю. И., Черногорова А. Е., Кувыкина Е. А. Особенности структуры и сорбционно – обменные свойства глауконита Багарякского месторождения // Известия Челябинского Научного Центра. 1999. №. 3. С. 64–69.
3. Абдель Мугхни М. В. Биогеохимические особенности фосфоритов Египта // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2010. № 2. С. 65–74.
4. Янин Е. П. Источники и пути поступления тяжелых металлов в реки сельскохозяйственных районов // Экологическая экспертиза. 2004. № 4. С. 67–90.
5. Лукин С. В. Микроэлементы в почвах ЦЧО // Земледелие. 2015. № 6. С. 26–28.
6. Мелентьева И. А., Сырчина Н. В., Терентьев Ю. Н. Перспективы использования глауконитового концентрата вятско-камского месторождения в сельском хозяйстве // Экология родного края: проблемы и пути их решения : Материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : ВятГУ, 2017. С. 214–217.
7. Макаров Б. И., Терещенко Н. Н., Рудмин М. А. Оценка эффективности применения глауконита в качестве удобрения для яровых зерновых // Известия КГТУ. 2020. № 56. С. 143–156.

# ВЛИЯНИЕ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ДЕРНОВЫХ ПОЧВ

*Л. К. Каримуллин, А. М. Петров, А. А. Утомбаева, Ю. А. Игнатьев*

*Институт проблем экологии и недропользования*

*Академии наук Республики Татарстан, karlenar@yandex.ru*

В статье показано влияние фиторемедиации с использованием одно- и двудольных культур высших растений на биологическую активность рекультивированной нефтезагрязненной аллювиальной дерновой легкосуглинистой почвы. Полученные результаты демонстрируют, что ферментативная активность микробоценоза исследуемой почвы чутко реагирует на присутствие растений и изменение содержания нефтепродуктов в почве.

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

Загрязнение окружающей среды нефтью и продуктами ее переработки является результатом антропогенной деятельности и сопровождается изменением физико-химических свойств почв, нарушением биохимической активности почвенного микробоценоза и естественного хода почвообразовательного процесса.

Биологическая рекультивация нефтезагрязненных земель является заключительным этапом, включающим в себя комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на улучшение агрофизических, агрохимических, биохимических и других свойств почвы [1]. Эффективность биологического восстановления почв в большой мере определяется типом почвы, ее гранулометрическим составом, содержанием в ней нефтепродуктов, изменением биохимической активности почвенного микробоценоза [2, 3].

Цель работы: определить влияние культивирования одно- и двудольных высших растений на ферментативную активность аллювиальных дерновой легкосуглинистой почвы при разном остаточном содержании нефтяных загрязнений.

В исследовании были использованы образцы аллювиальной дерновой легкосуглинистой ( $A_{д}^{лс}$ ) почвы Республики 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.

Опытные варианты с заданным содержанием нефти готовились путем искусственного загрязнения почвы весовым методом с последующей выдержкой в условиях условной рекультивации (рыхление и увлажнение) в течение 5 ме-

сяцев. Остаточное содержание нефтепродуктов в образцах рекультивированных почв определялось согласно [4] и составляло 1,4 г/кг, 2,8 г/кг, 4,1 г/кг и 6,8 г/кг в вариантах В1, В2, В3 и В4, соответственно. Контролем (К) служили образцы чистой почвы.

Вегетационные эксперименты на рекультивированных почвах проводились в лабораторных условиях при температуре 21–26 °С с использованием одностольных (пшеница яровая, *Triticum vulgare* L.) и двудольных (горох посевной, *Pisum sativum* L.) растений [5]. Продолжительность эксперимента составляла 42 дня. Уровень каталазной, уреазной и протеазной активности почв определяли согласно [6, 7].

Сопоставление каталазной, уреазной и протеазной активности  $A_{д}^{лс}$  почвы, выдержанной без растений и после выращивания пшеницы и гороха, продемонстрировало рост их активности относительно контроля при всех испытанных концентрациях поллютанта [7, 8].

После проведения фиторемедиации интенсивность разложения пероксида водорода возрастала в контрольных и опытных вариантах исследованной почвы относительно почвы, выдержанной без растений (табл. 1).

Таблица 1

**Каталазная активность контрольных и опытных образцов почв  
(мг  $H_2O_2$ /г)**

Вариант	К	В1	В2	В3	В4
Без растений	0,03	0,30	0,32	0,39	0,21
После пшеницы	0,08	0,40	0,38	0,47	0,60
После гороха	0,19	0,41	0,51	0,57	0,79

Культивирование пшеницы на загрязненной  $A_{д}^{лс}$  почве привело к 1,2–2,9-кратному увеличению каталазной активности почвы. Выращивание гороха на  $A_{д}^{лс}$  способствовало еще более выраженному 1,4–6,3-кратному росту активности каталазы.

Уреазная активность после работ по фиторекультивации в опытных вариантах снизилась относительно почвы, выдержанной без растений, в 1,5–2,1 раза, без изменения активности в контроле (табл. 2).

Таблица 2

**Уреазная активность контрольных и опытных образцов почв  
(мкг N/г\*час)**

Вариант	К	В1	В2	В3	В4
Без растений	0,84	1,09	1,23	1,37	1,78
После пшеницы	0,83	0,71	0,54	0,62	1,05
После гороха	0,83	0,65	0,64	0,66	0,89

В целом, уровень уреазной активности  $A_{д}^{лс}$  почвы после выращивания пшеницы и гороха имел сходные значения, при этом скорость разложения мочевины в вариантах В1-В3 была ниже, а в В4 – выше, чем в контроле.

Культивирование пшеницы на чистой и нефтезагрязненной  $A_{д}^{лс}$  почве привело к 1,8 – 3,0-кратному активности протеазы, после гороха активность была ниже в 1,4 – 2,7 раза (табл. 3).

**Протеазная активность контрольных и опытных образцов почв  
(мкг аминокислоты/г\*сут)**

Вариант	К	В1	В2	В3	В4
Без растений	93,4	88,3	101,0	109,70	115,0
После пшеницы	40,7	44,1	33,7	41,8	62,5
После гороха	40,5	33,1	42,7	70,0	79,6

Таким образом, при остаточном содержании нефтепродуктов в рекультивированной аллювиальной луговой легкосуглинистой почве до 6,8 г/кг почвенный микробоценоз сохраняет биохимическую активность. Сопоставление результатов ферментативной активности рекультивированных образцов нефтезагрязненной аллювиальной дерновой почвы, выдержанных без растений, и после культивирования пшеницы и гороха показало, что фиторекультивация приводит к росту каталазной и снижению уреазной и протеазной активностей. Культивирование высших растений приводит к приближению уровня каталазной активности всех нефтезагрязненных образцов почвы к контролю при сохранении высокой уреазной и протеазной активности при остаточном содержании нефтепродуктов 6,8 г/кг.

**Библиографический список**

1. РД 39-00147105-006-97. Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов.
2. Разработка нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в серых лесных почвах Республики Татарстан / А. М. Петров, Р. Р. Шагидуллин, Э. Р. Зайнулгабидинов, Д. В. Иванов, О. Ю. Тарасов, Б. Р. Григорьян // Экология и промышленность России. 2011. № 6. С. 29–34.
3. Динамика эколого-биологических характеристик дерново-подзолистых почв в условиях длительного воздействия нефтяного загрязнения / А. М. Петров, А. А. Вершинин, Л. К. Каримуллин, Д. В. Акайкин, О. Ю. Тарасов // Почвоведение. 2016. № 7. С. 848–856.
4. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. М., 2005. 18 с.
5. ГОСТ Р ИСО 22033-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая токсичность в отношении высших растений».
6. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М. : Наука, 2005. 252 с.
7. 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.
8. Каримуллин Л. К., Петров А. М., Кузнецова Т. В. Влияние нефтяного загрязнения на ферментативную активность почв разного гранулометрического состава // Современное состояние и перспективы инновационного развития нефтехимии : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. Нижнекамск, 2016. С. 232–233.

## ТОКСИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ЛУГОВЫХ ПОЧВ ПОСЛЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

*И. В. Князев, А. М. Петров, Э. Р. Зайнулгабидинов, А. А. Вершинин*  
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, *Kneze3@yandex.ru*

Проведен сравнительный анализ токсикологических характеристик аллювиальной луговой супесчаной и среднесуглинистой почв, находящихся под воздействием разных остаточных доз нефтепродуктов. Исследования показали, что проведение рекультивационных мероприятий может приводить к появлению токсических свойств по отношению к гидробионтам у водной вытяжки из нефтезагрязненных почв, особенно у легких почв.

Ключевые слова: токсичность, нефтепродукты, аллювиальная луговая почва, *Ceriodaphnia magna*, *Paramecium caudatum*.

Проводимые на нефтезагрязненных почвах рекультивационные мероприятия, в первую очередь, направлены на снижение содержания нефтепродуктов, являющихся источником загрязнения земель [1, 2]. Однако активное протекание биохимических процессов может привести к образованию водорастворимых токсичных метаболитов, массовому развитию токсинообразующих микроскопических грибов [3–5], что при поступлении с загрязненных территорий в водные объекты талых и дождевых вод может отрицательно воздействовать на гидробионтов, ограничивать дальнейшее использование рекультивированных почв по прямому хозяйственному назначению.

Цель исследований – установление возможного влияния рекультивированных нефтезагрязненных аллювиальных луговых супесчаных и среднесуглинистых почв на водные биоценозы, определение класса опасности почв [6].

В работе были использованы образцы аллювиальных луговых почв Республики Татарстан.

Объектами исследований служили содержащая разные дозы нефтяных загрязнений рекультивированная почва (вариант В1) и содержащая разные дозы нефтяных загрязнений рекультивированная почва после выращивания пшеницы яровой (*Triticum vulgare* L.) сорта «Йолдыз» (вариант В2) или гороха посевного (*Pisum sativum* L.) сорта «Казанец» (вариант В3) согласно [6].

Биотестирование водной вытяжки из почвенных образцов осуществляли с использованием в качестве тест-объектов равноресничной инфузории *Paramecium caudatum* [7] и ветвистоусых рачков *Ceriodaphnia affinis* [8].

Содержание нефтепродуктов (НП) определяли ИК-спектрометрическим методом на анализаторе КН-2 согласно [9].

Проведенное тестирование водной вытяжки из образцов супесчаных и среднесуглинистых аллювиальных луговых почв не выявило их токсического действия по отношению к *Paramecium caudatum*. Все опытные и контрольные варианты не оказывали вредное воздействие на инфузорий.

Тестирование почвенных образцов чистой и загрязненной аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы в вариантах В1 и В3 не выявило их вредного воздействия на *Ceriodaphnia affinis*. Данные образцы, согласно [10], относились к V классу опасности (табл. 1).

Таблица 1

**Токсикологические характеристики водной вытяжки из аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы, содержащей нефтепродукты в различных концентрациях (*Ceriodaphnia affinis*)**

Концентрация НП, г/кг	Кратность разбавления, при которой устраняется вредное воздействие на гидробионтов, $K_{p(10)}$			Класс опасности		
	В1	В2	В3	В1	В2	В3
0,025	1	1	1	V	V	V
1,9	1	<b>1,3</b>	1	V	<b>IV</b>	V
3,1	1	1	1	V	V	V
4,1	1	1	1	V	V	V
6,0	1	1	1	V	V	V

Почвенные образцы, содержавшие 1,9 г/кг НП, после культивирования пшеницы оказывали вредное воздействие на ветвистоусых рачков, которое устранялось при 1,3-кратном разбавлении водной вытяжки (IV класс опасности). В остальных вариантах смертность тест-объекта не наблюдалась.

Тестирование рекультивированной аллювиальной луговой супесчаной почвы (В1) показало, что образцы содержавшие 4,2 и 6,5 г/кг НП, также были небезопасны для рачков (табл. 2). Кратность разбавления водной вытяжки из них, при которой устранялось вредное воздействие на гидробионтов, составляла 1,5 раза и 1,3 раза, соответственно, что позволяет отнести данные почвенные образцы к категории малотоксичных [10].

Таблица 2

**Токсикологические характеристики водной вытяжки из аллювиальной луговой супесчаной почвы, содержащей нефтепродукты в различных концентрациях (*Ceriodaphnia affinis*)**

Концентрация НП, г/кг	Кратность разбавления, при которой устраняется вредное воздействие на гидробионтов, $K_{p(10)}$			Класс опасности		
	В1	В2	В3	В1	В2	В3
0,025	1	1	1	V	V	V
1,8	1	<b>1,3</b>	1	V	<b>IV</b>	V
3,1	1	1	1	V	V	V
4,2	<b>1,5</b>	1	<b>1,2</b>	<b>IV</b>	V	<b>IV</b>
6,5	<b>1,3</b>	1	<b>1,5</b>	<b>IV</b>	V	<b>IV</b>

Как и в случае со среднесуглинистой почвой, образец супесчаной почвы после культивирования пшеницы, содержащий минимальную испытанную дозу НП (1,8 г/кг), оказывал вредное воздействие на *C. affinis*, которое устранялось при 1,3-кратном разбавлении водной вытяжки.

Вредное воздействие на тест-объект также было выявлено и после выращивания гороха, в образцах содержавших 4,2 и 6,5 г/кг поллютанта (табл. 2).

Выполненные исследования показали, что проведение рекультивационных мероприятий на нефтезагрязненных аллювиальных луговых почвах может сопровождаться появлением токсичных свойств. Возможность появления токсических свойств необходимо учитывать при возврате рекультивированных нефтезагрязненных почв в хозяйственный оборот.

#### Библиографический список

1. Игнатъев Ю. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Изменение углеводородного состава нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы в стандартизированных условиях инкубации // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 15. С. 256–260.
2. Разработка нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах Республики Татарстан для земель сельскохозяйственного назначения / А. М. Петров, Э. Р. Зайнулгабидинов, Л. М. Сунгатуллина., Р. Р. Шагидуллин, Д. В. Иванов, О. Ю. Тарасов, Б. Р. Григорьян // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 23. С. 129–135.
3. Билай В. И., Пидопличко Н. М. Токсинообразующие микроскопические грибы и вызываемые ими заболевания человека и животных. Киев : Наукова думка, 1970. 291 с.
4. Гузев В. С., Левин С. В. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов // Перспективы развития почвенной биологии / под ред. Д. Г. Звягинцева. М. : Изд-во МАКС Пресс, 2001. С. 178–219.
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.
6. ГОСТ Р ИСО 22033-2009 «Качество почвы. Биологические методы. Хроническая токсичность в отношении высших растений».
7. ПНД Ф Т 14.1:2:3.13-06, ПНД Ф Т 16.1:2.3:3.10-06 Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий *Paramecium caudatum* Ehrenberg.
8. ФР.1.39.2007.03221 Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний. М. : АКВАРОС, 2007. 52 с.
9. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрии. М., 2005. 18 с.
10. Приказ Минприроды России от 04.12.2014 N 536 «Об утверждении Критериев отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» (Зарегистрировано в Минюсте России 29.12.2015 N 40330).

# ОЦЕНКА ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ПОСЛЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

*А. Б. Новаковский<sup>1</sup>, В. А. Канев<sup>1</sup>, М. Ю. Маркарова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,  
novakovsky@ib.komisc.ru, kanev@ib.komisc.ru*

<sup>2</sup> *Федеральный научный центр овощеводства, tyriam@mail.ru*

Показано, что сочетание фито и биорекультивации позволяет быстро (5–10 лет) восстановить растительный покров после масштабного разлива нефти. Возникающие в ходе рекультивации сообщества существенно отличаются от фоновых территорий по своему видовому составу. Использование технических методов рекультивации позволяет восстанавливать растительные сообщества более близкие к фоновым, но восстановление происходит существенно медленнее.

Ключевые слова: разливы нефти, северная тайга, теория жизненных стратегий Раменского-Грайма, рекультивация.

Современная деятельность человечества тесно связана с добычей, хранением, транспортировкой и переработкой нефти. При эксплуатации объектов нефтедобычи возможны различные по масштабу и последствиям аварии, разливы или протечки. Это приводит к загрязнению больших территорий нефтью и нефтепродуктами, которые оказывают негативное влияние на окружающую среду. Особенно актуальным вопрос о восстановлении экосистем представляется для регионов крайнего севера и Арктики, где с одной стороны сосредоточены большие запасы углеводородов, а с другой – растительный и животный мир оказываются наиболее уязвимыми перед внешним воздействием.

Для оценки состояния и динамики растительного покрова мы использовали концепцию жизненных стратегий Раменского-Грайма (CSR теория) [1, 2]. Согласно теории, выделяют три основных типа растений. Конкуренты (С виды), стресс-толеранты (S виды) и рудералы (R виды). Соотношение видов разных групп позволяет дать общую (интегральную) характеристику растительности. Преобладание конкурентной группы связано с отсутствием внешнего антропогенного воздействия (заброшенностью) и наличием благоприятных экологических условий. Наличие большой доли стресс-толерантных видов связано с воздействием неблагоприятных факторов среды, а рудеральных видов – с обработкой земли, выпасом скота и другими формами нарушения растительного покрова [3].

Целью настоящего исследования была оценка долговременной эффективности рекультивационных работ в условиях севера после аварийного разлива нефти по характеру восстановления растительного покрова.

Сбор материала проводили на опытном участке № 20, расположенном на Верхневозейском нефтяном месторождении (Усинский район, Республика Ко-

ми: 66°37'40" с. ш., 57°07'56" в. д.) в зоне деятельности ТПП «Лукойл Усинск-нефтегаз». Разлив нефти произошел ориентировочно в 1996 на площади в 2 гектара. В 2002 г. здесь был заложен опыт по изучению эффективности разных методов биоремедиации: с использованием биопрепаратов, сорбентов и агротехнических приемов [4]. Всего было заложено 9 опытных площадок. На одной из них (контрольной) использовались только механические методы очистки поверхности без использования биопрепаратов и посева трав. Оценку состояния растительности проводили на основе геоботанических описаний, сделанных в 2006 г. и в 2014 гг. Для сравнения, в качестве фоновой территории использовали ивово-ерниковое осоково-хвощевое болото, расположенное на сходном ландшафте, но на территории, не затронутой нефтезагрязнением.

Оценку интегрального положения растительных сообществ в CSR координатах проводили методом взвешенного среднего [5]. CSR стратегии определяли в соответствии со сводкой Дж. Грайма [6]. Видовое богатство оценивали на основе числа зарегистрированных видов и индекса энтропии Шеннона. Статистическую обработку проводили методом NMS ординации [7].

Через 4 года после закладки опыта (2006 г.) на участке образовались растительные сообщества пионерного типа с преобладанием высеянных при рекультивации злаков: *Agrostis gigantea*, *Deschampsia caespitosa*, *Phalaroides arundinacea* и *Phleum pratense*. Отмечено единичное присутствие видов, не использованных при рекультивации. Это виды промежуточных CSR стратегий (*Rumex acetosella*, *Stellaria graminea*) и рудеральные виды (*Lapsana communis*, *Rumex crispus*, *Plantago major*, *Tripleurospermum perforatum*). Общее проективное покрытие в 2006 г. составляло 70–80%.

К 2014 г. практически на всех участках исчезли внешние (видимые) признаки нефтезагрязнения. Содержание нефти в почве уменьшилось на обработанных биопрепаратами участках на 70–90%. На контрольном участке – примерно на 50%. Произошли изменения в структуре почвенного микробсообщества и микрофаунистического сообщества [8]. Среди видов, используемых при рекультивации, отмечено снижение обилия у *Phleum pratense*, увеличение – у *Agrostis gigantea*. Два вида *Deschampsia caespitosa* и *Phalaroides arundinacea* сохранили свое обилие. За 8 лет из состава травостоя выпали почти все виды рудеральной стратегии (*Anthemis tinctoria*, *Plantago major*, *Tripleurospermum perforatum*, *Polygonum aviculare*) и внедрились виды промежуточных CSR или S стратегий. Преимущественно это были злаки *Poa pratensis*, *Calamagrostis purpurea* и виды семейства осоковых (*Eriophorum vaginatum*, *Carex cinerea*, *Carex limosa*). Наряду с выпадением рудеральных видов, наблюдалось незначительное снижение проективного покрытия, общего числа видов и индекса биоразнообразия Шеннона (табл.). Уменьшение обилия видов было в основном связано с восстановлением водного режима торфяной почвы в результате заиливания дренажных каналов и подъема уровня грунтовых вод. Это вызвало снижение доли злаков, которые слабо приспособлены к переувлажненным условиям верховых болот.

На контрольном участке в 2014 г. было отмечено 19 видов сосудистых растений, что заметно выше, чем у большинства опытных площадок, однако проективное покрытие контрольного участка составляло всего 25–30%.

Таблица

**Динамика показателей биоразнообразия для опытных участков, контроля и фоновой территории**

Номер опыта	Общее проективное покрытие (%)	Число видов	Индекс Шеннона (H)
Опыт 1	70-80 / 70-80	21 / 16	2,1 / 1,9
Опыт 3	60-70 / 50-60	25 / 17	3,3 / 3,2
Опыт 4	50-60 / 45-50	16 / 10	3,2 / 1,5
Опыт 5	60-70 / 70-75	15 / 13	1,7 / 2,2
Опыт 6	90-95 / 80-85	16 / 4	1,4 / 0,3
Опыт 7	80-90 / 70-75	15 / 12	1,7 / 1,5
Опыт 8	50-60 / 40-45	15 / 13	2,7 / 2,0
Опыт 9	70-80 / 70-80	19 / 22	2,5 / 2,9
Контроль (Опыт 2)	Растительность отсутствует / 25-30	0 / 19	- / 3,3
Фоновый участок	Проективное покрытие видов не измеряли / 55-60	15 / 13	- / 2,5

*Примечание.* Первое значение в клетке – 2006 г. / второе значение – 2014 г. Прочерк «-» означает отсутствие или неполные данные, не позволяющие провести расчеты.

Анализ геоботанических описаний методом NMS ординации показал четко выраженный градиент растительных сообществ (рис. 1) от описаний 2006 г. (преобладают виды рудеральной стратегии) через описания 2014 г. (увеличенная доля конкурентов) к сообществам фоновой территории и контрольной площадке (характеризуются преобладанием стресс-толерантов). Таким образом, для всех экспериментальных участков мы отметили сдвиг с течением времени в сторону преобладания C и CS видов. Такие изменения характерны для заброшенных территорий [3] и хорошо согласуются с теоретическими положениями теории Раменского-Грайма.

Изменение видового состава и обилия доминирующих видов закономерно привело к изменениям средне-взвешенных значений по C, S и R осям. Так, для всех площадок отмечено значимое увеличение балла по шкале конкурентности с 37–45% в 2006 г. до 49–55% в 2014 и уменьшение балла рудеральности с 30–40% до 10–30%. Средний бал по оси стресс-толерантности за время проведения эксперимента значимо не изменился и составил 18–25% для всех опытов. Это существенно меньше, чем у контрольной площадки (C – 39%, S – 51%, R – 10%) и фоновой территории (C – 29–36%, S – 60–62%, R – 4–9%). Такое различие вызвано тем, что на контрольном участке, где травы-фитореомедианты не высевали, произошло внедрение типичных тундрово-болотных видов S стратегии: *Empetrum hermaphroditum*, *Eriophorum angustifolium*, *Eriophorum vaginatum*, *Vaccinium myrtillus*, *Lycopodium clavatum*. По своему положению на CSR треугольнике Грайма контрольный участок оказался наиболее близким к

фоновой территории (рис. 2), даже несмотря на слабое проективное покрытие отдельных видов, слагающих сообщество, и более позднее начало зарастания.

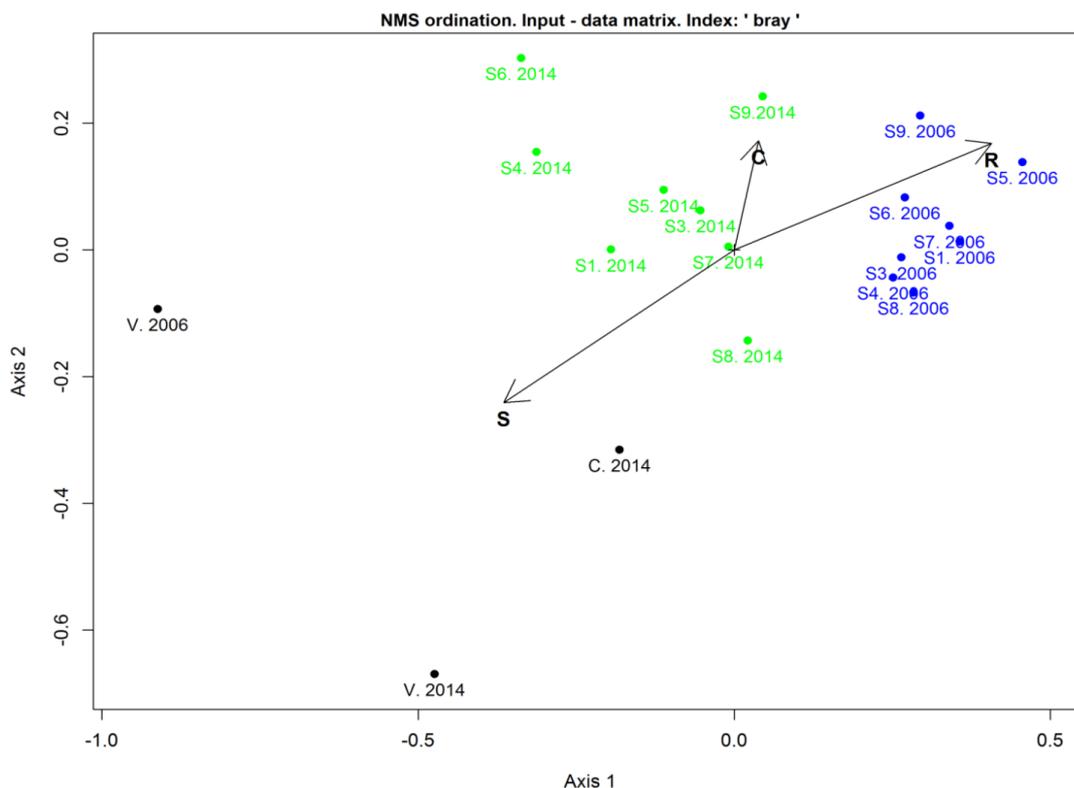


Рис. 1. NMS Ординация растительных сообществ. S1-S9 – номера площадок. С – (контрольная площадка), V – фоновая территория. Векторами отображены корреляции C, S и R баллов описаний с осями NMS ординации

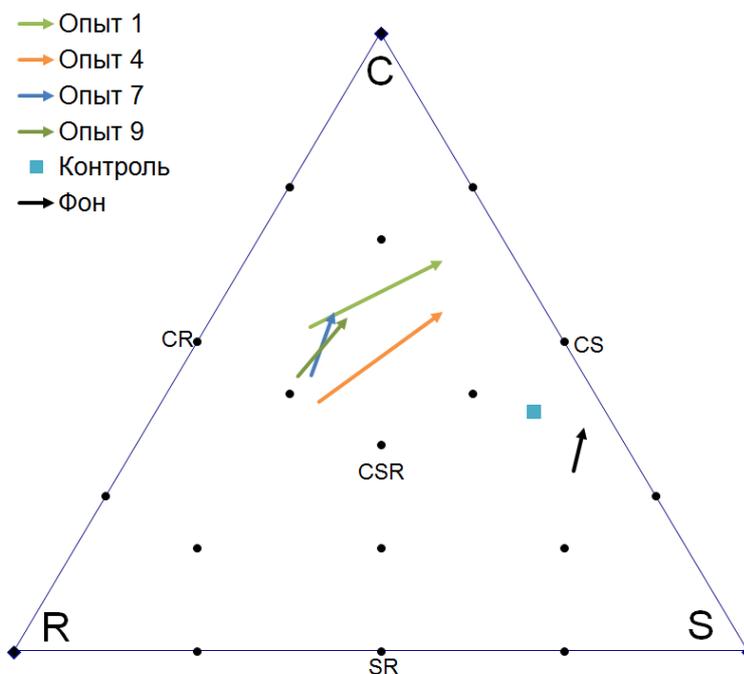


Рис. 2. Траектории изменения CSR координат для фоновой территории и выборочных опытных участков (2 участка с наибольшими и 2 участка с наименьшими изменениями). Начало стрелки – 2006 г., окончание – 2014 г. Синий квадрат – контрольный участок в 2014 г.

*Исследование было поддержано грантами РФФИ №18-44-110015 и 18-29-05028 мк.*

#### **Библиографический список**

1. Раменский Л. Г. О принципиальных установках, основных понятиях и терминах производственной типологии земель, геоботаники и экологии // Сов. бот. 1935. № 4. С. 25–42.
2. Grime J. P., Hodgson J. G., Hunt R. Comparative plant ecology: a functional approach to common British species. London : Unwin Hyman, 1988. 772 p.
3. Новаковский А. Б., Панюков А. Н. Анализ сукцессионной динамики сеяного луга при помощи системы жизненных стратегий Раменского-Грайма // Экология. 2018. № 2. С. 110–118. DOI: 10.7868/S036705971802004X
4. Природоохранные работы на предприятиях нефтегазового комплекса. Часть I. Рекультивация загрязненных нефтью земель в Усинском районе Республики Коми. Сыктывкар : Коми научный центр УрО РАН, 2006. 208 с.
5. Assessing functional diversity in the field – methodology matters! / S. Lavorel, K. Grigulis, S. McIntyre, N. S. G. Williams, D. Garden, J. Dorrough, S. Berman, F. Quétier, A. Thébault, A. Bonis // Functional Ecology. 2008. Vol. 22. P. 134–147. DOI: 10.1111/j.1365-2435.2007.01339.x
6. Allocating C-S-R plant functional types: A soft approach to a hard problem / J. G. Hodgson, P. J. Wilson, R. Hunt, J.P. Grime, K. Thompson // Oikos. 1999. Vol. 85. P. 282–294. DOI: 10.2307/3546494
7. Новаковский А. Б. Методы ординации в современной геоботанике // Вестник Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2008. № 10. С. 2–8.
8. Определение эффективности методов рекультивации загрязненных нефтью почв / Е. Н. Мелехина, М. Ю. Маркарова, Е. М. Анчугова, Т. Н. Щемелинина, В. А. Канев // Известия Коми научного центра УРО РАН. 2016. № 3. С. 61–70.

### **ОБЩЕСТВЕННЫЕ ОБСУЖДЕНИЯ И ПУБЛИЧНЫЕ СЛУШАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ИСПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ ОШИБОК**

***Н. В. Островский***

*Ветеран труда, эколог, ecol34@list.ru*

В статье на примере полигона твердых бытовых отходов у д. Осинцы Кировской области показано, что надлежащее проведение общественных обсуждений и публичных слушаний по проектной документации позволило избежать проблем с вводом в эксплуатацию данного объекта.

Ключевые слова: территориальное планирование, территориальные схемы обращения с отходами, общественное обсуждение, публичные слушания.

Территориальные схемы по обращению с отходами (ТСОО) стали одним из основных методов управления обращением с отходами, поскольку они включают информацию об эксплуатируемых и планируемых к созданию объектах, о движении отходов, целевые показатели деятельности и другую важную информацию. В ТСОО установлены зоны деятельности региональных операторов по обращению с твердыми коммунальными отходами (ТКО), а сами регио-

нальные операторы обязаны соблюдать установленные схемами потоки между источниками образования ТКО и объектами по обращению с ТКО.

ФЗ «Об отходах производства и потребления» (ст. 13.3) устанавливает, что ТСОО разрабатываются в соответствии с документами территориального планирования, к которым относятся схемы территориального планирования (СТП) субъектов РФ и муниципальных образований, генеральные планы (ГП) городских округов и сельских поселений, правила землепользования и застройки (ПЗЗ). С другой стороны, согласно Градостроительному кодексу СТП субъектов РФ должны включать сведения об образовании, утилизации, обезвреживании, о размещении ТКО и о размещении объектов по обращению с ТКО, содержащиеся в ТСОО. Получается, что эти два типа документов находятся в динамической связи и должны изменяться синхронно исходя из объективных предпосылок развития территорий.

Корректность решений, принимаемых при утверждении ТСОО, зависит от полноты информации, содержащейся в схеме. В составе документов территориального планирования важное место занимает описание и графическое отражение зон с особыми условиями использования территории, к которым отнесены [1]:

- водоохранные зоны и прибрежные полосы водных объектов;
- зоны затопления и подтопления;
- зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения;
- санитарно-защитные зоны;
- охранные зоны объектов инженерной и транспортной инфраструктуры;
- зоны охраны объектов культурного наследия;
- особо охраняемые природные территории и их охранные зоны;
- охранные зоны объектов специального назначения;
- зоны минимально допустимых расстояний.

Ограничения, предусматриваемые этими зонами, должны учитываться при размещении объектов по обращению с отходами и прокладке путей транспортировки отходов. Воздушный кодекс РФ, ст. 47, содержит понятие приаэродромной территории, включающей 7 подзон. В шестой подзоне радиусом 15 км (постановление Правительства РФ № 1460 от 02.12.2017) запрещается размещать объекты, способствующие привлечению и массовому скоплению птиц, к которым по опыту относят полигоны твердых бытовых отходов (ТБО).

Но и следование документам территориального планирования не исключает ошибок при разработке ТСОО и размещении объектов по обращению с отходами. Примером тому является полигон ТБО у д. Осинцы Слободского района Кировской области.

СТП Слободского района [2], утвержденная в 2009 г., предусматривала строительство на землях запаса к северу от д. Осинцы объектов по обращению с отходами: согласно положению о территориальном планировании – мусоро-накопительного пункта для сбора и дальнейшей транспортировки отходов на мусороперерабатывающий завод, согласно схеме планируемого размещения объектов – свалки твердых бытовых отходов (ТБО). В СТП Кировской области в редакции от 2011 г. было включено строительство полигона ТБО и мусоро-

сортировочного завода [3]. В генеральный план Ленинского сельского поселения, к которому относится д. Осинцы – полигона ТБО [4].

Проект полигона ТБО прошел государственные экологическую и общую строительную экспертизы, но в 2018 г., когда строительство полигона близилось к завершению, выяснилось, что он находится в приаэродромной зоне объекта «Аэродром Киров-Порошино», принадлежащего ДОСААФ (Решение Арбитражного суда Кировской области от 26.02.2020 по делу № А28-13648/2018).

Этот аэродром существует уже 80 лет. Его расположение к югу от ул. Талицкая г. Кирова мы можем найти на картах в Интернете. Если мы обратимся к карте публичной кадастровой палаты, то окажется, что участок под аэродром отмежеван (кадастровый номер 43:40:000652:1), но не указаны его разрешенное использование и форма собственности. Под аэродром отмежеван соседний участок с кадастровым номером 43:40:003612:1, но, судя по космическим снимкам, он мало подходит для размещения взлетно-посадочной полосы.

В генеральном плане г. Кирова нет ни аэроклуба, ни аэродрома [5].

В ПЗЗ г. Кирова [6] участок, занятый аэродромом, отнесен к зоне рекреационно-ландшафтных территорий Р-6. Она выделена для обеспечения правовых условий сохранения и использования существующего природного ландшафта и создания экологически чистой окружающей среды в интересах здоровья населения, сохранения и воспроизводства лесов, обеспечения их рационального использования. Использование территории этой зоны для эксплуатации аэродромов не предусмотрено.

Возможно, поэтому в СТП Кировской области [3] аэродром ДОСААФ также отсутствует. В СТП Кировской области приведена зона, в которой запрещено размещение объектов, способствующих привлечению и массовому скоплению птиц, только для аэродрома «Победилова».

Исправлению ошибок, допущенных проектировщиками, способствуют процедуры общественных обсуждений и публичных слушаний. Они предусмотрены ФЗ «Об экологической экспертизе» (ст. 14), ФЗ «Об отходах производства и потребления» (для ТСОО – ст. 13.3), градостроительным кодексом (ст. 24 и 30). Но в большинстве случаев они проводятся формально. Заказчики и разработчики проектной документации видят в них лишь препятствие для завершения работ, но не средство выявления возможных ошибок. Население, как рядовые граждане, так и его активная часть – предприниматели и руководители различного рода организаций, чаще всего игнорируют эти мероприятия. И только когда на стадии строительства объекта или при вводе его в эксплуатацию выясняется, что он затрагивает их насущные интересы, люди начинают протестовать: подают жалобы в прокуратуру, иски в суд, проводят митинги или даже акции прямого действия, чтобы помешать строительству.

Если мы вернемся к полигону ТБО у д. Осинцы, то проблемы с его размещением связаны с отсутствием в ГП и ПЗЗ г. Кирова аэродрома в Порошино. По каким-то причинам проектировщики не включили аэродром в градостроительную документацию. Данный пробел мог быть устранен на стадии публичных слушаний. Но на него не обратили внимание ни Кировский аэроклуб ДОСААФ, ни жители соседствующих с аэродромом улиц, ни сотрудники

администрации г. Кирова, занимающиеся спортом и военно-патриотическим воспитанием. Этот пример показывает, что к проведению публичных слушаний нужно подходить более вдумчиво. Органы местного самоуправления не должны ограничиваться предусмотренной законом публикацией объявления, но активно вовлекать граждан и общественные организации в данный процесс. Причем для крупных муниципальных образований, подобных г. Кирову, целесообразно проведение публичных слушаний на различных площадках, приближенных к местам проживания населения.

Хотя население всегда против строительства экологически опасных объектов, целесообразно не скрывать проблемные вопросы, а организовывать их конструктивное обсуждение, доказывая достаточность заложенных в проект решений для обеспечения экологической безопасности [7]. Но и выявление проектных недоработок нельзя считать неудачей. Их своевременное исправление позволяет избежать проблем при строительстве и эксплуатации и связанного с ними прямого или косвенного экономического ущерба.

#### **Библиографический список**

1. Островский Н. В. Территориальные схемы как средство управления обращения с отходами // Вопросы управления. 2015. № 5. С. 186–191.
2. Схема территориального планирования Слободского муниципального района. Киров : Кировпроект, 2009.
3. Схема территориального планирования Кировской области. СПб. : Институт урбанистики, 2009–2020.
4. Генеральный план муниципального образования «Ленинское сельское поселение Слободского района Кировской области». Нижний Новгород : ООО «Земля и город», 2009–2019.
5. Генеральный план города Кирова. Нижний Новгород : НижегородгражданНИИпроект, 2007.
6. Правила землепользования и застройки города Кирова. Утверждены решением Кировской городской Думы от 29.04.2009, № 28/10.
7. Островский Н. В. Обращение с отходами. М. : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2020. 538 с.

### **О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕДОНОСНОЙ ПЧЕЛЫ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ В КИРОВЕ**

*О. Н. Голуб<sup>1</sup>, В. И. Жаворонков<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Центр развития инноваций «Новатор», [ongolub@mail.ru](mailto:ongolub@mail.ru)*

*<sup>2</sup> Вятский государственный университет, [vizhavoronkov@mail.ru](mailto:vizhavoronkov@mail.ru)*

В статье предлагается создать в г. Кирове городскую экспериментальную площадку по пчеловодству с целью объективного экологического мониторинга городской среды с использованием медоносных пчел.

Ключевые слова: экологический мониторинг, городская среда, медоносная пчела, пчелиный подмор.

Экологическое качество городской среды оказывает прямое влияние на комфортность проживания жителей города Кирова и их здоровье. Это качество оценивается целым комплексом экологических и санитарно-гигиенических требований. В этот комплекс входят насыщенность воздуха вредными веществами, загрязненность водоемов и почв, а также других составляющих городского ландшафта [1].

И если состояние некоторых объектов мониторинга несложно оценить с помощью специальных приборов и различных методов анализа проб, то в отношении, например, городских почв, объективность оценки резко снижается. Анализы любых точечных проб почв могут давать очень большой разброс данных, причем даже у проб, взятых в одном и том же месте, но в разные календарные даты. Это обусловлено действием многих факторов – особенностями рельефа, промыванием почв талой водой или дождями, близостью дорог и интенсивностью автомобильного движения, использованием тех или иных антигололедных средств и т. д. [2]. Пробы, взятые даже в одном месте, могут необъяснимо различаться в разы и в силу загрязнений, обусловленных единичным действием человеческого фактора (выброс частными лицами отходов, химикатов, растворов и т. д.).

В связи с этим многолетний анализ динамики некоторых показателей затруднен и далеко не всегда объективен. А ведь знание динамики содержания вредных для здоровья людей веществ крайне необходимо для принятия адекватных управленческих решений.

Особая важность мониторинга городской среды в г. Кирове обусловлена и тем, что в нем проживает более 40% жителей области и наблюдается общая для всего мира тенденция увеличения численности городского населения.

Но решить проблему долговременного мониторинга городской среды при достаточно надежных показателях динамики содержания тех или иных вредных показателей по годам вполне возможно с использованием медоносной пчелы.

Данной теме посвящен ряд работ: Д. В. Гаева, [1]; Г. В. Ломаев, Н. В. Бондарева, [3]; А. В. Петухов, Т. С. Уланова, И. С. Завгородняя [4] и др.

Для Кирова мы предлагаем разместить в городском Ботаническом саду ВятГУ (или другом месте) небольшую пасеку. Продуктивный лет пчел за пищей (пыльцой и нектаром) составляет около 4 км. Соответственно, пчелы используют пищевые ресурсы на городской территории площадью порядка 5000 га. Потребляя эти ресурсы, пчелы используют их и для строительства собственных тел. Естественно, что в организмы пчел попадают и те загрязнители, которые накапливаются как в самих растениях, произрастающих на данной территории, так и в их пыльце и нектаре, потребляемых насекомыми.

После зимовки на дне улья скапливаются погибшие во время зимовки пчелы – так называемый подмор. Анализ подмора может дать определенную информацию о содержании загрязнителей в окружающей среде. И в отличие от точечных взятий проб, мы получаем средневзвешенную картину наличия загрязнений на большой площади городской территории. А ежегодный сбор высушенного подмора и создание коллекции таких образцов за много лет дает оп-

ределенные возможности косвенно, по анализу пчелиного подмора проследить общую динамику накопления вредных веществ в городской среде.

Мало того, при наличии каких-то отклонений в здоровье населения города, в состоянии зеленых насаждений и т. д. можно заглянуть, так сказать, в прошлое, и выявить какие-то незамеченные ранее факторы, оказавшие неблагоприятное влияние на экологию города. Ими могут быть и вредные выбросы какого-то нового или старого производства, последствия техногенных аварий и иные причины, приведшие к ухудшению состояния городской среды.

Одним из положительных моментов создания и наличия такой пасеки в центральной части города станет и ее просветительная деятельность и пропаганда пчеловодства среди населения. К сожалению, общее снижение численности пчел наносит ощутимый удар и по экономике области. В соответствии с разработанными нормами, количество пчел явно недостаточно для нормального опыления энтомофильных сельскохозяйственных культур, а заменить их другие опылители не могут, так как на долю медоносной пчелы приходится 80% всей работы по опылению растений. Естественные экосистемы в еще большей степени страдают от нехватки опылителей. Так, предварительные подсчеты показывают, что масштабы опыления естественных экосистем Кировской области снизились, ориентировочно, не менее, чем в 400 раз [5]. Соответственно, упала и их продуктивность.

Исходя из изложенного, создание такой городской пасеки, с двойным назначением, включающим в себя функции долговременного объективного мониторинга городской среды и просветительную и познавательную для жителей области, очень целесообразно и будет вполне оправданным мероприятием.

Такая пасека может стать и площадкой для новых биологических и экологических исследований для сотрудников и студентов Вятского государственного университета.

#### **Библиографический список**

1. Гаева Д. В. Медоносная пчела как объект экологического мониторинга // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия Естественные и медицинские науки. 2006. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/medonosnye-pchely-kak-obekt-ekologicheskogo-monitoringa> (дата обращения: 16.03.2020).

2. Методы электронной оптики для изучения результатов воздействия антропогенных факторов на биологические объекты/ В. И. Жаворонков, В. Ю. Захаров, Е. Н. Резник, Д. В. Сабашный // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 1. С. 29–30. doi: 10.25750/1995-4301-2011-1-029-030

3. Ломаев Г. В., Бондарева Н. В. Концепция экологического мониторинга. // Пчеловодство. 2007. № 3. С. 10–12.

4. Петухов А. В., Уланова Т. С., Завгородняя И. С. Изучение экологической обстановки с помощью пчел. [Электронный ресурс]. – URL <http://honey-land.ru/nauka-opchelakh/otsenka-ekologicheskoy-obstanovki-s-pomoshchyu-medonosnykh-pchel.php> (дата обращения: 16.03.2020).

5. Голуб О. Н. Экология и пчела. Падение продуктивности экосистем России. [Электронный ресурс]. – URL <https://www.apiworld.ru/1498043584.html> (дата обращения: 16.03.2020).

# ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ И РАСЧЕТ МАССЫ ВЫБРОСОВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА НА ПЕРЕКРЕСТКЕ УЛИЦ СПАССКАЯ И КАРЛА МАРКСА В г. КИРОВЕ

*Е. А. Опалев, Е. С. Кобликов, Т. А. Мусихина, Ю. А. Гарюгин, Л. Н. Зыкина  
Вятский государственный университет, usr04011@vyatsu.ru*

Как известно, в крупных городах России валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от автотранспорта соизмеримы с выбросами от промышленных предприятий. Оценка качества воздуха в населенных пунктах Кировской области проводится по таким загрязняющим веществам, как диоксид азота, оксид углерода, взвешенные вещества, диоксид серы, углеводороды (в том числе ароматические), формальдегид. Большинство из указанных веществ характерно для выбросов автотранспорта. Представлены сведения о влиянии автотранспорта на качество атмосферного воздуха на перекрестке улиц Спасская и Карла Маркса г. Кирова. Изучена интенсивность транспортного потока по категориям автотранспортных средств и проведен расчет валового выброса соответствующих загрязняющих веществ.

Ключевые слова: качество воздуха, загрязняющие вещества, выбросы, автотранспорт.

По данным экологического мониторинга [1] в Кировской области выбросы от автотранспорта составляют уже более 50%, что связано с постоянным ростом автомобильного парка.

Исследования влияния автотранспорта на качество атмосферного воздуха проводились в соответствии с ГОСТ – 56162-2014 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории» [2].

Дата проведения исследования – 06.03.2020. Время – 10.30–11.00. Место проведения исследования – перекресток улиц Карла Маркса и Спасская. При расчете валового выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух также учитывался режим работы светофоров. Продолжительность разрешающего движения зеленого сигнала светофора по направлению по улице Карла Маркса – 25 секунд, запрещающего красного – 15 секунд. То есть за 20-ти минутный период запрещающий красный сигнал светофора для проезда по улице Карла Маркса загорался 30 раз, при этом общая продолжительность простоя автотранспорта составила 810 секунд.

Подсчет количества проезжающего автотранспорта производился с учетом категории транспортного средства, поскольку различные категории (легковые автомобили, микроавтобусы, автобусы, грузовые автомобили) работают на различных видах топлива и имеют различный спектр и диапазон выбрасываемых загрязняющих веществ. Наименование категорий, данные о количестве

проезжающих и простаивающих на красный сигнал светофора автомобилей в соответствии с категориями представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Показатели интенсивности движения автотранспорта  
по направлению улицы Карла Маркса**

Категория транспортного средства		Количество	Кол-во машин, находящихся в очереди в течение 20 минут
I категория легковые автомобили		1545	507
II категория	Микроавтобусы	69	25
	Автобусы до 3,5 т.	33	10
III категория – грузовые до 14 т.		81	27
IV категория – грузовые свыше 14 т.		1	1
V категория – автобусы свыше 3,5т.		42	14

По улице Спасской интенсивность движения значительно ниже. Наблюдения показали, что количество проехавших по ней за исследуемый промежуток времени транспортных средств 1-й категории – 18 ед., 2-й категории – 4 ед., 3-й категории – 3 ед., 4-й категории – 1 ед., 5-й категории – 2 ед.

Результаты наблюдений показали, что в обоих направлениях подавляющее число среди автотранспортных единиц составляют легковые автомобили.

Согласно ГОСТ [2] для исследуемого перекрестка рассчитана масса валового выброса соответствующих виду топлива загрязняющих веществ (диоксид азота, оксид углерода, углеводороды, сажа, диоксид серы, формальдегид, бенз(а)пирен). Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Валовые массы выбросов загрязняющих веществ транспортными средствами (т/с) на перекрестке улиц Спасская и Карла Маркса**

Категория т/с	Объем выбросов, г/час						
	СО	NO <sub>2</sub>	углеводороды	сажа	SO <sub>2</sub>	формальдегид	бенз(а)пирен
I	2025	60,8	405	60,75	20,25	1,62	0,0006075
II	1800	36	270	72	8,1	1,26	0,00036
III	1687,5	81	445,5	607,5	11,475	4,86	0,0007425
IV	202,5	10,5	62,25	82,5	1,8	0,7125	0,0000975
V	855	45	256,5	301,5	6,75	2,16	0,000405

Таким образом, расчет массы валовых выбросов показал, что суммарный валовый выброс загрязняющих веществ в атмосферу на перекрестке улиц Спасская и Карла Маркса составляет 13,5 кг/час. Основная масса выбросов приходится в целом на все автобусы – 5,7 кг/час, на легковые автомобили – 2,8 кг/час. По показателям СО, NO<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub> наибольший валовый выброс производят легковые автомобили. По углеводородам, формальдегиду и бенз(а)пирену наибольший выброс производят легковые и грузовые автомобили, причем по массе выброса формальдегида лидирующие позиции занимают грузовые автомобили. Сажа в наибольших количествах выбрасывается грузовыми автомобилями и автобусами, которых по количеству единиц суммарно более чем в 10 раз меньше, чем легковых автомобилей.

Кроме того, во время проведения исследования количество пешеходов на перекрестке составило порядка 273-х человек, среди них 15% составляли дети, поскольку в исследуемом районе расположены общеобразовательная и музыкальная школы, детская библиотека им. А. Грина и кукольный театр. Неоднократные разовые замеры качества атмосферного воздуха в зоне дыхания человека на перекрестке по CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и формальдегиду показали наличие превышений гигиенических нормативов [3] ПДК<sub>м.р.</sub> (0,05 мг/м<sup>3</sup>) по формальдегиду от 2-х до 5 раз, что дает основание говорить о наличии негативного влияния выбросов автотранспорта на качество атмосферного воздуха в зоне дыхания пешеходов на данном перекрестке и требует более репрезентативного исследования для разработки различного рода мер по снижению выбросов от автотранспорта.

#### Библиографический список

1. Региональный доклад «О состоянии окружающей среды Кировской области в 2018 году». [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.kirovreg.ru/econom/ecology/-Регдоклад%202018.pdf> (дата обращения 06.03.2020)
2. ГОСТ – 56162-2014 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферу потоками автотранспортных средств на автомобильных дорогах разной категории». [Электронный ресурс]. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/58130/> (дата обращения 06.03.2020)
3. ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/556185926> (дата обращения 13.03.2020)

## ОЦЕНКА ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО *QUERCUS ROBUR* L. НА ТЕРРИТОРИИ МАЛИНОВОЙ ЗАСЕКИ

*Е. Ф. Леценко, Ю. С. Рыжих, А. В. Хапкина*

*Тульский государственный университет,*

*lena.lenojk@yandex.ru, ryzhikh.yuliya@bk.ru, Khapkina-av@yandex.ru*

В статье представлена относительная оценка жизненного состояния дуба черешчатого, произрастающего на территории Малиновой засеки Тульской области. Проведено описание пробной площади с оценкой состояния древесных пород, в особенности дуба черешчатого *Quercus robur* L., произрастающих на территориях с высокой антропогенной нагрузкой.

Ключевые слова: биомониторинг, биоиндикация, дуб черешчатый, оценка жизненности, Малиновая засека.

Одним из памятников природы и леса являются Тульские засеки, занимающие площадь около 65 тыс. га. Это особо ценный лесной массив, сохранившийся в северной лесостепи в виде ленты древнейших широколиственных лесов, возникших после ледникового периода. Особые формы рельефа, древняя гидрографическая сеть, разнообразие древесной растительности переходной

полосы от северной лесостепи к широколиственным лесам – все это представляет своеобразный комплексный ландшафт Тульских дубрав. Тульские засеки – уникальный природный объект, сохраняющийся в качестве экосистемы широколиственных лесов на протяжении более 500 лет и обладающий высокой природоохранной ценностью. Сформированная в середине второго тысячелетия система засек как компонент оборонительных сооружений на основе коренных лесов, является крупнейшим объектом такого рода на территории России. В состав этого ценнейшего естественно-исторического и научного объекта входит Малиновая засека [1, 2].

Малиновая засека – древний лесной массив, расположенный неподалеку от южной окраины областного центра – города Тула. Географически территория относится к Среднерусской возвышенности, зоне широколиственных лесов. Общая протяженность Малиновой засеки от г. Тулы до с. Крапивна в Щёкинском районе составляет около 60 км. В настоящее время на территории Малиновой засеки создана экологическая тропа, на маршруте которой можно увидеть имеющие хорошую сохранность межевые и боевые засечные рвы и валы. Если ранее засечные леса обороняли государство от вооруженного вторжения, то теперь они формируют благоприятную окружающую среду для всех людей, а также служат важным экологическим коридором, связывающим природные массивы Центральной России [2, 3]. Главной древесной породой, образующей леса Тульских засек, является дуб черешчатый (*Quercus robur* L.).

В XX веке леса данного района сильно сводились для нужд Косогорского металлургического завода, расположенного в пос. Косая Гора (ныне является частью г. Тулы), для земледелия и огородов. Остатки лесов сильно пострадали во время Великой Отечественной войны при обороне Тулы. После войны в начале 50-х годов началось массовое лесовосстановление на территории южнее г. Тулы.

Дуб черешчатый, или обыкновенный (*Quercus robur* L.) – это довольно крупное и мощное дерево 30–40 м высотой, имеющее широкую, объемную и сильно ветвистую крону. Ствол на значительном протяжении очищен от сучьев. Кора молодых дубов гладкая, серого цвета, в то время как кора старых дубов – темно-серая, трещиноватая, толстая, на побегах – серая, бурая или красно-бурая, с многочисленными чечевичками. Почki яйцевидные, на вершине притупленные. Листья удлинненно-обратноовальные, 4–7-лопастные, короткочерешчатые, с сердцевидным основанием и тупыми ушками, голые, на зиму опадающие. Плоды – желуди, односемянные, окруженные в нижней части сильно разросшейся плоской; созревают они осенью в год цветения. Дуб в первые годы жизни растет медленно и обычно дает один прирост в течение вегетационного периода [4, 5].

Дуб черешчатый имеет мощную стержневую корневую систему, что позволяет использовать влагу и питательные вещества со значительной глубины и удовлетворительно расти на довольно сухих и бедных почвах. Дуб довольно требователен к почвам, предпочитает свежие и влажные темно-серые и серые лесные суглинки, богатые гумусированные супеси и выщелоченные черноземы. На сухих и бедных песчаных, на оподзоленных суглинках, на каменистых и со-

лонцеватых почвах дуб растет плохо, больших размеров не достигает, часто кустится, образует ярус подлеска в борах на бедных песчаных почвах. Выносит временное переувлажнение в долинах рек, на почвах с застойными водами не растет. Также дуб очень требователен к свету. Верхушечного затенения не выносит, но нуждается в боковом затенении или в подгоне из сопутствующих более теневыносливых пород и кустарников (липы, вяза, ильма, кленов, лещины и др.). В Тульских засеках был выработан особый способ культуры дуба, названный «коридорным», при котором дубу создаются особые световые условия [4, 5].

Дуб – одна из долговечных древесных пород. Деревья доживают до 400–500 лет, отдельные – до 1000–1500 лет. Однако в настоящее время дубов в возрасте более 250 лет сохранилось немного [4, 5]. Один из таких дубов находится на территории Малиновой засеки (координаты – 54.111829 с.ш. 37.524508 в.д.).

Малиновую засеку условно разделяют на территорию «старого и нового леса». «Новый лес» – это искусственное насаждение дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) и орешника обыкновенного (*Corylus avellana* L.), произведенное примерно в 1953–1954 гг.

На территории нового леса была проведена исследовательская работа по определению жизненного состояния древесных пород путем описания пробной площади 20×20 м<sup>2</sup>. Под жизненностью дерева понимается уровень состояния растений, стойкость живых организмов к нарушениям среды. Жизненность является мерой соответствия условий данного фитоценоза потребностям популяции растений. Для оценки жизненного состояния деревьев использовалась 5-балльная шкала В. А. Алексеева [6].

Согласно этой шкале выделяются следующие категории жизненного состояния деревьев по визуальным характеристикам кроны:

1. Здоровое дерево. Не имеет внешних повреждений кроны и ствола, густота кроны обычная для господствующих деревьев, мертвые и отмирающие ветви сосредоточены в нижней части кроны и отсутствуют в верхней ее половине. Закончившие рост листья и хвоя зеленого или темно-зеленого цвета, их продолжительность жизни типична для региона. Повреждения листьев и хвои незначительны (менее 10%) и не сказываются на состоянии дерева.

2. Поврежденное (ослабленное) дерево. Обязателен хотя бы один из следующих признаков: снижение густоты кроны на 30% за счет преждевременного опадения или недоразвития листьев (хвои) или изреживания скелетной части кроны; наличие 30% мертвых и (или) усыхающих ветвей в верхней половине кроны; повреждение (объедание, ожог, хлорозы, некрозы и т.д.) и выключение из ассимиляционной деятельности 30% листовой поверхности.

3. Сильно поврежденное (сильно ослабленное) дерево. Обязателен хотя бы один из следующих признаков: снижение густоты облиствления кроны на 60% за счет преждевременного опадения листьев (хвои) или изреживания скелетной части кроны; наличие 60% мертвых и (или) усыхающих ветвей в верхней половине кроны; повреждение различными факторами и выключение из ассимилирующей деятельности 60% площади листьев; отмирание верхушки кроны.

4. Отмирающее дерево. Крона разрушена, ее густота – не менее 15–20% по сравнению со здоровой; более 70% ветвей, в том числе в верхней половине,

сухие или бледно-зеленого, желтоватого, оранжево-красного цвета. Некрозы белесого, коричневого или черного цвета. При загрязнении атмосферы большая часть некротизированных листьев быстро отмирает. В комлевой и средней части ствола возможны признаки заселения стволовыми вредителями.

5а. Свежий сухостой. Деревья, погибшие менее года назад. У них возможны остатки сухой хвои или листьев, кора и мелкие ветви часто бывают целы. Как правило, заселены насекомыми-ксилофагами.

5б. Старый сухостой. Деревья, погибшие в прошлые годы. Постепенно утрачивают ветви и кору.

Работа проводилась в ноябре 2019 г. – январе 2020 г. на территории «нового леса» с координатами – 54.105843 с.ш., 37.525907 в.д. Характеристика рельефа – склон водораздела; характеристика увлажнения – атмосферное. Отмечено наличие антропогенных нарушений – обнаружен мусор, в непосредственной близости – движение автотранспорта, остатки шахтных разработок, Косогорский металлургический завод на расстоянии около 5 км.

При характеристике древесного яруса отмечено следующее: сомкнутость древостоя составляет 50–60%; формула древостоя 9Д1Яс; породный состав древостоя, подлеска и жизненность (усредненные показатели) представлены в таблице 1. Видовой состав травяного яруса описан в таблице 2. На исследуемой территории отмечено наличие грибов трутовиков.

В работе проводилась оценка состояния желудей. Желуди собирались с почвы. Под одним деревом находилось примерно 150–200 желудей, из которых 95% составляли пораженные грибами. Проросших желудей отмечено не было.

Таблица 1

**Описание породного состава древостоя и подлеска**

Виды	Количество на площади	Высота, м	Диаметр ствола, см	Ширина куста, м	Сомкнутость, %	Жизненность, %
Дуб черешчатый <i>Quercus robur</i>	27	14	26	–	50–60%	2
Ясень обыкновенный <i>Fraxinus excelsior</i>	3	15	40	-		2–2,5
Орешник обыкновенный <i>Corylus avellana</i>	23	3,2	–	0,9	45–50%	1,5

Возобновление имеют такие древесные породы, как: дуб черешчатый, орешник обыкновенный, липа сердцевидная, с преобладанием подроста орешника и липы. Качество желудей в 2019 г. очень низкое, следовательно, возобновление дуба черешчатого будет проходить непродуктивно и медленно.

Таким образом, исследуемое сообщество называется дубняк снытьевый. В первом древесном ярусе доминирует дуб черешчатый, а в травяном – сныть огородная.

## Особенности травяного яруса

Вид	Проективное покрытие, %	Встречаемость, %	Высота, см	Фенофаза
Сныть огородная <i>Aegopodium podagrria</i>	50	80	28	Вегетация после плодоношения, отмирание
Копытень европейский <i>Asarum europaeum</i>	17	60	18	Вегетация после плодоношения
Крапива двудомная <i>Urtica dioica</i>	3	5	15	Вегетация после плодоношения
Будра плющевидная <i>Glechoma hederacea</i>	2	3	8	Вегетация после плодоношения
Хвощ лесной <i>Equisetum sylvaticum</i>	10	20	30	Вегетация

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что на территории «нового леса» Малиновой засеки дуб черешчатый, главная средообразующая порода, представлен ослабленными деревьями. Можно предположить, что этому способствовали совместное действие нескольких причин, таких как низкое биоразнообразие экосистемы, антропогенно измененный ландшафт, действие поллютантов, в том числе тяжелых металлов. Тульская область является высокоразвитым промышленным регионом и характеризуется неблагоприятной экологической ситуацией, обусловленной прежде всего тем, что на сравнительно небольшой территории сконцентрировано большое число предприятий различной промышленности, являющихся основными источниками загрязнения воздуха, почв, воды и биоты региона.

## Библиографический список

1. Лесные памятники / О. И. Рожков, Д. М. Гиряев, И. Д. Никодимов и др. М. : Агропромиздат, 1986. 208 с.
2. Малиновая засека [Электронный ресурс]. – URL: <http://malinovayazaseka.ru/about/> (дата обращения: 09.03.2020).
3. Лосева М. М., Якунина Ю. М. Туристско-экскурсионный экологический маршрут «Малиновая засека» в Тульской области // Молодежный туризм в России: ресурсы, тенденции, перспективы : материалы 4-й междунар. студенческой науч.-практ. конф. СПб. : Рос. гос. пед. ун-т, 2019. С. 81–83.
4. Шиманюк А. П. Дендрология. Изд. 2-е, доп. М. : Лесная промышленность, 1974. 264 с.
5. Атрохин В. Г., Калуцкий К. К., Тюриков Ф. Т. Древесные породы мира. Т. 3. Древесные породы СССР / под ред. К. К. Калуцкого. М. : Лесн. пром-сть, 1982. 264 с.
6. Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / под ред. В. А. Алексеева. Л. : Наука, 1990. С. 38–53.

## ВОПРОСЫ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ФТОРОПЛАСТОВ

*С. В. Хитрин, Э. А. Имамалиев, С. Л. Фукс*  
*Вятский государственный университет, imatalievEL@mail.ru*

Рассматриваются способы утилизации отходов фторопластов, которые образуются в больших количествах и практически не используются, а лишь накапливаются в окружающей среде. Цель работы – анализ совокупности работ по изучению возможности утилизации отходов фторопластов, а также обобщение их результатов, где изучены основные преимущества и недостатки фторполимерных материалов. К основным преимуществам можно отнести: высокую химическую, термическую и климатическую стойкость, низкую адгезию. К недостаткам относится образование большого количества отходов, а также отсутствие методов безопасной утилизации фторопластовых отходов. Для утилизации отходы нужно измельчать, но из-за уникальных свойств полимера необходимо соблюдать определенные требования. Полученные измельченные полимеры либо спекают, либо используют как добавку, например, в лаки. Полученные лаки (в которых присутствуют отходы фторопластов) обладают практически теми же свойствами, что и чистый фторопласт. Установлено, что отходы фторопластов наиболее рационально использовать в создании перспективных композиционных материалов.

Ключевые слова: фторопластовые отходы, преимущества и недостатки фторопластов, утилизация, защитные смазки, лаки, покрытия.

В современном мире создаются все новые и новые материалы. Часто это происходит с использованием полимеров, улучшающих их эксплуатационные характеристики. Новые материалы разрабатываются часто без учета воздействия на окружающую среду из-за чего, либо образуются большие количества отходов при производстве и эксплуатации, либо новый материал невозможно утилизировать известными методами и без опасных выбросов. Одними из таких материалов являются фторопласты, при производстве которых образуются большие количества отходов, которые накапливаются на предприятиях. К тому же в настоящее время использованные фторопластовые материалы чаще всего никак не утилизируются.

Из-за стремительного внедрения фторполимерных материалов в строительстве, авиастроении, мембранных методах разделения и других областях новой техники все более актуальной темой становится переработка и утилизация образующихся отходов.

Работа посвящена сравнительному изучению способов утилизации фторопластов и отходов на их основе для получения новых композиционных материалов.

Класс фторопластов включает самые разнообразные по свойствам продукты. Политетрафторэтилен (ПТФЭ) – базовый полимер, класса фторопластов, обладающий рядом специфических свойств, которые представлены в таблице 1.

## Уникальные свойства фторопластов

Фторопласт	Уникальные свойства		
	Химические	Физические	Биологические
Политетрафторэтилен (ПТФЭ)	Высокая химическая стойкость, нерастворим в большинстве известных растворителей.	Климатическая стойкость, высокая гидро- и лиофобность, обладает прекрасными электроизоляционными качествами, рекордно низким коэффициентом трения, сохраняет эксплуатационные характеристики в широком температурном интервале, от минус 269 до плюс 260 °С, что является большой редкостью для полимеров, материал подвергается механической обработке, что позволяет изготавливать из него разнообразные изделия, не подвержен старению.	Обладает биосовместимостью с живыми тканями, может включаться в живые организмы при попадании в окружающую среду (ОС).

Набор уникальных свойств обеспечивает быстро растущее применение ПТФЭ во многих отраслях науки, техники, промышленности, в медицине и быту [1].

Несмотря на уникальные свойства фторопластов, у них имеются недостатки, например, образование большого количества отходов, не способных к деградации в ОС. Отходы фторпласта можно разделить на несколько категорий: отходы производства, отходы обработки и отходы использования [2].

Независимо от категории отходы необходимо первоначально измельчать.

Наиболее перспективны основные три метода измельчения:

1) криогенное измельчение отходов в среде жидкого азота или инертных газов [3];

2) механическое измельчение отходов методом ударного действия после облучения ионизирующим радиоактивным излучением мощностью дозы до 5 Мрад [4];

3) термодеструкция с последующей сублимацией и конденсацией [5–7].

В первом способе измельчения используются хладагенты в целях охлаждения материала (т. е. чтобы материал стал хрупким), а затем измельчение в различных мельницах и дробилках. Образуется мелкодисперсный порошок ПТФЭ. Однако данный способ неэкономичен из-за высокой стоимости оборудования и его обслуживания, и малой эффективности использования образующихся порошков.

Установлено, что при механическом воздействии на полимер может происходить химический разрыв макромолекулы, когда суммарная энергия межмолекулярных взаимодействий звеньев цепи макромолекулы станет соизмеримой с энергией химических связей в цепи. Чтобы перевести полимер в измельченное состояние нужно увеличить скорость накопления деформации до такого состояния, чтобы она превосходила скорость ее рассеяния во много раз. Реализовать данное воздействие можно в мельницах ударного типа.

Еще одним способом является – твердофазное сдвиговое экструзионное измельчение. Данный способ включает такие фазы, как нагрев полимера, из-

мельчение под действием давления и сдвиговых деформаций при одновременном охлаждении. Данный способ измельчения проходит в шнековых установках. Основным недостатком данного способа заключается в использовании большого количества энергии при сравнительно невысокой степени дисперсности (данная дисперсность заключается в размере частиц, т.е. в данном способе размер частиц составляет менее 150 мкм).

Полностью снимаются в третьем способе термодеструкции фторопластовых отходов с исчерпывающим фторированием с получением ультрадисперсного (размер частиц 0,5–2 мкм) ПТФЭ (УПТФЭ).

Второй способ переработки отходов методом радиационного воздействия. Радиационная обработка – это обработка  $\gamma$  — излучением, в результате образуются активные центры, и создаются условия для молекулярной фрагментации. При действии излучений высокой энергии на ПТФЭ происходит разрыв связей основной цепи макромолекулы или отрыв замещающих групп. Возникают свободные радикалы и возможны как деструкция, так и дальнейшее сшивание полимера. Особенностью радиационной деструкции полимера является то, что он не разрушается до мономера. Тем не менее, радиационное облучение отходов ПТФЭ нерентабельно, так как требует дорогостоящего оборудования.

Третий, предлагаемый нами способ утилизации, включает процессы термодеструкции, сублимации продуктов разложения и конденсации в присутствии  $\text{CoF}_3$  [6, 7].

Для утилизации полученных отходов фторопластов порошок можно спечь, тем самым получив фторполимерный композитный материал. Температура спекания составляет 365–390 °С, необходимое время для получения материала зависит от количества порошка и массы. К основным процессам, проходящим при спекании, относится плавление и спекание. Вначале при 345°С происходит плавление кристаллитов и полимер расширяется примерно на 20-25%, затем при более высокой температуре частицы полимера сплавляются, и получается цельный блок.

Переработанные фторопластовые отходы можно использовать как добавки в различные лакокрасочные покрытия.

Антифрикционные лаки на основе фторопласта-4Д марок ФБФ-48Д, ФБФ-74Д, ВАФ-31 получают из растворов полимерных связующих, наполненных тонкодисперсным фторопластом-4Д, можно также вводить до 25% диспергированных отходов. Сравнительно низкая температура отверждения этих лаков позволяет наносить их не только на металлы, но и на дерево, пластмассы, ткань. Полученные лаки по антифрикционным свойствам практически не уступают покрытиям, полученным из чистого ПТФЭ, но превосходят их по адгезии и износостойкости (в 4–50 раз). Также полученные лаки можно использовать для пропитывания тканей, а также для получения антифрикционных текстолитов.

Применение продуктов деструкции отходов ПТФЭ наиболее эффективно в смазках. Порошок УПТФЭ, полученный методом термодеструкции из отходов фторопласта с исчерпывающим фторированием в присутствии  $\text{CoF}_3$ , имеет наименьший коэффициент трения качения. Полученный продукт оптимально использовать как компонент эффективных твёрдых и консистентных триболо-

гических материалов различного назначения [7]. Применение переработанных таким образом отходов фторопласта перспективно в качестве дисперсной фазы при осаждении на металлическую основу совместно с металлами и их солями. В результате можно получить композиционные покрытия, обладающие свойствами металлов и фторполимерной фазы. Оказалось, что присутствие суспензии УПТФЭ в растворах цинкования и никелирования в равных количествах приводит к образованию композитов с разной толщиной слоя ПТФЭ. В процессе электрохимического формирования композита толщина с фторполимером в 4,0–4,5 раза больше, чем при других методах нанесения [8] при большей прочности покрытий.

*Выводы.* 1. Показано, что наиболее эффективным методом переработки фторпластовых отходов является термодеструкция с исчерпывающим фторированием.

2. Установлено, что наиболее дисперсный ПТФЭ образуется при термодеструкции фторпластовых отходов в присутствии  $\text{CoF}_3$ .

3. Выявлены возможности широкого применения УПТФЭ в качестве компонентов при производстве уникальных смазочных материалов или износостойких композиционных защитных покрытий.

#### Библиографический список

1. Пашнин Ю. Фторпласты. Л. : Химия, 1978. 232 с.
2. Хитрин С. В., Фукс С. Л. Разработка условий использования нецелевых продуктов производства фторполимеров // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77. Вып. 9. С. 1491–1496.
3. Ecological problems of waste processing of fluoroplasts S. V. / Khitrin, S. L. Fuchs, S. V. Devyaterikova, V. Yu. Zakharov, S. N. Rodnikov // Theoretical and Applied Ecology. 2011. No. 1. P. 76–79. doi: 10.25750/1995-4301-2011-1-076-079
4. Кирюхин Д. П., Ким И. П. Радиационнохимический синтез теломеров тетрафторэтилена для создания тонких защитных фторполимерных покрытий // Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева. 2008. Т. LII. № 3. С. 8.
5. Кантаев А. С., Бузник В. М. Способ переработки отходов политетрафторэтилена // Патент РФ № 2437901. Приоритет от 01.07.2010. Дата публикации 27.12.2011. Бюлл. № 36.
6. Способ переработки фторпластов и материалов их содержащих, с получением ультрадисперсного фторопласта и нефторпарафинов / С. В. Хитрин, С. Л. Фукс, С. А. Казиенков, В. Ю. Филатов, Е. Н. Суханов // Патент РФ № 252 8054. Приоритет от 05.12.2011. Дата публикации 10.09.2014. Бюлл. № 25.
7. Фукс С. Л., Хитрин С. В., Девятерикова С. В. Переработка отходов фторопластов в ультрадисперсный политетрафторэтилен для получения смазок и защитных покрытий // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 87–94. doi: 10.25750/1995-4301-2019-3-087-094
8. Хитрин С. В., Рязанцева Е. А., Фукс С. Л. Исследование влияния отходов производства фторполимеров на свойства КЭП // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85. № 4. С. 599–601.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЗОЛЫ УНОСА ПРЕДПРИЯТИЯ И РАЗРАБОТКА УСЛОВИЙ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

*И. А. Холманских, С. Л. Фукс*

*Вятский государственный университет, igorholmanskih45@gmail.com*

После сжигания топлива в котлах ТЭЦ остается большое количество отходов – золы, которая редко используется в дальнейшем, поэтому нужно разработать новый материал на ее основе, который не только поможет избавиться от отходов ТЭЦ, но и будет использоваться в производстве покрытий, повышенной твердости и коррозионной стойкости. Работа была выполнена с использованием магнитной фракции золы уноса с размером частиц 1200–90 мкм. Применялся раствор химического никелирования. Процесс химического никелирования происходил при  $t = 90$  °С. Получен композиционный материал (КМ), состав которого представлен рядом элементов, расположенных в порядке убывания процентного веса:  $O \rightarrow Fe + Ni \rightarrow C \rightarrow Si \rightarrow Al \rightarrow Mg + Ca \rightarrow Na + K \rightarrow Mn \rightarrow Ti \rightarrow S$ . КМ рекомендован к применению в производстве покрытий повышенной твердости и коррозионной стойкости.

Ключевые слова: никелирование, композиционный материал, композиционное покрытие, дисперсная фаза.

Химическое никелирование широко внедряется в гальванотехнику благодаря ценным свойствам покрытия: высокой равномерности, большой твердости, значительной коррозионной стойкости и износостойкости. Благодаря своим специфическим свойствам химическое никелирование находит применение во многих отраслях машиностроения и приборостроения: для покрытия металлических изделий сложного профиля. В настоящее время освоены промышленностью и применяются на практике композиционные материалы (КМ) и композиционные покрытия (КП), в которых матрицей является никель или другой металл, а дисперсной фазой (ДФ) – любое твердое дисперсное вещество. В качестве дисперсной фазы можно использовать как целевые продукты, так и отходы производств.

Теория процесса получения композиционного покрытия без наложения тока [1]. Преимущества КП с использованием химического осаждения металла на поверхности изделия выявляются в полной мере. В случае их выделения из растворов без использования внешнего источника тока. Исследования были начаты непосредственно за проявлением всеобщего интереса к композиционному электрохимическому покрытию (КЭП). Ряд работ посвящен детальному изучению КП с матрицей из Ag и сплава Ni-P, выделяемого из фосфат-растворов. Раствор бестокового выделения серебра, модифицированный в суспензии добавкой частиц B, C, Si, Ti, W, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MoS<sub>2</sub>, Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> или B<sub>4</sub>C, позволял получать покрытия различного состава со скоростью выделения до 1,5 нм/с. Отмечено естественное выделение серебра на поверхности ДФ, обладающей проводимостью.

Покрyтия с матрицей из Ni-P сплава содержали и частицы В, С, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC. Отмечена активность электропроводящих частиц α-C относительно процесса образования Ni-P сплава. Доля ДФ велика, особенно в начальных слоях покрyтий (до 90 об%). ДФ ингибирует восстановление H<sub>2</sub>PO<sub>2</sub><sup>-</sup>-иона до фосфора и приводит к образованию сильно развитой поверхности.

Целью данного проекта являлась разработка условий использования одновременного применения отходов машиностроительных и энергетических производств для получения композиционного покрyтия никель – фосфор – зола уноса.

В работе были поставлены задачи:

- изучение процесса нанесения композиционного покрyтия никель - фосфор - зола уноса необходимо осуществить после всестороннего изучения технологии формирования химического покрyтия никелем поверхности металла;
- опробование состава раствора и разработка режимов нанесения химического покрyтия никель - фосфор;
- изучение условий нанесения композиционного покрyтия никель - фосфор - зола уноса;
- переработка жидких отходов раствора химического никелирования во вторичные продукты.

Приготовление раствора, для чего в определенном количестве воды последовательно растворялись соли: 25 г/л никель серноокислый, 13 г/л натрий уксуснокислый и добавлялось 11 г/л уксусной кислоты. До и после проведения опыта контролируется кислотность раствора рН-метра по калибровочной кривой. Для определения концентрации ионов никеля аликвоту исследуемого раствора переносят в колбу для титрования, нейтрализуют раствором 10% аммиака, добавляют индикатор мурексид. Раствор приобретает желтый цвет. Для определения содержания ионов никеля в растворах никелирования до и после процесса использовался комплексометрический метод. Перед нанесением покрyтия на поверхность металла проводится механическое удаление толстых слоев оксидов наждачной бумагой, химическое обезжиривание в растворе с последующей промывкой в теплой и холодной воде, промывают раствором серной кислоты с последующей промывкой в теплой и холодной воде. Производится сушка в сушильном шкафу, взвешивают, активируют и промывают холодной дистиллированной водой. Для нанесения покрyтия образцы помещают в нагретый раствор и с соблюдением температурного режима оставляют на час. По истечению времени раствор сливают в отдельную тару для очистки.

Для получения оптимального состава композита зола разделяется на фракции методом грохочения на виброрассеве, с определением масс соответствующих фракций в интервале 1200–90 мкм. После разделения золы проводится магнитная сепарация и отделяется магнитная составляющая. Перед получением композита зола подвергается промывке в серной кислоте с последующей промывкой в холодной дистиллированной воде, фильтрации, сушке в сушильном шкафу. Зола помещается в раствор нагретый до 90 °С, вводится доза гипофосфита натрия, для предотвращения саморазряда раствор перемешивается в течение следующего часа. Выделяется водород и на поверхности золы восстанавли-

вается никель, фильтруют, отфильтрованные частицы зола помещают в сушильный шкаф, раствор сливается в отдельную тару, определяется концентрация никеля и производится очистка. Для определения массы КП сравниваются массы до и после применения раствора химического никелирования. Для изучения полученного покрытия используется сканирующий электронный микроскоп. Для химической утилизации сточных вод используется физико-химический метод и химический метод. Удаление ионов никеля из отработанных растворов химического никелирования осуществляется добавлением в раствор, содержащий ионы никеля, стеарата натрия. При необходимости дополнительной очистки раствора никелирования производилась его обработка раствором гидроксида натрия.

В ходе работы проводилось 3 опыта нанесения покрытия с разной массой зола уноса. Результаты опытов представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Результаты нанесения покрытия никель-фосфор на поверхность зола**

№ опыта	$m_1$ , г	$m_2$ , г	$\Delta m$ , г	$C_{Ni^{2+}}^{ач}$ , г/л	$C_{Ni^{2+}}^{кон}$ , г/л	$\Delta C$ , г/л	pH исх	pH кон	Внешний вид покрытия
1	1,0008	0,9975	0	5,4	5,28	0,12	3,5	2,9	Светло-серый цвет
2	2,0402	2,1155	0,0753	5,4	4,43	0,97	3,5	3,0	
3	2,9970	3,0258	0,0288	5,4	4,78	0,62	3,5	2,8	

Из таблицы 1 видно, что масса после никелирования увеличилась, а концентрация никеля в растворе после опыта уменьшилась, из чего можно сделать вывод, что произошло осаждение никеля на поверхности зола уноса и произошло образование композита. Результаты получившегося композита представлены на рисунке 1, где показана морфология зола до и после никелирования.

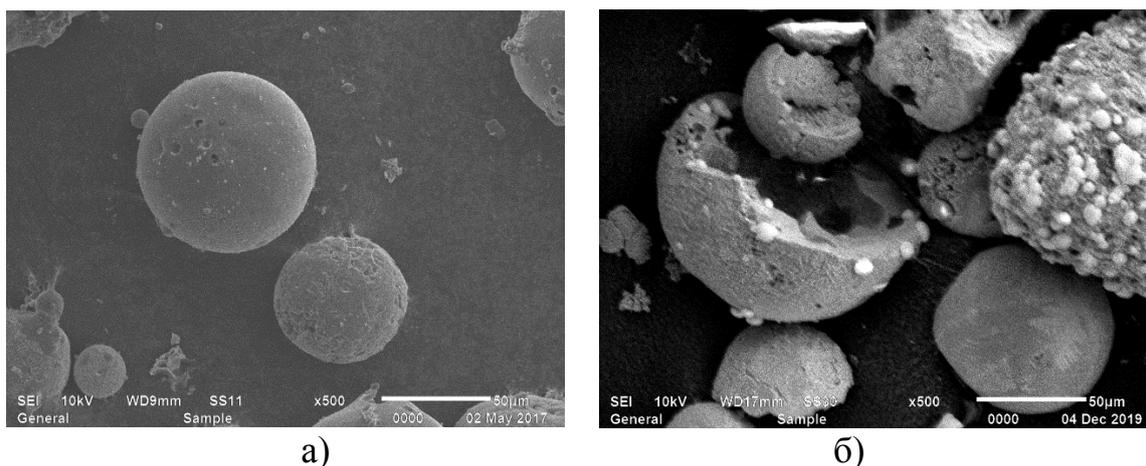


Рис. 1. а) морфология зола до никелирования при увеличении в 500×  
 б) морфология зола после никелирования при увеличении в 500×

На рисунке 1 (а) видно сферическую форму частиц, углубления на оболочке указывают на то, что данная сфера является ценосферой (полый сферой). На рисунке 1б видно, что ценосферы частично растворились и никель осел на

образовавшихся полостях. После проведения никелирования состав золы изменился. В таблице 2 представлен химический состав золы до никелирования, а в таблице 3 после.

Таблица 2

**Химический состав золы до никелирования**

Элемент, % вес									
C	O	Na+K	Mg+Ca	Al	Si	S	Ti	Mn	Fe (котел)
7,455	39,42	1,97	3,23	7,98	17,30	0,55	Отс.		21,99

Таблица 3

**Химический состав золы после никелирования**

Элемент, % вес									
C	O	Na+K	Mg+Ca	Al	Si	S	Ti	Mn	Fe+Ni
20,77	32,58	0,52	1,63	3,12	6,46	0,11	0,19	0,56	34,01

Из таблицы 2 и 3 видно, что произошло изменение состава, появились элементы, которые находились в объеме ценосферы, появился никель, что способствовало увеличению массы металлов группы железа.

После проведения химического никелирования остается сточная вода, которую нужно подвергать очистке. Очистка проводилась в 2 стадии с помощью стеарата натрия и гидроксида натрия результаты очистки представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Результаты утилизации отходов химического никелирования**

Материал	Концентрация до очистки, г/л	Концентрация после очистки, мг/л		ПДК <sub>Ni</sub> , мг/л	
		стеарат натрия	гидроксид натрия	рыб. хоз.	культ. быт.
Сталь	5,8113	6,34	0,06	0,01	0,1
Зола	5,45	5,28	0,03	0,01	0,1

Из таблицы 4 видно, что после отчистки стеариновой кислотой концентрация никеля не уменьшилась, а после дополнительной очистки гидроксидом натрия концентрация воды стала допустимой для использования в культурно-бытовом сегменте, но больше для ПДК рыбохозяйственного назначения.

По итогам работы было получено композиционное покрытие никель - фосфор - зола уноса. Для его получения был опробован раствор химического никелирования, разработан оптимальный режим нанесения химического покрытия никель – фосфор, а также были переработаны жидкие отходы.

**Библиографический список**

1. Сайфуллин Р. С. Композиционные электрохимические покрытия // Электроосаждение металлов и сплавов : сб. науч. тр. / Вят. гос. ун-т. Москва, 1991. С. 133–145.

# АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЗОЛЫ УНОСА КИРОВСКОЙ ТЭЦ-5 ПО ОТНОШЕНИЮ К АРОМАТИЧЕСКИМ СОЕДИНЕНИЯМ

*С. Л. Фукс, Н. В. Ушаков*

*Вятский государственный университет, tzb\_fuks@vyatsu.ru*

Одним из многотоннажных отходов теплоэнергетических производств является зола уноса. Для снижения нагрузки на окружающую среду от золошлакоотвалов необходимо искать новые области применения данного отхода, в том числе и для утилизации бензола. Для этого необходимо исследовать адсорбционную способность золы уноса по отношению к бензолу, сравнить поглощательные способности золы уноса Кировской ТЭЦ-5 и активированного угля марки БАУ-А по отношению к бензолу. Методом исследования является пропускание воздуха, загрязненного парами бензола через колонки с адсорбентами с последующим определением концентрации бензола в газовой смеси на выходе из колонок. Установлено, что зола уноса Кировской ТЭЦ-5 способна поглощать бензол, при этом зола уноса эффективнее поглощает бензол, чем активированный уголь марки БАУ-А. Из этого следует, что зола уноса может использоваться как дешевый и эффективный адсорбент бензола.

Ключевые слова: адсорбент, отход, зола уноса, воздух, бензол.

В настоящее время накапливается очень много твердых отходов от ТЭЦ, такие как шлак и зола. Эти отходы можно использовать в качестве вторичных ресурсов или извлекать из них ценные компоненты.

В России отмечается низкий уровень использования золошлаковых отходов по сравнению со странами Европейского союза. Это приводит к высокой нагрузке на окружающую среду от золошлакоотвалов практически во всех регионах России [1].

Среди разработанных методов уменьшения накопленных объемов золы и шлака, наиболее распространено применение золы в строительных производствах в качестве вторичного сырья [2]. Помимо строительства зола уноса применяется и в других областях: формирование изделий 3D-принтером [3], производство катализаторов, [4], изготовление звукопоглощающих и термоизоляционных материалов [5], синтез цеолитов и добавка для улучшения качества почв [6].

Проводились исследования, которые показали, что золу уноса можно применять при очистке загрязненных сточных вод от нефтепродуктов [7] и некоторых ионов тяжелых металлов [8].

Установлено, что зола уноса способна адсорбировать следующие газы: оксид серы (IV), оксиды азота и летучие органические соединения [6, 9, 10]. Это позволяет заменить такой дорогостоящий сорбент, как активные угли.

Целью исследования является исследование адсорбционной способности золы уноса Кировской ТЭЦ-5 по отношению к бензолу.

Для достижения намеченной цели были поставлены следующие задачи: исследовать химический состав исследуемой золы; оценить адсорбционную

способность золы уноса по отношению к бензолу; изучить адсорбционную способность известного адсорбента по отношению к бензолу, в качестве адсорбента выбрать активированный уголь марки БАУ-А; сравнить результаты экспериментов по поглощению бензола выбранными материалами.

С помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) были получены фотографии поверхности частичек золы и их размеры. Химический состав исследуемой золы определялся с помощью энергодисперсионного рентгеновского микроанализа. Исследование адсорбционных активностей золы уноса и активированного угля марки БАУ-А проводилось следующим образом: колба с небольшим количеством бензола подключалась к системе продувки воздуха; поток газов проходил через каталитическую колонну, где нагревался до нужной температуры, также в колонне производилась первичная очистка воздуха от бензола; далее воздух поступал в колонку с одним из адсорбентов, и после нее газовая смесь поступала в газоанализатор КОЛИОН-1А-01С, где определялась концентрация бензола в продуваемой газовой смеси; в случае холостого опыта воздух после каталитической колонны сразу поступал в газоанализатор.

Фотография поверхности золы уноса, полученная на СЭМ представлена на рисунке 1.

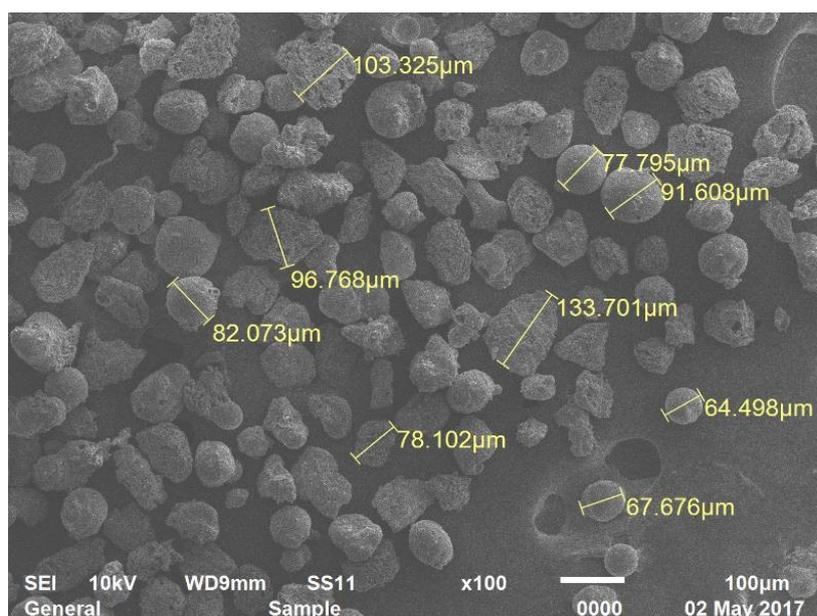


Рис. 1. Морфология золы уноса

Таблица 1

**Элементный состав исследуемой золы уноса**

Содержание элемента, % (масс.)									
C	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe
11,99	40,85	0,60	0,74	8,30	18,36	0,24	0,81	2,85	15,27

Из элементного состава золы уноса (табл. 1), видно высокое содержание следующих элементов: кислород, кремний, углерод, железо и алюминий. Высокое содержание кислорода, кремния и алюминия соответствуют алюмосиликатам. Наличие значительного количества углерода обусловлено наличием частичек кокса. Высокое содержание железа свидетельствует о коррозии парового

котла. Исследования адсорбционной емкости для активированного угля и золы уноса проводились при трех температурных режимах: при 50 °С, при 100 °С и при 150 °С. При проведении опытов отмечалось время, при котором изменялась концентрация бензола в газовой смеси, поступающей в газоанализатор, и сама концентрация в этот момент времени. Получившиеся зависимости представлены на рисунках 2–4.

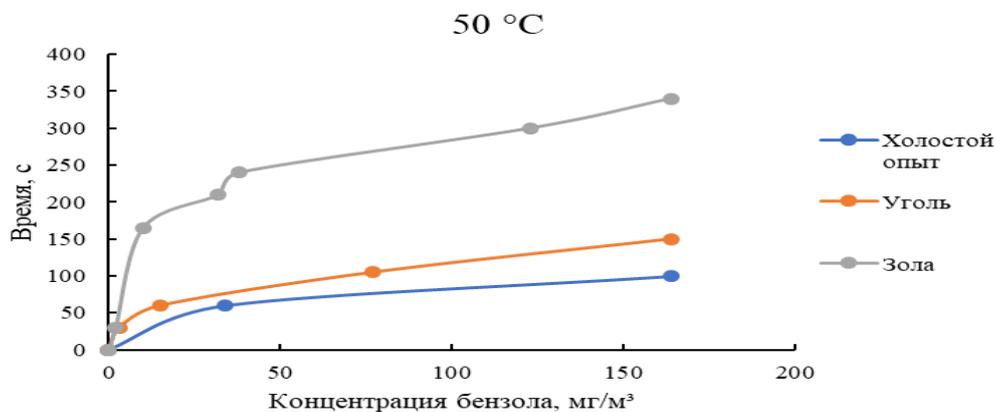


Рис. 2. Кинетические зависимости сорбции при 50 °С

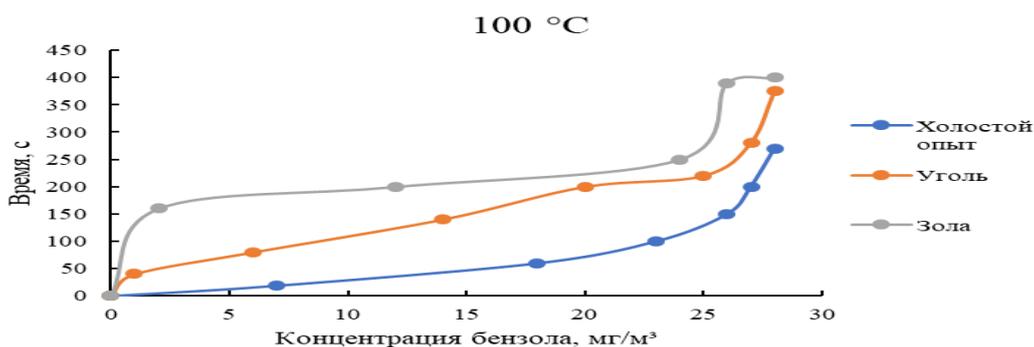


Рис. 3. Кинетические зависимости сорбции при 100 °С

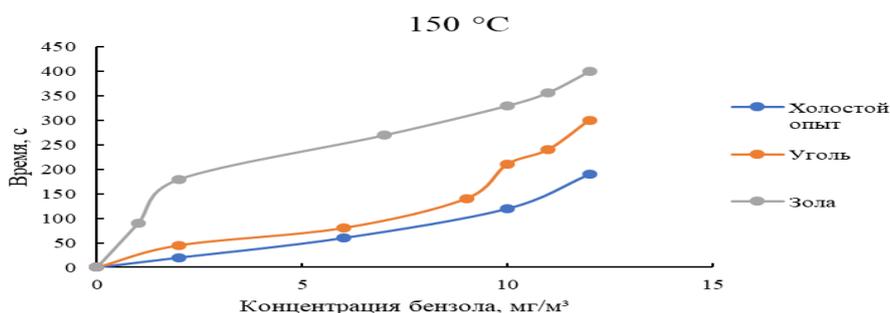


Рис. 4. Кинетические зависимости сорбции при 150 °С

Из графиков видно, что для достижения определенной концентрации золе уноса требуется большее время, чем активированному углю. На некоторых участках кривых видно, что концентрация с ходом времени почти не меняется, что говорит об активном процессе адсорбции. В некоторых случаях наблюдается

несколько таких участков на одной кривой, что может свидетельствовать о разных механизмах адсорбции. Для наглядного сравнения были построены диаграммы, показывающие время, при котором концентрация возрастает до  $10 \text{ мг/м}^3$  для каждого опыта (рис. 5–7).

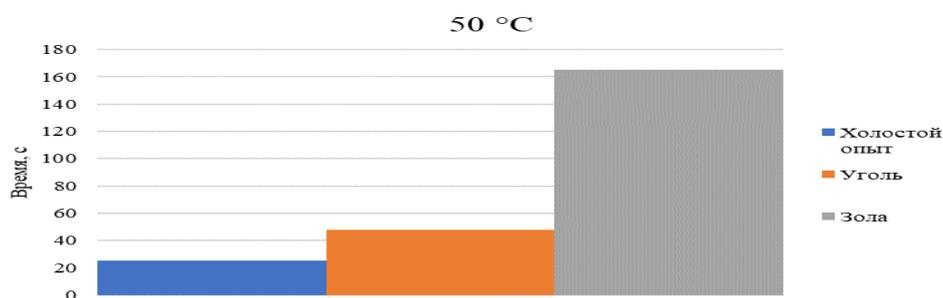


Рис. 5. Сравнительная диаграмма для  $50 \text{ }^\circ\text{C}$

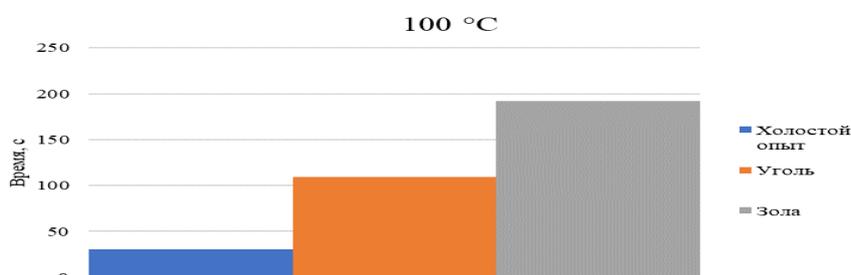


Рис. 6. Сравнительная диаграмма для  $100 \text{ }^\circ\text{C}$

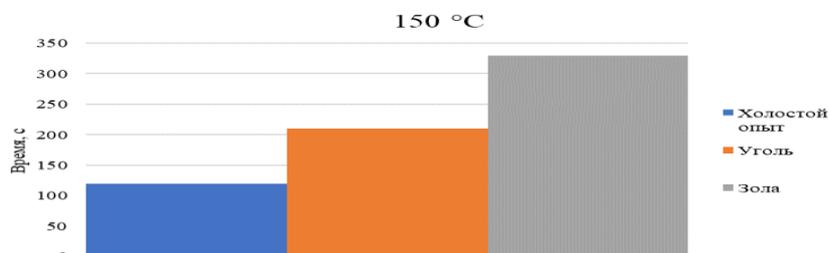


Рис. 7. Сравнительная диаграмма для  $150 \text{ }^\circ\text{C}$

Из диаграмм видно, что концентрация бензола в газовой смеси достигает значения  $10 \text{ мг/м}^3$  за большее время, проходя через колонку с золой, чем через колонку с активированным углем. Из этого следует, что зола уноса Кировской ТЭЦ-5 обладает лучшей способностью к адсорбции бензола, чем активированный уголь марки БАУ-А.

*Выводы.* 1. Зола уноса Кировской ТЭЦ-5, образованная путем сжигания угля кузнецкого бассейна, способна поглощать из газовой среды бензол.

2. У исследуемой золы адсорбционная способность по отношению к бензолу больше, чем у активированного угля марки БАУ-А.

3. Использование золы уноса в качестве адсорбента вместо активного угля обусловлено большей эффективностью адсорбции бензола, меньшими экономическими тратами и снижением нагрузки окружающую среду.

### Библиографический список

1. Сиротюк В. В. Опыт и перспективы использования золошлаковых материалов в транспортном строительстве // Расширение региональной сырьевой базы вовлечением в оборот золошлаковых материалов ТЭЦ ОАО «ТГК-11»: материалы региональной науч.-практ. конф. Омск: ТГК-11, 2007. С. 37–52.
2. Ватин Н. И. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2011. № 4. С. 16–21.
3. 3D-печать в строительстве / Н. И. Ватин, Л. И. Чумадова, И. С. Гончаров, В. В. Зыкова, А. Н. Карпеня, А. А. Ким, Е. А. Финашенков // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 1. С. 27–46.
4. Wang S., Lu G. Q. Effect of chemical treatment on Ni fly-ash catalysts in methane reforming with carbon dioxide // Natural Gas Conversion VII, 27–31 May. 2007. URL: [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(07\)80144-3](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(07)80144-3) (accessed 20.02.2020).
5. Potential Recycling of Bottom and Fly Ashes in Acoustic Mortars and Concretes / C. Leiva, L. F. Vilches, C. Arenas, S. Delgado, C. Fernández-Pereira // ACI Materials Journal. 2012. Vol. 109, I. 5. P. 529–535. URL: <https://doi.org/10.14359/51684084> (published: 09.11.2012).
6. Ge J. C., Yoon S. K., Choi N. J. Application of Fly Ash as an Adsorbent for Removal of Air and Water Pollutants // Applied Sciences. 2018. Vol. 8, I. 7. P. 1116–1140. URL: <https://doi.org/10.3390/app8071116> (published: 10.07.2018).
7. Fux S. L., Devyaterikova S. V., Musikhina T. A. Geosorbent Based on the Combination of Kuznetsk-Basin Coal Fly Ssh With Various Kinds of Lignin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272, I. 2. P. 122–129. URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/2/022053> (accessed 20.02.2020).
8. Cho H., Oh D., Kim K. A study on removal characteristics of heavy metals from aqueous solution by fly ash // Journal of Hazardous Materials. 2005. Vol. 127, I. 1–3. P. 187–195. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.07.019> (accessed 20.02.2020).
9. Applicability of Coal Combustion Ashes to Use as Additives in Flue Gas Desulfurization / H. Jo, S. Kim, Y. Seo, S. Back, H. Joung, H. Yoon, J. Hong // Japan Society of Material Cycles and Waste Management. 2013. I. 24. P. 687–688. URL: [https://doi.org/10.14912/jsmcwm.24.0\\_687](https://doi.org/10.14912/jsmcwm.24.0_687) (accessed 20.02.2020).
10. Буваков К. В., Купрюнин А. А. Экспериментальные исследования сорбционных свойств золы уноса канско-ачинских и кузнецких углей при денитрификации дымовых газов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2002. Т. 305, № 2. С. 166–171.

## ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, ОБЛАДАЮЩИХ ВЫСОКИМИ ЗАЩИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ С УПОРЯДОЧЕННЫМИ ФАЗАМИ

*С. Л. Фукс, С. В. Хитрин, Ю. С. Михалицына*  
*Вятский государственный университет, stud087045@vyatsu.ru*

Исследована возможность получения защитных композиционных электрохимических покрытий (КЭП) на основе никеля и алюминия с введением в их матрицу дисперсных фаз, получаемых из промышленных отходов с упорядоченными фазами, – золы уноса, являющейся отходом теплоэнергетики, а также отходов производства фторполимеров. Магнитная фракция золы уноса с размерами частиц менее 90 мкм, полученная при сжигании каменного угля Кузнецкого бассейна марки СС (самоспекающийся), применялась для создания КЭП

на основе никеля на стали. Полученные КЭП никель – зола уноса обладают высокой износостойкостью, микротвердостью (296 кгс/мм<sup>2</sup>) и коррозионной стойкостью (более 99%). Суспензии фторопластов Ф-4Д (политетрафторэтилена) и Ф-4МД (сополимера тетрафторэтилена с гексафторпропиленом), а также маточный раствор процесса получения фторопласта Ф-4Д применялись для нанесения КЭП на алюминий. Полученные КЭП оксид алюминия – фторопласт обладают повышенными прочностью и эластичностью, улучшенными антинакипными и антипригарными свойствами.

Ключевые слова: композиционное электрохимическое покрытие, никель, алюминий, зола уноса, фторопласт.

В процессе ряда производств в больших количествах образуются отходы, требующие поиска путей их утилизации. Актуально проводить разработку технологий утилизации данных отходов с опорой на присущие им уникальные ценные свойства.

Одними из таких отходов являются отходы фторполимеров, обладающие целым рядом ценных свойств, таких как химическая инертность, теплостойкость и т. д., обусловленных строением молекул полимеров. Введение фторопластов в состав электролитов при нанесении электрохимических покрытий позволяло получать покрытия с повышенными коррозионной стойкостью, износостойкостью, гидрофобностью, антипригарными свойствами [1, 2].

Также к ценным многотоннажным отходам относятся золошлаковые отходы, образующиеся при сжигании твердых топлив в котлах теплоэлектростанций. Ранее проводимые исследования [3] свидетельствовали о нахождении в составе золы уноса упорядоченных углеродных структур без включений и с включениями различных металлов. Введение в металлические покрытия различных фракций золы уноса повышало коррозионную стойкость, пассивирующую способность и износостойкость данных покрытий [4, 5].

Целью настоящей работы является исследование возможности получения композиционных электрохимических покрытий на основе никеля с добавлением магнитной фракции золы уноса и на основе алюминия с добавлением суспензий фторполимеров и маточных растворов их производства.

Задачами исследования являлись: изучение физико-химических свойств полученных покрытий и разработка оптимальных условий для нанесения качественных композиционных покрытий.

В качестве дисперсной фазы при нанесении никелевого покрытия использовалась магнитная фракция золы уноса с размерами частиц менее 90 мкм, получаемая от сжигания каменного угля кузнецкого угольного бассейна марки СС (слабоспекающийся) в котлах ТЭЦ-5 г. Кирова (Кировская область).

Магнитную фракцию золы уноса менее 90 мкм получали путем последовательных гранулометрического и магнитного фракционирования с применением постоянного магнита.

Композиционное электрохимическое покрытие (КЭП) никель – зола уноса наносили электрохимическим способом на установке, состоящей из пласти-

ковой ванны, катода (покрываемая пластина из стали марки 30ХГСА) и никелевых анодов. Electrodes were connected to a constant current source Matrix MPS-3003LK-1.

Покрытия осаждали из хлоридного электролита ( $\text{NiCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O} - 300 \text{ г/л}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3 - 20 \text{ г/л}$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl} - 20 \text{ г/л}$ , зола уноса – 20 г/л, pH – 3,5–4,0) в течение 20 мин. при температуре 40–50 °С и плотности катодного тока 2,5 А/дм<sup>2</sup>. Исследовалась возможность модифицирования покрытий введением в электролит солей лантана ( $\text{La}^{3+}$ ) в количестве 0,48 г/л.

В качестве дисперсной фазы при анодировании алюминия использовались суспензии фторопластов – Ф-4Д (политетрафторэтилена) и Ф-4МД (сополимера тетрафторэтилена с гексафторпропиленом), а также маточный раствор процесса получения фторопласта Ф-4Д (МР Ф-4Д).

КЭП оксид алюминия – фторопласт наносили также электрохимически на установке, состоящей из источника постоянного тока Matrix MPS-3003LK-1 и подключенных к ней анода (покрываемая пластина из алюминиевого сплава АЛ2) и свинцовых катодов, электролиз проводили в течение 30 мин. Составы электролитов анодирования, применяемых для нанесения КЭП, представлены в таблице 1.

*Таблица 1*

**Составы электролитов анодирования**

№ п/п	Состав электролита, г/л	Плотность анодного тока, А/дм <sup>2</sup>
1	Щавелевая кислота – 35,5, лимонная кислота – 21,5, pH 1,1	4,6
2	Щавелевая кислота – 38,5, лимонная кислота – 25,9, Ф-4Д – 10, pH 1,0	4,3
3	Щавелевая кислота – 18, лимонная кислота – 12,4, Ф-4МД – 10, pH 1,5	4,6
4	Щавелевая кислота – 21, лимонная кислота – 15,4, растворитель – МР Ф-4Д, pH 1,45	4,1

Определение структуры и состава материалов проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) JEOL JSM-6510 LV, оснащенного системой энергодисперсионного рентгеновского микроанализа (ЭРМ) Oxford.

Микротвердость покрытий определялась по методу Виккерса (вдавливанием в испытуемый материал правильной четырехгранной алмазной пирамиды) с применением микротвердомера ПМТ-3М.

Испытание КЭП никель – зола уноса на коррозионную стойкость проводили путем выдерживания покрытых образцов при температуре 18–20 °С в среде 3% NaCl в течение 1–300 ч, периодического определения изменения массы и визуального осмотра.

Измерение внутреннего напряжения (ВН) сжатия КЭП оксид алюминия – фторопласт проводилось методом деформации гибкого анода. В качестве анода использовалась алюминиевая пластинка толщиной 0,1–0,2 мм, размером 10 × 60 мм, одна сторона которой изолировалась. В качестве катода применя-

лась свинцовая пластинка такого же размера. Анод неподвижно закреплялся неизолированной стороной в сторону катода и погружался в электролит на глубину 40 мм. Нижний конец электрода фокусировался на нуль оптической шкалы микроскопа. По мере образования покрытия под действием возникающего в осадке ВН происходил изгиб анодной пластинки, величина которого фиксировалась относительно оптической шкалы.

Определение антинакипных свойств КЭП оксид алюминия – фторопласт проводилось путем выдержки покрытых алюминиевых трубок в кипящей воде с жесткостью, превышающей в 5 раз умеренную жесткость водопроводной воды, в течение 100 ч и периодического определения увеличения удельной массы образцов (определение удельной массы накипи).

Определение антипригарных свойств КЭП оксид алюминия – фторопласт путем воздействия на поверхность покрытых алюминиевых пластин полиэтиленовой пленки при давлении 2 кг/дм<sup>2</sup> и температуре 180 °С в течение 20 с.

*КЭП никель – зола уноса.* Частицы используемой магнитной фракции золы уноса представлены целыми сферами и ценосферами. Определение состава частиц путем снятия ЭРМ спектров показало, что для них характерно высокое содержание железа (более 30%) и углерода (более 9% вес на внутренней поверхности сфер), а также примеси переходных металлов титана и марганца, что может свидетельствовать о наличии в магнитных частицах золы уноса менее 90 мкм самоорганизующихся углеродсодержащих структур.

Параметры покрытий зависят от состава электролита, плотности тока, времени электролиза, выхода по току никеля. Спектральный анализ составов поверхностей полученных покрытий, а также их микротвердость (HV) и коррозионная стойкость (Э) представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Составы поверхностей покрытий (ЭРМ-спектры)**

Элек- тро- лит	Элемент и его содержание в вес. %												HV, кгс/ мм <sup>2</sup>	Э, %
	C	O	S	Na + K	Mg + Ca	Al	Si	Cl	Mn	Fe	Zn	Ni		
Хло- рид- ный	5,20	2,49	–	0,10	0,05	–	0,06	–	0,02	0,11	0,03	91,94	335	99,81
Хло- рид- ный + La <sup>3+</sup>	5,20	1,52	–	0,07	0,05	0,01	0,07	–	0,03	0,04	–	93,01	377	99,50
Хло- рид- ный + зола уноса	6,71	6,10	–	0,13	0,11	0,31	0,92	–	0,06	19,69	0,01	65,96	244	99,11
Хло- рид- ный + зола уноса + La <sup>3+</sup>	5,29	16,75	–	0,07	3,96	0,87	3,09	0,13	0,18	4,57	–	65,09	296	99,68

Коррозионная стойкость всех получаемых покрытий выше 99%. Оказалось, что присутствие золы уноса несколько снижает твердость покрытий. Наиболее твердые покрытия образуются из хлоридного электролита с добавкой соли лантана без добавления золы уноса при прочих равных условиях. Лантан в составе покрытий не наблюдается, так как обладает высоким отрицательным потенциалом (-2,38 В) и не восстанавливается совместно с никелем (-0,25 В).

Структура поверхностей полученных покрытий представлена на рисунке.

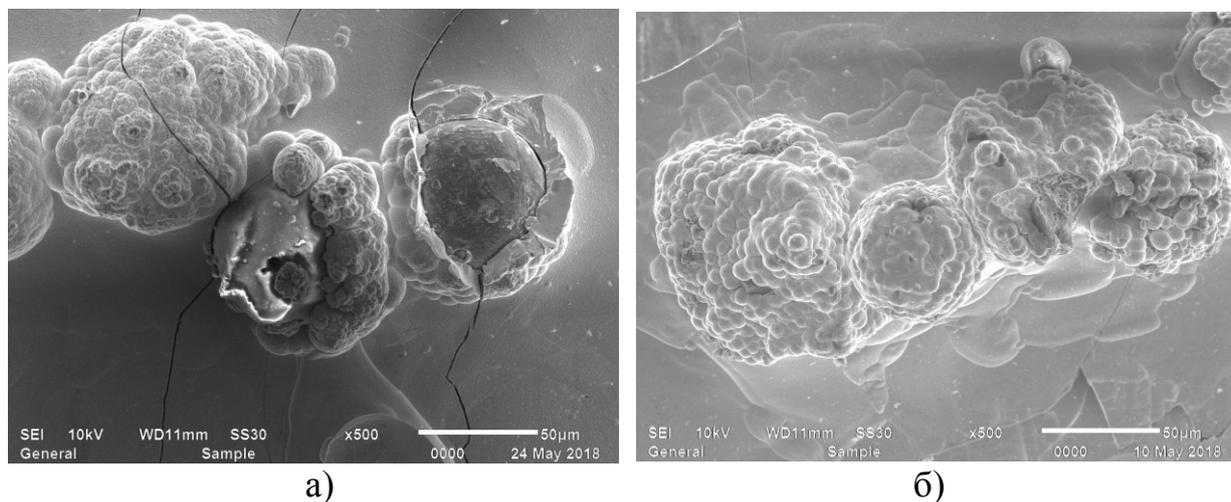


Рис. Структура КЭП никель – зола уноса, полученных из хлоридного электролита с добавлением золы уноса: а) без добавления  $\text{La}^{3+}$ ; б) с добавлением  $\text{La}^{3+}$  (увеличение  $500\times$ )

Из рисунка видно, что более равномерный слой никеля, а также лучшее зарастивание слоев никеля осаждаемых на подложку частиц золы происходит из хлоридного электролита с добавлением лантана. Наблюдается пирамидальный рост кристаллитов никеля и точки роста.

Действие ионов лантана заключается в том, что при достаточной концентрации  $\text{La}^{3+}$  в электролите в прикатодном слое с самого начала процесса электровыделения никеля тормозится реакция электровыделения водорода за счет ускорения процесса разряда молекул воды по мостиковому механизму. Скорость восстановления ионов  $\text{Ni}^{2+}$  при этом возрастает, в процесс успевают вовлекаться катионы, находящиеся в диффузионном слое, быстрее образуются покрытия необходимой толщины с повышенной микротвердостью [6].

*КЭП оксид алюминия – фторопласт.* Внешний вид и свойства покрытий, полученных на алюминиевых пластинах в результате процесса анодирования, приведены в таблице 3.

Результаты показали, что оксидное покрытие имеет равномерную пористую поверхность. Размеры пор, образующихся при получении КЭП оксид алюминия – фторопласт, увеличиваются по сравнению с оксидным покрытием. Они имеют специфическую форму вследствие срачивания нескольких пор малого диаметра.

Наибольшим внутренним напряжением сжатия обладает КЭП оксид алюминия – фторопласт, полученный из электролита, приготовленного на

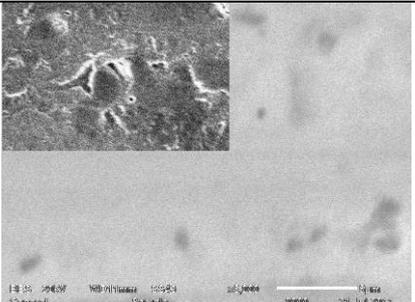
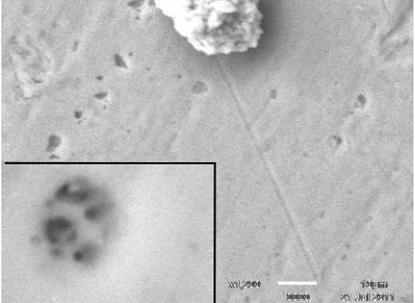
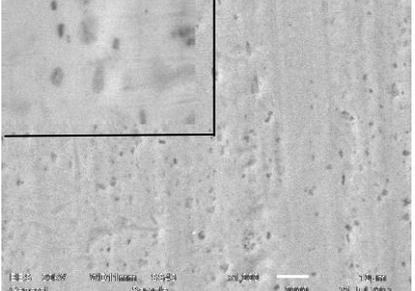
МР Ф-4Д, а наименьшим – полученный из электролита, приготовленного без добавления фторопластов. Следовательно, КЭП оксид алюминия – фторполимер более эластично и механически прочно.

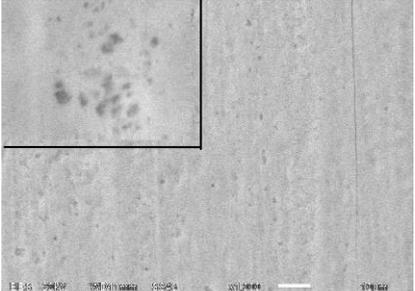
Наибольшей микротвердостью обладают покрытия с добавлением МР Ф-4Д. Их микротвердость выше в 1,4 раза по сравнению с покрытиями с добавлением суспензий фторопласта.

Как показали исследования, наименьшее количество полиэтилена прикрепило под давлением к покрытию, полученному из электролита с добавлением суспензии Ф-4МД. Наименьший удельный привес накипи наблюдался на КЭП оксид алюминия – фторопласт, полученного из электролита с добавкой суспензии Ф-4Д.

Таблица 3

**Структура и характеристики КЭП оксид алюминия – фторопласт**

№ эл-та	Структура КЭП оксид алюминия – фторопласт (увеличение 1000 <sup>x</sup> )	ВН, МПа	НV, кгс/м <sup>2</sup>	m полиэтилена (г), оставшегося при давлении 2 кг/дм <sup>2</sup>	Удельный привес накипи через 100 ч, г/дм <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
1		41,00	144	0,160	0,045
2		170,00	120	0,030	0,014
3		109,37	119	0,001	0,018

1	2	3	4	5	6
4		181,34	164	0,003	0,015

**Выводы.** 1. Введение в металлическую матрицу дисперсных фаз, получаемых из обладающих уникальными свойствами отходов различных производств, позволяет получать композиционные покрытия со значительно улучшенными эксплуатационными характеристиками.

2. Композиционное электрохимическое покрытие никель – зола уноса, получаемое при введении в никелевую матрицу магнитной фракции золы уноса с размерами сферических частиц менее 90 мкм, обладает высокой коррозионной стойкостью и износостойкостью.

3. Композиционные электрохимические покрытия оксид алюминия – фторопласт, получаемые при внесении в электролиты оксидирования отходов фторопластов и маточных растворов процесса их производства, обладают повышенными антинакипными и антипригарными свойствами.

#### Библиографический список

1. Использование суспензий и отходов производства фторопластов при анодировании алюминия / С. Л. Фукс, А. А. Михалицын, С. В. Хитрин и др. // Бутлеровские сообщения. 2011. Т. 26. № 10. С. 50–55.

2. Целуйкин В. Н. Композиционные электрохимические покрытия: получение, структура, свойства // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2009. Т. 45. № 3. С. 287–301.

3. Environmental evaluation and nano-mineralogical study of fresh and unsaturated weathered coal fly ashes / Akinyemi Segun A., Gitari Wilson M., Petrik Leslie F., etc. // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 663. P. 177–188.

4. Nickel composite plating with fly ash as inert particle / Nguyen Viet Hue, Ngo Thi Anh Tuyet, Pham Hong Hanh, Nguyen Ngoc Phong. // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2013. Vol. 23, I. 8. P. 2348–2353.

5. Ramesh C. S., Seshadri S. K., Iyer K. J. L. Wear resistance of nickel-fly ash composite coatings // Wear. 1991. Vol. 145. I. 1. P. 189–195.

6. Адсорбционные и электрокаталитические свойства полимерных гидроксосоединений редкоземельных элементов / В. Н. Коршунов, Н. С. Захаркина, Т. М. Овчинникова, С. Л. Фукс // Двойной слой и адсорбция на твердых электродах VII : Тезисы докладов Всесоюзного симпозиума 21–23 июня 1985 г. Тарту : Тартуский государственный университет, 1985. С. 166–168.

## РАЗРАБОТКА ПРОТИВОСКОЛЬЗЯЩЕГО СОСТАВА ДЛЯ ОБУВИ

*И. И. Башарин, А. Н. Девяткова, С. В. Девятерикова  
Вятский государственный университет, basharin97@gmail.com*

В зимний период времени возрастает количество травм из-за гололедицы. Это происходит, когда днем температура переходит через нулевую отметку, а к вечеру все «подмерзает». На данный момент проблема решается несколькими способами: использование противоскользких приспособлений (ледоступы), обувь на нескользящей подошве, народные методы борьбы с гололедицей. В полной мере данные решения не могут удовлетворить запрос потребителя. Существующие решения на рынке негативно сказываются на внешнем виде обуви и портят напольное покрытие. В связи с этим разработка противоскользкого состава, наносимого на подошву обуви, является актуальной задачей. В результате работы получен пленкообразующий антискользкий состав, который может применяться в быту для повышения сцепления подошвы с ледяной поверхностью.

Ключевые слова: абразив, коэффициент трения, противоскользкие характеристики.

Повышенный травматизм в зимние периоды времени во многом связан с потерей устойчивости на льду. Сотни граждан ежегодно получают травмы различной степени тяжести. Только за последние 3 года в г. Кирове в зимние периоды времени зарегистрировано более 2500 случаев обращения или госпитализации граждан в травмпункты [1].

На данный момент существующие решения не могут в полной мере удовлетворить потребности потребителя. Ледоступы (ледоходы) портят внешний вид обуви и напольное покрытие при передвижении в них по помещению, а народные средства оказывают негативное воздействие на подошву.

В связи с этим разработка состава, который будет обладать высокими противоскользкими свойствами, не оказывая негативного воздействия на обувь и окружающую среду, является актуальной задачей.

Целью данной работы явилась разработка состава противоскользкого спрея.

Задачи: подбор компонентов смеси и их соотношения; выбор абразивного компонента и его оптимальной дисперсности; определение физико-химических и механических характеристик покрытия.

Коэффициент трения определяли по ГОСТ 27492-87. В качестве основного оборудования применяли динамометр [2].

Адгезию определяли методом решетчатого надреза по ГОСТ 31149-2014 для одно- и многослойных покрытий. Надрезы с помощью шаблонов наносят до окрашиваемой поверхности, приклеивают липкую ленту шириной не менее 50 мм и осуществляют отрыв. Оценку результатов проводят визуально и в соответствии со стандартизируемой шкалой определяют балл [3].

Поверхность покрытия исследовали с помощью оптического микроскопа МБС-10 со встроенной веб-камерой.

В ходе литературного обзора и лабораторных экспериментов было установлено оптимальное соотношение компонентов смеси. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Процентное содержание компонентов противоскользящей смеси**

Наименование компонента	Содержание, %
Компонент А	15–30
Компонент Б	25–40
Растворитель	30–40
Модифицирующая добавка	1–5

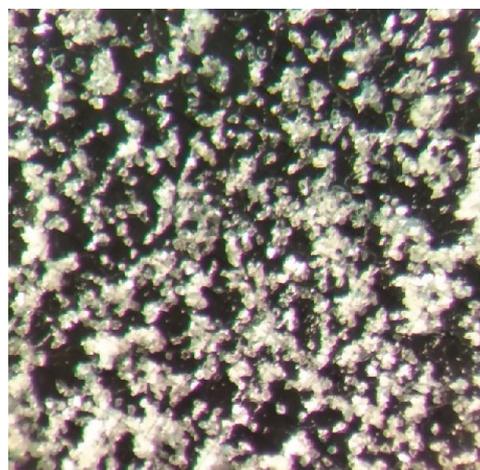
Диапазон концентраций обусловлен ограниченной растворимостью компонентов смеси друг в друге, а также скоростью «схватывания» покрытия. При избыточном содержании компонента А или компонента Б в результате длительного или многократного распыления возникает риск забивания распыляющего сопла [4].

В качестве абразивных частиц использовали карбид кремния (IV) различной дисперсности.

Исследование структуры покрытия позволяет увидеть характер распределения частиц, их относительную плотность, структуру используемой подложки, а также дефекты, возникающие при сушке. На рисунке 1 представлена структура резиновой подложки (а) и противоскользящего покрытия (б) с дисперсностью частиц 35–40 мкм (плотность распределения частиц равномерная).



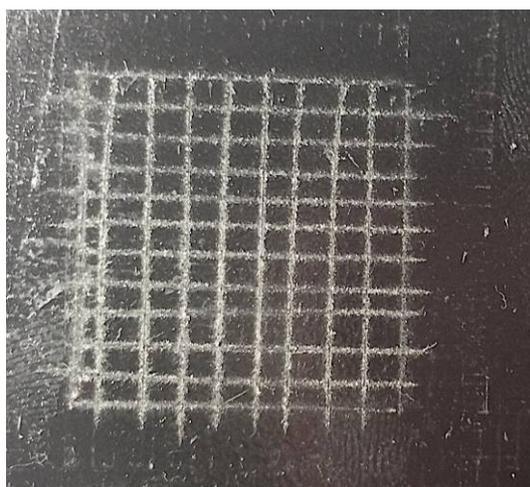
а)



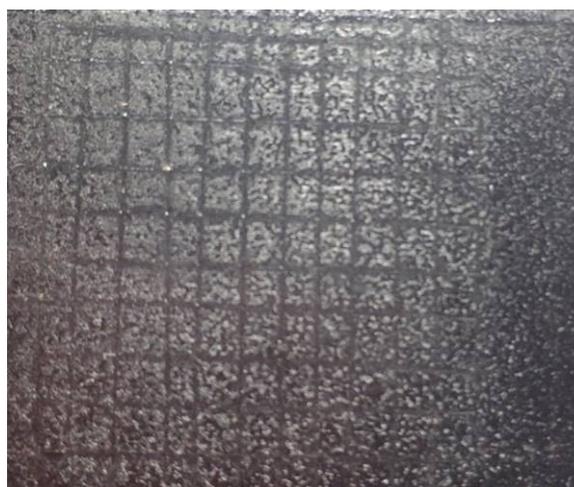
б)

Рис. 1. Структура резиновой подложки (а) и противоскользящего покрытия (б). Увеличение 15×

Резина имеет гладкую поверхность (рис. 1). Подошва обуви в большинстве своем из-за отсутствия зацепляющих элементов имеет схожую структуру. На рисунке 2 представлены фото образца до (а) и после (б) испытаний на адгезию.



а)



б)

Рис. 2. Фотографии образца до (а) и после (б) испытаний на адгезию

После удаления клейкой ленты проводили тщательный осмотр внешнего вида покрытия под различными углами. Результаты и значения балла адгезии представлены в таблице 2.

Таблица 2

**Результаты испытаний адгезии**

Номер испытаний	Балл	Описание
1	1	Отслоение мелких чешуек покрытия на пересечении надрезов. Площадь отслоений немного превышает 5 % площади решетки.
2	1	
3	1	

Расхождений более чем на 1 балл не наблюдается, таким образом, за окончательный результат приняли среднее значение, равное единице.

Противоскользкие свойства покрытия определялись согласно методике определения коэффициента начального трения и скольжения. Площадь покрытия и резиновой подложки составляла 0,166 м<sup>2</sup>. Результаты испытаний для необработанного участка резины приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Коэффициент трения для необработанного участка резины**

Номер испытания	Показания прибора, Н/м <sup>2</sup>	Коэффициент трения
1	116,6	0,243
2	112,7	0,235
3	114,7	0,239
4	119,6	0,249
Среднее значение	115,89	0,242

Результаты определения коэффициента трения противоскользющего покрытия приведены в таблице 4.

Сравнение коэффициентов трения обработанного и необработанного участка резины приведено в таблице 5.

Таблица 4

**Коэффициент трения противоскользящего покрытия**

Номер испытания	Показания прибора, Н/м <sup>2</sup>	Коэффициент трения
1	205,7	0,428
2	201,3	0,420
3	203,5	0,424
4	194,0	0,404
Среднее значение	201,3	0,420

Таблица 5

**Сравнение коэффициентов трения необработанного/обработанного участка резины**

Образец	Коэффициент трения	Отношение, раз
Необработанный	0,242	1,73
Обработанный	0,420	

Из представленных в таблице 5 данных видно, что показатель коэффициента трения выше у образца, обработанного противоскользящим составом.

Таким образом, в ходе исследования были подобраны компоненты смеси и их оптимальное соотношение. Подобрана оптимальная дисперсность абразивного компонента. Определены показатели коэффициента трения и значения адгезии для противоскользящего покрытия.

**Библиографический список**

1. Письмо Министерства здравоохранения Кировской области от 06.02.2020 № 0249-01-08.
2. ГОСТ 27492-87. Материалы электроизоляционные полимерные пленочные и листовые. Метод определения коэффициентов трения: введен 01.01.1989. М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. – URL: <http://gostexpert.ru/gost/gost-27492-87> (дата обращения 22.11.2019).
3. ГОСТ 31149-2014. Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза: принят 01.11.2014 ; действ. с 01.09.2015. М. : Стандартиформ, 2014. – URL: <http://gostexpert.ru/gost/gost-31149-2014> (дата обращения 11.12.2019).
4. Лившиц М. Л., Пшиялковский Б. И. Лакокрасочные материалы: справочное пособие. М. : Химия, 1982. 360 с.

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВА ДЛЯ ОЧИСТКИ МАТЕРИАЛОВ «SpotOff»**

**В. А. Докучаева, С. В. Деятерикова**

*Вятский государственный университет, [viktoriadok@mail.ru](mailto:viktoriadok@mail.ru)*

Даже надлежащий уход чаще всего не спасает обувь от трудновыводимых пятен, от которых невозможно избавиться, в том числе, качественными пятновыводителями. Придание обуви исходных визуальных характеристик избавляет потребителя от необходимости покупки следующей пары обуви, что является экономически целесообразным. Экологическая целесообразность заключается в снижении и осознанности потребления. Цель работы: разработка эффективного

средства для очистки белой обуви. Основные методы исследований: визуальный осмотр поверхности белой обуви после очистки испытуемыми средствами. Результаты показали, что целесообразным является применение смеси растворителей. В ходе работы был разработан состав для очистки белой обуви от пятен и пожелтений, который отлично очищает обувь, делая ее пригодной к дальнейшему ношению. Состав не оказывает негативного влияния на поверхность обуви. Результаты могут быть применены при коммерциализации проекта.

Ключевые слова: белая обувь, очистка, растворители, снижение потребления.

Стремительный рост обувной промышленности, в том числе производство дешевых и некачественных изделий, мода, которая имеет свойство постоянно меняться, неудовлетворительный уход за обувью и многое другое являются причинами, по которым образуется огромное количество отходов изношенной и вышедшей из моды обуви. Даже надлежащий уход за обувью чаще всего не является гарантом отсутствия трудновыводимых, в том числе качественными пятновыводителями, пятен.

Переработка таких отходов – это трудоемкий и сложный процесс, поэтому в большинстве случаев обувь выбрасывается на свалки, ухудшая экологическое состояние окружающей среды.

Таким образом, цель работы: разработка эффективного средства для очистки обуви.

Задачи: изучение научной литературы с целью ознакомления с методами, способами и средствами для очистки различных материалов; подбор реагентов для очистки белой обуви, проведение опытов.

В результате изучения научной литературы [1] был выбран ряд относительно безопасных и доступных растворителей (табл. 1).

*Таблица 1*

**Список выбранных растворителей и их свойства**

Растворитель	Класс опасности	Токсичность	Летучесть	Наличие запаха
Этиленгликоль	3	Умеренно токсичен	Летучесть незначительная	Без запаха
«Уайт-спирит»	4	Слабо токсичен	Быстро испаряется	Имеет легкий характерный запах
Ацетон	4	В сравнении с многими растворителями не сильно токсичен	Повышенная летучесть	Имеет очень неприятный, резкий запах
Этилацетат	4	Слабо токсичен	Быстро испаряется	Имеет характерный приятный запах

Все эксперименты проводили на обуви из искусственной кожи. Наносили 3 капли композиции на ватный диск, протирали загрязненный участок обуви, время экспозиции составляло 5–15 минут. После этого визуально оценивали состояние поверхности очищаемой обуви.

Для приготовления композиций смешивали растворители в разных порциях, разбавляя растворы дистиллированной водой.

Составы композиций приведены в таблице 2.

Таблица 2

**Составы композиций для очистки обуви**

№ опыта	Композиции
1	50% воды, 30% этиленгликоль, 20% «уайт-спирит»
2	50% воды, 30% этиленгликоль, 10% «уайт-спирит», 10% ацетон
3	50% воды, 40% этиленгликоль, 5% «уайт-спирит», 5% ацетон
4	40% воды, 30% этиленгликоль, 20% «уайт-спирит», 10% ацетон
5	50% воды, 50% «уайт-спирит»

В таблице 3 приведены результаты опытов по очистке обуви растворителями.

Таблица 3

**Результаты опытов по очистке обуви растворителями\***

№ п/п	Растворитель	Воздействие на поверхность обуви, баллов			
		пятна	пожелтения	негативное влияние на поверхность обуви	примечания
1	Этиленгликоль	0	0	0	–
2	«Уайт-спирит»	5	5	3	Покрывает поверхность белой пленкой
3	Ацетон	5	5	5	–
4	Этилацетат	1	1	2	–

*Примечание:* \* 0 баллов – отсутствие воздействия; 5 баллов – отличное воздействие.

Наилучшие результаты (растворитель 2, уайт-спирит) приведены на рисунке 1.

Как видно из таблицы и рисунка, все испытанные растворители оказали в той или иной степени негативное воздействие на поверхность обуви, причем максимальные повреждения оказал ацетон, а минимальные – этиленгликоль и этилацетат. Уайт-спирит с максимальной эффективностью очистил поверхность обуви от загрязнений, при этом негативное воздействие на поверхность обуви – среднее.

До очистки

После очистки

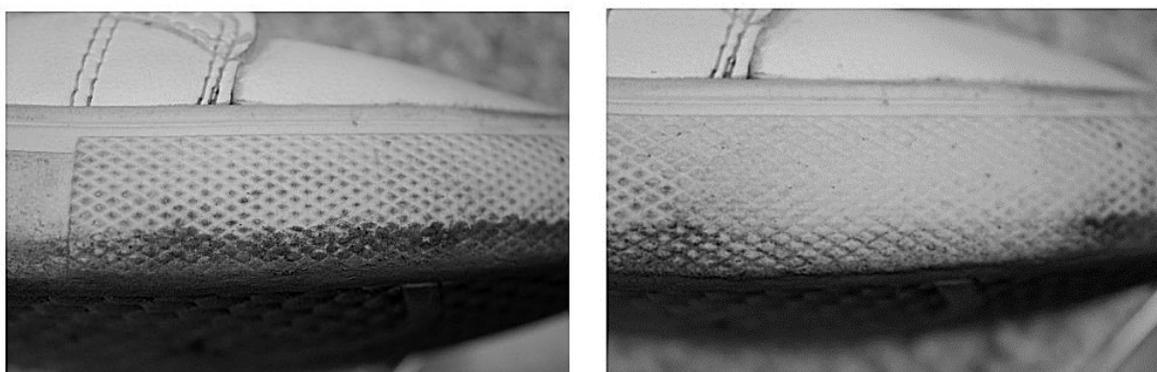


Рис. 1. Результат опыта по очистке обуви «уайт-спиритом»

Результаты показали, что целесообразным является применение смеси растворителей таким образом, чтобы более безопасного для поверхности обуви растворителя было больше, а более эффективного для очистки – меньше.

Составы приготовленных композиций приведены в таблице 4.

Таблица 4

**Результаты опытов с композициями растворителей**

№ опыта	Композиции растворителя	Воздействие на поверхность обуви, баллов			
		пятна	пожелтения	негативное влияние на поверхность	примечания
1	50% воды, 30% этиленгликоль, 20% «уайт-спирит»	4	2	0	Придает маслянистость
2	50% воды, 30% этиленгликоль, 10% «уайт-спирит», 10% ацетон	3	1	2	–
3	50% воды, 40% этиленгликоль, 5% «уайт-спирит», 5% ацетон	2	0	1	–
4	40% воды, 30% этиленгликоль, 20% «уайт-спирит», 10% ацетон	4	1	2	–
5	50% воды, 50% «уайт-спирит»	5	5	1	–

*Примечание:* \* 0 баллов – отсутствие воздействия; 5 баллов – отличное воздействие.

Наилучшие результаты (композиция 5) приведены на рисунке 2.

До очистки

После очистки

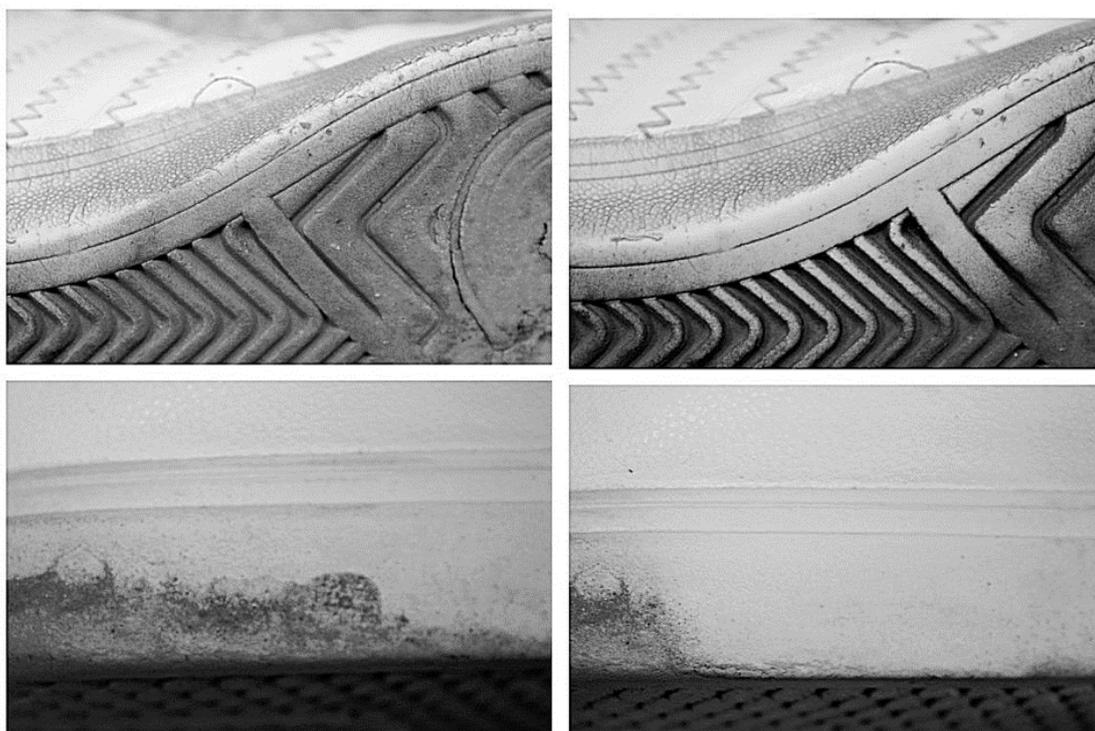


Рис. 2. Результат опыта по очистке обуви композицией № 5

Как видно из таблицы, максимальной эффективностью обладает композиция № 5 – 50% воды, 50% «уайт-спирит». Кроме того, композиция № 5 является менее токсичной, чем чистый растворитель, однако, резкий запах все еще присутствует. Композиция практически не разъедает поверхность обуви и отлично избавляет ее от сильных загрязнений и пожелтений.

В ходе работы была получена композиция для очистки белой обуви от пятен и пожелтения, которая отлично очищает обувь, делая ее пригодной к носке еще долгое время, при этом не оказывая негативного влияния на поверхность обуви.

#### **Библиографический список**

1. Фёдорова А. Ф. Технология химической чистки и крашения. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Легпромбытиздат, 1990. 336 с.

### **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ г. КИРОВА. ВЫБОР ТАКСОНОМИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ**

*Т. А. Мусихина, А. М. Анисимов, А. А. Сметанин,  
О. П. Потанина, С. В. Недорезов*

*Вятский государственный университет, usr04011@vyatsu.ru*

Современные города, имея значительные территории и деление на функциональные зоны, территориально неоднородны в отношении экологической ситуации. Выполненное экологическое районирование сможет стать информационной базой для населения при выборе мест проживания и отдыха, а для органов местного самоуправления – для приоритетного вложения средств в мероприятия по охране окружающей среды. Взяв за основу существующую планировку и разделение территории г. Кирова на отдельные административные единицы, в работе сделаны попытки подготовить основу для экологического районирования города. Для этого выделены таксоны на территории наиболее сложного Первомайского района. В качестве таксонов предложены существующие жилые кварталы с учетом естественных границ в виде автомагистралей, водотоков, орографических элементов и границ промплощадок.

Ключевые слова: экологическое районирование, таксономические единицы, микрорайон, квартал.

В основе любого районирования, в том числе и экологического, лежит выделение приоритетных таксономических единиц. Для экологического районирования разделение городской территории на составляющие ее районы производится с целью создания структурной основы, правильной организации процессов жизнедеятельности города. Однако, при этом экологическая ситуация зачастую не учитывается. При экологическом районировании города одной из важнейших задач является оценка жилых (селитебных) районов с точки зрения наилучших показателей качества окружающей среды [1]. Конечной целью эко-

логического районирования городской среды должно стать создание кластера микрорайонов (кварталов) города с наилучшими экологическими показателями.

Теоретически селитебная зона (зона расселения населения) – это территориальное пространство, предназначенное для реализации бытовых функций населения. В ней размещаются жилищный фонд, общественные здания и сооружения, а также отдельные коммунальные и промышленные объекты, не требующие устройства санитарно-защитных зон (СЗЗ). Однако, на практике в городах с развитой промышленностью отсутствие территорий СЗЗ в селитебных зонах не всегда возможно реализовать.

Основными элементами селитебной территории являются:

- жилые микрорайоны и кварталы;
- участки учреждений и предприятий обслуживания внемикрорайонного значения;
- зеленые насаждения общего пользования внемикрорайонного значения;
- улицы, дороги, проезды, площади внемикрорайонного значения.

Экологическое районирование селитебных зон с выделением в качестве таксономических единиц микрорайонов и кварталов с учетом опыта проведенных ранее работ [2, 3] представляется наиболее целесообразным. Выбор таксономических единиц может быть также обусловлен естественными границами в виде сложных (пересеченных) типов рельефа, береговой линии, либо искусственными линейными объектами – автомагистралями, железнодорожными путями, границами промышленных объектов и т. д. Кроме того, неблагоприятные особенности местности также могут стать границами таксонов, однако, в отдельных случаях они могут быть устранены инженерными мероприятиями, в результате чего малопригодные по своим естественным условиям территории приводятся в приемлемое для освоения состояние.

Для г. Кирова выполнено планировочное районирование – это разделение (членение) селитебной территории города на отдельные планировочные районы (городские, жилые районы и микрорайоны). Город Киров разделён на четыре района: Октябрьский, Ленинский, Первомайский и Нововятский (рис. 1). Необходимость такого членения городской территории обусловлена стремлением улучшить систему обслуживания населения, путем организации ее центров в каждом отдельном планировочном районе.

С учетом наибольшей по площади территории рассмотрим более подробно Первомайский район, который расположен по обоим берегам реки Вятки и включает в себя различные микрорайоны (рис. 2).

Исследуемый Первомайский район разделим на 4 микрорайона:

- «Исторический»;
- «Вересники»;
- «Большая Субботиха»;
- «микрорайон поселка Коминтерн».



графическая структура – овраг на улице Горбачева, поскольку данная форма рельефа вносит определенное влияние на границы и микроклимат квартала.

Микрорайон пос. Коминтерн разделен на 2 квартала вдоль р. Плоская, она отделяет наиболее заселенную часть с плотной застройкой от менее заселенной.

Микрорайон «Большая Субботиха» отделяется от других автомобильной дорогой, а с другой стороны – береговой полосой р. Вятки.

Микрорайон «Вересники» значительно отличается от других районов, так как не имеет густой застройки, по его территории не осуществляется движение большого количества автомобилей. Кроме того, он находится на затапливаемой пойме р. Вятки.

Таким образом, в работе для целей экологического районирования в границах Первомайского района города Кирова в качестве таксонов предложены 4 микрорайона: «Исторический» (4 квартала), «Вересники» (1 квартал), «Большая Субботиха» (1 квартал) и «микрорайон поселка Коминтерн» (2 квартала).

#### **Библиографический список**

1. Струман В. И. Экологическое картографирование: учебное пособие. М. : Аспект Пресс, 2003. 251 с.
2. Особенности разработки компьютерной модели экологического паспорта микрорайона «Квартал 119» / Т. А. Мусихина, В. Ю. Мельцов, И. А. Родыгин, О. О. Ходырева // *Advanced science*. 2019. № 4. С. 56–60. doi: 10.25730/VSU.0536.19.046
3. Химические показатели качества почв и снега в микрорайоне «КВАРТАЛ 119» / Т. А. Мусихина, Н. А. Самылов, И. В. Дождиков, Т. Н. Шабардина, А. С. Касаткина // *Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием*. Киров : ВятГУ, 2019. С. 65–67.

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДА**

*Е. С. Кулакова, А. М. Сафаров*

*ФГБОУ ВО Уфимский государственный нефтяной  
технический университет, e.s.afanaseva@strbsu.ru*

В статье приведены результаты изучения концентрации диоксида серы в городе с развитой химической и нефтехимической промышленностью. Основой исследования являются данные полученные с автоматической станции контроля атмосферного воздуха, расположенной в жилой части города. В качестве метода исследования использован метод анализа временного ряда.

Ключевые слова: атмосферный воздух, корреляционный анализ, диоксид серы, распределение Вейбулла, сезонные изменения.

В настоящее время проблема обеспечения населения городов с широко развитой промышленностью благоприятными условиями жизни является актуальной. Особенно важным является контроль химического состава атмосферного воздуха. Диоксид серы является одним из основных газов, загрязняющих

атмосферу. Он образуется при сгорании топлива с высоким содержанием серы (каменный уголь, нефть). Источниками эмиссии этого токсичного газа являются стационарные источники горения, например предприятия теплоэнергетики (85–95%), промышленные объекты (производство рафинированной нефти, удобрений, серной кислоты и нефтехимических продуктов (5–10%)), двигатели внутреннего сгорания (2–7%), при выплавке металлов и производстве серной кислоты. Диоксид серы относят к главным и наиболее важным загрязнителям воздуха, опасным для животных и растений и участвующим в образовании фотохимического смога [1].

Сернистый газ обладает сильно раздражающим действием на слизистые оболочки. Это обусловлено тем, что при контакте с водой он образует сернистую и серную кислоты. При малых концентрациях наблюдается раздражение верхних дыхательных путей и глаз; гиперемия слизистых оболочек носа и глотки. Более высокие концентрации вызывают воспаление и даже ожог слизистых оболочек глаз, носоглотки, трахеи и бронхов. При тяжелых отравлениях развиваются гнойные бронхиты и бронхиолиты, токсические пневмонии, острая эмфизема. ПДК сернистого газа в России составляет 0,05 мг/м<sup>3</sup>.

Согласно данным наблюдений в течение года отмечается превышение концентрации диоксида серы в 3% проб. Однако, среднегодовые значения концентрации сернистого ангидрида близки к предельно допустимым.

Проведен корреляционный анализ (рис. 1) [2–5] временного ряда концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе, который показывает отсутствие линейной тенденции изменения концентрации диоксида серы ( $r_1 = 0,276 < 0,7$ ). Автокорреляционная зависимость между соседними значениями концентраций SO<sub>2</sub> небольшая. Таким образом, присутствие в атмосферном воздухе SO<sub>2</sub> не является постоянным, «фоновым». Время жизни диоксида серы в воздухе мало (при взаимодействии с парами воды образуется сернистая кислота).

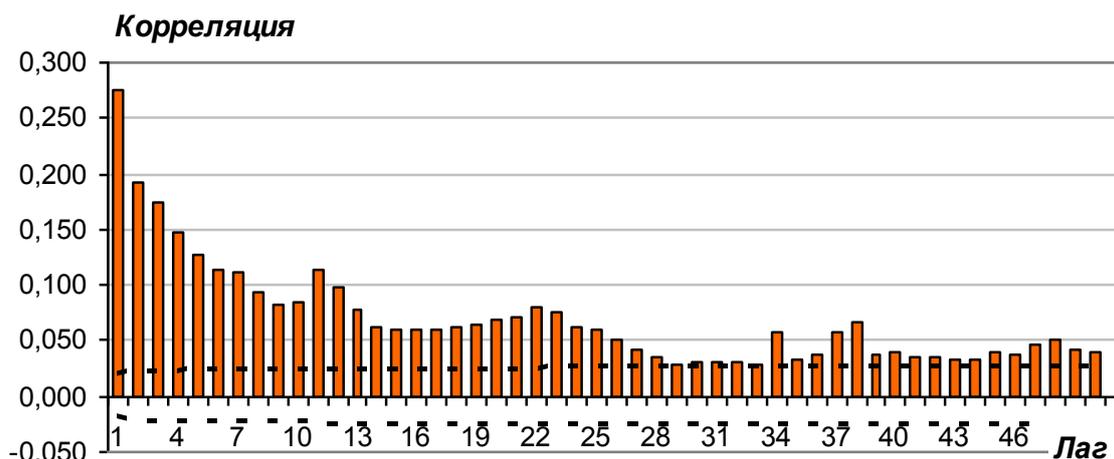


Рис. 1. Автокорреляционная функция концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе

Получены сезонные индексы концентрации диоксида серы, отображающие годовой и суточный ход.

Изменения в течение суток концентрации диоксида различно в течение года (рис. 2). В течение года наблюдаются высокие значения концентрации вещества, превышающие ПДК, в ночное время, что связано с образованием инверсий температур и ослабления ветра, а также определяется особенностями режима отопления [1]. В дневное время концентрация сернистого ангидрида также повышается. Это обусловлено преобладающим действием интенсивного движения автотранспорта [1]. Размах варьирования значений показателя в этот период наибольший 0,047–0,249 мг/м<sup>3</sup>. В течение года характер изменения концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе не имеет закономерной структуры, коэффициент вариации изменяется 0,005–0,065 мг/м<sup>3</sup>.

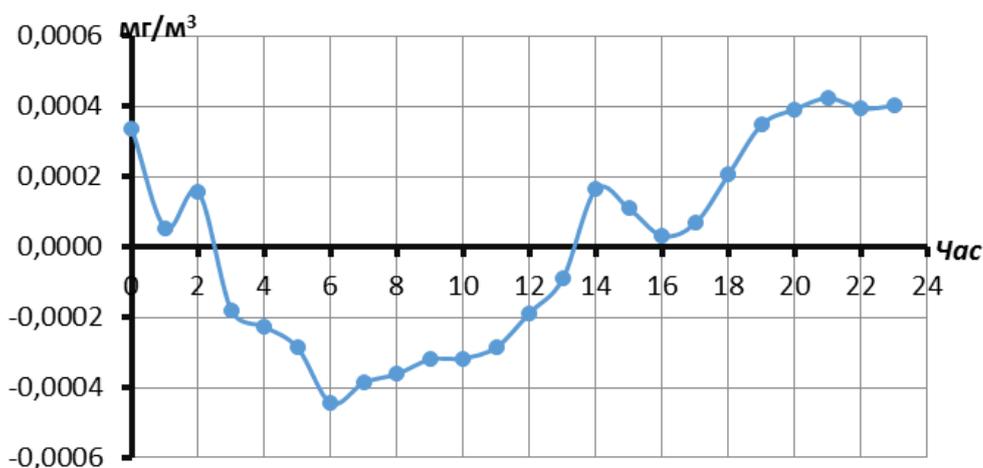


Рис. 2. График суточного хода концентрации диоксида серы

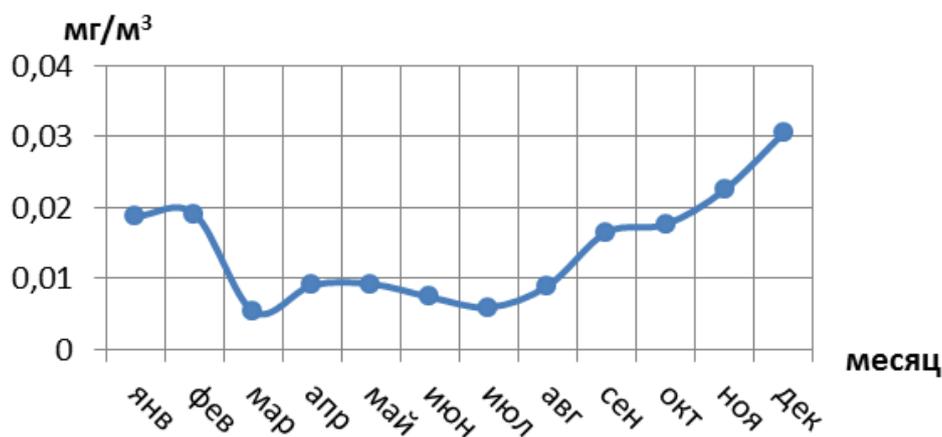


Рис. 3. График годового хода концентрации диоксида серы

Согласно графику годового изменения концентрация сернистого газа (рис. 3), значение параметра увеличивается в зимнее время (с ноября по февраль), в период с марта по август концентрация уменьшается. Такой характер изменения концентрации токсиканта обусловлен сезонностью сжигания топлива для бытового отопления в холодное время года [1].

Проведена оценка вклада сезонной и случайной компонент в общую изменчивость временного ряда. По результатам анализа, вклад сезонной состав-

ляющей незначителен (2%), на изменение концентрации диоксида серы главным образом влияют случайные факторы (98%).

Рассмотрим плотность распределения концентрации сернистого ангидрида в атмосферном воздухе города (рис. 4). Замечательным является тот факт, что распределение не является нормальным, т. к. математическое ожидание ( $m_x = 0,016 \frac{\text{МГ}}{\text{М}^3}$ ) не равно наиболее вероятному значению (моде) концентрации диоксида серы согласно функции плотности распределения.

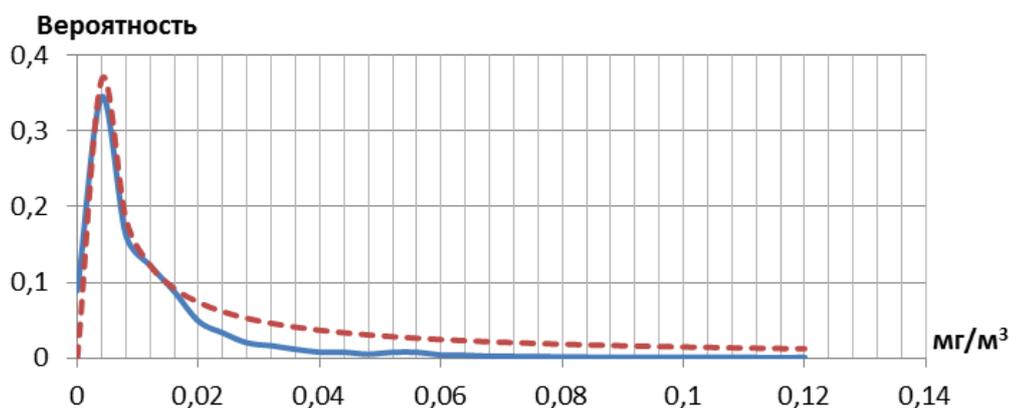


Рис. 4. Плотность распределения концентрации (сплошная кривая) диоксида серы и распределение Вейбулла (штриховая кривая)

Для распределения Вейбулла параметр формы равен 0,004, параметр масштаба распределения – 1.

$$f(t) = 0,004 \cdot (t)^{-0,996} \cdot e^{-(t)^{0,004}}$$

Модель плотности распределения значений концентрации диоксида серы, полученная в результате аппроксимации Вейбулла-Гнеденко, с высокой степенью точности описывают функцию распределения экспериментальных данных. Статистические критерии согласия: критерий  $\chi^2$  и Колмогорова-Смирнова с достоверностью 1,0 подтверждают сходство функций плотности распределения. Следовательно, в атмосферном воздухе диоксид серы присутствует только вследствие техногенного выброса.

Полученные результаты статистической обработки натуральных исследований доказывают малое время пребывания диоксида серы в атмосферном воздухе. Таким образом, на основе данных, полученных на АСКАВ жилой зоны однозначно установить превышение объемов выброса предприятием затруднительно вследствие высокой реакционной способности диоксида серы в воздухе. Накопления диоксид серы в воздухе не происходит. Однако, получена четкая сезонная зависимость содержания токсиканта в атмосферном воздухе, что может быть руководством к применению предприятиями – загрязнителями.

#### Библиографический список

1. Эколого-экономический мониторинг окружающей среды : учебное пособие / В. В. Найденко, Л. Н. Губанов, А. Н. Косариков, И. М. Афанасьева, А. В. Иванов. Нижний Новгород, 2003. 186 с.

2. Кулакова Е. С., Сафаров А. М. Статистическая обработка массива данных изменения содержания озона в атмосферном воздухе г. Стерлитамака республики Башкортостан // Техносферная безопасность. Современные реалии : Материалы I Всерос. науч.-практ. конф. / Под ред. Н. Х. Месрбян. Махачкала, 2020. С. 106–110.

3. Сафаров А. М., Шайдулина Г. Ф., Афанасьева Е. С. Построение моделей изменения концентрации веществ в атмосферном воздухе (на примере г. Стерлитамака) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. Пенза, 2018. № 1(21). С. 54–65.

4. Математическая оценка изменения концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в условиях влияния нефтехимических предприятий / Е. С. Афанасьева, А. М. Сафаров, В. И. Сафарова, Г. Ф. Шайдулина // Экология урбанизированных территорий. Москва, 2014. № 4. С. 40–45.

5. Анализ загрязненности хлоридами р. Белой в створах Стерлитамакского района / Е. А. Кантор, Е. С. Афанасьева, В. И. Сафарова, Е. В. Фатьянова // Вода: химия и экология. 2014. № 6 (72). С. 14–20.

## СЕКЦИЯ 2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### КОНВЕРСИЯ ОБЪЕКТА УНИЧТОЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ В МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ

*Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, В. Н. Пугач<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, usr08619@vyatsu.ru*

<sup>2</sup> *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН*

На всех семи объектах Российской Федерации, где хранились запасы химического оружия, в 2017 г. завершена работа по их уничтожению. С января 2018 г. по настоящее время на объектах УХО Федеральным управлением по безопасному хранению и уничтожению химического оружия реализуется подпрограмма «Ликвидация последствий деятельности объектов по хранению и объектов по уничтожению химического оружия в Российской Федерации». Конверсию данных объектов на основании Постановления Правительства Российской Федерации от 30.04.2019, № 540, планируется провести в рамках федерального проекта «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности» и использования для этих целей имущественных комплексов объектов УХО. В Кировской области планируется на базе объекта УХО создание межрегионального производственно-технического комплекса «Марадыковский», на котором планируется создать производственные мощности на основе внедрения трех направлений технологий: по физико-химической обработке и утилизации отходов; термической демеркуризации ртутьсодержащих отходов; высокотемпературному обезвреживанию отходов.

Ключевые слова: конверсия объектов уничтожения химического оружия, промышленные отходы, создание производственно-технических комплексов.

В сентябре 2017 г. на объекте уничтожения химического оружия «Кизнер» (Удмуртия) был уничтожен последний химический боеприпас из всех запасов Российской Федерации (около 40 тыс. т), хранившихся и уничтоженных на 7 созданных для этой цели химических объектах. Создание таких предприятий и эксплуатация их по уничтожению всех запасов ОВ обошлось государству более чем в 300 млрд руб. Сроки деятельности объектов по уничтожению химического оружия (УХО) были достаточно разные и зависели от объемов, видов ОВ и применяемых технологий. Такие объекты УХО как «Горный» в Саратовской области, «Камбарка» и «Кизнер» в Удмуртской Республике справились со своими задачами менее чем за 3 года. На объектах «Щучье» Курганской

области, «Почеп» Брянской области, «Леонидовка» Пензенской области и «Марадыковский» Кировской области уничтожение запасов химического оружия осуществлялось от 7 до 9 лет. Все объекты УХО были оснащены современным оборудованием, автоматизированными системами, имели самые передовые технологические линии утилизации отходов, компьютеризированы. На территории этих объектов остались практически новые здания и сооружения, инженерные коммуникации, системы жизнеобеспечения и т. д. На объектах действовала высоко эффективная система, обеспечивающая экологическую безопасность всего производственно-технологического процесса [1, 2].

С января 2018 г. на объектах УХО Федеральным управлением по безопасному хранению и уничтожению химического оружия реализуется подпрограмма «Ликвидация последствий деятельности объектов по хранению и объектов по уничтожению химического оружия в Российской Федерации» (ЛПД), в рамках государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», завершение работ на объектах в рамках которой планируется провести к 2024 г.

30.04.2019 принято Постановление Правительства Российской Федерации № 540 (ред. от 31.08.2019) «Об осуществлении бюджетных инвестиций за счет средств федерального бюджета в объекты капитального строительства в рамках федерального проекта «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности» и использования для этих целей имущественных комплексов объектов УХО [3]. Данное постановление коснулось только четырех объектов УХО, а именно, принято решение организовать производственно-технологические комплексы (ПТК) по утилизации отходов I и II классов опасности на объектах: «Горный» в Саратовской области, «Камбарка» в Удмуртской Республике, «Марадыковский» в Кировской области и «Щучье» в Курганской области. Оператором по созданию ПТК по утилизации отходов I и II классов опасности назначено ФГУП «РосРАО».

В Кировской области на межрегиональном ПТК планируется перерабатывать три группы отходов:

1. Смеси неорганических солей, оксидов, гидроксидов, кислот – отходы металлургических, обрабатывающих, машиностроительных отраслей. На выходе должны получаться: гидроксиды металлов, соли натрия и калия, медь металлическая, хлорид аммония, сульфат аммония.

2. Ртутьсодержащие отходы: ртутные лампы и градусники, а также промышленные отходы, содержащие ртуть. На выходе должны быть получены: ртуть металлическая, стекло, сталь, алюминий, грунт, нерастворимые соли.

3. Сточные отходы промпредприятий, органические отходы, смешанные и комбинированные органические и неорганические отходы – отходы, образующиеся от переработки первых двух групп. На выходе должны получиться: пересыпной материал для полигонов ТКО, соли кальция и натрия.

Для обработки, утилизации и обезвреживания отходов I и II классов опасности на ПТК «Марадыковский» планируется создать производственные мощности на основе следующих технологий:

– физико-химическая обработка и утилизация отходов;

- термическая демеркуризация ртутьсодержащих отходов с последующим выделением ртути методом конденсации;
- высокотемпературное обезвреживание отходов.

Для обеспечения экологической безопасности производственной деятельности при создании ПТК «Марадыковский» принята концепция технологических решений, предусматривающая:

- соблюдение высоких стандартов безопасности при производстве работ по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов;
- организацию замкнутых технологических циклов;
- максимальное соблюдение принципа безотходного производства и ориентацию технологических решений по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов на получение вторичной товарной продукции.

На всех производственных линиях планируется установить многоступенчатую систему очистки выбросов, которая позволит исключить попадание загрязняющих опасных веществ в атмосферный воздух.

С целью осуществления контроля за чистотой выбросов, сбросов, состоянием и хранением образующихся отходов и оценкой их воздействия на окружающую среду, за соответствием параметров специального оборудования и очистных систем установленным экологическим и техническим нормативам на ПТК «Марадыковский» планируется создание системы производственного экологического контроля и мониторинга.

В районе функционирования ПТК предусматривается осуществление экологического мониторинга состояния атмосферного воздуха, почвы, природной воды, снежного покрова, донных отложений, растительности и животного мира. Контроль состояния окружающей среды планируется вести по 149 показателям. Результаты контроля и мониторинга компонентов окружающей среды планируется доводить до общественности и органов местного управления на регулярной основе.

К перевозке отходов I и II классов опасности на ПТК будут предъявляться самые жесткие требования, установленные российским законодательством, планируется оснащение транспортных средств аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС (ГЛОНАСС/GPS), что позволит в режиме реального времени посредством единой государственной системы учета и контроля отслеживать их движение.

Безусловно, на сегодня пока сложно представить, что создаваемые производственно-технические комплексы по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов I и II классов опасности, относящиеся к опасным химическим объектам, будут работать в безопасном режиме для окружающей среды. Однако, если комплексные системы безопасности на создаваемом ПТК будут соответствовать действующим нормативным правовым актам Российской Федерации, если они не будут уступать уровням безопасности и степени защиты от вредных воздействий на окружающую среду международным стандартам, а также соответствовать нормативам и требованиям, которые использовались на объектах уничтожения высоко опасных отравляющих веществ и на перепрофилируемых объектах по уничтожению химического оружия, где они уже показав-

ли свою высокую эффективность [4–6], то в таком случае можно будет предположить, что деятельность данного предприятия не нанесет экологического ущерба на окружающую среду.

#### **Библиографический список**

1. Назаров В. Д. Огромный шаг на пути к глобальной безопасности // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 4. С. 4–11. doi: 10.25750/1995-4301-2017-4-004-011
2. Капашин В. П., Поляков А. И., Круглов В. А. Обеспечение экологической и промышленной безопасности объектов по уничтожению химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 4. С. 10–18. doi: 10.25750/1995-4301-2013-4-010-019
3. Постановление Правительства Российской Федерации 30.04.2019. № 540 (ред. от 31.08.2019) «Об осуществлении бюджетных инвестиций за счет средств федерального бюджета в объекты капитального строительства в рамках федерального проекта «Инфраструктура для обращения с отходами I–II классов опасности» и использования для этих целей имущественных комплексов объектов УХО.
4. Шаров С. А., Ашихмина Т. Я. Контроль эффективной работы системы очистки выбросов по составу отходов // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 4. С. 39–43. doi: 10.25750/1995-4301-2017-4-039-043
5. Некоторые аспекты комплексного подхода к обоснованному выбору технологии ликвидации опасных и токсичных промышленных отходов / В. П. Капашин, В. Г. Мандыч, В. А. Воронин, Т. В. Воробьев, И. В. Коваленко, А. В. Глазков // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 4. С. 44–49. doi: 10.25750/1995-4301-2017-4-044-049
6. Сербин С. В., Поляков А. И., Назаров В. Д. Нормативно-правовые аспекты в сфере обеспечения экологической и промышленной безопасности при уничтожении химического оружия // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 4. С. 64–69. doi: 10.25750/1995-4301-2013-4-064-069

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ВЕКТОРНОГО КРИТЕРИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ**

*М. Г. Кургузкин, П. М. Кургузкин  
Автономное учреждение «Управление Минприроды УР»,  
mgk@minpriroda-udm.ru 18kpm@mail.ru*

Предложен подход к оценке экологического состояния территории на основе интегрального векторного критерия с ортогональными проекциями в виде главных компонент. Ортогональные проекции в соответствии с методом главных компонент являются линейными функциями величин концентраций загрязнителей. Показана возможность использования интегрального критерия для оценки трендов изменения экологического состояния территории.

Ключевые слова: экологический мониторинг, концентрации загрязняющих веществ, метод главных компонент, экологическое состояние территории.

Одной из основных задач экологического мониторинга является прогнозирование изменения экологического состояния исследуемой территории. Для оценки трендов необходима мониторинговая информация за определенный пе-

риод времени. В процессе мониторинга определяются уровни загрязнения природных сред (по результатам количественного химического анализа и биотестирования), а также отклик (реакция) представителей биоты на техногенное воздействие.

Сложности обобщения данных мониторинга определяются, как минимум, двумя факторами. Первый из них – многомерный характер и различная размерность указанных данных. Многомерность результатов экологического мониторинга обусловлена значительным количеством контролируемых параметров в виде концентраций веществ и соединений в природных средах, а также большим числом точек пробоотбора. Подобная ситуация является типичной для мониторинга территорий, находящихся в зоне влияния опасных промышленных объектов.

Таким образом, практической задачей обобщения мониторинговых данных является снижение размерности (свертывание) информационных массивов и построение интегрального критерия оценки экологической ситуации.

В работах [1, 2] показана возможность использования метода главных компонент (МГК) [3] для снижения размерности информационных массивов мониторинга почвы и поверхностных вод. Дальнейшим развитием этого подхода является формирование интегрального критерия оценки загрязнения территории. В работе [1] в качестве интегрального критерия предложено использовать вектор  $V_i$ , построенный в пространстве главных компонент  $F_j$ . Аргументами этого вектора являются главные компоненты, определяемые в каждой точке территории с координатами  $x_i$  и  $y_i$ . При этом степень опасности загрязнения может оцениваться по результатам сравнения текущего значения вектора  $V_i$  в  $i$ -й точке и некоторой предельной величины этого вектора  $V_r$  в той же точке. В простейшем случае предельная величина вектора может быть рассчитана при подстановке в линейные функции для главных компонент величин концентраций загрязнителей, равных предельно допустимым концентрациям.

Второй фактор, определяющий сложность обобщения данных и построение прогнозов, заключается в возможном разнонаправленном изменении концентраций отдельных загрязнителей в течение определенного временного промежутка. Например, в работе [4] показано, что изменение концентраций различных загрязняющих веществ в почве на территории зоны защитных мероприятий объекта по уничтожению химоружия (ОУХО) в п. Кизнер Удмуртской Республики в силу зависимости от множества различных факторов может иметь различные тренды. Для некоторых веществ тренды могут вообще отсутствовать.

Предложенный подход с использованием интегрального вектора  $V$  для оценки текущего уровня загрязнения может быть распространен и на анализ его временного изменения.

На первом этапе для фиксированных моментов времени определяется необходимое количество главных компонент (например, описывающих не менее 75% изменчивости исходного массива) и их значения в точках пробоотбора. В этих же точках далее определяются значения интегрального вектора и строятся поверхности  $V(x,y)$ .

Визуализация функции  $V(x,y)$  необходима для выявления наиболее «нагруженных» (в смысле загрязнения) точек или областей исследуемой территории. Кроме того, построение таких поверхностей для различных моментов времени позволяет выяснить, происходит ли только количественное изменение вектора  $V$  в наиболее «опасных» точках, либо, наряду с этим происходит еще и изменение координат этих точек (то есть их смещение). В первом случае для выявления и анализа трендов достаточно построить графики  $V(t)$  для точек, представляющих наибольший интерес. Во втором – необходимо анализировать трансформацию трехмерных поверхностей  $V(x,y)$  для различных моментов времени (периодов пробоотбора).

Описанный выше подход использован для оценки экологического состояния (загрязнения) почвенного покрова территории вокруг ОУХО в г. Камбарка в постэксплуатационный период. Показана возможность использования интегрального векторного критерия  $V$  для оценки текущего экологического состояния территории и анализа трендов его изменения.

#### Библиографический список

1. Кургузкин М. Г., Кургузкин П. М. Вариант векторного критерия оценки экологического состояния территории // Биодиагностика природных и природно-техногенных систем : Материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : ВятГУ, 2017. С. 25–27.
2. Кургузкин М. Г., Кургузкин П. М. Оценка загрязнения водных объектов на основе векторного критерия // Экология родного края: проблемы и пути их решения : Материалы XIV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров : ВятГУ, 2019. С. 86–89.
3. Афффи А., Эйзен С. Статистический анализ. Подход с использованием ЭВМ. Пер. с англ. М : Мир, 1982. 488 с.
4. Кургузкин М. Г., Кургузкин П. М. Методические аспекты использования фоновых показателей при оценке экологического состояния территорий // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 6–11. doi: 10.25750/1995-4301-2015-4-006-011

## ПРОЦЕССЫ ТРАНСФОРМАЦИИ ФОСФОР- И ФТОРСОДЕРЖАЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ

*С. А. Шаров<sup>1</sup>, Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, Е. В. Дабах<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, usr08619@vyatsu.ru*

<sup>2</sup> *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН*

Проведен анализ литературных данных по трансформации фосфор- и фторорганических соединений (зарина и зомана) в природном комплексе. Показано, что в результате сложных химических превращений образуются новые нетоксичные соединения. Микрофлора способствует более быстрому разложению фосфорсодержащих органических веществ в почве.

Ключевые слова: фосфорорганические соединения, отравляющие вещества (ОВ), трансформация ОВ в окружающей среде.

В 2017 году на объекте «Кизнер» (Удмуртия) полностью завершено уничтожение российских запасов химического оружия. Из семи объектов, на которых проходило уничтожение боевых отравляющих веществ, только на двух были ОВ кожно-нарывного действия. На пяти объектах «Щучье», «Леонидовка», «Почеп», «Кизнер» и «Марадыковский» хранились и уничтожались фосфорорганические ОВ нервно-паралитического действия. Для оценки отсроченного воздействия объектов уничтожения химического оружия на окружающую среду необходимо определить, как ведут себя различные ОВ и продукты их деструкции при попадании в природный комплекс, как изменяются токсические свойства загрязняющих веществ в ходе их трансформации, в какой мере продукты трансформации могут влиять на компоненты природной среды.

С этой целью был сделан анализ литературных данных по изучению процессов трансформации фосфор- и фторсодержащих органических веществ на примере зарина и зомана в природных средах [1–10]. На поведение ОВ в окружающей среде влияют многие факторы, например, при относительной влажности воздуха 60–70% начальная концентрация фосфорорганических соединений (ФОВ) в течение 24 часов понижается в среднем на два порядка [1]. Причем среди ФОВ это наиболее характерно для зарина. Зоман практически не подвергается химическому метаболизму в атмосфере [2]. Поэтому когда данное ОВ попадает на почву, растительность и поверхность водоемов практически в неизменном (в химическом отношении) виде.

При попадании фосфорорганических веществ в водные объекты, почву, с ними происходят различные физико-химические и биологические процессы: испарения, сорбции, гидролиза, биологического разложения, окислительно-восстановительные реакции и др. [3]. В структуре зарина и зомана имеются специфические группы, влияющие на их свойства и реакционную способность: это прочная С-Р связь, разрыв которой происходит медленно. Кроме того, с такими соединениями как фторангидриды изопропилового и пинаколилового эфира метилфосфоновой кислоты, химические и биохимические реакции наиболее интенсивно проходят и по другой подвижной фторфосфорной (F-P) связи [4].

Зарин гигроскопичен и смешивается с водой во всех соотношениях. При попадании в воду зарин гидролизует с образованием изопропилового эфира метилфосфоновой кислоты и фтороводорода [1]. С повышением температуры на 10 °С скорость гидролиза в нейтральной среде увеличивается почти вдвое. С заметной скоростью спонтанный гидролиз зарина в воде начинается при величине рН=7. По мере гидролиза токсичность остающегося раствора зарина непрерывно уменьшается. Продукты гидролиза зарина неядовиты. При попадании зарина в воду природного водоема или в почву основным процессом, обуславливающим его детоксикацию, будет гидролиз до нетоксичного и достаточно устойчивого изопропилового эфира метилфосфоновой кислоты, который в дальнейшем может подвергаться действию различных бактерий, например, *Pseudomonas testosteroni* в аэробных условиях. В результате этого воздействия будет происходить расщепление связи С – Р с высвобождением стехиометрического количества метана [4].

Зоман – стабильное соединение, более устойчивое к действию воды, чем зарин. Растворимость зомана в воде мала – менее 1,5%. Наиболее медленно гидролизуется при величине рН равной 4, а при рН>10 гидролизуется быстро [1]. В научной литературе имеются данные о способности микроорганизмов ускорять процесс разложения производных метилфосфоновой кислоты. Например, зоман (фторангидрид пинаколилового эфира метилфосфоновой кислоты) при участии микроорганизмов (*Bacillus* sp. N10Г, *Bacillus* sp. N64Г, *Bacillus* sp. N94Г, *Pseudomonas* sp. N43Г, *Vibrionaceae* sp. N169Г) разлагается в 18-30 раз быстрее, при этом высвобождаются неорганические фосфаты и метан [3].

В результате данных превращений фосфорорганических соединений в почве появляется значительное количество нетоксичных соединений фосфора - оксидов и солей ортофосфорной кислоты. Обогащение верхних горизонтов почв фосфатами вызывает интенсивный процесс новообразования различных фракций минеральных соединений фосфора, связанных с кальцием, алюминием и железом [5]. Избыток фосфора в почве нарушает баланс элементов питания растений. Это касается не только соотношения N: P: K, но и ряда микроэлементов. Фосфор является антагонистом следующих элементов: Al, As, B, Be, Cd, Cr, Cu, F, Fe, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Rb, Se, Si, Sr, Zn [6]. С одной стороны, при избытке фосфора может нарушаться механизм обеспечения растений такими важнейшими микроэлементами как бор, медь, железо, марганец, молибден, с другой стороны, может снижаться токсическое действие некоторых загрязняющих элементов: мышьяка, никеля, свинца, алюминия и др.

В составе продуктов трансформации фторангидридов изопропилового и пинаколилового эфира метилфосфоновой кислоты (зарина и зомана) в почвах может образовываться фтороводород. Миграционная способность фторид-ионов зависит от присутствия глинистых минералов, величины рН, концентрации кальция и фосфора в почве [7]. Основным механизмом поглощения фторид-иона является анионный обмен и хемосорбция (образование комплексных соединений на основе алюминия, железа; образование труднорастворимых фторидов, фторфосфатов кальция; изоморфное замещение в решетках глинистых минералов). Наибольшая сорбция фторид-иона отмечается в интервале рН 6–7. Экспериментально доказано, что гуминовые и фульвокислоты не поглощают фторид-ион во всем диапазоне исследуемых концентраций [8]. Под влиянием поступления щелочных фторидов на поверхность почвы повышается подвижность органического вещества за счет разрушения гумусово-минеральных комплексов, что может приводить к деградации почв [9]. Трансформация твердой фазы почвы под действием фторидов щелочных металлов выражается в растворении гидроксидов железа, алюминия, комплексных гетерополярных соединений гуминовых кислот с алюминием; изменении состава почвенного поглощающего комплекса и кислотно-основных свойств почв, разрушении почвенной структуры, увеличении подвижности коллоидных форм органоминеральных компонентов, изменении содержания и состава гумуса [10]. Растения могут легко извлекать фтор из загрязненных почв, однако биодоступность почвенного фтора для растений ниже, чем фтора из воздуха [6].

Проведенный анализ литературных данных позволяет сделать вывод о том, что в ходе естественных процессов трансформации фосфор- и фторорганических соединений (зарина и зомана) в природном комплексе протекают сложные химические превращения, при этом образуются многочисленные новые нетоксичные соединения. Почвенная микрофлора вносит определенный вклад в уменьшение стойкости фосфорсодержащих органических веществ и в ускорение разложения их в почвах.

*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. Франке З. Химия отравляющих веществ, Т. 1–2. М. : изд. Химия, 1973.
2. Александров В. Н., Емельянов В. И. Отравляющие вещества. М. : Военное изд-во, 1990. 271 с.
3. Оценка влияния микроорганизмов на динамику разложения зомана в почве / А. Т. Харченко, В. И. Мягих, Ю. Н. Корякин и др. // Рос. хим. журнал. 1995. Т. 39, № 4. С. 104–107.
4. Каракчиев Н. И. Военная токсикология и защита от ядерного и химического оружия. Т. : Медицина, 1988. 368 с.
5. Гинзбург К. Е. Фосфор основных типов почв СССР. М. : Наука, 1981. 242 с.
6. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М. : Мир, 1989. 439 с.
7. Танделов Ю. П. Фтор в системе почва-растение. Красноярск, 2012. 146 с.
8. Моршина Т. Н., Фанаскова Т. П. Закономерности поглощения фтора почвами // Почвоведение. 1987. № 2. С. 29–34.
9. Соколова Т. А. Мотузова Г. В., Малинина М. С. Химические основы буферности почв : учебно-методическое пособие. М. : Изд-во МГУ, 1991. 96 с.
10. Моршина Т. Н., Гапонюк Э. И. Взаимодействие фторидов с почвами. Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Л. : Гидрометеиздат, 1989. С. 258–265.

### **МОНИТОРИНГ СВАЛОК ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В УДМУРТИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

*Т. Г. Злобина*

*АУ «Управление Минприроды УР», zlobinatata@gmail.com*

Рассматривается использование методов дистанционного зондирования Земли для повышения эффективности мониторинга свалок твердых коммунальных и промышленных отходов в регионе на примере Удмуртской Республики. Приведено описание получения информации с помощью визуального дешифрирования космической съемки.

Ключевые слова: данные дистанционного зондирования Земли, твердые коммунальные отходы, промышленные отходы, несанкционированные свалки, визуальный анализ.

В последнее время существует тенденция к увеличению количества несанкционированных свалок твердых коммунальных отходов (ТКО) (ранее – бытовых) и промышленных отходов. Выявление подобных свалок имеющихся на сегодня методами связано с большими затратами времени и средств. Вместе с тем, на современном этапе реформ в сфере обращения с отходами, повышаются требования к оперативности получения информации и принятия управленческих решений. В связи с этим использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяет своевременно выявлять и контролировать как санкционированные, так и несанкционированные свалки для принятия актуальных и эффективных решений.

Под объектом размещения отходов понимается специально оборудованное сооружение, предназначенное для размещения отходов. К таким сооружениям относят: полигоны, шламохранилища, хвостохранилища, отвалы горных пород и другие сооружения. В настоящее время наиболее распространенными местами по размещению отходов являются полигоны и свалки [1].

При дешифрировании космических снимков для последующего создания цифровых карт выделяют следующие типы свалок:

- Полигоны ТКО.
- Коммунально-бытовые свалки.
- Строительные свалки.
- Промышленные свалки.
- Сельскохозяйственные свалки.
- Лесохозяйственные свалки.
- Захламленные территории.

Полигоны ТКО – специальные сооружения, предназначенные для изоляции и обезвреживания ТКО.

Коммунально-бытовая свалка – территория, используемая под складирование бытовых отходов.

Строительная свалка – территория, используемая под складирование строительных отходов, остатков строительства.

Промышленная свалка – включают различные виды мусора, в зависимости от направления деятельности предприятия.

Сельскохозяйственные свалки – навоз, перегнившая солома, сено и т. д.

Лесохозяйственные свалки – неубранные остатки на вырубках (ветви, сучья, хвоя и т.п.).

Захламленная территория – обширная площадь, на которой бытовые и другие отходы распределены относительно равномерно, но не занимают всю поверхность.

Эффективная методика выявления, картографирования и мониторинга несанкционированных мест складирования отходов должна включать следующие обязательные шаги: подбор космических снимков с необходимыми вре-

менными и техническими характеристиками, выполнение их фотограмметрической обработки, дешифрирование снимков с целью выделения свалок и загрузка полученных результатов в геоинформационные системы [2].

Картографирование свалок проводится на основе прямых и косвенных дешифровочных признаков. Для свалок характерна неправильная форма, вытянутость вдоль линейных объектов – авто- и железных дорог, склонов речных долин, берегов озер и болот. Для свалок, образовавшихся в отработанных карьерах, различных выемках, котлованах, характерна компактная округлая форма. Содержащиеся в свалках материалы с высоким коэффициентом отражения дают резкое повышение яркости на космических снимках – белые, светло-желтые, светло-голубые оттенки. Исключение составляют менее отражающие сельскохозяйственные, лесохозяйственные и некоторые типы промышленных свалок. Важнейший признак, отражающийся на снимках сверхвысокого разрешения, – мелкозернистая текстура (рисунок), образующаяся за счет неровностей поверхности свалок, слагаемых различными предметами. Несколько более крупная текстура характерна для промышленных и сельскохозяйственных свалок.

Для упрощения и ускорения работы по поиску свалок, а также для повышения точности их выявления по снимку на этапе дешифрирования, используются знания о возможном расположении свалок по отношению к техногенным и природным объектам. Здесь рассматривается наличие подъездных путей или грунтовой дороги, так как технике для выгрузки мусора необходимо проехать к месту размещения отходов. Для полигонов также характерно наличие объектов необходимых для эксплуатации ТКО, которые визуальнo дешифрируются на космоснимке. К таким объектам можно отнести: наличие ограждения, канавы или обваловки по периметру свалки, контрольно-пропускного пункта на въезде, а, кроме того, возможное присутствие на полигоне тяжелой техники.

Также существует природная приуроченность свалок: они часто располагаются на склонах речных долин, заполняют овраги и балки, а иногда и долины малых рек, находятся на опушках леса. Свалки, расположенные в лесу, с большим трудом можно выявить даже по космическим снимкам. В целях их обнаружения съемка должна производиться ранней весной или поздней осенью, когда листва на деревьях отсутствует, кроны деревьев разрежены.

Использование всех вышеперечисленных закономерностей позволяет вести более эффективный и уверенный поиск свалок, а при автоматической обработке исключить из зоны поиска заведомо невозможные места их расположения [3].

Еще одна задача, которая успешно решается с использованием средств дистанционного зондирования Земли, – это мониторинг рекультивации земель после ликвидации полигонов и свалок ТКО.

Использование серии разновременных космических снимков позволяет изучать динамику изменения состояния мест складирования отходов на территории Удмуртской Республики. При анализе данных ДЗЗ можно отследить отдельные свалки в плане изменения их площади, выявить в целом динамику появления новых свалок, разработать предложения для ликвидации несанкционированных свалок на территории Удмуртии.

На основе использования дешифрирования данных ДЗЗ разработан тематический слой «Свалки» цифровой карты, к нему создана атрибутивная база данных объектов в MapInfo, на основе которой создается карточка объекта (табл.).

Таблица

**Карточка свалки, построенная на основе геоинформации о свалках**

Код объекта	0126487
Наименование объекта	Место размещение отходов
Архивные данные	
Дата последнего обследования	2010 г.
Способ обследования	Использование метода ДЗЗ

*Окончание таблицы*

Результаты обследования	Создание баз данных расположения свалок по территории Удмуртии
Местоположение объекта на территории	
Административный район	Кезский район
Муниципальное образование	Сосновоборское
Ближайший населенный пункт, расстояние до него, км	д. Кездур
Наименование реки, на водосборе которой находится объект	р. Кездурка
Координаты центральной точки объекта	57,846447° 53,688561°
Вид землепользования	Земли населенного пункта
Результаты космической съемки	
Дата съемки	2016 г.
Спектральные диапазоны, режим съемки	Мультиспектральный, панхроматический
Источник получения ДЗЗ	НЦ «ОМЗ», Геопортал Google Earth
Классификация объекта	Коммунально-бытовая свалка
Площадь	0,25 га

Использование методики дешифрирования ДЗЗ с целью актуализации и пополнения геоинформационных систем эколого-природоресурсного направления Удмуртской Республики ведется с 2008 г. Метод мониторинга из космоса несанкционированных и санкционированных свалок, оборудованных полигонов ТКО на основе ДЗЗ показал свою эффективность и имеет все предпосылки для дальнейшего ведения и совершенствования использования метода на территории Удмуртии.

**Библиографический список**

1. Липилин Д. А. Мониторинг свалок на территории Краснодарского края по материалам спутниковых снимков (методика и результаты) // Концепт : научно-методический электронный журнал. 2013. Т. 3. С. 621–625.
2. Абросимов А. В., Никольский Д. Б., Шешукова Л. В. Использование космических снимков и геоинформационных технологий для мониторинга мест складирования отходов // Геоматика. 2013. № 1. С. 68–74.
3. Тимофеева С. С., Шешукова Л. В., Охотин А. Л. Мониторинг свалок твердых бытовых и промышленных отходов в Иркутском районе по данным космических снимков // Вестник ИРГТУ. 2012. № 9. С. 76–81.

## СНЕГОГРЯЗЕВАЯ ПУЛЬПА КАК ИНДИКАТОР ПРОЦЕССОВ СОВРЕМЕННОГО СЕДИМЕНТОГЕНЕЗА В ГОРОДАХ С ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЙ СНЕЖНОЙ ЗИМОЙ

*А. А. Селезнев<sup>1,2</sup>, Е. О. Илгашева<sup>1</sup>, А. Д. Рянская<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт промышленной экологии УрО РАН, sandrian@rambler.ru*

<sup>2</sup> *Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН*

В статье представлены научно обоснованные данные о геоиндикаторных свойствах снегогрязевой пульпы в городах разных природных климатических и промышленных зон России: вещественном составе, механизмах образования, участии в процессах современного осадконакопления. Полученные данные позволяют судить о влиянии снегогрязевой пульпы и ее составляющих на качество окружающей среды городов.

Ключевые слова: урбанизированная среда, снегогрязевая пульпа, твердый осадок, гранулометрия, минералы, элементы.

Современные процессы осадконакопления играют значимую роль в формировании качества окружающей среды городов. Накопленные поверхностные наносы представляют неточечный распределенный источник загрязнения [1]. Образование седиментационного материала в городах значительно превышает образование наносов в лесных и сельскохозяйственных ландшафтах [2]. В модели седиментационного каскада в урбанизированной среде промежуточным этапом является накопление отложений на поверхностях дорог, тротуаров, в понижениях микрорельефа [3, 4]. В регионах с продолжительной снежной зимой в городах процессы образования осадка в зимний период связаны с абразией дорожного полотна, выпадениями пыли из атмосферы [5, 6], использованием противогололедной смеси на дорогах и тротуарах [7]. Снег из-за пористой структуры накапливает и хранит на протяжении нескольких месяцев большой объем поллютантов и твердого осадка [8].

Одним из наименее изученных объектов седиментогенеза является снегогрязевая пульпа (СГП). Она образуется в результате перемешивания снега и накопленных на поверхностях современных наносов (иными словами, городской грязи) колесами автомобилей и пешеходами. СГП образуется в течение всей зимы, в процессе уборки улиц перемещается с дорог, тротуаров и проездов на обочины и газоны, складывается в кучи, вывозится на полигоны. Несмотря на то, что существуют общие представления о причинах образования СГП и ее химическом составе, систематические наблюдения и анализ факторов, влияющих на формирование и определяющих ее состав, отсутствуют. Цель работы – получение научно обоснованных данных о геоиндикаторных свойствах СГП: вещественном составе, механизмах образования, участии в процессах современного седиментогенеза на урбанизированной территории. Исследование проводится в крупных городах в разных природно-климатических, промышленных

зонах, на территориях, различающихся литогенным субстратом: Екатеринбург, Нижний Новгород, Ростов-на-Дону, Тюмень, Мурманск.

В конце зимы в городах в жилых кварталах с многоэтажной застройкой проводится отбор проб СГП и снега. Площадки опробования выбираются в разных географических районах города с разным временем застройки и по возможности разной литогенной основой. Компоненты окружающей среды отбираются снаружи и внутри квартала [9] в количестве пяти проб в жилом квартале. Проводится описание кварталов и особенностей их планировки [10]. Лабораторные исследования включают гранулометрический анализ твердого осадка снега и СГП, химический (определение содержания металлов методом ИСП МС) и минеральный анализ гранулометрических навесок (рентгеноструктурный и термический анализ, сканирующая электронная микроскопия проводятся на базе ЦКП Геоаналитик Института геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН).

В обследованных городах на 2020 г. отобрано 150 проб СГП и снега. На рисунках 1 и 2 показано распространение снегогрязевой пульпы на обследованных селитебных территориях и отбор проб СГП в г. Екатеринбурге соответственно. По результатам гранулометрического анализа получено 900 гранулометрических навесок фракций 0,002–0,01 мм, 0,01–0,05 мм, 0,05–0,1 мм, 0,1–0,25 мм, 0,25–1 мм и > 1 мм. В гранулометрических фракциях проводится определение содержания элементов (Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Mo, Cd, Sn, Sb, Ba, W, Pb, Th, U) и минерального состава.



Рис. 1. Распространение снегогрязевой пульпы на территориях городов: Ростов-на-Дону (а, проезжая часть улицы), Тюмень (б, проезжая часть улицы) и Нижний Новгород (в ( проезжая часть улицы) и г (внутридворовой проезд))



Рис. 2. Отбор проб снежногрязевой пульпы на дороге и на тротуаре с наружной стороны жилого квартала (г. Екатеринбург)

В составе СГП в городах самое высокое содержание твердой фазы составляет  $> 30$  г/л воды и наблюдается в образцах с дорог и внутридворовых проездов. В составе снега с ненарушенных участков количество твердого осадка везде  $< 1$  г/л. Пылевая фракция (0,002–0,1 мкм) преобладает в образцах СГП на дорогах, ее доля составляет до 30% твердого осадка. Знание гранулометрического состава снежногрязевой пульпы позволило предложить модель оценки запасов современных наносов на территории города. Так, для г. Екатеринбурга их количество составляет 320000 т [10].

В минеральном составе твердого осадка СГП на урбанизированной территории присутствуют в основном материал коры выветривания, строительные материалы (в том числе продукты абразии дорожного полотна), твердый материал антигололедной смеси (щебень и песок) и частицы техногенного происхождения (в том числе микропластик). В элементном составе твердой фазы СГП присутствуют как поллютанты (такие как Pb, Zn и Cu), так и элементы типоморфной ассоциации (Al, Mn, Fe и др.). Распределение типоморфных элементов по гранулометрическим фракциям показывает, что мелкие частицы твердого осадка являются продуктом разрушения крупных. В пылевой фракции твердого материала СГП наблюдаются повышенные концентрации Pb, Zn и Cu.

В модели седиментационного каскада на урбанизированной территории СГП является депонирующей средой, которая «консервирует» в себе осадочный материал в течение холодного периода. Затем в период весеннего снеготаяния происходит высвобождение наносов. Пылевая фракция в наносах и тяжелые металлы являются факторами риска для населения городов. Полученные результаты могут использоваться при планировании мероприятий для улучшения экологического состояния на урбанизированной территории.

*Работа выполняется при поддержке гранта Российского научного фонда № 18-77-10024, частично работа А. А. Селезнева оплачена из средств гранта РФФИ № 19-35-60011.*

#### **Библиографический список**

1. EPA-841-B-05-004. National Management Measures to Control Nonpoint Source Pollution from Urban Areas. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water, 2005.
2. Russell K. L., Vietz G. J., Fletcher T. D. Global sediment yields from urban and urbanizing watersheds // Earth-Sci. Rev. 2017. Vol. 168. P. 73–80.

3. Taylor K. Urban environments // Environmental Sedimentology / eds.: C. Perry, K. Taylor. Wiley-Blackwell, 2007. P. 190–222.
4. Taylor K. G., Owens P. N. Sediments in urban river basins: a review of sediment–contaminant dynamics in an environmental system conditioned by human activities // J. Soils Sediments. 2009. Vol. 9(4). P. 281–303.
5. Furberg A., Arvidsson R., Molander S. Dissipation of tungsten and environmental release of nanoparticles from tire studs: A Swedish case study // J. Clean. Prod. 2019. Vol. 20. P. 920–928.
6. Lygren E., Gjessing E., Berglund L. Pollution transport from a highway // Sci. Total Environ. 1984. 33. P. 147–159.
7. Westerlund C., Viklander M. Particles and associated metals in road runoff during snowmelt and rainfall // Sci. Total Environ. 2006. Vol. 362. P. 143–156.
8. Do snow and ice alter urban air quality? / P. A. Ariya, A. Dastoor, Y. Nazarenko, M. Amyot // Atmos. Environ. 2018. Vol. 186. P. 266–268.
9. Snow-dirt sludge as an indicator of environmental and sedimentation processes in the urban environment / A. Seleznev, I. Yarmoshenko, G. Malinovsky, E. Ilgasheva, E. Baglaeva, A. Ryanskaya, D. Kiseleva, T. Gulyaeva // Scientific Reports. 2019. Vol. 9(1). 17241.
10. Seleznev A. A., Yarmoshenko I. V., Malinovsky G. P. Assessment of total amount of surface sediment in urban environment using data on solid matter content in snow-dirt sludge // Environmental Processes. 2019. Vol. 6. P. 581–595.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В АВТОМОБИЛЬНОМ ТОПЛИВЕ**

*О. М. Абдухалилов<sup>1</sup>, С. Г. Скугорева<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, alimbay.1998@mail.ru*

<sup>2</sup> *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, skugoreva@mail.ru*

Представлены данные по содержанию 7 полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в дизельном топливе (ДТ) и бензинах марок АИ-92 и АИ-95, а также в продуктах сгорания бензинов. При сжигании бензина содержание ПАУ увеличивается. Бензин марки АИ-95 и продукты его сгорания содержат меньше ПАУ, чем АИ-92. Наиболее экологичным видом топлива является ДТ, в котором содержатся небольшие количества ПАУ.

Ключевые слова: полициклические ароматические углеводороды, бензин, дизельное топливо, продукты сгорания топлива.

Россия является одной из ведущих стран по добыче и экспорту нефти и газа. По данным Минфина за 2019 г. нефтегазовые доходы составили 41,7% от всех доходов федерального бюджета за этот период [1]. В свою очередь, добыча, хранение, транспортировка, переработка и использования нефти и нефтепродуктов наносит значительный вред окружающей среде (ОС), поскольку загрязняется вода, воздух и почва [2].

С 1 января 2016 г. в России действует экологический стандарт Евро-5 на все виды автомобилей. Стандарт Евро-5 предполагает уменьшение содержания вредных веществ в выхлопных газах. Одним из нормируемых показателей топ-

лива Евро-5 является невысокое содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) (не более 11 мас.% по ГОСТ Р 52368-2005). Для получения высокооктановых бензинов, соответствующим всем критериям стандарта, часто используют различные присадки и технологии, в результате чего содержание ПАУ в бензине и в продуктах его сгорания может увеличиваться [3].

Полициклические ароматические углеводороды являются стойкими органическими поллютантами в ОС. В связи с мутагенными и канцерогенными свойствами, 16 соединений данного класса включены Агентством по охране окружающей среды США и Европы (ЕРА) в список приоритетных загрязняющих веществ. Зачастую к антропогенным источникам поступления ПАУ в ОС относят сжигание нефти, бензина, угля, торфа и других видов топлива [4].

Среди методов экологического мониторинга и количественного определения ПАУ широкое применение нашел метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с флуориметрическим детектором. Метод основан на способности ПАУ флуоресцировать. Преимущество метода состоит в том, что анализ концентрата пробы проводится при низких температурах, что предотвращает улетучивание исследуемых веществ [5].

Целью исследования было изучение содержания ПАУ в дизельном топливе, бензинах марок АИ-92 и АИ-95, а также в продуктах горения (сажа) бензинов с использованием метода ВЭЖХ.

Определение ПАУ в образцах проводили по методике ПНД Ф 16.1:2.2:3.39-03. Для исследования сырого дизельного топлива (ДТ), бензина и сажи использовали образцы объемом 1 мл. Для получения сажи бензин сжигали в фарфоровой чашке, закрытой сверху стеклянной воронкой.

Продукты горения бензина смывали с чашки и воронки ватным тампоном, вымоченным в дихлорметане. Ватный тампон заливали 20–25 мл дихлорметана, затем проводили экстрагирование ПАУ встряхиванием в течение 20 мин. Для очистки образцов экстрактов ПАУ из сажи использовали хроматографическую колонку с оксидом алюминия в качестве адсорбента. Элюат упаривали досуха в вакууме при температуре 40–50 °С. Сухой остаток растворяли в подвижной фазе, оставляли на 15 мин и подвергали хроматографическому анализу.

Сжечь дизельное топливо при комнатных условиях не удалось. Топливная система дизеля значительно сложнее, чем карбюраторного двигателя. Топливо в камере сгорания впрыскивается под давлением 10–150 МПа. Температура воздуха в конце сжатия повышается до 770–870 К. При этом топливо мелко распыливается, испаряется и перемешивается с воздухом, образуя горючую смесь. Процесс сгорания начинается с самовоспламенения смеси при высокой температуре, которая достигается в процессе сжатия воздуха. Температура самовоспламенения дизельного топлива колеблется в диапазоне от 300 до 330 °С [6]. При отсутствии вышеперечисленных факторов (давление, температура) в условиях лаборатории не удалось подвергнуть ДТ воспламенению.

Результаты анализа по содержанию ПАУ (в расчете на массу образца) представлены в таблице.

**Содержание ПАУ в дизельном топливе, бензинах различных марок и продуктах их сгорания (сажа), в мг/кг**

ПАУ	Дизельное топливо	АИ-92		АИ-95	
		бензин	сажа	бензин	сажа
Пирен	*	0,040	0,068	0,011	0,088
Хризен	0,050	0,200	0,041	0,080	0,170
Бенз[b]флуорантен	*	0,096	0,520	0,043	*
Бенз[k]флуорантен	0,005	0,038	0,340	0,021	0,150
Бенз[a]пирен	0,028±0,011	0,17±0,05	0,59±0,17	0,085±0,024	0,36±0,10
Дибенз[a]антрацен	*	0,046	0,300	0,027	0,098
Бенз[g,h,i]перилен	0,045	0,104	1,000	0,047	0,023

*Примечание:* \* – хроматографический пик не идентифицирован.

В ходе анализа было идентифицировано и количественно определено 7 представителей ПАУ в составе ДТ, бензинов и в продуктах сгорания бензинов. В свою очередь такие соединения, как пирен, бенз[b]флуорантен и дибенз[a]антрацен, в образце ДТ не идентифицированы хроматографическим методом. Минимальное содержание хризена установлено для пробы ДТ, оно в 4 и 1,6 раза меньше, чем для проб бензина АИ-92 и АИ-95. Среди сырого топлива наибольшим содержанием бенз[k]флуорантена отличался образец бензина АИ-92 (0,038 мг/кг), наименьшим – образец ДТ (0,005 мг/кг).

В исследовании наибольшее внимание уделяли содержанию бенз[a]пирена, так как в Российской Федерации его относят к соединениям 1 класса опасности. Максимальное содержание бенз[a]пирена в топливах установлено для пробы бензина АИ-92 (0,028±0,011 мг/кг), в два раза меньше его было содержание в пробе бензина АИ-95 (0,085±0,024 мг/кг). Дизельное топливо, по сравнению с бензинами, содержало меньше бенз[a]пирена (0,028±0,011 мг/кг) и других ПАУ, в связи с чем его можно считать более экологичным видом топлива.

Установлено, что в продуктах сгорания бензина содержание ПАУ значительно выше, чем в самом бензине (от 1,7 до 9,6 раза), что свидетельствует об образовании исследуемых веществ при сжигании. Установлено, что бензин марки АИ-95 содержит меньше в 1,7–3,6 раза ПАУ, чем АИ-92.

Исследование показало, что существенно больше бенз[a]пирена содержится в образце бензина АИ-92 и в продуктах его сгорания. В сыром бензине содержание токсиканта составляет 0,17±0,05 мг/кг, что в 2 раза превышает содержание в пробе АИ-95 (0,085±0,024 мг/кг). В продукте сгорания бензина АИ-92 также наблюдается превышение содержания бенз[a]пирена в 1,64 раза по сравнению с АИ-95.

В саже бензина АИ-95 содержится больше легких ПАУ (пирен, хризен), чем в саже бензина АИ-92. Содержание тяжелых ПАУ (бенз[b]флуорантен, бенз[k]флуорантен, бенз[a]пирен, дибенз[a]антрацен, бенз[g,h,i]перилен) в АИ-92 существенно больше по сравнению с АИ-95.

Таким образом, в ходе исследовательской работы было определено содержание 7 ПАУ в дизельном топливе, в бензине марок АИ-92, АИ-95 и в про-

дуктах их сгорания. Установлено, что наиболее экологичным видом топлива является дизельное топливо, в котором содержатся небольшие количества ПАУ. При сжигании бензина содержание ПАУ увеличивается. Бензин марки АИ-95 и продукты его сгорания содержат меньше ПАУ, чем АИ-92. Подобного рода исследования можно использовать для оценки качества бензина и других видов топлив.

*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. Треть доходов бюджетной системы России связана с нефтью и газом [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rbc.ru/economics/22/08/2019/5d555e4b9a7947aed7a185de> (дата обращения: 20.11.2019).
2. Воздействие нефти и нефтепродуктов на окружающую среду / Н. М. Привалова, М. В. Двадненко, А. А. Некрасова, Д. М. Привалов // Энергетика и рациональное природопользование. Научный журнал КубГАУ. 2017. № 125 (01). С. 1–10.
3. Шаповала Е. В. Происхождение, содержание полициклических ароматических углеводородов в нефтепродуктах и оценка их воздействия на окружающую среду : дис. ... канд. хим. наук : 03.02.08. Краснодар, 2014. 120 с.
4. Bellah O. P., Lesego C. M., Nelson T. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil with Agilent bond elut HPLC-FLD. Agilent technologies. 2012. 7 p.
5. Хацаюк А. С., Павлова М. Э. Роль и значение высокоэффективной жидкостной хроматографии в практике высокотехнологических лабораторных исследований // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2016. Т. 66, № 3. С. 215–219.
6. Гуреев А. А., Фукс И. Г., Лашхи В. Л. Химмотология. М. : Химия, 1986. 368 с.

### **СОДЕРЖАНИЕ СЕРОВОДОРОДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ВБЛИЗИ СВИНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

***Н. В. Сырчина<sup>1</sup>, Л. В. Пилип<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup> Вятский государственный университет, [nvms1956@mail.ru](mailto:nvms1956@mail.ru)*

*<sup>2</sup> Вятская государственная сельскохозяйственная академия,  
[pilip\\_larisa@mail.ru](mailto:pilip_larisa@mail.ru)*

В статье приведены результаты измерения содержания сероводорода в атмосферном воздухе на территории, прилегающей к крупному животноводческому комплексу. Показано, что содержание сероводорода в точках наблюдений может превышать установленные нормативы в 7 и более раз. Несмотря на превышение ПДК, наличие запаха сероводорода в точках наблюдения выявлено не было. Превышение ПДК по сероводороду является фактором риска для здоровья населения.

Ключевые слова: сероводород, запаховое загрязнение, загрязнение атмосферы, промышленное свиноводство.

Сероводород ( $H_2S$ ) считается одним из наиболее токсичных газов, образующихся при разложении отходов животноводства и относится к токсикантам 2 класса опасности. По имеющимся оценкам, выбросы  $H_2S$  свиноводческим предприятием на 108 тыс. голов достигают 123 т в год [1]. Хроническое воздействие сероводорода на человека в концентрациях, не вызывающих острого отравления, приводит к нарушению сна, головной боли, головокружению, потере внимания, дисфункции вегетативной нервной системы, хроническому бронхиту, диспепсии и другим нарушениям здоровья. Установлено, что увеличение концентрации  $H_2S$  на  $0,001 \text{ мг/м}^3$  приводит к повышению заболеваемости болезнями системы кровообращения в 1,1 раза [2]. В высоких концентрациях сероводород вызывает блокирование дыхательной функции митохондрий [3, 4]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) сероводорода в воздухе населенных пунктов установлена на уровне  $0,008 \text{ мг/м}^3$  [5], в воздухе рабочей зоны производственных помещений –  $10 \text{ мг/м}^3$  [6].

Сероводород обладает характерным неприятным запахом. Порог ощущимости запаха зависит от индивидуальных особенностей человека. Большинство людей начинают ощущать запах  $H_2S$  при содержании газа в воздухе на уровне  $0,014 \text{ мг/м}^3$  [7]. Вдыхание воздуха, содержащего надпороговые концентрации сероводорода, достаточно быстро приводит к параличу окончаний обонятельного нерва, в результате чего человек перестает ощущать запах. Данная особенность  $H_2S$  повышает опасность возможного отравления [8].

Цель настоящей работы состояла в оценке влияния предприятий свиноводства на содержание сероводорода в атмосферном воздухе.

В качестве объекта исследований был выбран крупный свинокомплекс, расположенный вблизи г. Кирова. Анализ атмосферного воздуха, а также исследование запахового загрязнения в окрестностях свинокомплекса выполнялись в сентябре 2019 г. Сроки выполнения соответствующих исследований определялись складывающимися погодными условиями. Лето 2019 г. было холодным и дождливым. Только в середине второй декады сентября установилась теплая и сухая погода, благоприятная для проведения исследований.

Измерение концентрации сероводорода в атмосферном воздухе выполнялось с помощью переносного газоанализатора «Геолан-1П» с принудительным отбором проб воздуха. Исследования проводились в полевых условиях в соответствии с руководством по эксплуатации газоанализатора. Отбор проб выполнялся в дневное время на высоте 1,5–1,7 м от уровня почвы. Температура воздуха во время выполнения измерений составляла  $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Для оценки запахового загрязнения была сформирована группа экспертов из 4-х человек. Загрязнение выявлялось с учетом воздействия запахообразующих веществ на органы обоняния экспертов [9]. Наличие и интенсивность запахового загрязнения оценивалось по 3-х балльной шкале:

- 0 – отсутствие запаха;
- 1 – слабый запах;
- 2 – отчетливый запах.

Схема расположения контрольных точек (точек замера) и проведения экспертной оценки качества атмосферного воздуха представлена на рисунке.

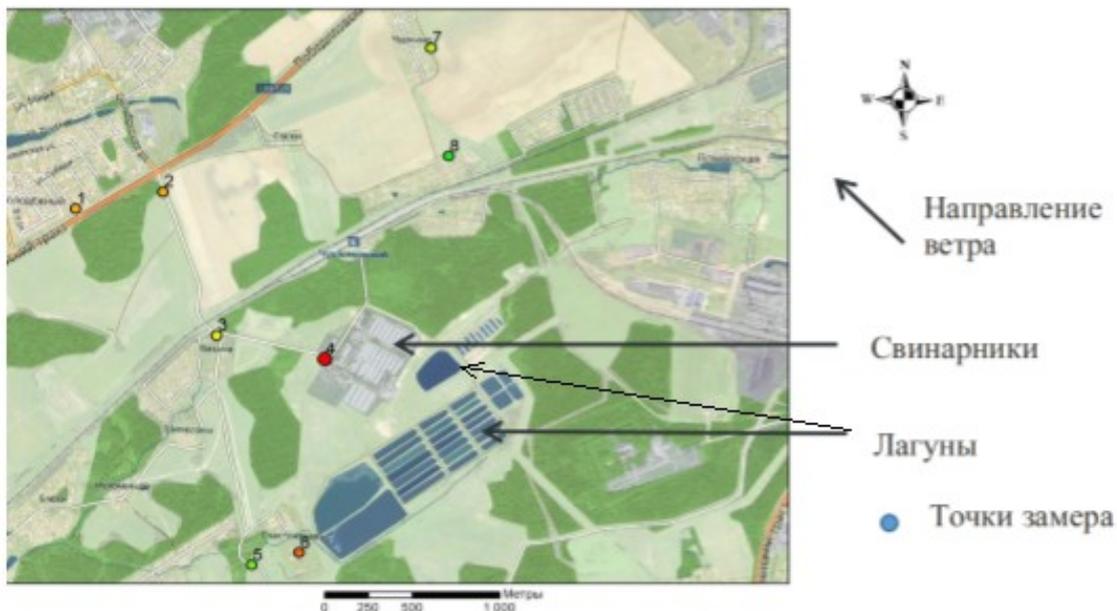


Рис. Схема расположения контрольных точек

В результате измерений было выявлено, что содержание сероводорода в атмосферном воздухе превышает установленные нормативы (ПДК максимально разовая) в 7 из 8 контрольных точек (табл.).

Таблица

**Содержание сероводорода в атмосферном воздухе**

Точка отбора пробы воздуха	Содержание H <sub>2</sub> S, мг/м <sup>3</sup>	Превышение максимальной разовой ПДК, раз
1	0,04	5,0
2	0,04	5,0
3	0,03	3,7
4	0,06	7,5
5	0,01	1,2
6	0,05	6,2
7	0,02	2,5
8	0	нет

Наибольшее содержание H<sub>2</sub>S было выявлено в контрольных точках № 4 и № 6, расположенных вблизи помещений для содержания животных и лагун-накопителей. Источником поступления H<sub>2</sub>S в воздух являются навозные стоки. В механизме образования сероводорода лежит биохимическое разложение органических соединений, преимущественно серосодержащих аминокислоты и пептиды. Следует отметить, что ни один из экспертов характерного для H<sub>2</sub>S запаха не почувствовал. Это обусловлено тем, что порог чувствительности к сероводороду значительно превышает установленный уровень ПДК. Ощутимый запах сероводорода отмечается при концентрации 1,4–2,3 мг/м<sup>3</sup>, значительный запах – при 4 мг/м<sup>3</sup>, тяжелый запах – при 7–11 мг/м<sup>3</sup>. При более высоких концентрациях ощущается менее сильный запах и наступает привыкание [10]. В непосредственной близости от расположения свинарников (точка 4) ощущался

определенный неприятный запах, однако этот запах был идентифицирован экспертами как запах меркаптанов.

Таким образом, выполненные исследования свидетельствуют о том, что содержание сероводорода в атмосферном воздухе вблизи свиноводческих предприятиях существенно превышает установленные нормативы.

При 5–7-кратном превышении максимально разовой ПДК запах  $H_2S$  в атмосферном воздухе практически не ощущается, т. е. в таких концентрациях сероводород не приводит к запаховому загрязнению атмосферы.

Повышенное содержание  $H_2S$  в воздухе может рассматриваться в качестве фактора риска для здоровья населения. Особую опасность сероводород представляет для органов дыхания и кровообращения.

#### **Библиографический список**

1. Тарасов С. И. Эффективный способ снижения содержания аммиака в свинарниках // Вестник ВНИИМЖ. 2019. № 2 (34). С. 106–113.
2. Ущерб здоровью от нефтегазоконденсатного месторождения: сероводород / У. И. Кенесариев, Д. У. Кенесары, А. Е. Ержанова, А. Т. Досмухаметов, М. К. Амрин, А. У. Кенесары, М. А. Ерденева // Вестник КазНМУ. 2014. № 3. С. 83–86.
3. Reiffenstein R. J., Hulbert W. C., Roth S. H. Toxicology of hydrogen sulfide. Annu. Rev. // Pharmacol. Toxicol. 1992. № 32. P. 109–134.
4. Skrtic L. Hydrogen sulfide, oil and gas, and people's health. Berkeley: University of California, 2006. 77 p.
5. ГН 2.1.6.3492-17. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений.
6. ГН 2.2.5.3532-18. «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны».
7. Чепегин И. В., Андрияшина Т. В. Выбросы пахучих веществ в атмосферу. Проблемы и решения // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 10. С. 80–83.
8. Кушелев В. В. Основы техники безопасности на предприятиях химической промышленности. М. : Химия, 1977. 280 с.
9. ГОСТ 32673-2014. Правила установления нормативов и контроля выбросов дурнопахнущих веществ в атмосферу.
10. Сухонос Г. Д., Шакиров А. Ф., Усачева Е. П. Справочник по испытанию необсаженных скважин. М. : Недра, 1985. 248 с.

### **ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ МНОГОКАНАЛЬНЫМ ИОНОМЕРом ПРИ НАЛИЧИИ МЕШАЮЩИХ ИОНОВ**

*А. В. Ёлкина<sup>1</sup>, Г. Я. Кантор<sup>1,2</sup>, Е. В. Кантор<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, ae676333@gmail.com*

<sup>2</sup> *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, grigory\_kantor@mail.ru*

Предложен метод обработки данных потенциометрического анализа водных растворов электролитов с многоканального цифрового иономера, учитывающий влияние мешающих ионов на ионоселективные электроды.

Ключевые слова: потенциометрия, мешающие ионы, многоканальный иономер.

Потенциометрический анализ ионного состава водных растворов при всех его очевидных достоинствах имеет существенный недостаток – относительно низкую селективность, т. е. ионоселективный электрод, помимо реакции на концентрацию ионов, для измерения которой он предназначен, реагирует также и на другие (мешающие) ионы, что вносит погрешность в результат измерения, и эта погрешность может быть весьма значительной. Особенно велико влияние мешающих ионов, имеющих близкие химические свойства (например, на потенциал калий-селективного электрода существенно влияют ионы аммония, натрия, кальция и т. д.). Одним из простых, но надежных методов коррекции мешающего влияния близких по электрохимическим свойствам ионов может быть параллельное измерение потенциалов нескольких ионоселективных электродов, различающихся крутизной электродной характеристики по отношению к ионам, содержащимся в анализируемом растворе. Для такого рода измерений хорошо подходят многоканальные милливольтметры с возможностью записи временной зависимости значений электрического потенциала на входах измерительного прибора.

Целью настоящей работы была отработка методики одновременного измерения концентрации ионов калия и аммония в диапазоне  $10^{-4} - 10^{-2}$  моль/дм<sup>3</sup> с учетом взаимного мешающего действия ионов на ионоселективные электроды.

В качестве измерительного преобразователя мы использовали 4-канальный рН-метр – иономер «Эксперт-001-3(0.4)» производства ООО «Эконикс-Эксперт» (Россия). Этот прибор с периодом 0,6 с измеряет электрические потенциалы относительно клеммы общего провода одновременно на 4 входах в диапазоне от  $-3500$  мВ до  $+3500$  мВ с дискретностью 0,01 мВ. Данные по каналу RS-232 передаются на компьютер и записываются в базу данных, откуда в дальнейшем могут быть извлечены для математической обработки. Для приема данных с иономера использовалась программа «Эксперт-00х» из комплекта прибора.

Для исключения воздействия ионов калия, содержащихся в электролите, вытекающем из электрода сравнения, последний был погружен в отдельный сосуд, соединенный с измерительной ячейкой проточным мостиком, изготовленным из полимерного капилляра. Уровень раствора в сосуде поддерживался на 1–2 мм ниже уровня в измерительной ячейке, что предотвращало конвективный или диффузионный перенос ионов калия из электрода сравнения к ионоселективным электродам.

Для калибровки электродной системы были приготовлены 4 раствора следующего состава:  $10^{-4}$  М КСl +  $10^{-4}$  М NH<sub>4</sub>Cl;  $10^{-4}$  М КСl +  $10^{-2}$  М NH<sub>4</sub>Cl;  $10^{-2}$  М КСl +  $10^{-4}$  М NH<sub>4</sub>Cl;  $10^{-2}$  М КСl +  $10^{-2}$  М NH<sub>4</sub>Cl. Результаты одновременного измерения потенциалов двух ионоселективных электродов, чувствительных к ионам калия и аммония, представлены в таблице.

**Потенциалы ионоселективных электродов  
в калибровочных растворах, мВ**

Калий-селективный электрод				Аммоний-селективный электрод			
		C(K <sup>+</sup> ), моль/л				C(K <sup>+</sup> ), моль/л	
		0,0001	0,01			0,0001	0,01
C(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), моль/л	0,0001	274,3	384,5	C(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), моль/л	0,0001	185,4	248,7
	0,01	298,0	389,1		0,01	298,0	299,3

Решение двух систем линейных уравнений с четырьмя неизвестными в каждой по данным таблицы дает следующие выражения для потенциалов ионоселективных электродов (в милливольтгах):

$$E_K = -36 \cdot pK + 7,25 \cdot pNH_4 - 4,775 \cdot pK \cdot pNH_4 + 465,7$$

$$E_{NH_4} = 30,35 \cdot pK + 5,7 \cdot pNH_4 - 15,5 \cdot pK \cdot pNH_4 + 289,2$$

где  $pK$  и  $pNH_4$  – логарифмические показатели концентрации ионов калия и аммония соответственно.

Совместное решение двух последних уравнений позволяет по измеренным значениям потенциалов  $E_K$  и  $E_{NH_4}$  вычислить показатели концентрации калия и аммония:

$$pK = 4,455 - \frac{E_K}{90,70} + \frac{E_{NH_4}}{294,4} + \sqrt{19,05 - \frac{E_K}{11,10} + \frac{E_{NH_4}}{50,13} - \frac{E_K E_{NH_4}}{13352} + \frac{E_K^2}{8226} + \frac{E_{NH_4}^2}{86682}}$$

$$pNH_4 = \frac{E_K}{10,99} - \frac{E_{NH_4}}{35,67} - 31,78 + \sqrt{1298 - 6,140 \cdot E_K + 1,359 \cdot E_{NH_4} - \frac{E_K E_{NH_4}}{195,96} + \frac{E_K^2}{120,7} + \frac{E_{NH_4}^2}{1272}}$$

Данный метод можно обобщить для параллельного определения концентраций и большего числа ионов (иономер «Эксперт-001-3(0.4)» позволяет измерять потенциалы 4 электродов одновременно), однако в этом случае вместо точного решения необходимо применять численные методы приближенного решения систем нелинейных алгебраических уравнений.

**Библиографический список**

1. Мидгли Д., Торренс К. Потенциометрический анализ воды. Пер. с англ. М. : Мир, 1980. 518 с.
2. Камман К. Работа с ионоселективными электродами. Пер. с нем. М. : Мир, 1980. 288 с.

## МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ПОЧВЫ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН г. ВОРОНЕЖА

*Н. Н. Назаренко<sup>1</sup>, И. Д. Свистова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Воронежский государственный аграрный университет, *talalajko@mail.ru*

<sup>2</sup> Воронежский государственный педагогический университет,  
*i.svistova@mail.ru*

В статье представлен опыт применения микробиологических методов биодиагностики для оценки почвы рекреационных зон города Воронежа. Для микробиоты почвы рекреационных зон установлены обратимые нарушения, соответствующие адаптивному диапазону «стресса». Микробиологические показатели необходимо использовать в качестве индикаторов экологического состояния почв и рекреационных территорий.

Ключевые слова: биоиндикация, микробиота, городские почвы.

В урбоэкосистеме важное место занимают рекреационные территории, занятые зелеными насаждениями (скверы, парки, бульвары, аллеи). Они выполняют средообразующие функции, оказывают влияние на экологическую обстановку в городе. Рекреационные зоны городов часто выпадают из поля зрения исследователей, так как считается, что почвы этих территорий не подвергаются интенсивному антропогенному воздействию. Между тем, расположенные в центральных частях города рекреации часто испытывают сильное техногенное влияние, в результате ухудшается состояние растительности, нарушаются экологические функции и свойства почвы, снижаются показатели биологической активности. Серьезную проблему представляют также почвенные санитарно-опасные микроорганизмы, представляющие опасность для здоровья городского населения.

В последние годы показано, что почвенная микробиота (бактерии, микромицеты, актиномицеты) чутко реагируют даже на наименьший антропогенный прессинг, и являются ценными биоиндикаторами, отражающими направленность и степень трансформации городской среды [1]. Основные работы по микробиоиндикации почвы выполнены в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Красноярске, а также имеются единичные исследования на примере малых городов [2, 3]. Ранее нами проводились исследования микробиоты урбано-земов различных функциональных зон крупного областного центра Центрального-Черноземья [4, 5]. В настоящей статье приведена оценка экологического состояния почвы рекреационной зоны г. Воронежа по микробиологическим показателям с разницей более 10 лет.

Отбор образцов почвы был осуществлен по стандартной методике «конверта», пробы отбирали с глубины 0–10 см в середине вегетационного сезона (июль) в течение трех лет (2014–2016 гг.). Отбор проб проводили отдельно для левобережной и правобережной части города в силу разного состава почв, а также уровня техногенной нагрузки. Исходные почвы для левобережной части

города дерново-лесные супесчаные, а для правобережья – черноземы суглинистые. В целом, почвы рекреационных зон города являются слабонарушенными (частично культуроземы). В парках пробы отобраны в лесных фитоценозах с выраженным травяным ярусом.

Рекреационная зона левобережья включает парки, созданные и управляемые человеком. Парк «Алые паруса» относительно удален от промышленных предприятий и автомагистралей, в то время как парк «Патриотов» расположен в непосредственной близости от крупного транспортного узла и промышленно-производственного комплекса.

Рекреационная зона правобережья рассмотрена на примере крупных природоподобных лесопарков. Центральный парк «Культуры и отдыха» расположен в центральном районе города на значительном удалении от промышленного узла, но приближен к транспортной развязке, соединяющей разные берега города. Спортивно-оздоровительный лесопарк комплекс «Олимпик» находится на окраине города (9-й километр Московской трассы).

В качестве контроля использовали идентичные ненарушенные почвы пригородной зоны на расстоянии 20 км от города (с. Никольское, п. Рамонь).

Определяли численность основных групп микроорганизмов в почвенных образцах по общепринятым методикам [6]. Почвенные взвеси в разведениях высевали на селективные диагностические питательные среды. Для характеристики структуры микробного сообщества использовали различные экологические коэффициенты, критерии и индексы [7, 8]. Видовую принадлежность микелиальных микроорганизмов устанавливали по соответствующим определителям [9].

В почвенных образцах определяли содержание тяжелых металлов (ТМ) на атомно-абсорбционном спектрометре «СПЕКТР», а нефтепродуктов – методом хлороформ-гексановой экстракции [10].

Экспериментальные данные обрабатывали стандартными методами статистического анализа с использованием программ Excel.

В таблице 1 представлено содержание основных загрязняющих веществ в почве г. Воронежа.

Таблица 1

**Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов в почве г. Воронежа**

Городские зоны	ТМ (подвижные формы), мг/кг					Нефтепродукты, мг/кг
	Cd	Pb	Zn	Ni	Cu	
Контроль	0,00	0,2–0,5	1,2–2,0	0,00–0,01	0,1–0,2	40–48
ПДК (ТМ), ОДК (нефть)	< 0,1	6	23	4	3	300
<i>Правобережная часть города</i>						
рекреация	0,00	0,5–0,9	<b>4,2–5,6</b>	0,00–0,1	0,1–0,3	<b>60–72</b>
<i>Левобережная часть города</i>						
рекреация	0,00	1,0–1,5	<b>4,0–10,1</b>	0,01–0,1	0,2–0,7	<b>64–90</b>

*Примечание:* Жирным шрифтом выделены значения, превышающие контроль.

В целом по городу, содержание нефтепродуктов в рекреациях превышало контрольные значения до 2,5 раз, однако было намного ниже ориентировочно допустимых концентраций (ОДК). По основным приоритетным ТМ в почве рекреационных зон города превышений ПДК не обнаружено. Между тем, в парках левобережья по содержанию цинка, меди и свинца определены превышения значений контроля. В почвах рекреации правобережья превышения по сравнению с контролем в 2,5 раза обнаружены только по содержанию цинка. Значения остальных ТМ были на уровне контрольных. Анализ экспериментальных данных показал, что почвы рекреационной зоны Воронежа имеют локальный характер загрязнения и по суммарному показателю загрязнения соответствуют допустимому уровню.

Микробиологическое исследование показало значительные колебания численности микроорганизмов практически всех эколого-трофических групп. Поэтому весьма информативными оказываются расчеты соотношения численности микроорганизмов на различных питательных средах (табл. 2).

Таблица 2

**Эколого-трофическая структура микробиоты г. Воронежа  
(в числителе представлены данные первого тура обследования  
2002–2005 гг., в знаменателе – 2014–2016 гг.)**

Показатели	Левобережная часть города		Правобережная часть города	
	контроль	рекреация	контроль	рекреация
Аммонификаторы, млн КОЕ/г	<u>1,5–2,2*</u> 0,5–4,3	<u>2,9–3,7</u> 1,3–2,9	<u>1,7–4,7</u> 2,5–7,0	<u>2,7–14,2</u> 3,5–11,8
$K_{имм.}$	<u>3,1–4,7</u> 1,2–3,6	<u>1,4–1,9</u> 0,5–2,1	<u>2,6–6,2</u> 3,8–8,2	<u>1,8–2,3</u> 2,2–6,0
$K_{олиг.}$	<u>1,8–2,5</u> 2,0–2,3	<u>1,0–1,7</u> 0,5–1,9	<u>2,3–2,8</u> 1,9–4,0	<u>1,0–1,2</u> 1,7–3,5

*Примечание:* \* минимальное-максимальное значение.

Определяемая нами численность аммонификаторов (микроорганизмы, использующие для роста органические источники азота) демонстрирует потенциальную способность микробного сообщества почвы к минерализации азотсодержащих соединений. Многолетние мониторинговые исследования позволили установить тенденцию к росту численности аммонификаторов в почвах лесопарков правобережья от 1,5–3 раза во все годы исследования. В почвах левобережья эта группа микроорганизмов сначала возрастала, а спустя годы снижалась незначительно по сравнению с контролем. В почвах левобережья абсолютная численность аммонификаторов была ниже по сравнению с правобережьем.

Коэффициент иммобилизации ( $K_{имм.}$ ), определяемый как отношение иммобилизаторы/аммонификаторы и отражающий степень закрепления органического азота разлагаемых остатков в микробной биомассе, снижается по годам исследования по сравнению с контролем, но темпы ниже, чем 10 лет назад.

Коэффициент олиготрофности ( $K_{олиг.}$ ), определяемый как отношение олиготрофы/аммонификаторы и отражающий глубину минерализационных про-

цессов в почве, снижался до 2 раз в первом туре обследования, а потом постепенно достигал контрольных значений в рекреациях обеих частей города.

Таким образом, показатели эколого-трофической структуры свидетельствуют о напряженных минерализационно-иммобилизационных процессах и сбалансированности процессов синтеза и распада почвенного органического вещества. Микробное сообщество рекреационной зоны города Воронежа находится в адаптивной зоне «гомеостаза», что обеспечивает выполнение почвой экологических функций. Особенно это касается рекреационной зоны правобережья, где почвы сформированы на основе высокобуферных черноземов.

Наиболее информативными параметрами для индикации почв являются показатели структуры и видового состава мицелиальных микроорганизмов (табл. 3).

Таблица 3

**Структура комплекса микромицетов на разных участках отбора проб**

Показатели	Левобережная часть города		Правобережная часть города	
	контроль	рекреация	контроль	рекреация
Численность, тыс. КОЕ/г	47,5–56,5* 50,3	26–28,5 27,3	7,5–30 18,8	7,5–68,5 29,2
Видовое богатство	8–12	10–11	7–12	13–14
Типичных видов	6–8	8	5–9	9–10
Из них доминантных и ч.в.	5	4–5	4–6	5–6
Доля типичных, %	67–75	73–80	70–71	69–71
Суммарная плотность типич. видов	77–80	75–83	75–80	50–73
Индекс разнообразия Шеннона	2,02–2,49	1,95–2,52	2,25–2,58	1,98–2,92
Индекс доминирования Симпсона	0,43–0,45	0,21–0,27	0,20–0,22	0,14–0,36

*Примечание:* \* минимальное-максимальное значение / среднее значение.

В рекреационных зонах города видовой состав практически не менялся, выявлена только перегруппировка типичных видов грибов по частотам встречаемости: многие виды, типичные для пригородной почвы, оказались в ранге случайных и наоборот, при этом показатели биоразнообразия всего комплекса были близки к контрольным значениям. По критериям, принятым в экологии [11], такие нарушения обратимы и соответствуют адаптивному диапазону «стресса» (смена доминирования типичных видов) и указывают на невысокий уровень антропогенной нагрузки на почву

Все типичные виды почвенных микромицетов можно разделить на две группы (табл. 4). В первую группу входят виды, чувствительные к антропогенной нагрузке (доминируют в контроле, но исчезают в городских почвах), вторая – виды, индикаторные для почв урбоэкосистем (ранг доминирования резко возрастает).

**Состав типичных видов микромицетов в почвах городских парков**

Группы видов	Только в правобережной части	Только в левобережной части
Чувствительные	<i>Penicillium simplicissimus</i> , <i>Acremonium</i> sp., <i>Mucor hiemalis</i> , <i>T. viride</i> *	<i>Cephalosporium</i> sp., <i>Sporotrichum</i> sp., <i>Botrytis cinerea</i> , <i>A. candidum</i>
Индикаторные в урбоэкосистеме	<i>Aspergillus alliaceus</i> *, <i>A. fumigatus</i> *, <i>P. velutinum</i> *, <i>P. rubrum</i> , <i>Trichothecium roseum</i> *, <i>T. koningii</i> *	<i>Aspergillus versicolor</i> *, <i>A. ochraceus</i> *, <i>A. tamaritii</i> *, <i>A. clavatus</i> *, <i>A. flavus</i> *, <i>A. terreus</i> , <i>Fusarium nivale</i> *

*Примечание:* \* токсигенные виды.

К первой группе относятся грибы-эпифиты, фитопатогены или виды, развивающиеся на разлагающихся в почве растительных остатках. Вероятно, снижение частоты встречаемости этих видов связано с угнетением роста и развития растений в городских условиях.

Наибольший интерес для биоиндикации представляет вторая группа видов грибов. Эти виды, нетипичные или редко встречающиеся в контроле, активно синтезируют токсины. Вероятно, эта способность метаболизма позволяет им выигрывать обостряющуюся в условиях антропогенного прессинга конкурентную борьбу с другими видами грибов. Именно виды второй группы рекомендованы нами для биоиндикации городских почв.

Многие виды микромицетов, выделенные нами из культуроземов городских парков представляет опасность для здоровья городского населения. В эту группу включены широко распространенные почвообитающие грибы рода *Aspergillus* (*A. ochraceus*, *A. fumigatus*), для которых доказана роль в развитии аспергиллезов легких, отомикозов, и многие виды рода *Penicillium* (*P. simplicissimus*, *P. notatum*, *P. funiculosum*, *P. viridicatum*), рода *Trichoderma* (*T. koningii*, *T. roseum*), вызывающие аллергические реакции [12] Таким образом, нарушение комплекса почвенных микромицетов под действием городской нагрузки вносит вклад в формирование агрессивной среды г. Воронежа.

**Библиографический список**

1. Терехова В. А., Ашихмина Т. Я. Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред // Теоретическая и прикладная экология. 2013. № 1. С. 107–108.
2. Комплексный мониторинг экологического состояния урбаноземов по биологическим показателям (на примере г. Саратова) / М. Ю. Меркулова, Е. И. Тихомирова, О. В. Абросимова // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 4. С. 25–29. doi: 10.25750/1995-4301-2015-4-025-029
3. Забелина О. Н., Трифонова Т. А. Экологическое состояние парково-рекреационных урбаноземов города Владимира // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. № 1. Т. 14. С. 2140–2143.
4. Талалайко Н. Н. Микробиологическая индикация урбаноземов города Воронежа : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Воронеж, 2005. 23 с.
5. Назаренко Н. Н. Оценка структуры комплекса актиномицетов в техногенно нарушенных почвах урбоэкосистемы // Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование: тр. второй междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых. М. : Буки Веди, 2013. С. 1–5.

6. Методы почвенной биохимии и микробиологии / под ред. Д. Г. Звягинцева. М. : Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
7. Андреюк Е. И. Методологические аспекты изучения микробных сообществ почвы // Микробные сообщества и их функционирование в почве. Киев, 1981. С. 13–23.
8. Мирчинк Т. Г. Почвенная микология. М. : МГУ, 1988. 220 с.
9. Кашкин П. Н. Определитель патогенных, токсигенных и вредных для человека грибов. М. : Медицина, 1979. 137 с.
10. Воробьева Л. А. Теория и практика химического анализа почв. М. : ГЕОС, 2006. 400 с.
11. Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв. М. : МГУ, 2005. 445 с.
12. Тутельян В. А., Кравченко Л. В. Микотоксины (медицинские и биологические аспекты). М. : Медицина; 1985. 320 с.

## **ИЗУЧЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ФОРМ СВИНЦА, МЕДИ, ЦИНКА И КАДМИЯ В ПОЧВЕ В ПРИСУТСТВИИ САПРОПЕЛЯ**

*А. В. Маркова<sup>1</sup>, А. С. Таляр<sup>1</sup>, А. А. Камнева<sup>1</sup>, Н. В. Кручинина<sup>1</sup>,  
Т. И. Кутявина<sup>1</sup>, Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, ecolab2@gmail.com*

<sup>2</sup> *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН*

Исследовано поведение подвижных форм свинца, меди, цинка и кадмия в почве в присутствии сапропеля. Выявлено, что при внесении в почву сапропеля в дозе 0,1 г/кг значительно уменьшается содержание подвижного цинка и несколько увеличивается содержание подвижных форм меди. С увеличением дозы внесения в почву сапропеля увеличивается содержание подвижных металлов свинца, кадмия. При концентрации 20 ОДК цинка и меди в почве с добавкой сапропеля концентрация подвижных форм данных металлов существенно снижается.

Ключевые слова: сапропель, тяжелые металлы, почва.

Ранее были проведены исследования по изучению влияния соединений хрома, цинка, свинца, меди и кадмия при различных вариациях металлов и их концентрациях, а также в присутствии фосфоритной муки и сапропеля на рост и развитие злаковых растений, на примере ячменя *Hordeum vulgare* L. Выявлено, что при совместном присутствии избыток цинка подавляет токсический эффект кадмия на корневую систему ячменя при концентрации данных металлов 5 и 10 ОДК, а в комбинации медь и кадмий при 10 ОДК, медь подавляет токсическое воздействие кадмия. Добавление в почву фосфоритной муки и сапропеля значительно увеличивает накопление цинка, кадмия, свинца, меди (за исключением фосфоритной муки) в корневой системе и побегах растений, одновременно происходит незначительное с 4,9 до 5,1 повышение кислотности почвы [1–6].

Полученные результаты послужили предметом дальнейшего исследования по выявлению влияния сапропеля на поведение подвижных форм тяжелых

металлов, на примере кадмия, меди, свинца и цинка в почве. Поэтому целью данного исследования явилось изучение поведения соединений данных металлов в почве под влиянием сапропеля.

Сапрпель – вещество преимущественно биологического происхождения.

Известно, что сапрпели повышают плодородие почвы, улучшают ее механическую структуру, снижают избыточную кислотность, увеличивают содержание в почве подвижных форм фосфора и калия [7]. В сапрпеле содержится целый комплекс различных металлов, например, авторы [8] отмечают содержание в исследуемом ими сапрпеле:  $Zn^{+2}$  – 3,72 мг/кг,  $Cu^{+2}$  – 0,37 мг/кг,  $Pb^{+2}$  – 0,27 мг/кг,  $Cd^{+2}$  – 0,018мг/кг.

В проведенном нами эксперименте пробы почвы использовались те же, что и ранее, отобранные в мае 2019 г. на пойменном участке р. Вятки в окрестностях Кирово-Чепецкого промышленного комплекса, а образцы сапрпеля отобраны из озера «Карачинское» Новосибирской области. Массовая доля содержания цинка, меди, свинца и кадмия в почве Кирово-Чепецкой промышленной зоны по данным [9] составляет  $Zn^{+2}$  – 132 мг/кг,  $Cu^{+2}$  <13 мг/кг,  $Pb^{+2}$  <14 мг/кг,  $Cd^{+2}$  <4 мг/кг.

Для модельного опыта было взято 300 г почвы. В почву были внесены ТМ в концентрации 10 ОДК и сапрпель от 0,1 до 0,3 г. ТМ вносились в почву в виде солей хлоридов металлов (табл. 1).

*Таблица 1*

**Количество сапрпеля и хлоридов металлов, внесенных в модельный образец исследуемой почвы массой 300 г**

Вариант	масса, г (соли металла и сапрпеля)
Сапрпель $m_1$	0,1
Сапрпель $m_2$	0,2
Сапрпель $m_3$	0,3
Pb 10 ОДК	0,2617
Cd 10 ОДК	0,0061
Cu 5 ОДК	0,2657
Cu 10 ОДК	0,5314
Cu 20 ОДК	1,0628
Zn 5 ОДК	0,7483
Zn 10 ОДК	1,4966
Zn 20 ОДК	2,9932

Содержание вносимых металлов в подвижной форме в почву в пересчете доли 10 ОДК на мг/кг получается следующее:  $Zn^{+2}$  – 2366 мг/кг,  $Cu^{+2}$  – 783 мг/кг,  $Pb^{+2}$  – 643мг/кг,  $Cd^{+2}$  – 10,7 мг/кг.

После внесения сапрпеля в разных дозах (0,1;0,2; 0,3 г) и ТМ в концентрации 10 ОДК почва выдерживалась 1 месяц. Далее в почву вносились семена ячменя сорта «Новичок» по 15 штук в контейнер. Растения выращивались в комнатных условиях с дневной температурой 20 °С и ночной температурой 18 °С. Через 21 день с момента появления всходов растения извлекали из сосудов, отделяли надземную часть и корневую систему, корни отмывали, высушивали.

Поскольку целью данного исследования являлось определение содержания подвижных форм цинка, свинца, кадмия и меди в пробах почвы под влиянием сапропеля, поэтому в процессе выращивания проростков ячменя данные металлы в пробах почвы определялись как до посева зерновок ячменя, так и после извлечения проростков ячменя из почвы.

В таблице 2 представлены результаты по изучению содержания свинца и кадмия при 10 ОДК и различных дозах сапропеля, так как при более низкой концентрации металлов (5 ОДК) не выявлены отклонения от значений контроля для данных металлов. В случае с цинком и медью такие отклонения от контроля были выявлены ранее, поэтому эксперимент был проведен при концентрациях 5, 10, 20 ОДК и содержанию сапропеля 0,1 г. Полученные данные представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2

**Содержание подвижных форм свинца и кадмия в почве в присутствии сапропеля**

Вариант	Содержание подвижных форм свинца в почве, мг/кг	Содержание подвижных форм кадмия в почве, мг/кг
Контроль	19,8±4,1	0,5±0,1
Сапрпель m <sub>1</sub> (0,1 г)	19,8±4,1	0,5±0,1
Сапрпель m <sub>2</sub> (0,2 г)	9,1±1,9	0,2±0,06
Сапрпель m <sub>3</sub> (0,3 г)	23,5±4,9	0,88±0,2
Pb <sup>+2</sup> 10 ОДК (внесено в почву, мг/кг)	643	
Pb <sup>+2</sup> 10 ОДК (после изъятия растения)	288±61	
Pb <sup>+2</sup> 10 ОДК+Сапрпель m <sub>1</sub> (после изъятия растения)	277±58	
Pb <sup>+2</sup> 10 ОДК+Сапрпель m <sub>2</sub> (после изъятия растения)	346±73	
Pb <sup>+2</sup> 10 ОДК+Сапрпель m <sub>3</sub> (после изъятия растения)	104±22	
Cd <sup>+2</sup> 10 ОДК (внесено в почву, мг/кг)		10,7
Cd <sup>+2</sup> 10 ОДК (после изъятия растения)		5,4 ±1,9
Cd <sup>+2</sup> 10 ОДК+Сапрпель m <sub>1</sub> (после изъятия растения)		4,9±1,7
Cd <sup>+2</sup> 10 ОДК+Сапрпель m <sub>2</sub> (после изъятия растения)		7,3±1,8
Cd <sup>+2</sup> 10 ОДК+Сапрпель m <sub>3</sub> (после изъятия растения)		6,5±1,6

При добавлении к контрольной пробе почвы сапропеля в количестве 0,1 г содержание в ней свинца и кадмия не изменилось, в то время как содержание подвижного цинка уменьшилось вдвое, а меди увеличилось в 1,4 раза. С увеличением дозы внесения в почву сапропеля увеличивается содержание подвижных металлов свинца, кадмия (табл. 2).

**Содержание подвижных форм цинка и меди в почве в присутствии сапропеля**

Вариант	Содержание подвижных форм цинка в почве, мг/кг	Содержание подвижных форм меди в почве, мг/кг
контроль	12,6±4,2	0,41±0,11
сапропель m1 (0,1 г)	6,0±2,0	0,56±0,13
Zn <sup>+2</sup> 5 ОДК (внесено в почву, мг/кг)	1183	
Zn <sup>+2</sup> 5 ОДК (после изъятия растения)	300±100	–
Zn <sup>+2</sup> 5 ОДК + сапропель m <sub>1</sub> (после изъятия растения)	166±55,0	–
Zn <sup>+2</sup> 10 ОДК (внесено в почву, мг/кг)	2366	
Zn <sup>+2</sup> 10 ОДК (после изъятия растения)	1022 ±337,5	
Zn <sup>+2</sup> 10 ОДК + сапропель m <sub>1</sub> (после изъятия растения)	500±165,3	
Zn <sup>+2</sup> 20 ОДК (внесено в почву, мг/кг)	4732	–
Zn <sup>+2</sup> 20 ОДК (после изъятия растения)	2463±813	–
Zn <sup>+2</sup> 20 ОДК + сапропель m <sub>1</sub> (после изъятия растения)	540±178	–
Cu <sup>+2</sup> 5 ОДК (внесено в почву, мг/кг)		391,5
Cu <sup>+2</sup> 5 ОДК (после изъятия растения)		165±39,1
Cu <sup>+2</sup> 5 ОДК + сапропель m <sub>1</sub> (после изъятия растения)		40±9,2
Cu <sup>+2</sup> 10 ОДК (внесено в почву, мг/кг)		783
Cu <sup>+2</sup> 10 ОДК (после изъятия растения)		258±59,0
Cu <sup>+2</sup> 10 ОДК + сапропель m <sub>1</sub> (после изъятия растения)		260±60,0
Cu <sup>+2</sup> 20 ОДК (внесено в почву, мг/кг)		1566
Cu <sup>+2</sup> 20 ОДК (после изъятия растения)		445±103,1
Cu <sup>+2</sup> 20 ОДК + сапропель m <sub>1</sub> (после изъятия растения)		182±42

При одновременном прибавлении в пробу почвы металла и сапропеля в дозе 0,1 г существенно уменьшается содержание в почве свинца, кадмия (табл. 2), и при всех исследуемых концентрациях цинка и меди (табл. 3). Причем, при концентрации 20 ОДК цинка и меди в почве с добавкой сапропеля концентрация подвижных форм данных металлов существенно снижается. Причиной этому может быть то, что сапропель, с участием в своем составе разнообразных органических соединений, ферментов, витаминов, каротиноидов, пигментов, органических кислот, спиртов и других биологически активных веществ способствует накоплению подвижных ионов данных металлов корневой системой растений, а также приводит к образованию малорастворимых комплексных соединений с активными ионами комплексообразователями цинка и меди, тем самым уменьшает содержание подвижных форм металлов в почве.

*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 воздействия ионов тяжелых металлов и соединений азота при различных их концентрациях на вегетативные органы ячменя *Hordeum vulgare* L. / Е. С. Петухова, А. Е. Русских, И. С. Солодянкина, Р. А. Болюбаш, Т. Я. Ашихмина // Биодиагностика природных и природно-техногенных систем : материалы XV Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : ВятГУ, 2017. С. 63–68.
2. Петухова Е. С., Ашихмина Т. Я. К вопросу о сочетанном воздействии солей тяжелых металлов на биометрические показатели ячменя *Hordeum vulgare* L. // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : ВятГУ, 2017. С. 63–68.
3. Изучение воздействия солей тяжелых металлов на активность каталазы в почвенных образцах / Е. А. Бердникова, В. Д. Колобова, Ю. А. Тюкалова, Е. С. Петухова, Т. Я. Ашихмина // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : ВятГУ, 2017. С. 68–74.
4. Сравнительный анализ сезонной динамики содержания аммонийного азота и соединений тяжелых металлов в почве пойменных участков / Р. А. Болюбаш, А. Е. Русских, Е. С. Петухова, Д. В. Будина, В. В. Григорьев, Т. Я. Ашихмина // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 1. Киров : ВятГУ, 2017. С. 75–79.
5. Влияние соединений хрома, цинка, свинца, меди и кадмия при различных концентрациях в присутствии сапропеля на рост и развитие злаков / А. В. Маркова, А. С. Таляр, А. А. Камнева, Н. В. Кручинина, А. Э. Русских, И. С. Солодянкина, Т. И. Кутявина, Т. Я. Ашихмина, Н. В. Сырчина // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 2. Киров : ВятГУ, 2019. С. 37–41.
6. Влияние сапропеля и фосфоритной муки при раздельном и совместном их присутствии на свойства почвы, всхожесть семян и морфометрические параметры проростков ячменя / А. С. Таляр, А. В. Маркова, А. А. Камнева, Н. В. Кручинина, А. Э. Русских, И. С. Солодянкина, С. Г. Скугорева, Т. Я. Ашихмина // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 2. Киров : ВятГУ, 2019. С. 42–48.
7. Сапропели: богатство со дна озер / Г. Леонова, В. Бобров, А. Богуш, А. Мальцев // Наука в России. 2014. С. 1–4.
8. Сапрпель и перспективы его использования в аграрном секторе экономики / А. С. Митюков, В. А. Румянцев, А. Н. Крюков, Г. С. Ярошевич // Общество. Среда, Развитие. 2016. № 2. С. 110–114.
9. Ежегодник. Загрязнение почв РФ токсикантами промышленного происхождения в 2009 г. Обнинск : ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2010. 138 с.

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ р. МОСКВЫ ПО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

*А. Ю. Акулова, К. П. Хазанова, И. А. Глуховский*

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
au.akulova@gmail.com*

В статье представлены результаты мониторинговых наблюдений на реке Москве, полученные в осенне-зимний период 2019 г. По микробиологическим показателям была проведена оценка качества воды и трофического статуса водотока на двух участках, в разной степени подверженных антропогенному воздействию. Было показано, что качество воды изменялось от умеренно загрязненных вод на входе реки в черту г. Москвы до грязных и полисапробных вод ниже города.

Ключевые слова: гетеротрофный бактериопланктон, общая численность, эвтрофные бактерии, углеводородоокисляющие бактерии, мониторинг, поверхностные воды, оценка качества воды, трофический статус.

Круговорот органического вещества является важнейшим процессом, протекающим в любой водной экосистеме. Ведущую роль в нем играют гетеротрофные микроорганизмы, осуществляющие процессы реминерализации органических веществ, в результате которых биогенные соединения вновь становятся доступными для первичных продуцентов [1]. Одним из основных микробиологических показателей для оценки структурной и функциональной роли бактериопланктона в водных экосистемах является общая численность бактериопланктона (ОЧБ), которая представляет собой суммарную численность метаболически активных и интактных бактериальных клеток. Другим важным показателем является численность микроорганизмов отдельных физиологических групп, так как бактерии, способные к росту на питательных средах, представляют наиболее реактивный компонент бактериоценоза, быстро отзывающийся на все изменения, происходящие в окружающей среде.

Экологическое благополучие мегаполисов в значительной степени зависит от состояния городских водных объектов. Река Москва представляет собой яркий пример водотока, испытывающего на себе все многообразие антропогенных воздействий. Проблема сохранения качества ее воды неуклонно возрастает, а определение количественных показателей бактериопланктона позволяет оценить особенности микробных ценозов конкретной водной экосистемы и является важной составной частью экологических исследований.

В осенне-зимний сезон 2019 г. дважды в месяц проводили отбор проб воды на двух станциях: в районе Тушино, вблизи входа р. Москвы в черту г. Москвы, и в подмосковном г. Дзержинский, после выхода реки за пределы мегаполиса. Учет ОЧБ проводили методом эпифлуоресцентной микроскопии с флуорохромом акридиновым оранжевым. Численность бактерий отдельных физиологических групп определяли с помощью метода предельных разведений.

Для учета эвтрофных микроорганизмов (ЭВБ) использовали модифицированную среду Зобелла, а для учета углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ) – среду ММС с дизельным топливом в качестве единственного источника углерода и энергии [2].

Общее содержание бактериопланктона на ст. Тушино сразу в несколько сроков наблюдений оказывалось достоверно ниже такового на ст. Дзержинский, но средние показатели ОЧБ, рассчитанные за весь период наблюдений, достоверных различий не имели. Динамика численности бактериопланктона характеризовалась слабым снижением значений ОЧБ к зиме, которое было лучше выражено на ст. Дзержинский. Для этой станции среднее значение ОЧБ за осенний период достоверно превысило таковое в декабре (табл. 1, рис.). Согласно классификации Тинемана и Наумана в модификации Романенко [3], на основании показателя ОЧБ трофический статус р. Москвы был охарактеризован как мезо-эвтрофный на обоих участках.

Таблица 1

**Средние значения микробиологических показателей для р. Москвы на ст. Тушино (Т.) и ст. Дзержинский (Д.) в сентябре – декабре 2019 г.**

	ОЧБ, млн кл./мл		ЭВБ, тыс. кл./мл		Индекс К		УОМ, кл./мл	
	Т.	Д.	Т.	Д.	Т.	Д.	Т.	Д.
Осень	2,72 (0,38)	3,46 (0,28)	28,3 (8,1)	180,8 (61,7)	344,4 (217,6)	47,7 (26,8)	198,3 (151,4)	531,7 (398,9)
Зима	1,98 (0,42)	1,99 (0,11)	600,0 (350,0)	950,0 (0,0)	5,6 (4)	2,1 (0,1)	700,0 (250,0)	2475,0 (2025,0)
За весь период	2,54 (0,31)	3,09 (0,32)	171,3 (114,7)	373,1 (133,7)	259,7 (168,6)	36,3 (21)	323,8 (145,8)	1017,5 (576,9)

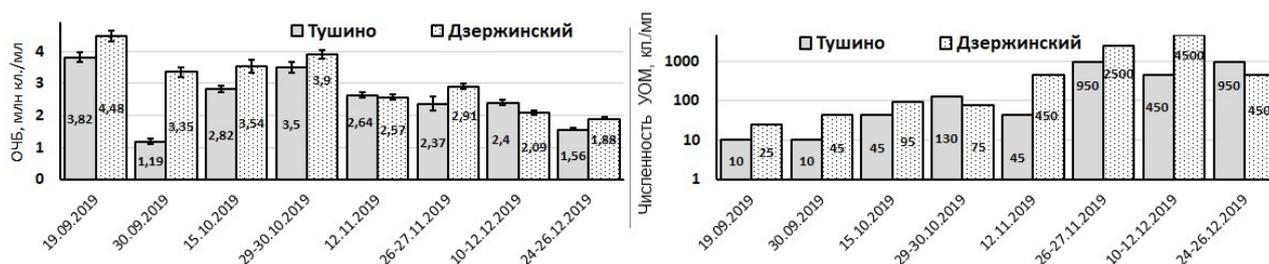


Рис. Распределение величин ОЧБ (млн кл./мл) и численности УОМ (кл./мл) на станциях р. Москвы в осенне-зимний сезон 2019 г.

Пределы колебаний численности ЭВБ были довольно широкими (от 2,5 до 950,0 тыс. кл./мл), а среднее за период наблюдений значение показателя для ст. Дзержинский в два раза превысило величину для ст. Тушино. Статистически это различие оказалось не значимо, но средние значения ЭВБ, рассчитанные для каждой станции за осенний и зимний периоды отдельно, уже имели достоверные различия (табл. 1).

УОМ на ст. Дзержинский присутствовали во все сроки наблюдений, а на ст. Тушино в начале осеннего периода был дважды отмечен крайне слабый бактериальный рост. Средние значения показателя на двух станциях достоверных

различий не имели (табл. 1). Динамика численности УОМ, как и изменения ЭВБ, носила скачкообразный характер с возрастающим трендом и зачастую не соответствовала изменениям показателя ОЧБ (рис.).

На основании полученных величин ОЧБ качество воды р. Москвы на входе в город соответствовало 3 классу качества, водам умеренно загрязненным ( $\beta$ -мезосапробным), а на выходе реки из мегаполиса – 4 классу, водам загрязненным,  $\alpha$ -мезосапробным. В качестве дополнительных микробиологических показателей в системе оценки качества воды [4] используются численность ЭВБ и ее соотношение с ОЧБ (индекс К). Однако, большая, по сравнению с общей численностью, вариабельность величин данных показателей нередко приводит к заниженной оценке качества воды по ним, что мы и наблюдали (табл. 2).

*Таблица 2*

**Оценка качества воды реки Москвы на станциях Тушино и Дзержинский  
на основании величин микробиологических показателей  
(по РД 52.24.309-2016)**

	ст. Тушино			ст. Дзержинский		
	ОЧБ	ЭВБ	К	ОЧБ	ЭВБ	К
Осень	$\beta$ -мезо	$\alpha$ -мезо	$\beta$ -мезо	$\alpha$ -мезо	гипер	от $\alpha$ -мезо до гипер
Зима	$\beta$ -мезо	гипер	от $\alpha$ -мезо до гипер	$\beta$ -мезо		
За весь период	$\beta$ -мезо	гипер	$\beta$ -мезо	$\alpha$ -мезо		
Итог	$\beta$ -мезосапробность			от $\alpha$ -мезосапробности до гиперсапробности		

Согласно представленным результатам, общая численность бактериопланктона в водах р. Москвы с сентября по декабрь постепенно снижалась, а содержание эвтрофных и углеводородокисляющих бактерий зимой возросло, что косвенно свидетельствует о высокой физиологической активности речных бактериоценозов, и могло быть связано с аномально теплой погодой в зимний период 2019–2020 гг. Качество воды р. Москвы на входе в город соответствовало 3 классу,  $\beta$ -мезосапробным водам, а на выходе из мегаполиса класс качества снижался до 4–6,  $\alpha$ -мезо- и гиперсапробных вод. Трофический статус на обоих участках соответствовал мезо-эвтрофному.

**Библиографический список**

1. Ильинский В. В. Гетеротрофный бактериопланктон: экология и роль в процессах естественного очищения среды от нефтяных загрязнений : дис. д-ра биол. наук. М., 2000. 570 с.
  2. Практическая гидробиология. Пресноводные экосистемы : учеб. / под ред. В. Д. Федорова, В. И. Капкова. М. : ПИМ, 2006. 367 с.
  3. Романенко В. И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Л. : Наука, 1985. 295 с.
- РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОКИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ АММОНИЙНОГО АЗОТА В ВОДЕ ВОДОЕМОВ МЕТОДОМ ДОБАВКИ «ПРОБА К СТАНДАРТУ»

*В. М. Шатунов<sup>1</sup>, Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, vladislav.shat@yandex.ru*

<sup>2</sup> *Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, usr08619@vyatsu.ru*

В статье представлен результат разработки и оценки метрологических характеристик, а также устойчивости методики количественного определения концентрации ионов аммония, превышающих  $1 \text{ г/дм}^3$ , в воде водоемов методом «проба к добавке».

Ключевые слова: ионы аммония, валидация методики, метод добавок, потенциометрия.

В сточных водах агрохимических предприятий, как правило, концентрация аммонийного азота достигает высоких значений. При сбросе таких вод или при вымывании с сельскохозяйственных полей азотных удобрений, в поверхностные воды попадает огромное количество соединений азота, способных накапливаться в них. При этом концентрация аммонийного азота может превышать предельно допустимые нормы в десятки, сотни и даже тысячи раз.

Кроме агропромышленного комплекса в Кировской области, к таким потенциально опасным объектам с крайне высоким содержанием ионов аммония относятся озера в зоне Кирово-Чепецкого химического комбината. С данными водоемами граничит р. Вятка, источник водоснабжения г. Кирова. Каждый год в период паводка, возрастает риск возможного повышения концентрации аммонийного азота в питьевой воде. Вследствие этого водопроводная вода г. Кирова может стать непригодной к употреблению [1–3].

Одной из ключевых задач исследования является выбор оптимального и экономичного, дающего достоверный результат, метода определения ионов аммония, в концентрациях выше  $1 \text{ г/дм}^3$ , в техногенно загрязненных поверхностных водах.

На базе лаборатории ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области» совместно с лабораторией биомониторинга ВятГУ была разработана методика потенциометрического количественного определения ионов аммония в диапазоне концентраций от 2 до  $9 \text{ г/дм}^3$  включительно с применением метода добавки «проба к стандарту».

Метод «проба к стандарту» заключается в добавлении исследуемой пробы к стандартной добавке. В этом случае, риск «отравления» электрода органическими веществами снижается, а мешающее влияние катионов щелочных и щелочноземельных элементов можно снизить путем введения в раствор стандартной добавки комплексообразующих реагентов [4].

Выполнение измерений по разработанной методике потенциометрическим методом, с ионоселективным пленочным электродом (ЭЛИС-121NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) в

диапазоне концентраций от 2,0 до 9,0 г/дм<sup>3</sup> включительно, основано на изменении потенциалов электрода в зависимости от активности ионов аммония. В одном случае эксперимент проводился со стандартным раствором, а в другом к стандартному раствору сделана добавка исследуемой разбавленной пробы. Перед выполнением измерения была установлена кратность разведения исследуемой пробы путем ориентировочного формального титрования, и определено значение наклона электродной функции используемого электрода по измерению разности электродных потенциалов в двух стандартных растворах солей аммония с концентрациями 2,0 и 20 мг/дм<sup>3</sup>.

Валидация методики проводилась согласно действующим на территории Российской Федерации нормативно-техническим документам ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 и РМГ 61-2010 [5, 6]. В ходе проведения валидации были получены следующие метрологические характеристики, представленные в таблице.

*Таблица*

**Метрологические характеристики разработанной методики**

Диапазон концентрации ионов аммония, г/дм <sup>3</sup>	Показатель повторяемости $\sigma_r$ , %	Показатель воспроизводимости $\sigma_R$ , %	Показатель точности $\pm\delta$ , %
От 2,0 до 9,0 включ.	6	10	26

С использованием полученных метрологических характеристик, была проведена оценка устойчивости методики с помощью построения контрольных карт Шухарта по повторяемости и точности. В ходе анализа контрольных карт установлено, что при значениях крутизны электродной функции более 60 мВ/р NH<sub>4</sub><sup>+</sup> результаты определения были заниженными, а значения на карте Шухарта по точности выходили за нижний предел предупреждения.

При анализе карты Шухарта по повторяемости не было отмечено превышений предела предупреждения и предела действия.

Кроме того, был проведен эксперимент по оценке сходимости результатов определения концентрации ионов аммония по разработанной нами методике с результатами хроматографического и фотометрического определения с реактивом Несслера. Было отмечено, что при фотометрическом и хроматографическом методах, результаты получаются заниженными относительно заданных концентраций, но сопоставимы друг с другом. В то время как результаты определения по предложенному нами методу были близки к заданным значениям концентраций, но заметно отличались от результатов фотометрического и хроматографического определений.

Полученные при разных методах определения, существенно отличающиеся данные, могут быть объяснены тем, что при хроматографическом и фотометрическом определениях проводилось сильное разбавление проб ступенчато (в 100 раз, затем в 10 раз), что значительно увеличивало ошибку. При определении концентрации NH<sub>4</sub><sup>+</sup> по разработанной нами методике разведение проводилось однократно в 50 раз. Таким образом, разведение анализируемой пробы в первом случае выше в 20 раз, чем во втором, соответственно, результаты определения существенно различаются.

В заключение следует отметить, что разработанная методика определения аммонийного азота потенциометрическим методом с применением добавки «проба к стандарту» является довольно простым и экспрессным методом, дающим более достоверные результаты. В дальнейшем корректируя методику, целесообразно оценить вклад в результат определения мешающего влияния органических веществ, а также катионов щелочных и щелочноземельных элементов.

*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. Изучение состояния природного комплекса в зоне влияния Кирово-Чепецкого химического комбината / Т. Я. Ашихмина, Е. В. Дабах, Г. Я. Кантор, А. П. Лемешко, С. Г. Скугорева, Т. А. Адамович // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 3. С. 18–26. doi: 10.25750/1995-4301-2010-3-018-026
2. Волков А. А. Охрана окружающей среды // Законность. 2013. № 5. С. 26–28.
3. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2012 году: Региональный доклад / под общей ред. А. В. Албеговой. Киров : ООО «Кировская областная типография», 2013. 192 с.
4. Камман К. Работа с ионселективными электродами. М. : Мир, 1980. 283 с.
5. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений: ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002: [принят и введен в действие постановлением Госстандарта России от 23.04.2002 № 161-ст]. М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. 42 с.
6. Показатели точности, правильности, прецизионности методик количественного химического анализа. Методы оценки: РМГ 61-2010 [принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 25.11.2010 № 38)]. М. : Стандартинформ, 2013. 58 с.

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПО ВОДОРОДНОМУ ПОКАЗАТЕЛЮ И СОДЕРЖАНИЮ РАСТВОРЕННОГО В ВОДЕ КИСЛОРОДА**

***Т. И. Кутявина<sup>1</sup>, Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет, kutyavinati@gmail.com*

<sup>2</sup> *Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ecolab2@gmail.com*

В статье представлены результаты химического анализа воды из Омутнинского водохранилища за 2011–2019 гг. Показано в течение периода исследований изменение водородного показателя на разных участках водохранилища. Установлена зависимость величины водородного показателя от степени насыщения воды кислородом и рассчитан индекс трофического состояния водоема (ИТС). Согласно классификации по ИТС, тип водохранилища сменился с мезотрофного (2011 г.) до эвтрофного (2019 г.).

Ключевые слова: качество воды, трофность, водородный показатель, растворенный кислород, индекс трофического состояния.

Одной из важнейших задач экологического мониторинга является изучение состояния водных объектов. Оценка качества вод с экологических позиций – это обязательный этап экспертных работ, связанных с использованием в хозяйственной деятельности ресурсов водотоков и водоемов при обосновании условий водопользования, необходимости реабилитационных работ, целесообразности водоохранных мероприятий [1].

В перечень основных показателей, определяемых при оценке состояния водных объектов, входят водородный показатель (рН) и растворенный в воде кислород. Имея массив данных по этим показателям, можно рассчитать индекс трофического состояния водного объекта (ИТС) [2]. Индекс представляет собой интегральный показатель, основанный на линейной зависимости величины рН от насыщения воды кислородом. По величине данного индекса можно определить трофическое состояние водоема. Для дистрофных водоемов значения индекса менее 6,0; ультраолиготрофных – 6,0–6,7; олиготрофных – 6,7–7,3; мезотрофных – 7,3–8,0; эвтрофных – более 8,0 единиц [2, 3]. Преимуществами ИТС является возможность его применения для оценки состояния водных объектов различного типа, простота расчета, произведение измерений рН и растворенного кислорода непосредственно на водном объекте в режиме реального времени.

Цель данной работы – оценка трофического состояния Омутнинского водохранилища по водородному показателю и содержанию растворенного в воде кислорода.

Работа по изучению экологического состояния Омутнинского водохранилища (пруда) ведется сотрудниками лаборатории биомониторинга Института биологии Коми НЦ УрО РАН и ВятГУ с 2011 г. С помощью химических и биологических методов исследования установлено, что по трофо-сапробным показателям водохранилище является  $\beta$ -мезосапробным, по трофической шкале классификации водоемов оно соответствует эвтрофному классу. По видовому составу высшей водной растительности и степени зарастания Омутнинский пруд является слабоэвтрофным, по степени развития микроорганизмов относится к мезосапробной зоне, по отношению БПК<sub>5</sub>/перманганатная окисляемость (ПО) испытывает сильное сапробное загрязнение [4]. По сравнению с другими крупными водохранилищами Кировской области, данный пруд является наиболее загрязненным аммонийным азотом и органическими веществами (по показателям ПО, химическое потребление кислорода).

Согласно результатам физико-химического анализа, за период исследования значения рН воды Омутнинского пруда на разных участках акватории изменялись в достаточно широких пределах, от 6,6 до 9,4 ед., однако слабощелочная реакция среды преобладала (рис.). В период с 2011 по 2016 гг. отмечалось снижение значений рН, а с 2017 по 2019 гг. – повышение (рис.). Возможно это связано с тем, что в 2017–2019 гг. проводилась выемка грунта со дна в приплотинной части пруда и вдоль берегов в его центральной части, что могло вызвать изменение химического состава воды.

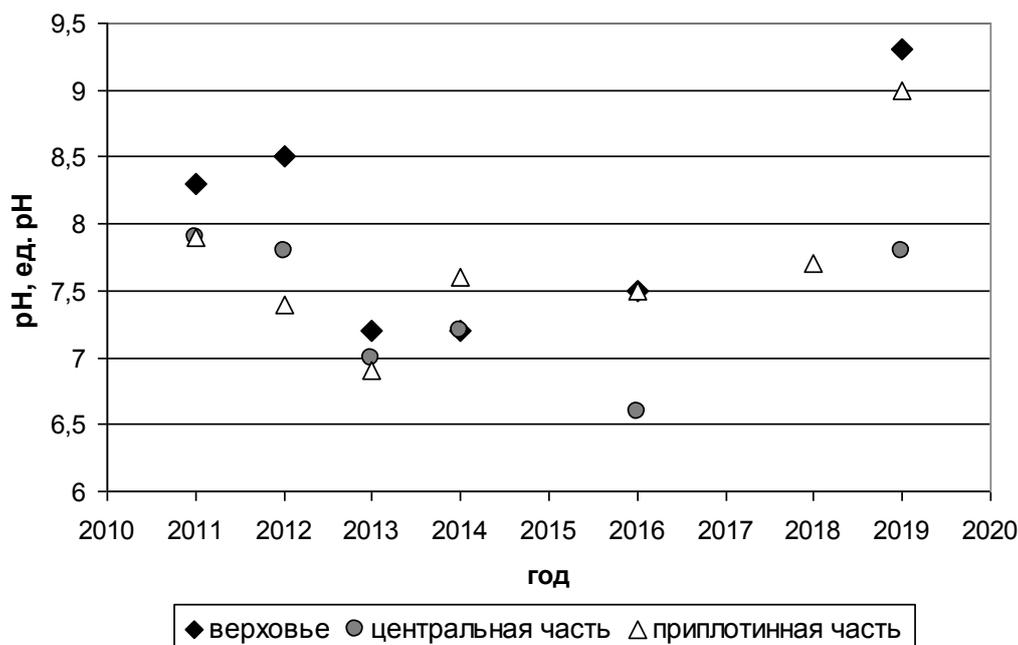


Рис. Средние значения водородного показателя в разных участках Омутнинского водохранилища в 2011–2019 гг.

В ходе работы нами была выявлена корреляционная связь между величиной рН и процентным содержанием растворенного кислорода в воде Омутнинского водохранилища, коэффициент корреляции составил 0,8 при  $p < 0,05$ . Полученные данные согласуются с результатами других авторов. В работе [3] показано, что в водоемах различного трофического уровня величина рН и процентное содержание кислорода довольно тесно коррелируют ( $r = 0,70–0,99$ ), а их связь носит линейный характер.

На основе результатов гидрохимического анализа за 2011–2019 гг. для Омутнинского пруда была выявлена зависимость величины рН от степени насыщения воды кислородом, которая подтверждается результатами статистического анализа по t-критерию Стьюдента. Эту зависимость можно выразить в виде уравнения  $pH = 0,0317O_2(\%) + 4,8971$ . Согласно [2], величина рН, рассчитанная по найденным зависимостям для нормального 100%-ного насыщения воды кислородом, тем больше, чем выше трофический статус водоема, и может служить интегральным показателем его трофического состояния.

Индекс ИТС, рассчитанный для Омутнинского водохранилища, увеличился с 7,8 в 2011 г. до 8,1 ед. в 2019 г. Согласно классификации по величине ИТС, водоем за 9 лет наблюдений перешел из мезотрофного типа в эвтрофный. Как правило, при таком переходе наблюдается увеличение скорости первичного продуцирования, массовое развитие фитопланктона и высших водных растений [5]. Оценка состояния Омутнинского пруда по ИТС согласуется с результатами оценки [4], полученной с помощью химических и биологических показателей.

Таким образом, расчет такого интегрального показателя, как ИТС, позволяет достаточно быстро провести оценку экологического состояния водного объекта без проведения большого количества химических и биологических

анализов и использования сложной аппаратуры. По ИТС водоема и его изменению во времени можно судить об уровне биологической продуктивности водоема.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых ученых – кандидатов наук (МК-86.2019.5).*

#### **Библиографический список**

1. ГОСТ Р 58556-2019 Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200168048> (дата обращения: 16.03.2020).
2. Об экологической безопасности водных объектов / Е. В. Неверова-Дзиопак, Л. И. Цветкова, С. В. Макарова, А. В. Киселев // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 136 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.science-education.ru/pdf/2012/3/229.pdf> (дата обращения: 13.02.2020).
3. Цветкова Л. И., Неверова-Дзиопак Е. В. Как оценить опасный уровень антропогенного эвтрофирования пресноводных экосистем // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6 (77). С. 262–270.
4. Кутявина Т. И., Ашихмина Т. Я., Кондакова Л. В. Применение комплекса наземных методов исследования для диагностики загрязнения и процессов эвтрофирования водохранилищ Кировской области // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 2. С. 44–52. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-044-052
5. Розумная Л. А. Антропогенная эвтрофикация пресноводных озер средней полосы России // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 2. С. 78–80.

### **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ, ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ОБЪЕКТА «МАРАДЫКОВСКИЙ»**

***Т. Я. Ашихмина<sup>1,2</sup>, С. А. Шаров<sup>1</sup>, А. С. Тимонов<sup>1,2</sup>***

*<sup>1</sup> Вятский государственный университет, [usr08619@vyatsu.ru](mailto:usr08619@vyatsu.ru)*

*<sup>2</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН*

На основе многолетних данных государственного экологического контроля и мониторинга и собственных исследований проведен анализ динамики состояния грунтовых, поверхностных вод и донных отложений на территории объекта «Марадыковский» за период 2006 по 2018 гг. Отмечено, что для природных вод района исследования характерно повышенное природное содержание железа общего и фторид-ионов. Превышений по значениям ПДК общепромышленных загрязняющих веществ в поверхностных водных объектах и грунтовых водах не выявлено. В ходе экологического контроля не обнаружено ни в одной из исследуемых проб специфичных для объекта фосфорсодержащих органических загрязняющих веществ.

Ключевые слова: контроль, мониторинг, объект уничтожения химического оружия, грунтовые и поверхностные воды, донные отложения,

С целью выявления локальных очагов прогнозируемого загрязнения грунтовых, поверхностных вод и донных отложений на территории объекта «Марадыковский» была проведена статистическая обработка банка многолетних данных мониторинга, проводимого Региональным центром государственного экологического контроля и мониторинга (РЦГЭКиМ) с 2006 по 2015 гг. [1]. Кроме того, с 2015 по 2018 гг. были проведены дополнительные исследования по изучению состояния пойменных водоемов, цепочки старичных пойменных озер «Карповые озера», расположенных на левобережье р. Вятки в 3,8–4,2 км от объекта по направлению общего уклона поверхности рельефа и по направлению потока грунтовых вод. Данные озера достигают глубины от 0,3–0,5 м до 6,5–8,8 м, питание их происходит в основном за счет грунтовых вод, поступающих, в том числе, и со стороны объекта, а также атмосферных осадков. В весенние паводки они заливаются паводковыми водами р. Вятки [2].

Для мониторинга грунтовых вод в рамках государственного экологического контроля и мониторинга была создана наблюдательная сеть из 11 скважин по границе санитарно-защитной зоны. Непосредственно на площадке объекта уничтожения химического оружия (ОУХО) была создана так же сеть из 10 наблюдательных скважин для ведения производственного контроля за составом грунтовых вод с целью выявления потенциально возможного их загрязнения в процессе деятельности объекта [3].

В данной работе представлен материал, полученный в результате анализа банка многолетних данных контроля динамики состояния грунтовых вод в наблюдательных скважинах на промплощадке и в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) объекта «Марадыковский», дана характеристика водовмещающих пород грунтовых вод, отмечены минимальные уровни по сезонам года.

На территории исследования водовмещающими породами грунтовых вод являются пески с прослоем суглинков на глубине 1 м. Коэффициент фильтрации песков колеблется от 3 до 7 м/сут. (в среднем 5 м/сут.), глин подстилающего водоупора – 0,1 или 0,2 м/сут. Глобальным водоупором служат верхнепермские элювиальные глины. Минимальные уровни грунтовых вод отмечаются в зимний период и летнюю межень, в период снеготаяния и обильных дождей уровни грунтовых вод находятся у поверхности, весной они залегают на глубине до 0,5 м от поверхности, которые вполне согласуются с данными работы [4].

Следует отметить, что на территории исследования питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков с последующей разгрузкой в ближайшую речную сеть, но возможно и в подстилающие отложения. Водообильность горизонта зависит от количества выпавших осадков. Область питания водоносного горизонта совпадает с областью распространения. На большей площади своего развития грунтовые воды не защищены от загрязнения. Общее направление потока грунтовых вод в районе объектов хранения и уничтожения химического оружия запад-северо-западное, обусловлено положением реки Вятка, являющейся основной дренажной. Величина уклона на западе исследуемой территории  $-0,006$ , а в северо-западном направлении  $-0,03$ . Расчетная скорость перемещения грунтовых вод вниз по потоку составляет

0,165 м/сут для западного направления и 0,825 м/сут для северо-западного направления [4, 5].

Данные многолетних исследований грунтовых вод позволили сделать вывод о том, что для региона исследования характерно повышенное содержание железа общего, что является характерным для четвертичных отложений региона [6] на пути следования грунтовых вод, а также повышенные значения содержания фторид-ионов, цветности, мутности, ХПК и БПК, которые отмечались как до начала деятельности объекта, так и во время его эксплуатации [7]. Еще одной особенностью является возрастание концентраций сухого остатка, хлорид- и сульфат-ионов с глубиной, что подтверждается увеличением электропроводности. По остальным компонентам характерна сезонная стабильность их содержания в грунтовых водах, специфичных для объекта загрязняющих веществ (ЗВ) не было выявлено [5].

Кроме того, был проведен анализ динамики значений по 26 контролируемым показателям в воде поверхностных водных объектов (реки: Погиблица, Березовка, Белая Холуница; пруды: в пгт Мирный и на территории жилой зоны в/ч арсенала бывшего хранения химического оружия; пойменные (старичные) Карповые озера), полученных РЦГЭКиМ как в ходе мониторинга с 2006 по 2015 гг. [1], так и за период 2015 по 2018 гг. [5].

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что за весь период деятельности объекта количественные значения исследуемых показателей находились в основном на уровне фоновых значений. В отдельные периоды проявлялось в пробах воды из реки Белая Холуница превышение установленных нормативов по ХПК, а также фоновых концентраций по содержанию общего фосфора [3]. Превышений ПДК ЗВ в воде и донных отложениях в данных водных объектах не выявлено. Ни в одной из исследуемых проб не обнаружено специфичных для объекта фосфорсодержащих органических загрязняющих веществ [1], и это не случайно, так как при каком-либо попадании их в водные объекты они гидролизуются с образованием нетоксичных эфиров метилфосфоновой кислоты, которые в дальнейшем под действием водных микроорганизмов переходят в фосфаты [8].

Таким образом, анализ состояния грунтовых и поверхностных вод, донных отложений на территории объекта «Марадыковский» за период эксплуатации объекта уничтожения химического оружия и на этапе ликвидации последствий деятельности не выявил локальных очагов прогнозируемого их загрязнения. При этом, считаем целесообразным в дальнейшем в программу мониторинга на данной территории включить не только мониторинг состояния рек и прудов, но обязательно проводить мониторинговые исследования по составу вод, как в предпаводковый период, так и после прохождения паводка, в пойменных (старичных) водоемах «Карповые озера», где возможна разгрузка грунтовых вод и промывка озер в период половодья.

*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. Отчет о проведении государственного экологического мониторинга в СЗЗ и ЗЗМ объекта 1205 в пос. Мирный Кировской области. РЦГЭКиМ по Кировской области. Киров, 2006–2015 гг.
2. Исследование пойменных озер в районе объекта по уничтожению химического оружия «Марадыковский» / С. А. Шаров, А. С. Тимонов, А. Е. Танюшкин, М. А. Мариничева, Т. Я. Ашихмина / Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Книга 1. Киров : ВятГУ, 2017. С. 60–63.
3. Экологический контроль и мониторинг окружающей природной среды в районе объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» Кировской области / Т. Я. Ашихмина, С. А. Менялин, Ю. И. Мамаева, Е. А. Новикова, Г. Я. Кантор // Теоретическая и прикладная экология. 2010. № 1. С. 57–64. doi: 10.25750/1995-4301-2010-1-057-064
4. Полигон по ликвидации последствий деятельности объекта уничтожения ХО в Оричевском районе, Кировской области // Отчет по инженерно-геодезическим, инженерно-геологическим и инженерно-гидрогеологическим изысканиям. ООО «Кировпроект». Киров, 2012.
5. Шаров С. А. Пути миграции, трансформации и аккумуляции загрязняющих веществ в окружающей среде в районе предприятия по уничтожению химического оружия и обоснование комплекса реабилитационных мероприятий : автореф. дис. ... канд. хим. наук. Киров, 2019. 24 с.
6. Шаров С. А., Ашихмина Т. Я. Особенности естественного геохимического барьера грунтовых вод // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Кн. 2. Киров: Изд-во ООО «Радуга-ПРЕСС», 2016. С. 138.
7. Изучение воздействия объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» на состояние природных сред и объектов / Т. Я. Ашихмина, А. С. Тимонов, Г. Я. Кантор О. Г. Пантелеева, Е. А. Домнина, Е. В. Дабах, С. Ю. Огородникова, Ю. В. Новойдарский, В. А. Титова // Теоретическая и прикладная экология. 2015. № 3. С. 88–95. doi: 10.25750/1995-4301-2015-3-088-095
8. Франке З. Химия отравляющих веществ, Т. 1–2. М. : изд. Химия, 1973.

### СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ БИОТЕСТИРОВАНИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ТОКСИЧНОСТИ ЖИДКИХ СРЕД

С. Ю. Огородникова<sup>1</sup>, Т. И. Кутявина<sup>2</sup>, Л. И. Домрачева<sup>1,3</sup>, А. Л. Ковина<sup>3</sup>,  
С. А. Вахмянина<sup>3</sup>, Я. Ю. Благодатских<sup>2</sup>, П. А. Трушников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, svetao\_05@mail.ru

<sup>2</sup> Вятский государственный университет,

<sup>3</sup> Вятская государственная сельскохозяйственная академия

Провели сравнение различных методов биотестирования на токсичность экзометаболитов цианобактерии *Fischerella muscicola* и фитопатогенного гриба *Fusarium culmorum*, используя в качестве тест-показателей индекс роста, а также интенсивность перекисного окисления липидов в листьях и корнях ячменя и индекс токсичности по реакции бактериальной тест-системы «Эколюм».

Ключевые слова: экзометаболиты, *Fischerella muscicola*, *Fusarium culmorum*, перекисное окисление липидов, фитотестирование, индекс роста.

В настоящее время применение методов биотестирования с использованием организмов разной систематической принадлежности широко применяется для оценки состояния различных сред и объектов. В качестве тест-организмов могут выступать бактерии, водоросли, микромицеты, высшие растения, беспозвоночные (простейшие, дафнии, церереодафнии) [1], а также используются определенные маркерные физиолого-биохимические признаки состояния организмов (концентрация фотосинтезирующих пигментов, интенсивность биофлуоресценции, активность ферментов, процесс перекисного окисления липидов и др.) [2].

Однако, в ходе биотестирования очень часто получают неоднозначные результаты по уровню токсичности исследуемого объекта в зависимости от применяемых методов. Объяснения этим явлениям сводятся ко многим факторам, включая, например, характеристику воды, используемой для получения водных вытяжек, время контакта тест-организма с объектом [3]; различную популяционную плотность тест-организмов [4]; количество тестируемых организмов и их экологических групп [5] и др.

Токсичность среды возникает не только в результате привнесения в нее поллютантов антропогенного происхождения (соли тяжелых металлов, пестициды, нефтепродукты, радионуклиды и т.п.), но и вследствие биологического загрязнения, связанного, прежде всего, с выделением и накоплением в окружающей среде микробных экзометаболитов, способствующих токсификации данной среды. К числу подобных микроорганизмов (МО) относятся многие микромицеты, в первую очередь, фитопатогенные грибы р. *Fusarium* [6]. С другой стороны, многие МО, напротив, в процессе жизни выделяют соединения, ведущие к оздоровлению, например, почвы, способные подавлять развитие патогенов и стимулировать рост высших растений. К подобным МО относятся цианобактерии (ЦБ) [7].

Цель данной работы – сравнить чувствительность трех методов биотестирования для оценки степени токсичности для ячменя сорта Изумруд культуральной жидкости фитопатогенного гриба *Fusarium culmorum* в различных концентрациях и с добавлением культуральной жидкости ЦБ *Fischerella muscicola*.

Объекты и методы: ячмень сорта «Изумруд» после 2-х летнего хранения; культуральная жидкость (КЖ) 2-х месячной культуры фишереллы; культуральная жидкость 2-х месячной культуры фузариума.

Опыт поставлен методом рулонных культур в 4-кратной повторности в пластиковых контейнерах. В одном рулоне содержалось по 25 зерновок. На дно контейнера наливали по 250 мл соответствующей жидкости. Продолжительность опыта – 7 суток. При снятии опыта определяли всхожесть, промеряли длину корней, высоту проростков и высчитывали индекс роста по формуле

$$I = (R+P) \cdot D,$$

где I – индекс роста, R – суммарное значение длин корней (мм), P – суммарное значение длин проростков (мм), D – доля проросших семян (%) [8].

Варианты опыта:

1. Контроль (вода «Ключ здоровья»).

2. *Fusarium culmorum* (в варианте с фузариумом брали 5 мл исходной грибной культуральной жидкости и доливали до 250 мл родниковой водой).
3. КЖ *Fischerella muscicola* без разведения.
4. КЖ *F. muscicola* в разведении 1:10.
5. КЖ *F. muscicola* в разведении 1:100.
6. *F. culmorum*+ КЖ *F. muscicola* без разведения.
7. *F. culmorum* + КЖ *F. muscicola* в разведении 1:10.
8. *F. culmorum* + КЖ *F. muscicola* в разведении 1:100.

Кроме морфометрических показателей ячменя (фитотестирование), оценивали интенсивность процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) в растительных клетках [9]. Острую токсичность изучаемых жидкостей определяли по реакции бакетриальной тест-системы «Эколюм» согласно методике измерений [10]. В качестве тест-объекта использовали препарат лиофилизированных люминесцентных бактерий *Escherichia coli*. Методика допускает три пороговых уровня индекса токсичности (Т):

- 1) допустимая степень токсичности образца: индекс токсичности Т меньше 20;
- 2) образец токсичен: индекс Т равен или больше 20 и меньше 50;
- 3) образец сильно токсичен: индекс токсичности Т равен или более 50.

Метод фитотестирования показал, что по сравнению с контролем, стимулирующий эффект по индексу роста обнаружен только в одном варианте – выращивание растений в условиях действия метаболитов, находящихся в КЖ *F. muscicola* в разведении 1:10 (табл. 1). Сильное ингибирование ячменя, свидетельствующее о воздействии на растение каких-то токсических веществ, проявляется в двух вариантах – где выращивание тест-культуры происходило в условиях воздействия КЖ фитопатогенного гриба с КЖ ЦБ без разведения и в разведении 1:100.

Таблица 1

**Влияние культуральной жидкости ЦБ *Fischerella muscicola* и гриба *Fusarium culmorum* на рост и развитие ячменя сорта «Изумруд»**

Вариант	Всхожесть D, %	Длина корня R, см	Высота проростков P, см	Индекс роста I
Контроль	33,0±11,0	64,9±7,9	84,3±11,8	4924
<i>F. culmorum</i>	26,0±8,3	79,6±13,2	115,6±9,9	5075
КЖ ЦБ без разведения	21,3±10,0	82,1±22,7	113,0 ±39,1	4156
КЖ ЦБ 1:10	26,7±4,6	79,8±3,0	120,0±21,8	5335
КЖ ЦБ 1:100	22,0±2,3	83,1±6,4	104,1±16,6	4118
<i>F. culmorum</i> + КЖ ЦБ без разведения	10,7±2,3	51,1±25,6	84,3±32,3	1149
<i>F. culmorum</i> + КЖ ЦБ 1:10	21,3±8,3	76,7±2,5	114,8±23,5	4079
<i>F. culmorum</i> + КЖ ЦБ 1:100	23,0±6,0	42,0±8,9	86,4±38,0	2953

Следующим показателем, диагностирующим токсичность среды, было определение концентрации малонового диальдегида, образующегося в результате перекисного окисления липидов (табл. 2).

**Влияние культуральной жидкости ЦБ *Fischerella muscicola* и гриба *Fusarium culmorum* на накопление малонового диальдегида в листьях и корнях ячменя**

Вариант	Содержание МДА, нмоль/г сырой массы	
	листья	корни
Контроль	16,13±2,27	0,54±0,02
<i>F. culmorum</i>	5,76 ±0,12	3,70±0,65
КЖ ЦБ без разведения	4,30±0,87	1,00±0,07
КЖ ЦБ 1:10	12,53±2,53	1,49±0,22
КЖ ЦБ 1:100	6,67±0,69	2,97±0,69
<i>F. culmorum</i> + КЖ ЦБ без разведения	13,90±0,26	2,35±0,30
<i>F. culmorum</i> + КЖ ЦБ 1:10	21,15±1,95	1,93±0,08
<i>F. culmorum</i> + КЖ ЦБ 1:100	16,49±3,03	2,79±0,59

Анализ полученных результатов показал, что в опытных вариантах происходят разнонаправленные изменения интенсивности процессов ПОЛ в листьях и корнях. В корнях, которые непосредственно контактировали с тестируемыми растворами, накопление МДА в клетках было достоверно выше, чем в растениях контрольного варианта. Это свидетельствует об активации окислительных процессов в клетках под влиянием экзометаболитов. Максимальную активацию процессов ПОЛ отмечали в варианте с КЖ *F. culmorum*. В листьях тестируемых растений содержание МДА в большинстве вариантов было снижено, по сравнению с контролем.

При определении токсичности культуральных жидкостей с помощью системы «Эколюм» установлено, что допустимая степень токсичности выявлена только в трех вариантах (табл. 3) – в воде, используемой в качестве контроля, КЖ фишереллы без разведения и КЖ фишереллы + КЖ *F. culmorum*. Во всех остальных вариантах образцы тестируемой жидкости сильно токсичны.

Таблица 3

**Влияние культуральной жидкости ЦБ *Fischerella muscicola* и гриба *Fusarium culmorum* на индекс токсичности (по системе «Эколюм»)**

Вариант	рН, ед. рН	Индекс токсичности Т, усл. ед.	Группа токсичности, характеристика
Контроль	6,5±0,2	0	І группа, допустимая степень токсичности
<i>F. culmorum</i>	7,0±0,2	83±25	ІІІ группа, образец сильно токсичен
КЖ ЦБ без разведения	6,1±0,2	0	І группа, допустимая степень токсичности
КЖ ЦБ 1:10	6,3±0,2	65±19	ІІІ группа, образец сильно токсичен
КЖ ЦБ 1:100	6,7±0,2	79±24	
<i>F. culmorum</i> + КЖ ЦБ без разведения	6,4±0,2	0	І группа, допустимая степень токсичности
<i>F. culmorum</i> + КЖ ЦБ 1:10	7,0±0,2	52±16	ІІІ группа, образец сильно токсичен
<i>F. culmorum</i> + КЖ ЦБ 1:100	7,1±0,2	90±27	

Таким образом, определение степени токсичности исследуемой жидкости с использованием трех методов биотестирования показало, что по морфометрическим признакам ячменя, накоплению МДА в его корнях и системы «Эколюм» с бактерией *Escherichia coli* токсичными оказываются жидкости в различных вариантах, что указывает на различную степень чувствительности применяемых тест-методов и не дает однозначного ответа на вопрос, какой из этих методов наиболее пригоден для определения степени токсичности экзометаболитов изучаемого гриба и ЦБ.

*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. Микроорганизмы как агенты биомониторинга и биоремедиации загрязненных почв / под общ.ред. Т. Я. Ашихминой, Л. И. Домрачевой. Киров: ВятГУ, 2018. 254 с.
2. Устойчивость микробных комплексов почвы к антропогенным факторам среды / под ред. Л. И. Домрачевой, Т. Я. Ашихминой. Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2019. 254 с.
3. Сравнение элюатных и контактных методов биотестирования при оценке почв, загрязненных тяжелыми металл(оид)ами / М. А. Пукальчик, В. А. Терехова, М. М. Карпухин, В. М. Вавилова // Почвоведение. 2019. № 4. С. 507–514. doi: 10.1134/S0032180X19040117
4. Применение тетразольно-топографического метода определения дегидрогеназной активности цианобактерий в загрязненных средах / Л. И. Домрачева, Л. В. Кондакова, Т. Я. Ашихмина, С. Ю. Огородникова, А. С. Олькова, А. И. Фокина // Теоретическая и прикладная экология. 2008. № 2. С. 23–28. doi: 10.25750/1995-4301-2008-2-023-28
5. Григорьев Ю. С. Оценка качества водных сред методами биотестирования: решаемые задачи как улучшить воспроизводимость результатов // Биодиагностика и оценка качества природной среды: подходы, методы, критерии и эталоны сравнения в экотоксикологии : материалы междунар. симпозиума и молодежной школы. М.: ГЕОС, 2016. С. 38–41.
6. Домрачева Л., Трефилова Л., Фокина А. Фузари: биологический контроль, сорбционные возможности. LAP Lambert Academic Publishing. 2013. 182 с.
7. Экзометаболиты почвенных цианобактерий как стратегия выживания в естественных и техногенно нарушенных экосистемах / Л. И. Домрачева, А. И. Фокина, А. Л. Ковина, Т. Я. Ашихмина // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 4. С. 15–23. doi: 10/25750/1995-4301-2019-4-015-023.
8. Abdul-Baki A. A., Anderson J. D. Vigor Determination in Soybean Seed by Multiple Criteria // Crop Science. 1973. Vol. 13. P. 630–633.
9. Лукаткин А. С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2002. 208 с.
10. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.11-04 Т 16.1:2.3:3.8-04 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» (издание 2010 г.).

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ФИТОИНДИКАТОРЫ ДОНБАССА ДЛЯ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

**А. И. Сафонов**

ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет»,  
andrey\_safonov@mail.ru

Из числа элементов природной флоры Донбасса экспериментальным путем выделены объекты, которые по техническим нормам рекомендованы к использованию в лабораторных опытах по биотестированию образцов их сред техногенно нарушенных территорий.

Ключевые слова: фитоиндикация, фитотестирование, антропогенная трансформация экотопов, Донбасс.

Использование живых объектов для оценки качества природных сред является прикладной задачей экологических исследований [1], что чрезвычайно востребовано в регионах с интенсивной антропогенной нагрузкой и техногенной трансформацией экотопов [2]. Инвентаризационные работы [3], детальный систематический анализ фитотератогенеза в Донбассе [4], изучение особенностей фитоиндикаторов в городской среде [5], в том числе мохообразных [6, 7] позволяют иметь широкий спектр реализуемых научно-прикладных вопросов биомониторингового содержания на территории Северного Приазовья [8–10], а также предлагать новые или альтернативные критерии для проведения экологического нормирования в регионе [11].

Цель работы – представить результаты поисковой программы выбора перспективных видов растений Донбасса для реализации камеральных мероприятий фитодиагностического назначения по оценке качества природных сред.

Методический блок работ основывался на имеющихся материально-технических возможностях проведения полевого, маршрутно-экспедиционного и лабораторного анализов в донецком экономическом регионе [2, 4, 8, 10]. Идеино представленные материалы являются новым направлением работы кафедры ботаники и экологии Донецкого национального университета, поскольку все предшествующие поиски были направлены на выделение видов с широкой экологической амплитудой для полевых фитоиндикационных задач, тогда как целенаправленный поиск приемлемых для лабораторного тестирования, например, фитопригодности почвенных субстратов, не был реализован. Для лабораторного фитотестирования были изучены виды: *Amaranthus albus* L., *Atriplex tatarica* L., *Beta vulgaris* L., *Chenopodium hybridum* L., *Fagopyrum esculentum* Mill., *Persicaria hydropiper* Mill., *Polygonum euxinum* Chrtek, *Polygonum maritimum* L., *Echinocystis lobata* (Michx.) Torr. & Gray, *Alyssum hirsutum* M. Bieb., *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., *Barbarea stricta* Andrzej., *Brassica campestris* L., *Capsella orientalis* Klokov.

Критерии межвидовой дифференциации растений Донбасса в целях фитодиагностики представлены в таблицах 1–2, даны качественные характеристики видов на основании первичных лабораторных опытов.

Таблица 1

**Онтогенетические преимущества фитоиндикаторов Донбасса, рекомендуемых для биотестирования почвенных субстратов**

Вид	Всхожесть семян	Резистентность первичного корня	Короткие сроки вегетации
<i>Amaranthus albus</i> L.	++	+	+
<i>Atriplex tatarica</i> L.	+++	+++	+++
<i>Beta vulgaris</i> L.	+	+	+++
<i>Chenopodium hybridum</i> L.	+	+++	++
<i>Fagopyrum esculentum</i> Mill.	+	+++	+
<i>Persicaria hydropiper</i> Mill.	+++	+	+++
<i>Polygonum euxinum</i> Chrtek	+	+++	++
<i>Polygonum maritimum</i> L.	+	++	++
<i>Echinocystis lobata</i> (Michx.) Torr. & Gray	++	+++	++
<i>Alyssum hirsutum</i> M. Bieb.	+	+	+++
<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh.	+++	+++	+++
<i>Barbarea stricta</i> Andrz.	+	+	+++
<i>Brassica campestris</i> L.	++	+++	+++
<i>Capsella orientalis</i> Klokov	+	+	+++

Таблица 2

**Металлоспецифическая межвидовая чувствительность фитоиндикаторов Донбасса, рекомендуемых для биотестирования почвенных субстратов**

Вид	Соединения металла в пределах 3 ПДК в растворе					
	Cd	Ni	Pb	Cr	Cu	Zn
<i>Amaranthus albus</i> L.	++	+++	+	++	++	++
<i>Atriplex tatarica</i> L.	+++	+++	+	+	+++	+
<i>Beta vulgaris</i> L.	++	+	+	+	+++	++
<i>Chenopodium hybridum</i> L.	++	++	+	+++	+++	+
<i>Fagopyrum esculentum</i> Mill.	++	+++	+++	++	+	+++
<i>Persicaria hydropiper</i> Mill.	+++	++	++	+	+++	++
<i>Polygonum euxinum</i> Chrtek	++	++	++	+++	++	++
<i>Polygonum maritimum</i> L.	++	++	+	+	+	+
<i>Echinocystis lobata</i> (Michx.) Torr. & Gray	++	+	++	+	+++	++
<i>Alyssum hirsutum</i> M. Bieb.	++	++	+	++	++	++
<i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh.	+++	+++	+++	+++	+	+
<i>Barbarea stricta</i> Andrz.	++	+		++	++	++
<i>Brassica campestris</i> L.	+++	++	+++	+	+	+++
<i>Capsella orientalis</i> Klokov	++	++	++	++	+	

Таким образом, изученные ботанико-экологические характеристики биоиндикаторов создают предпосылки необходимости выбора отдельных видов из числа природной флоры для отдельных программ диагностического содержания, например, по экспресс-тестированию субстратов, независимой экспертизе

почвенных или водных образцов, по токсичности и (или) агрессивности среды, дифференцированному подходу при реализации эксперимента с ранжированными рядами. Такая фитодиагностика не имеет привязку к сезону и может быть успешно внедрена на других сопряженных территориях. Полученные данные существенно дополняют имеющуюся в Донбассе информационную базу о растениях, используемых в экологическом мониторинге.

#### Библиографический список

1. Душкова Д. О., Горецкая А. Г., Евсеев А. В. Применение биоиндикационных методов при проведении мониторинговых исследований окружающей среды // Проблемы региональной экологии. 2017. № 2. С. 10–15.
2. Глухов А. З., Сафонов А. И. Перспективы проведения фитоиндикационного мониторинга техногенно трансформированных экотопов // Промышленная ботаника. 2002. Т. 2. С. 7–14.
3. Сафонов А. И. Сорно-рудеральная фракция урбанофлоры Донецкой агломерации как показатель трансформации локальных экосистем // Трансформация экосистем под воздействием природных и антропогенных факторов : материалы междунар. науч. конф. (Киров, 16–18 апреля 2019 г.). Киров : ВятГУ, 2019. С. 13–16.
4. Сафонов А. И. Тератогенез растений-индикаторов промышленного Донбасса // Разнообразии растительного мира. 2019. № 1 (1). С. 4–16. doi: 10.22281/2686-9713-2019-1-4-16
5. Safonov A. I. Phytoindicational monitoring in Donetsk // Наука. Мысль. 2016. № 4. С. 59–71.
6. Морозова Е. И., Сафонов А. И. Видовой состав, особенности произрастания и морфометрическая характеристика мхов-индикаторов г. Макеевки // Донецкие чтения 2017 : Русский мир как цивилизационная основа научно-образовательного и культурного развития Донбасса : материалы междунар. науч. конф. студ. и молодых ученых (Донецк, 17–20 октября 2017 г.). Т. 2. Хим.-биол. науки. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2017. С. 100–102.
7. Сафонов А. И., Морозова Е. И. Видовое разнообразие мохообразных Донецко-Макеевской промышленной агломерации // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 3–4. С. 24–32.
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. Сафонов А. И. Коррекция фитоиндикационных критериев оценки среды в связи с микроклиматическими изменениями в Донбассе // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы : материалы междунар. науч.-практ. конф. (Воронеж, 3–5 октября 2019 г.). Воронеж : Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019. Т. 2. С. 166–167.
10. Safonov A. I., Safonova Y. S. Approbation of botanical expertise method in ecological monitoring // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10, № 2. С. 219–221.
11. Глухов А. З., Сафонов А. И. Экосистемное нормирование по данным фитоиндикационного мониторинга // Донецкие чтения 2016 : Образование, наука и вызовы современности : материалы I Междунар. науч. конф. (Донецк, 16–18 мая 2016 г.). Т. 1. Физ.-мат., техн. науки и экол. Донецк : Изд-во ЮФУ, 2016. С. 311–312.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕСТ-СИСТЕМЫ «ЭКОЛЮМ» ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ ФТОРИД-ИОНОВ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

*С. Г. Скугорева<sup>1,2</sup>, Т. И. Кутявина<sup>1</sup>, С. В. Чикишев<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Вятский государственный университет,*

<sup>2</sup> *Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,*

*skugoreva@mail.ru*

Для оценки токсичности фторид-ионов в концентрациях 0,15–3,00 мг/л использована тест-система «Эколюм». Установлено, что фторид-ионы, начиная с концентрации 0,30 мг/л, в водных растворах проявляют острую токсичность для люминесцентных бактерий. С увеличением концентрации фторид-ионов в растворе токсичность усиливается.

Ключевые слова: фторид-ионы, острая токсичность, тест-система «Эколюм».

Среди загрязняющих веществ особую опасность для живых организмов представляют соединения фтора. Хотя фтор является жизненно важным микроэлементом, высокие концентрации фторсодержащих соединений оказывают отрицательное влияние на здоровье человека и животных. В больших концентрациях они способствуют возникновению флюороза, разрушению костей, нарушению работы иммунной системы, синтеза коллагена, заболеваниям почек и др. По деструктивному действию фтор стоит сразу же после ртути, проявляет острую токсичность по отношению к животным и человеку. Особенностью соединений фтора является их кумулятивное действие и высокая токсичность. Государственный стандарт на питьевую воду ограничивает верхний предел содержания фторид-ионов в ней на уровне 1,5 мг/л [1].

Цель работы – дать оценку токсичности различных концентраций фторид-ионов в растворе с использованием биотест-системы «Эколюм».

Бактерии тест-системы «Эколюм» дают дифференциальную оценку качеству среды. Методика предполагает использование культуры люминесцентных бактерий-биосенсоров. При воздействии химических веществ изменяется биолюминесценция бактерий, присутствующих в пробе, по сравнению с контролем [2]. При этом уменьшение интенсивности биолюминесценции пропорционально токсическому эффекту.

Количественные оценки тест-реакции выражают в виде безразмерной величины – индекса токсичности «Т», по величине которого пробу относят к одной из групп токсичности: группа I – «проба не токсична» ( $T < 20$ ), группа II – «проба токсична» ( $20 \leq T < 50$ ), группа III – «проба сильно токсична» ( $T \geq 50$ ). Острое токсическое действие исследуемой пробы на препарат «Эколюм» определяется по гашению интенсивности биолюминесценции достаточно быстро, за 5–30-ти минутный период экспозиции.

Для установления токсичности фторид-ионов использовали относительно невысокие концентрации в растворе: 0,15; 0,30; 0,75; 1,50; 2,25 и 3,00 мг/л, что соответствует диапазону превышения ПДК от 0,1 до 2.

Результаты определения острой токсичности водных растворов, содержащих фторид-ионы в разных концентрациях, представлены в таблице. Из таблицы видно, что растворы с концентрациями фторид-ионов 1,50–3,00 мг/л (1–2 ПДК) характеризуются высоким индексом токсичности по тест-системе «Эколюм» ( $T = 69–91$ ), что позволяет их отнести к III группе токсичности, т. е. к сильно токсичным. При содержании в растворе фторидов, равном 0,30 и 0,75 мг/л (0,2 и 0,5 ПДК), индекс токсичности составлял 44 и 37, т. е. они относятся ко II группе, к группе токсичных проб. Лишь самая низкая из изучаемых концентраций фторидов в воде 0,15 мг/л (0,1 ПДК) не является токсичной для бактерий тест-системы «Эколюм».

Между концентрацией фторид-ионов в растворе и индексом токсичности по тест-системе «Эколюм» установлена достаточно высокая положительная корреляционная связь ( $r = 0,9498$ ).

Полученные данные хорошо согласуются с данными, полученными в работе [3], согласно которым концентрации фторид-ионов 0,3 и 0,6 мг/л, являются токсичными для тест-системы «Эколюм» (группа II). Однако в нашем случае сильно токсичными были уже концентрации, начиная с 1,5 мг/л, а в работе [3] 6,00 мг/л относилась ко II группе токсичности.

*Таблица*

**Индексы токсичности фторид-ионов в различных концентрациях по тест-системе «Эколюм»**

Концентрация фторид-ионов в растворе, мг/л	Кратность превышения ПДК	Индекс токсичности по тест-системе «Эколюм», T	Группа токсичности, характеристика
0,15	0,1	0	группа I, проба не токсична
0,30	0,2	44±13	группа II, проба токсична
0,75	0,5	37±11	
1,50	1	69±21	группа III, проба сильно токсична
2,25	1,5	74±22	
3,00	2	91±27	

Таким образом, по результатам исследования фторид-ионы, начиная с концентрации 0,30 мг/л (0,2 ПДК), в водных растворах проявляют острую токсичность для люминесцентных бактерий тест-системы «Эколюм». При этом с увеличением концентрации фторид-ионов в растворе происходило усиление токсичности для тест-системы ( $r = 0,9498$ ).

*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. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003. 154 с.
2. ПНДФ Т 14.1:2:3:4.11-04 Т 16.1:2.3:3.8-04. 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.: ФГУ «ФЦАМ МПР России», 2004. (издание 2010 г.). 22 с.
3. Некрасова Ю. Н., Дабах Е. В., Олькова А. С. Влияние комплексообразования на токсичность водных растворов, содержащих ионы железа, алюминия и фтора // Вода: химия и экология. 2015. № 5. С. 69–75.

## ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА БИОИНДИКАТОРОВ СОСТОЯНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ

Э. И. Мирненко

Донецкий национальный университет, [eduard\\_mirnenko@list.ru](mailto:eduard_mirnenko@list.ru)

В статье представлен обзор использования индикаторных организмов для установления состояния водной среды. Определены наиболее чувствительные к химическому загрязнению методы биоиндикации и биотестирования, которые можно использовать для оценки состояния поверхностных водоемов и водотоков.

Ключевые слова: биоиндикация, биотестирование, поверхностные воды, качество воды, фитопланктон.

Фитопланктон или микроводоросли являются растительными организмами, имеющими преимущественно автотрофный тип питания. При этом они составляют основу трофической пирамиды, а, следовательно, первыми реагируют на любые изменения водной экосистемы. Определение состояния водной среды по составу сообществ фитопланктона дает интегральную оценку результатов всех природных и антропогенных процессов, протекавших в водном объекте. В то время как химические анализы дорогостоящи, основным преимуществом автотрофов является то, что водоросли первыми в трофической цепи реагируют на загрязнители, не успевая их накапливать. Ряд отечественных и зарубежных систем оценки используют показатели или индексы, связанные с развитием той или другой группы организмов от водорослей до рыб [1]. На основании анализа развития фитопланктона можно установить весь спектр воздействий экологических факторов на водоем [2–6].

По данным ряда авторов [7, 8] диатомовые водоросли (*Bacillariophyta*) быстро реагируют на изменение солености и соотношения минеральных компонентов. Например, род *Attheya* (представлены преимущественно бентосными видами), широко распространен в арктических и умеренных водах. Однако массовое развитие видов наблюдается в прибрежных зонах, а именно в бентали (образуют слизистые пленки, прикрепляясь к донным субстратам). Влияние по-

ниженной солености на рост диатомовых водорослей изучено недостаточно. Использование чистых культур как биотеста (*Attheya arenicola*, *A. longicornis* и *A. ussurensis*) показывают [7], все рассматриваемые виды толерантны к изменениям солености в диапазоне 32–16‰. При солености ниже 12‰ наблюдается ингибирование скорости роста клеток с последующим изменением их морфологии. Наиболее существенные изменения в скорости роста и морфологии при снижении солености отмечены у *A. arenicola*.

В экспериментах [8] с добавлением соединений азота и фосфора в культуре диатомовых водорослей *Dactyliosolen fragilissimus* (Bergon) Hasle и *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve наблюдалось увеличение количества клеток при высоких концентрациях азота и фосфора. При повышении концентрации фосфора в среде и понижении содержания азота происходит увеличение клеточной цепи у видов *Leptocylindrus danicus* Cleve и *Thalassionema nitzschioides* Grunow. Однако не все виды диатомей реагируют на изменение элементов минерального питания. Например, в культуре, *Pseudonitzschia pseudodelicatissima* (Hasle) Hasle не происходит изменений в клеточной цепи диатомей. При этом интенсификация роста биомассы диатомей происходит при одновременной добавке соединений азота и фосфора. Следовательно, диатомовые водоросли хорошо подходят как тест-объекты при изучении воздействия физико-химических факторов среды.

Оценку накопления поллютантов в водной среде зачастую определяют по состоянию перифитона и эпифитона. Индикаторные свойства водорослей позволяют определить содержание органического вещества в воде [9]. Исследования, проведенные в заливе Петра Великого (Японское море) выделили три зоны загрязнения по степени антропогенной нагрузки (значительно загрязнены, слабо загрязнены, чистые) на основании доминантов индикаторов сапробности [10]. Так на «значительно загрязненных» станциях доминируют диатомовые водоросли, индикаторы альфа-мезосапробной зоны (44,4%), на «слабо загрязненных» станциях количество альфа-мезосапробов снижено (13,3 %), а на «чистых» станциях диатомовые этой группы не отмечаются.

В ходе других исследований установлено [11], что одним из наиболее широко распространенных среди планктонных диатомовых является род *Chaetoceros*. Его представители в отдельные сезоны доминируют в неритической зоне, превосходя по численности и биомассе остальные группы водорослей. Работ, касающихся влияния экологических факторов на представителей данного рода, немного. Один из часто встречающихся видов – *Chaetoceros socialis* f. *radians* регулярно отмечается в планктоне северных морей, в Каспийском, Черном, Азовском, Балтийском и Японском море. Несмотря на это до настоящего времени не изучено действие экологических факторов на рост данной водоросли и ее биохимические показатели. Однако установлено, что понижение солености до 24–16‰ вызывает уменьшение численности клеток и ухудшение физиологического состояния водоросли по сравнению с контролем. При снижении солености морской воды до 4‰ гибель всей популяции *C. socialis* f. *radians* происходит уже в начале экспозиции. Невысокая устойчивость к опрес-

нению обусловлена экологическими особенностями обитания организма, что позволяет его использовать как индикатор солености вод.

Суточная изменчивость концентрации хлорофилла *a* фитопланктона в эстуарной зоне Кольского залива (Баренцево море) в период трех гидрологических сезонов [12] показала, что существуют два типа его короткопериодной изменчивости. Для первого типа характерна суточная динамика концентрации хлорофилла *a*, наблюдаемая в поверхностном горизонте с максимумом в период полной темноты. Такая ситуация характерна в весенний-зимний период, когда наблюдаются минимальные скорости периодических течений. В летний сезон, при увеличении приливных явлениях и 20-часовом световом дне, отмечен второй тип изменчивости – в течение суток наблюдались ритмические колебания концентрации хлорофилла *a*, что соответствует фазам приливо-отливного цикла. Таким образом, на суточную динамику содержания хлорофилла *a* влияют приливо-отливные явления, длительность светового дня и так называемый механизм внутрисуточных биологических часов.

Оценка воздействия химических соединений на биологическую активность с последующим прогнозом последствий их воздействия и установления зависимости «доза-эффект» возможна с использованием чистой культуры *Chlorella vulgaris* Beij [13]. Показано [14], что при воздействии разных концентраций формальдегида (от  $1,33 \cdot 10^{-6}$  до  $1,33 \cdot 10^{-15}$  моль/л) происходит изменение ростовых и физиологические показатели. Так, ингибирующее воздействие на способность водорослей к фотосинтезу оказывает концентрация формальдегида  $1,33 \cdot 10^{-10}$  моль/л, однако при концентрации  $1,33 \cdot 10^{-15}$  моль/л происходит увеличение биомассы, что является стимулирующим эффектом.

Фитопланктон зачастую вынужден адаптироваться к широкому диапазону концентраций  $O_2$  [15], это проявляет физиологический ответ на анаэробный стресс, который является индикатором уменьшения концентрации кислорода в воде. Одноклеточная зеленая водоросль *Chlamydomonas reinhardtii* P. A. Dang. растет и развивается (в несвойственный для других фотосинтезирующих эукариотических организмов) при отсутствии света и кислорода, используя в качестве источника углерода ацетат индуцируя ферментативные процессы. Такая адаптация позволяет использовать *C. reinhardtii* как индикатор ухудшающихся респираторных условий в воде.

Таким образом, использование фитопланктона в методах биоиндикации может давать наиболее полные данные о текущих условиях водоема, а также всех природных и антропогенных процессах в нем протекающих.

#### Библиографический список

1. Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. 3. Методы биологического анализа вод : Приложение 1. Индикаторы сапробности. М. : СЭВ, 1977. 124 с.
2. Мирненко Э. И., Макуха А. О. Фитопланктон как показатель экологического состояния прудов г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2018. № 3–4. С. 44–50.
3. Мирненко Э. И. Видовой состав фитопланктона прудов г. Донецка // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов : сб. докладов XI Международ. конф. Донецк : ЮФУ, ДонНТУ, 2017. С. 318–320.

4. Мирненко Э. И. Эмпирическая коррекция списков экологических групп водорослей фитопланктона прудов г. Донецка // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 1–2. С. 32–40.
5. Мирненко Э. И., Садловская В.В. Гидрохимические особенности и формирование фитопланктона в искусственных водоемах Донбасса // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 1–2. С. 13–21.
6. Мирненко Э. И. Токсические Cyanophyta в фитопланктоне Нижнекальмиусского водохранилища // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. № 3–4. Донецк : Изд-во ДонНУ, 2018. С. 162–168.
7. Гаркуша О. П. Микроводоросли интерстициали песчаных пляжей Азово-Черноморского региона (Украина) // Актуальные проблемы современной альгологии : Тез. докладов IV Международной конференции (23–25 мая 2012 г.). Киев, 2012. С. 69–70.
8. Захаренкова Н. С. Биоиндикационные особенности водорослей литорали Азовского моря. Germany : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 127 с.
9. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л. : Зоол. ин-т АН СССР, 1974. 60 с.
10. Бегун А. А. Эпифитные диатомовые водоросли в биоиндикации состояния морской среды (залив Петра великого японского моря, Россия) // Актуальные проблемы современной альгологии : тезисы докладов IV междунар. конф. Киев, 2012. С. 25–26.
11. Влияние снижения солености воды на рост и некоторые биохимические показатели *Chaetoceros socialis* f. *radians* [Электронный ресурс]. – URL: <http://os.x-pdf.ru/20fizika/674557-1-vliyanie-snizheniya-solenosti-vodi-rost-nekotorie-biohimicheskie-po.php> (дата обращения 10.03.2020)
12. Суточная динамика хлорофилла *a* фитопланктонного сообщества эстуарной зоны Кольского залива (Баренцево море) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.stationline.org.ua/medik/20-2012-12-04-18-59-37/378-sutochnaya-dinamika-xlorofilla-a-fitoplanktonnogo-soobshhestva-estuarnoj-zony-kolskogo-zaliva-barencevo-more.html> (дата обращения 10.03.2020)
13. Жмур Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях. М. : Акварос, 2003. 506 с.
14. Забродина З. А. Изучение реакции *Chlorella vulgaris* Beij. на воздействие низких концентраций формальдегида в водной среде // Актуальные проблемы современной альгологии : тезисы докладов IV междунар. конф. Киев, 2012. С. 112–113.
15. Константинов А. С. Общая гидробиология: учебное пособие. М. : Высш. шк., 1986. 465 с.

## **ИНВАЗИОННЫЕ ВИДЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «НУРГУШ»**

***Е. М. Тарасова, Л. Г. Целищева, С. В. Кондрухова, С. В. Бакка, Г. А. Борняков***  
*Государственный природный заповедник «Нургуш», [zapovednik@nurgush.org](mailto:zapovednik@nurgush.org)*

В статье представлен обзор 17 чужеродных видов флоры и фауны заповедника «Нургуш», включенных в ТОП-100 опасных инвазионных видов европейской части России. Дана их краткая характеристика, история появления в заповеднике, современное состояние популяций и степень их влияния на аборигенные виды.

Ключевые слова: заповедник «Нургуш», инвазионные виды, интродукция, расселение, состояние популяций.

Проникновение живых организмов за пределы их первоначальных ареалов носит глобальный характер, имеет важное социально-экономическое и природоохранное значение. Нарастанию инвазионного процесса способствует целый ряд обстоятельств: отсутствие надлежащего контроля за перемещениями живых организмов; миграция населения; интенсивные грузоперевозки; преднамеренная интродукция организмов за пределы их нативных ареалов [1].

Российскими биологами проблема чужеродных видов стала интенсивно обсуждаться и разрабатываться в 1990-х гг. К настоящему времени в европейской части России вселенцами являются 1150 видов растений, 192 вида растительноядных насекомых, 59 видов рыб, 62 вида млекопитающих [1]. В 2018 г. был подготовлен список самых опасных инвазионных видов России (ТОП-100) [1], который лег в основу анализа флоры и фауны заповедника.

Государственный природный заповедник «Нургуш» состоит из двух кластерных участков. В Котельничском районе в подзоне южной тайги в широкой пойме р. Вятки, занятой многочисленными озерами и хвойно-широколиственными лесами, расположен участок «Нургуш». В Нагорском районе в подзоне средней тайги находится участок «Тулашор». Заповедник имеет большое значение для сохранения биоразнообразия региона, одна из важнейших его задач – постоянный контроль состояния популяций инвазионных видов, которое может быть непредсказуемым.

В настоящее время отмечено 9 видов растений и 8 видов животных, которые отнесены к наиболее опасным инвазионным видам (табл.). На южном участке заповедника встречены все 17 видов, в «Тулашоре» – только 6. Наличие большого числа видов-вселенцев на участке «Нургуш», вероятно, обусловлено более благоприятными климатическими условиями, большим разнообразием экотопов, близостью населенных пунктов к ООПТ и ограничением территории с трех сторон крупной рекой Вяткой, служащей транспортным коридором для инвазий, а также преднамеренным заселением ряда видов (ондатры, енотовидной собаки, ирги колосистой). Основная часть видов флоры и фауны проникла на территорию заповедника «Нургуш» случайно.

Таблица

**Инвазионные виды растений и животных на территории государственного природного заповедника «Нургуш»**

№ п/п	Вид	Участок «Нургуш»		Участок «Тулашор»	
		заповедник	охранная зона	заповедник	охранная зона
1	2	3	4	5	6
Растения					
1	Ирга колосистая ( <i>Amelanchier spicata</i> (Lam.) C.Koch)	+	+	-	-
2	Люпин многолистный ( <i>Lupinus polyphyllus</i> Lindl.)	-	+	-	+
3	Кипрей железистостебельный ( <i>Epilobium adenocaulon</i> Hausskn.)	+	+	-	-
4	Клен ясенелистный, или клен американский ( <i>Acer negundo</i> L.)	+	+	-	-

1	2	3	4	5	6
5	Борщевик Сосновского ( <i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden.)	+	+	-	-
6	Ясень пенсильванский ( <i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh.)	+	+	-	-
7	Черёда многолистная ( <i>Bidens frondosa</i> L.)	+	+	-	-
8	Мелколепестничек канадский ( <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq.)	+	+	-	-
9	Элодея канадская ( <i>Elodea canadensis</i> Michx.)	+	+	+	+
Животные					
10	Речная дрейссена ( <i>Dreissena polymorpha</i> Pallas)	+	+	-	-
11	Колорадский жук ( <i>Leptinotarsa decemlineata</i> Say)	+	+	-	-
12	Липовая моль-пестрянка ( <i>Phyllonorycter issikii</i> Kumata)	+	+	-	+
13	Ротан ( <i>Percottus glenii</i> Dybowski)	+	+	-	-
14	Серебряный карась ( <i>Carassius auratus</i> complex)	+	+	-	-
15	Американская норка ( <i>Neovison vison</i> Shreber)	+	+	+	+
16	Енотовидная собака ( <i>Nyctereutes procyonoides</i> Gray)	+	+	+	+
17	Ондатра ( <i>Ondatra zibethicus</i> L.)	+	+	+	+
	Итого	16	17	4	6
	Итого видов на участках заповедника	17		6	

Ниже приводится характеристика инвазионных видов растений и животных, выявленных на территории заповедника «Нургуш».

Ирга колосистая. Североамериканский вид. В России известен с конца XIX в. [1]. В с. Боровке культивировалась с 1950-х гг., в п. Бажелке – с 1970-х. На участке «Нургуш» сохранилось несколько плодоносящих экземпляров ирги, высаженных около кордона на берегу оз. Нургуш (отмечена в 1995 г.). В охранной зоне одиночные растения встречаются преимущественно вдоль дорог и троп [2].

Люпин многолистный. Североамериканский вид. В культуре в России известен с начала XX в. [1]. В Кировской области в 1975 г. отмечено, что дичает [3]. В охранных зонах заповедника изредка встречаются единичные экземпляры вдоль дорог [2, 4].

Кипрей железистостебельный. Североамериканский вид. В России появился в конце XIX в. В Кировской области отмечен в 1975 г. [3]. На участке «Нургуш» встречается единичными экземплярами вдоль дорог, троп, на вытопанных участках [2].

Клен ясенелистный. Североамериканский вид. В России известен с конца XVIII в. В средней России дичает со второй половины XX в. [5], в Кировской области – с 1976 г. [6]. В заповеднике найден в 1998 г., встречается одиночными экземплярами, небольшими куртинами по берегу р. Вятки и вдоль дорог [2].

Борщевик Сосновского. Кавказский вид. На европейской части России введен в культуру в 1947 г. Повсеместное дичание отмечено в 1970-е гг., в 1990-е гг. расселение и размножение борщевика приобрело бесконтрольный характер [1]. В Кировской области культивируется с начала 1970-х гг. На участке «Нургуш» впервые отмечен в 1998 г., в охранной зоне единично встречается вдоль дорог [2].

Ясень пенсильванский. Североамериканский вид. В России в культуре с 1783 г. Активное расселение началось в 1970–1980-х гг. [5]. На участке «Нургуш» найдены одиночные экземпляры в 2012–2013 гг. вдоль берегов оз. Старица и р. Вятки.

Черда многолистная. Североамериканский вид. В России культивировалась с первой половины XIX в., дичание началось в 1960–70-х гг. В 1965 г. вид найден в Кировской области [1]. На участке «Нургуш» собрана в 1996 г.: в небольшом количестве произрастает на сырых глинистых берегах р. Вятки [2].

Мелколепестничек канадский. Североамериканский вид. В Россию занесен в начале XVIII в., как обычный сорняк упоминается в 1781 г. [1]. На участке «Нургуш» в небольшом количестве произрастает на песчаных берегах озер, в охранной зоне вдоль дорог в бору и на лугах [2].

Элодея канадская. Североамериканский вид. Первые находки элодеи в России во второй половине – конце XIX в. [5]. Проникла в естественные водоемы из аквакультуры [1]. В заповеднике в большом обилии встречается на мелководьях озер и стариц рек Вятки и Федоровки [2, 7].

Речная дрейссена. Понто-Каспийский вид. В XX в. распространилась на северо-восток России [1]. Расселение связано с развитием водных путей и переносом особей на корпусах судов, на неочищенных рыболовных сетях, с выпуском мальков рыб. Массовое поселение дрейссен на беззубках и перловицах обнаружено 21 мая 2013 г. в реке Вятке (57°58.424 с.ш., 48°28.901 в.д.) в границах участка «Нургуш». Возраст некоторых моллюсков достигал 4 лет, следовательно, время их появления может датироваться 2009 г.

Колорадский жук. Североамериканский вид. В европейской части России появился в 1958 г. [1]. Распространяется транспортом при случайном попадании, с картофелем, при саморасселении имаго [1]. В Кировской области впервые отмечен в 1981 г., завезен с соломой в Опаринский район (данные И. А. Филатовой). В окр. с. Боровки и п. Бажелки появился в начале 1980-х гг. На участке «Нургуш» с 2007 г. регистрируются единичные особи, вероятно, случайно залетевшие или занесенные водой во время половодья. На участке «Тулашор» он не обнаружен.

Липовая моль-пестрянка. Восточноазиатский вид. Впервые на территории России была найдена в 1982 г., вероятен ее занос с посадочным материалом липы, железнодорожным транспортом, в дальнейшем – расселение взрослых особей при помощи ветра [1]. Первая находка вида в Кировской области была опубликована в 2014 г. [8]. На участке «Нургуш» присутствие липовой моли-пестрянки по фотографиям листьев липы с минами установлено с 2009 г., интенсивность повреждений начала нарастать с 2012 г., в последние годы ее численность находится на стабильно высоком уровне. На участке «Тулашор» липовая моль зарегистрирована в 2015 г., плотность заселения липы низкая [9].

Ротан. Восточноазиатский вид. В европейскую часть России завезен в 1916 г. в качестве аквариумной рыбы, а затем попав в пруды и реки, начал саморасселяться [1]. В Кировской области был обнаружен в 1999 г., а в соседних регионах (Татарстане, Пермской и Горьковской областях) появился в 1980-х гг.

[10]. На участке «Нургуш» в охранной зоне отмечен в 2011 г., в заповеднике – в мае 2016 г. в озерах Нургуш, Малое Кривое, Могильное [11].

Серебряный карась. Восточноазиатский вид. В бассейне р. Волги впервые обнаружен не позднее XVII–XVIII вв. [1]. В первой половине XX в. встречался в нескольких водоемах в среднем и нижнем течении р. Вятки, в 1990-е гг. появился во многих реках и озерах области в большом количестве, в начале XXI в. численность уменьшилась [10]. Распространение: из аквакультуры, преднамеренный выпуск в водоемы, саморасселение по рекам [1]. На участке «Нургуш» отмечен в озерах Кривое, Малое Кривое, Нургуш, Бабье, Холщовик, Старица, Наговицинское, Дубовое. На участке «Тулашор» не выявлен.

Американская норка. Североамериканский вид. В Россию стали завозить с 1923 г. как ценного пушного зверька для клеточного разведения [1]. В 1930-х гг. была акклиматизирована в соседних регионах, в 1950–60-х гг. проникла на территорию Кировской области [10]. В настоящее время в заповеднике на обоих участках является обычным видом, потеснив европейскую норку (*Mustela lutreola* L.).

Енотовидная собака. Восточноазиатский вид. С 1929 г. начата его преднамеренная интродукция из Уссурийского края в Восточную Европу и Сибирь [1]. В 1954 г. был произведен выпуск енотовидной собаки на территорию участка «Нургуш» [12], где в настоящее время это многочисленный вид. Для участка «Тулашор» он впервые указан в 2012 г. [13], в последние годы здесь отмечаются единичные особи [14].

Ондатра. Североамериканский вид. Интродукция ондатры в Россию началась с 1928 г., как ценного пушного зверя [1]. В Кировскую область стала завозиться с 1936 г. [10]. На участке «Нургуш» была акклиматизирована в 1951 г., где хорошо прижилась и, размножившись, стала самостоятельно расселяться в окрестные угодья [12]. На участке «Тулашор» в 1970-х гг., по данным Е. Г. Ситникова, была многочисленной. В настоящее время численность ондатры на обоих участках заповедника находится на низком уровне [14].

Таким образом, в заповеднике «Нургуш» выявлено 17 опасных инвазионных видов. Существенное влияние на аборигенные виды оказывают американская норка, потеснившая европейскую, и элодея канадская, массово заселившая водоемы. Только на участке «Нургуш» отмечены значительные повреждения листьев липы липовой молью-пестрянкой, снижающей продуктивность липовых насаждений; высокая численность енотовидной собаки, влияющей на местные виды непосредственным уничтожением одних, обеднением кормовой базы других. Остальные виды-вселенцы ведут себя менее агрессивно.

В число мероприятий по охране территории заповедника от биологического загрязнения входит мониторинг состояния популяций чужеродных видов. Непосредственное механическое уничтожение особей, проникших на его территорию, применяется только к борщевнику Сосновского.

Кроме инвазионных видов из списка ТОП-100 в заповеднике встречаются и другие чужеродные виды, проникающие из культуры. Это 20 видов растений, из которых на участке «Нургуш» известно 18 видов, на участке «Тулашор» –

3 вида. Они произрастают большей частью в охранной зоне локально и единично, не оказывая существенного влияния на окружающие сообщества.

#### Библиографический список

1. Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) // под ред. Ю. Ю. Дгебуадзе, В. Г. Петросяна, Л. А. Хляпа М. : Т-во научных изданий КМК, 2018. 688 с.
2. Тарасова Е. М. Сосудистые растения государственного природного заповедника «Нургуш». Киров : ООО «Орма», 2005. 163 с.
3. Определитель растений Кировской области. Киров, 1975. Ч. 2. 304 с.
4. Лачоха Е. П. Дополнения к конспекту сосудистых растений участка «Тулашор» заповедника «Нургуш» // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Киров : ООО «Типография «Старая Вятка», 2013. Т. 2. С. 95–98.
5. Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М. : ГЕОС, 2009. 494 с.
6. Гусев Ю. Д. Проникновение новых адвентивных растений в Кировскую и Пермскую области // Бот. журн., 1976. № 4. С. 567–569.
7. Тарасова Е. М. Предварительный конспект флоры сосудистых растений участка «Тулашор» заповедника «Нургуш» // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Киров : ООО «Типография «Старая Вятка», 2011. Т. 1. С. 154–169.
8. Пестов С. В. К фауне членистоногих заказника «Бушковский лес» // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием: в 2 кн. Киров: ООО «Веси», 2014. Кн. 1. С. 207–210.
9. Целищева Л. Г. Распространение липовой моли-пестрянки (*Phyllonorycter issikii* Kumata) в заповеднике «Нургуш» // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем : материалы XIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием: в 2 кн. Киров : Изд-во ООО «Веси», 2015. Кн. 1. С. 140–144.
10. Сотников В. Н. Аннотированный список позвоночных животных Кировской области. Киров : ООО «Триада плюс», 2018. 60 с.
11. Chinese sleeper (*Perccottus glenii* Dybowski, 1877) (Pisces, Odontobutidae) in the reserves and National Parks of the middle and lower Volga (Russia): mini-review / A. B. Ruchin, V. V. Osipov, A. I. Fayzulin, O. V. Bakin, L. G. Tselishcheva, N. G. Bayanov. AACL Bioflux. 2019. 12(4): 1114–1124.
12. Соловьёв А. Н. Сокровища Вятской природы. Киров : Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. 159 с.
13. Рябов В. М. Материалы к фауне наземных позвоночных участка «Тулашор» заповедника «Нургуш» // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Киров : ООО «Типография «Старая Вятка», 2013. Т. 2. С. 121–127.
14. Бакка С. В., Киселева Н. Ю. Итоги инвентаризации наземных позвоночных участка «Тулашор» заповедника «Нургуш» и его окрестностей в 2011–2017 гг. // Труды государственного природного заповедника «Нургуш». Киров : ООО «Типография «Старая Вятка», 2017. Т. 4. С. 9–30.

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ р. ПЕТЬЯЛКА

*П. В. Бедова*

*Марийский государственный университет, bedova@marsu.ru*

В рамках проведения мероприятий по созданию государственного природного заказника республиканского значения Республики Марий Эл «Сотнурская возвышенность» была изучена фауна донных беспозвоночных реки Петъялка Волжского района Республики Марий Эл, которая насчитывает 29 видов, относящихся к 5 классам, 11 отрядам, 21 семейству. Преобладающими группами являются представители отряда *Diptera* составляющие 20%. Описаны новые виды для фауны Республики Марий Эл.

Ключевые слова: заказник, фауна, макрозообентос, река, беспозвоночные животные.

Речная сеть Республики Марий Эл состоит из 19 бассейнов и включает 179 рек с длиной водотока более 10 км. Большинство рек имеют смешанный тип питания. Реки республики одни из самых чистых в Европейской части России, вода из них используется в хозяйственных и рекреационных целях.

Петъялка протекает по территории Республики Марий Эл и Республики Татарстан. Устье реки находится в 68 км по левому берегу р. Иеть. Длина реки составляет 58 км, площадь водосборного бассейна 483 км. Нижняя часть течения реки проходит по НП «Марий Чодра».

Ранее были проведены исследования флоры по берегам реки на нескольких участках [1]. А также группой гидробиологов Марийского государственного университета проведены гидробиологические работы на озерах Сотнурской возвышенности [2–5].

Речные экосистемы данной территории изучаются впервые.

Целью наших исследований было изучение донных беспозвоночных реки Петъялка, протекающей в Волжском районе Республики Марий Эл.

Исследования проводились по стандартным гидробиологическим методикам в летний период 2018 г., в рамках проведения мероприятий по созданию государственного природного заказника республиканского значения Республики Марий Эл «Сотнурская возвышенность» [6].

Изучен видовой состав донных беспозвоночных в районе старой мельницы.

Фауна донных беспозвоночных реки Петъялка насчитывает 29 видов, относящихся к 5 классам, 11 отрядам, 21 семейству. Преобладающими группами являются представители отряда *Diptera* составляющие 20% , а также представители отрядов *Trichoptera* и *Coleoptera*, составляющие по 16,7% от всей фауны беспозвоночных животных реки Петъялка. Представители отряда *Ephemeroptera* составляли 6,7% от списка видов донных беспозвоночных реки Петъялка (табл.).

Представители отряда *Heteroptera*, класса *Arachnidae*, класса *Crustacea* составляли по 3,3%. Представители класса *Hirudinea*, класса *Gastropoda* и отряда *Odonata* составляли по 10% от всей фауны беспозвоночных животных реки Петьялка.

В реке Петьялка обнаружено обитание видов гидробионтов, описанных для Республики Марий Эл впервые. Так в реке обнаружены личинки ручейников *Potamophylax rotundipennis* (Brauer, 1857) (ручейник речной), *Hydropsyche pellucidula* (Curtis, 1834) (гидропсихида прозрачная) и *Halesus radiates* (Curtis, 1834) (ручейник строитель), предпочитающие чистые быстротекучие воды. Кроме того, в реке обнаружена личинка поденки *Heptagenia coeruleans* (Rostok, 1877), обитающая в реках на перекатах, под камнями и являющаяся олигосапробом. Здесь же зарегистрирован жук-плавунец *Platambus maculatus* (Linnaeus, 1758), наиболее устойчивый к течению (реофильный) из плавунцов.

Таблица

**Таксономический состав макрозообентоса р. Петьялка**

Таксономическая группа	% от общего списка видов
Класс Пиявки <i>Hirudinea</i>	10,0
Класс Ракообразные <i>Crustacea</i>	3,3
Класс Паукообразные <i>Arachnidae</i>	3,3
Класс Брюхоногие моллюски <i>Gastropoda</i>	10,0
Класс Насекомые <i>Insecta</i>	
Отряд Стрекозы <i>Odonata</i>	10,0
Отряд Жесткокрылые <i>Coleoptera</i>	16,7
Отряд Полужесткокрылые <i>Heteroptera</i>	3,3
Отряд Поденки <i>Ephemeroptera</i>	6,7
Отряд Ручейники <i>Trichoptera</i>	16,7
Отряд Двукрылые <i>Diptera</i>	20,0

Ниже приведены некоторые экологические особенности обнаруженных в исследуемом водоеме донных беспозвоночных животных.

Гидропсихида прозрачная *H. pellucidula* является стенооксибионтным, олигосапробным и литореофильным видом [7]. Всеядный фильтратор, сооружает из гравия прикрепленный к камням домик неправильной формы, одна стенка которого затянута мелкаячейстой сеткой и служит для фильтрации воды.

Личинки ручейника речного *P. rotundipennis* населяют реки и ручьи в Европейской части России и Южной Сибири (до Красноярского края). Являются показателями чистой воды [7]. Личинки ручейника строителя *H. radiates* населяют водоемы Европейской части, Юго-Западной Сибири (до Алтая). Предпочитают чистые реки, ручьи, открытое побережье озер [7].

Личинки ручейников *H. radiatus* и *P. rotundipennis* передвигаются в основном по погруженным в воду крупным древесным остаткам, избегают при этом участков сильного течения. Кроме того, эти виды достаточно требовательны к чистоте воды и наличию большого количества доступного кислорода [8]. Личинки ручейника *Stenophylax seguax* MacLachlan, 1875 обитают в ручьях

средней полосы и севера европейской части. Преобладают на участках с каменистым дном и более быстрым течением, однако могут образовывать скопления и на участках со слабым течением [8]. Личинки ручейника *Anabolia laevis* (Zetterstedt, 1840) населяют реки, ручьи, пруды, озера в Европейской части [7].

Жук-плавунец *P. maculatus* обычно встречается в более спокойных участках русла, где хищничает на мягких грунтах [8]. *P. maculatus* населяет Восточную Европу, Западную Сибирь, Европу, Турцию, Иран, Монголию. Обитает в различных проточных водоемах, озерах [7].

Таким образом, первые результаты изучения фауны донных беспозвоночных р. Петъялка, свидетельствуют о богатой фауне, насчитывающей 29 видов. В водоеме зарегистрированы новые для республики виды ручейников (*H. pellucidula*, *P. rotundipennis*, *H. radiatus*), поденки (*H. coeruleans*). Также описаны редкие для фауны республики виды личинки ручейников *S. seguax* и *A. laevis*, жука плавунца *P. maculatus*.

#### Библиографический список

1. Схема развития сети особо охраняемых природных территорий Республики Марий Эл / Г. А. Богданов, А. В. Исаев, Ю. П. Демаков. Йошкар-Ола : ФГБУ «Государственный заповедник «Большая Кокшага», 2015. 119 с.
2. Бедова П. В., Тимофеева М. Ю. Особенности организации зообентосных сообществ некоторых озер бассейна реки Илеть // Актуальные проблемы экологии, биологии и химии : материалы Всерос. конф. Йошкар-Ола, 2010. С. 35–39.
3. Структура макрозообентоса некоторых озер Сотнурской возвышенности как индикатор качества природных вод / М. Ю. Тимофеева, А. В. Торбеева, П. В. Бедова, С. В. Усков // Материалы докладов науч.-практ. конф. гидробиологов, посвященной памяти профессора Х. М. Курбангалиевой. Казань, 2010. С. 72–73.
4. Состояние бентоценозов некоторых озер Сотнурской возвышенности Республики Марий Эл / М. Ю. Тимофеева, А. В. Торбеева, О. С. Ожиганова, П. В. Бедова // Регионы в условиях неустойчивого развития : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Т. 2. Кострома, 2010. С. 484–489.
5. Первичные данные о макрозообентосе озера Пыжан-ер / А. В. Торбеева, М. Ю. Тимофеева, П. В. Бедова, Е. А. Сорокина // Актуальные проблемы экологии, биологии и химии : материалы Всерос. конф. Йошкар-Ола, 2010. С. 225–228.
6. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: Зообентос и его продукция / А. А. Салазкин, А. Ф. Алимов, Н. Н. Финогенова. Ленинград : ГосНИОРХ, 1984. 52 с.
7. Определитель беспозвоночных России и сопредельных территорий. Т. 5. Высшие насекомые / под общ. ред. С. Я. Цалолыхина. СПб. : Наука, 2001. 836 с.
8. Шалапенко Е. С., Мелешко Ж. Е. Краткий определитель водных беспозвоночных. Минск : БГУ, 2005. С. 243.

## ЗООБЕНТОС МАЛОЙ РЕКИ В УСЛОВИЯХ СБРОСА ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

*Т. И. Кочурова*

*Кировский городской зоологический музей, kochurovati@mail.ru*

В статье приведены данные о таксономическом составе и количественных показателях зообентоса малой реки бассейна р. Вятки, показаны их изменения под влиянием сброса коммунально-бытовых сточных вод населенного пункта. Выполнена биоиндикация качества воды. Выявлены локальные очаги с признаками негативной трансформации бентосных сообществ, установлено наличие процесса эвтрофикации водотока под влиянием органического загрязнения.

Ключевые слова: зообентос, малая река, таксономический состав, численность, биомасса, биоиндикация, эвтрофирование, самоочищение.

Большинство рек Кировской области относятся к категории малых и очень малых. Их экосистемы, в сравнении с крупными реками, являются весьма уязвимыми и проявляют меньшую устойчивость к неблагоприятным воздействиям. Населенные пункты, даже при отсутствии промышленных предприятий, являются источниками загрязнения водоемов (сброс коммунально-бытовых сточных вод, поверхностные стоки с заселенной территории и сельхозугодий). В результате возникает угроза изменения среды обитания гидробионтов, обеднения их видового состава, структурно-функционального упрощения водных экосистем и, как следствие, снижение самоочистительных способностей рек, ухудшение качества воды, в том числе и крупных, питаемых ими водоемов.

Река Тужа – малая река Кировской области, правобережный приток р. Пижмы. Протяженность составляет 35 км, ширина 5–10 м, средняя глубина в межень 0,5–1,2 м. Река протекает по территории одного из районных центров Кировской обл. – пгт. Тужа (численность населения 4,2 тыс. чел.). Промышленных предприятий в Туже нет. В черте поселка на реке образован пруд площадью 45,5 га. Ниже пруда в реку поступают два выпуска коммунально-бытовых сточных вод МУП «Коммунальщик».

Цель данной работы: выявить изменение состояния бентосных сообществ малой реки под влиянием сброса коммунально-бытовых сточных вод небольшого населенного пункта.

В августе 2019 г. в рамках комплексного обследования по оценке негативного влияния сточных вод на водные биологические ресурсы изучали зообентос четырехкилометрового участка реки. Исследования проводили на семи станциях (ст.), характеристика которых приведена в таблице. Отбор проб зообентоса осуществляли гидробиологическим скребком с площадью захвата 1/20 м<sup>2</sup> по стандартным гидробиологическим методикам [9, 10]. В пределах одной станции отбирали по две количественных пробы с грунта водоема и одной качественной пробе с зарослей высшей водной растительности. Пробы промывали на сите из мельничного газа № 23 и фиксировали 70%-ным этиловым спиртом.

Местоположение и характеристика станций наблюдения

№ п/п	Расположение	Ширина реки, м	Глубина, м	Скорость течения, м/сек	Донные отложения
1	Фоновая, в 500 м выше выпуска 1	7,0	0,4	0,4	Песчано-гравийные с наилком
2	В 50 м ниже выпуска 1	5,1	0,5	0,6	
3	В 500 м ниже выпуска 1	5,4	0,7	0,3	Песок с наилком
4	В 500 м выше выпуска 2	5,5	1,0	0,3	Песчано-галечные
5	В 50 м ниже выпуска 2	4,6	0,8	0,5	Песок + детрит
6	В 500 м ниже выпуска 2	6,5	0,8	0,2	Песок + глина
7	Контрольная, в 1 км ниже ст. 6	6,1	0,8	0,3	Песок + глина + детрит

Определение организмов в зависимости от таксономической группы и стадии развития проводили до уровня вида, рода, семейства, отряда, класса с помощью бинокулярного микроскопа «Микромед МС-5-ZOOM LED» и определителей [6–8]. Идентификацию пиявок, моллюсков, поденок, стрекоз, ручейников по возможности выполняли до уровня вида. Малоцетинковые черви и личинки двукрылых насекомых определялись до уровня семейства, хирономиды – до уровня подсемейства; нематоды, низшие ракообразные, моллюски сем. Euglesidae не детализировались.

Для характеристики состояния донных биоценозов использовали показатели: количество таксонов, общая численность, общая биомасса, численность и биомасса основных систематических групп зообентоса. Оценку качества воды проводили с использованием биотического индекса Вудивисса [2, 3, 9, 13], олигохетного индекса Гуднайта и Уитлея [9, 3, 12], индекса Балушкиной [1, 10]. Наличие организмов-индикаторов сапробности устанавливали согласно списку А. В. Макрушина [5] и Атласу сапробных организмов [11]. Таксономическое разнообразие оценивали по индексу Шеннона [4].

В составе зообентоса р. Тужи обнаружены представители 22 систематических групп: гидры (Hydrida), нематоды (Nematoda), малоцетинковые черви (Oligochaeta), пиявки (Hirudinea), двустворчатые (Bivalvia) и брюхоногие (Gastropoda) моллюски, водные клещи (Hydrachnidia), ветвистоусые (Cladocera), веслоногие (Copepoda), ракушковые (Ostracoda) и равноногие (Isopoda) ракообразные, водные клопы (Hemiptera), жесткокрылые (Coleoptera), личинки поденок (Ephemeroptera), стрекоз (Odonata), веснянок (Plecoptera), чешуекрылых (Lepidoptera), ручейников (Trichoptera), хирономид (Chironomidae), мокрецов (Ceratopogonidae), мошек (Simuliidae) и прочих двукрылых (прочие Diptera).

Бентофауна реки без учета низших ракообразных насчитывала 103 таксона видового и надвидового рангов, относящиеся к 5 типам: Cnidaria (Кишечнополостные), Nematelminthes (Круглые черви), Annelida (Кольчатые черви), Mollusca (Моллюски), Arthropoda (Членистоногие). Наиболее богаты в таксономическом отношении были брюхоногие и двустворчатые моллюски (соответственно 18 и 9 таксонов), ручейники (13 видов и 3 рода), поденки (11 видов и

2 рода), водные жуки (12 таксонов). Таксономическое богатство на всем исследуемом участке реки было достаточно высоким и насчитывало на отдельных станциях от 40 до 53 таксонов. Минимальное число таксонов (40) отмечено ниже первого выпуска сточных вод (ст. 2), что могло быть связано как с негативным влиянием сброса, так и с высокой скоростью течения. Качественная обедненность прослеживалась в бентоценозах у левого берега, где зарегистрирована самая высокая скорость для всего обследованного участка р. Тужи (0,7 м/сек).

Распределение плотности донных беспозвоночных по участкам реки было неравномерным. Показатель общей численности зообентоса на разных станциях колебался от 0,76 до 28,3 тыс. экз./м<sup>2</sup>, общей биомассы – от 0,56 до 71,3 г/м<sup>2</sup>. Изменение количественных показателей (средние значения численности и биомассы) вдоль продольного профиля реки показано на рисунках 1–2.

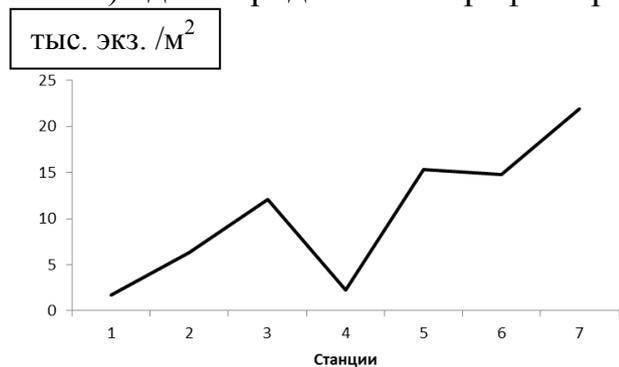


Рис. 1. Пространственная динамика численности зообентоса в р. Туже

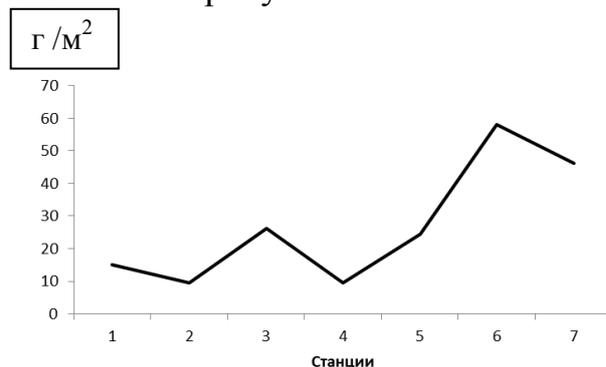


Рис. 2. Пространственная динамика биомассы зообентоса в р. Туже

Анализ изменения количественных характеристик вдоль продольного профиля реки выявил наличие двух пиков, указывающих на нарастание плотности зообентоса на участках ниже поступления сточных вод (ст. 3, 5, 6, 7). Наиболее ярко эта тенденция просматривалась в случае с биомассой, увеличение которой свидетельствовало о наличии процессов эвтрофикации реки под влиянием антропогенного фактора. Прирост общей биомассы в основном был обеспечен ростом биомассы брюхоногих и двустворчатых моллюсков.

Из видов-индикаторов сапробности на всех станциях установлено обитание представителей чистых вод: олигосапробов, олиго-β-мезосапробов и β-мезосапробов. Присутствие их на разных участках было примерно одинаково (по 14–16 видов на станцию; на ст. 2–11 видов). Однако, доля олиго- и олиго-β-мезосапробов была выше на верхних участках. На станциях 3, 6 и 7 повышалась доля более устойчивых к органическому загрязнению β-мезосапробов. Обитатели загрязненных вод (α-мезосапробы) на всех станциях были представлены одним видом – *Asellus aquaticus* Linnaeus, 1758. Присутствия полисапробов (индикаторов сильно загрязненных вод) не выявлено.

Индекс Вудивисса колебался в пределах 7–9 баллов с общей тенденцией нарастания от верхней станции к нижним и характеризовал весь участок реки как чистый. Олигохетный индекс снижался в том же направлении от 41,4% до 11,4% и указывал на улучшение качества воды от умеренно загрязненной (ст. 1)

до очень чистой (ст. 7). Однако, массовое развитие олигохет сем. Tubificidae на станциях 2, 5 и 6 (до 5–5,5 тыс. экз./м<sup>2</sup>) свидетельствовало о наличии очагов нетоксичного органического загрязнения. Индекс Балушкиной характеризовал все участки как умеренно загрязненные. В его пространственной динамике также просматривалась тенденция улучшения качества воды от верхних станций к нижним при усилении степени загрязнения ниже выпусков сточных вод. Средние значения индекса таксономического разнообразия Шеннона на разных станциях колебались от 2,08 до 2,87. Максимальные значения (3,0–3,22) зарегистрированы на ст. 3 и 4. Снижение индекса до 2,08–2,09 происходило на ст. 2 и 7, что указывало на упрощение структурной организации донных сообществ этих участков. Минимальные значения индекса Шеннона (1,47 и 1,86) отмечены в фитофильных (зарослевых) сообществах ст. 2 и собственно донных биоценозах ст. 7. В обоих случаях снижение индекса было обусловлено не столько сокращением таксономического богатства, сколько снижением выравненности сообщества. В зарослях рдеста на ст. 2 отмечено массовое присутствие личинок мошек, составляющих 70% общей численности организмов. Более половины донного населения ст. 7 приходилось на долю личинок поденок рода *Caenis*, питающихся водорослями и детритом и проявляющих наибольшую устойчивость к загрязнению среди представителей своего отряда.

Отмеченные случаи массового размножения организмов-фильтраторов (двустворчатых моллюсков, личинок мошек, ветвистоусых ракообразных), а также брюхоногих моллюсков и личинок поденок рода *Caenis*, можно рассматривать как защитные механизмы, способствующие утилизации органических веществ в условиях загрязнения реки сточными водами.

В целом, проведенные исследования позволили выявить признаки негативной трансформации бентосных сообществ р. Туза под влиянием сбросов коммунально-бытовых стоков районного центра, проявившиеся снижением таксономического богатства и разнообразия донных организмов, массовым развитием устойчивых к загрязнению групп (олигохеты сем. Tubificidae). Резкое нарастание биомассы зообентоса на участках ниже очистных сооружений свидетельствовало о наличии процессов эвтрофикации водотока.

В то же время в р. Тузе сохранялись благоприятные условия для нормального существования представителей большинства групп донных беспозвоночных. Полидоминантная структура бентосных сообществ, наличие видов-индикаторов чистых вод позволяют говорить об относительно благополучной экологической ситуации. Факты локального массового размножения представителей отдельных групп организмов, в первую очередь организмов-фильтраторов (двустворчатых моллюсков, ветвистоусых ракообразных, личинок мошек) свидетельствуют о наличии процессов утилизации органического вещества и биологического самоочищения водотока. Сохранение таксономического богатства зообентоса нижних участков на уровне значений фонового створа, а также улучшение большинства биоиндикационных показателей к нижнему створу, указывают на то, что экосистема реки сохраняет способность к саморегуляции.

### Библиографический список

1. Балущкина Е. В. Хирономиды как индикаторы степени загрязнения воды // Методы биологического анализа пресных вод. Л. : ЗИН АН СССР, 1976. С. 106–118.
2. Вудивисс Ф. Биотический индекс р. Трент. Макробеспозвоночные и биологическое обследование // Научные основы контроля качества поверхностных вод по гидробиологическим показателям. Труды Советско-английского семинара. Л. : Гидрометеиздат, 1977. С.132–161.
3. ГОСТ 17.1.3.07-82 Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков.
4. Константинов А. С. Общая гидробиология: учебник для студентов биологических специальностей вузов. М. : Высш. шк., 1986. 474 с.
5. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Ленинград : Академия наук СССР, 1974. 224 с.
6. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1977. 281 с.
7. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий. СПб. : Наука, (1994. Т. 1. 395 с.; 1995. Т. 2. 628 с.; 1997. Т. 3. 439 с.; 1999. Т. 4. 998 с.; 2001. Т. 5. 836 с.; 2004. Т. 6. 528 с.)
8. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / Под ред. В. Р. Алексеева и С. Я. Цалолыхина. М.-СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.
9. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / под общ. ред. В. А. Абакумова. Л. : Гидрометеиздат, 1983. 239 с.
10. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под общ. ред. В. А. Абакумова. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 319 с.
11. Унифицированные методы исследования качества вод. Часть III. Методы биологического анализа вод. М. : Секретариат СЭВ, 1997. 227 с.
12. Goodnight C. J., Whitley L. S. Oligochaetes as indicators of pollution // Proc. 15th Ind. Waste Conf., Purdue Univ. Eng. Ext. 1961. Ser. 106. P. 139–142.
13. Woodiwiss F. S. The biological system of stream classification used by the Trent Riber Board // Chemistry and Industry. 1964. Vol. 14. P. 443–447.

## ХАРАКТЕРИСТИКА НАСЕЛЕНИЯ КОЛЛЕМБОЛ (COLLEMBOLA, HEXARODA) В ПОЧВАХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ И РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

*А. А. Таскаева, Е. Н. Мелехина*

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

В статье дана характеристика таксоценов коллембол в почвах, загрязненных нефтью спустя 12 лет после проведения рекультивации. На контрольном участке зарегистрировано 12 видов ногохвосток, отмечен весь спектр их жизненных форм. На экспериментальном участке с применением различных способов рекультивации выявлено 20 видов с преобладанием поверхностно-обитающих форм и полным отсутствием эуэдафических.

Ключевые слова: ногохвостки, торфяные почвы, нефть, Республика Коми.

Коллемболы являются одной из самых многочисленных и широко распространенных групп среди почвенных организмов особенно на Севере. В регионах с интенсивным антропогенным нарушением, они часто остаются единственной группой, по которой можно судить о степени воздействия на почву, поскольку они чувствительны к изменениям окружающей среды. Однако работ по влиянию нефтяных загрязнений на таксоцены ногохвосток немного, и в основном они касаются южных территорий России или южных стран [1, 2]. Осенью 1994 г. на территории Усинского района (Республика Коми) произошла авария на магистральном трубопроводе с выбросом в окружающую среду от 60 до 270 тыс. т сырой нефти [3]. В связи с высокой сорбционной емкостью почвы (особенно торфов) по отношению к нефти и ее компонентам, нефтяные углеводороды способны длительное время аккумулироваться, существенно изменяя химические, физические и биологические свойства почв. Попадая в почву, нефть и нефтепродукты оказывают токсическое воздействие на активность почвенной микробиоты, растений и животных [3]. Поэтому целью наших исследований была оценка сообществ коллембол в тундровых почвах, загрязненных нефтью в результате аварийного разлива 1994 г. и рекультивированных разными способами.

Исследования проводили на территории участка Возей–Головные сооружения (66°37' с. ш., 57°07' в. д., Республика Коми). Работы по рекультивации данной территории проводились разными способами, среди которых нами рассмотрены 8 вариантов (табл.). На каждой площадке и фоновом участке было отобрано по 10–12 проб размером 5 x 5 см в августе 2014 г. спустя 12 лет после проведения рекультивации. Для оценки численности коллембол экстракцию осуществляли по общепринятой методике с использованием эклекторов Берлезе–Тульгрена в 96%-ном спирте в течение 7–10 дней – времени, достаточного для достижения воздушно-сухого состояния почвы. Жизненные формы коллембол выделяли по системе С. К. Стебаевой [4].

Таблица

#### Общая характеристика объектов исследования

Площадка	Биопрепараты	Удобрения	Высеянные травы
1	2	3	4
П4	«Универсал»	минеральные	<i>Phleum pratense</i> L., <i>Bromus inermis</i> Leyss., <i>Agrostis gigantea</i> Roth, <i>Avena sativa</i> L.
П6	«Универсал»	лигносорбент	<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.) P. Beauv.
П9	«Родер»	минеральные	<i>Phalaroides arundinacea</i> L., <i>Phleum pratense</i> L., <i>Avena sativa</i> L.
П5	«Омуг»	минеральные и органические	<i>Phleum pratense</i> L., <i>Avena sativa</i> L.
П1	«Петролан»	минеральные	<i>Phalaroides arundinacea</i> L., <i>Agrostis gigantea</i> Roth, <i>Phleum pratense</i> L., <i>Tripholium pratense</i> L.

1	2	3	4
П8	«Деконтам-3»	минеральные и компост	<i>Phleum pratense</i> L., <i>Avena sativa</i> L.
П7 АМ	нет	минеральные	<i>Phleum pratense</i> L., <i>Avena sativa</i> L.
П2 К	нет	нет	нет

Примечание: АМ – агрохимические методы, К – контроль.

В результате наших исследований всего на экспериментальном участке с применением различных методов рекультивации обнаружено 20 видов коллембол. Однако число видов внутри площадок варьирует от 2 на П8 до 8 на П9, в то время как на фоновом участке зарегистрировано 12 видов. При этом видовой состав коллембол экспериментального участка очень сильно отличается от фонового. Подобная картина была отмечена и другими авторами [5, 6], что может быть связано с различным растительным покровом или структурированностью почвы. В целом, на площадках с применением различных способов рекультивации выявлены космополитные и широко распространенные виды ногохвосток, среди которых доминируют *Desoria hiemalis*, *Ceratophysella succinea*, *Friesea truncata*.

Спектр жизненных форм ногохвосток, как один из показателей стабильности протекающих экологических процессов в наземных экосистемах [7], выявил преобладание поверхностно-обитающих видов, на долю которых приходится 89–100% и полное отсутствие почвенных форм на экспериментальном участке, что свидетельствует об экстремальности условий окружающей среды. Напротив, на фоновом участке обнаружен весь спектр жизненных форм.

Известно, что загрязнение нефтью элиминирует население коллембол в течение первых нескольких дней, что приводит к сокращению численности в 4–10 раз [5]. Наши результаты показали, что плотность ногохвосток на экспериментальном участке спустя 12 лет после проведения рекультивации в 3–30 раз ниже по сравнению с фоновым (21 тыс. экз./м<sup>2</sup>). Наибольшая численность отмечена на П7 (7,5 тыс. экз./м<sup>2</sup>), где использовались агрохимические методы, а также на П6 (5 тыс. экз./м<sup>2</sup>) с применением препарата «Универсал» и П9 (5,9 тыс. экз./м<sup>2</sup>) с применением препарата «Родер». Такая низкая плотность ногохвосток на рекультивированных площадках может быть связана с изменением состава и обилия микроорганизмов, являющихся основным их источником питания. Таким образом, использование биопрепаратов «Универсал», «Родер», а также агрохимических мероприятий оказались более эффективными спустя 12 лет после рекультивации.

*Работа выполнена при финансовой поддержки РФФИ № 18-29-05028 МК «Биологические способы ликвидации аварийных разливов нефти в условиях европейской Субарктики: роль микробиологических препаратов, биорекультивация, оценка эффективности, динамика экосистем».*

#### Библиографический список

1. Ecosystem engineers in a self-organized soil: a review of concepts and future research questions / P. Lavelle, A. Spain, M. Blouin, G. Brown, H. Decaëns, M. Grimaldi, J. J. Jiménez,

D. McKey, J. Mathieu, E. Velasquez, A. Zangerlé // Soil Sci. 2016. Vol. 181. P. 91–109. doi: 10.1097/SS.0000000000000155

2. Кузнецова Н. А. Организация сообществ почвообитающих коллембол. М. : Прометей, 2005. 243 с.

3. Маслов М. Н., Маслова О. А., Ежелев З. С. Микробиологическая трансформация органического вещества в нефтезагрязненных тундровых почвах после рекультивации // Почвоведение. 2019. № 1. С. 70–78. doi: 10.1134/S0032180X19010106

4. Стебаева С. К. Жизненные формы ногохвосток (Collembola) // Зоол. журн. 1970. Т. 49. вып. 10. С. 1437–1455.

5. Утробина Н. М., Орлов О. И., Артемьева Т. И. Влияние загрязнения почвы нефтью на коллембол // Фауна и экология ногохвосток (Collembola). М. : Наука, 1984. С. 172–179.

6. Артемьева Т. И. Комплексы почвенных животных и вопросы рекультивации техногенных территорий. М. : Наука, 1989. 111 с.

7. Functional traits as indicators of biodiversity response to land use changes across ecosystems and organisms / M. Vandewalle, F. De Bello, M. P. Berg et al. // Biodiversity and Conservation. 2010. Vol. 19. P. 2921–2947. doi: 10.1007/s10531-010-9798-9

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПУЛЯЦИИ ОЛЕНЬКА ОБЫКНОВЕННОГО В УСЛОВИЯХ КРУПНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА

Т. А. Гордиенко<sup>1</sup>, С. Г. Гордиенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, [eiseniata@gmail.com](mailto:eiseniata@gmail.com)

<sup>2</sup> Частная школа-лицей им. Н. И. Лобачевского, [eiseniata@gmail.com](mailto:eiseniata@gmail.com)

Работа посвящена исследованиям устойчивой популяции жука оленька обыкновенного, занесенного в Красную книгу Республики Татарстан, в парке отдыха г. Казани в 2018–2019 гг. Установлено, что существует годовая динамика оленька, что обусловлено погодно-климатическими условиями. В 2018 г. наибольшая активность жуков отмечена в июле, в 2019 г. – в конце мая и первой половине июня. Жук оленек проявил преадаптационное свойство, которое отразилось в смещении на месяц и уменьшением продолжительности активности в 2019 г. из-за похолодания в середине и конце лета.

Ключевые слова: оленек обыкновенный, сезонная активность, погодно-климатические условия, преадаптационное свойство.

Исследования жука оленька обыкновенного *Dorcus parallelipedus* Linnaeus, 1758 г. из семейства Рогачи Lucanidae рода Оленьки *Dorcus* [1] проводили в городском парке «Крылья Советов» в г. Казани в вегетационный период в течение двух лет 2018–2019 гг. Территория парка (32 га) ограничена улицами О. Кошевого на севере, Копылова на западе и Дементьева на востоке с активным движением автотранспорта. На самой территории расположены стадионы, развлекательные, игровые, тренажерные и концертная площадки, она подвержена сильной рекреационной нагрузке. Сбор жуков проводили на беговой асфальтированной дорожке длиной 1300 м при ширине 3 м (площадь 3,9 га) (рис. 1). С практически ежедневной периодичностью учитывали жуков на до-

рожке в вечернее время (с 17.00 до 20.00) с мая по сентябрь (в 2018 г. – 65 учетных дней, в 2019 г. – 92 дня). Среди учтенных оленьков в большей мере преобладали погибшие особи (80,5–80,9%). Живых особей выпускали в отдалении от дорожки. Всего в первый год на маршруте было учтено 143 особи, во второй – 124.

Древесный состав флоры парка разнообразен, здесь произрастают виды средней полосы России: в первом ярусе преобладают черный тополь (осокорь) и липа мелколистная, реже клен ясенелистный, береза повислая; во втором ярусе встречаются клены ясенелистный и остролистный, ясень обыкновенный, рябина обыкновенная, яблоня садовая, а также значительно реже ель европейская, ель колючая (голубая) и сосна обыкновенная.

Оленек обыкновенный имеет широкий ареал распространения – Европа с Англией и Ирландией, до южной Швеции и берегов Балтийского моря, южные части Латвии и Беларуси, Турция, северный Иран, Марокко [2]. В европейской части России встречается на севере до Смоленска, Тулы, Рязани, Республики Татарстан (РТ) и до предгорий Уральского хребта, южная граница распространения проходит по берегам Черного моря, с Крымом и Кавказом.



Рис. 1. Карта-схема района исследования

Жук обитает в лиственных и смешанных лесах [2]. Личинки развиваются в мягкой гниющей и мертвой древесине лиственных деревьев, таких как дуб, вяз, клен, тополь, липа, береза, осина. По некоторым данным оленек питается соками деревьев. Активный образ жизни он ведет летом в сумерках и в первой половине ночи. Время лета с апреля по октябрь. Зимует в имагинальной стадии.

Оленек обыкновенный впервые был внесен в Красную книгу Республики Татарстан в 1995 г. (III категория) как редкий вид с ограниченным местообитанием [3]. С той же категорией, но более широкой информацией о местах встреч, оленька заносили в последующие издания Красной книги РТ [2, 4]. Жук включен

в список охраняемых насекомых Удмуртии [5], Чувашии [6], Казахстана [7], Латвии (включен во 2-ю категорию), Швеции (включен во 2-ю категорию) [2].

Оленек обыкновенный встречается локально и небольшими скоплениями на всей территории РТ [2], однако численность его низкая. Однако в парке в таком высоком обилии нами был встречен впервые, причем, на небольшой изолированной территории с высокой рекреационной нагрузкой.

В первый год исследования его динамическая активность была растянута на четыре месяца с мая по сентябрь, последняя встреча оленька отмечена 6 сентября. Пики численности жука наблюдали в начале июня и в середине июля, средняя уловистость в июне-июле составила соответственно 2,8 и 3,1 особи/день.

В последующий 2019 г. в конце мая месяца произошел всплеск активности оленька, который продолжался в течение первой декады июня, затем наблюдался постепенный спад активности вплоть до середины июля. Только три раза в последующее время был найден жук на дорожке – два раза в конце июля и один в середине августа. Затем жука не встречали совсем.

В целом, отмечен сдвиг динамической активности жука на месяц, что, по нашему мнению, связано с погодно-климатическими условиями периода наблюдения. Жуки в мае и начале июня были наиболее активны, так как температура воздуха в этот период была выше и благоприятнее для их жизнедеятельности, чем в 2018 г., а далее она стала резко снижаться, что отразилось на поведении жука. Оленек обыкновенный проявил преадаптационное свойство к похолоданию в последующие летние месяцы, поэтому пик его наибольшей активности пришелся на более раннее время и был менее продолжительным.

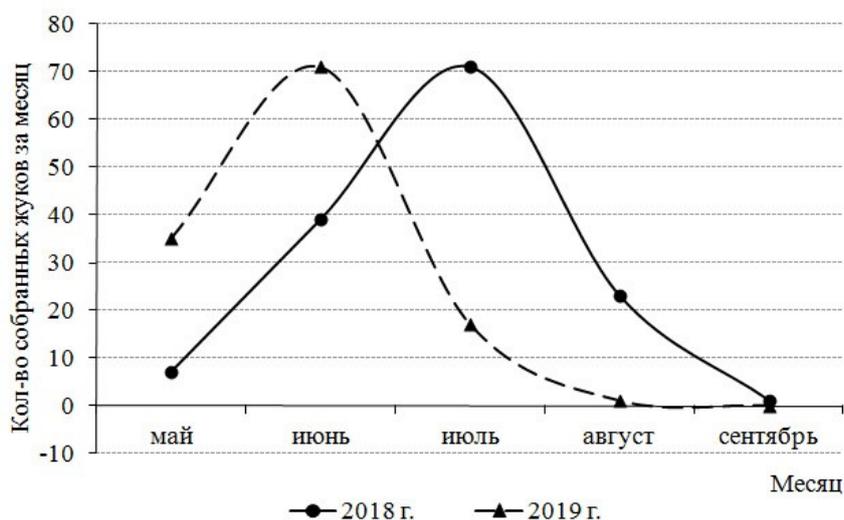


Рис. 2. Сезонная динамика активности оленька обыкновенного в 2018–2019 гг. на территории парка отдыха г. Казани

Ранговый коэффициент корреляции ( $r$  Спирмена) между подекадной температурой воздуха и средней динамикой уловистости жука (экз./день) соответствовал средней силе связи 0,43 (при  $p > 0,05$ ) и 0,68 (при  $p < 0,05$ ) соответственно в 2018 и 2019 гг. Аналогичный анализ с суммой жуков, учтенных за де-

каду, показал более сильную зависимость – 0,63 и 0,69, соответственно (при  $p < 0,05$ ).

В популяции жука оленька в 2018 г. соотношение полов было примерно одинаковым (1,1:1 самцов и самок), в последующий год наблюдалось некоторое преобладание самок (1:1,2). Преобладание в популяции самок свидетельствует о ее удовлетворительном состоянии.

Таким образом, на территории парка «Крылья Советов» г. Казани обитает многочисленная устойчивая популяция редкого вида оленька обыкновенного для Республики Татарстан. Вследствие различных погодных-климатических условий 2018–2019 гг. наблюдалось смещение динамики активности жука на месяц и ее сжатие в сроках. Активны они были с мая по начало сентября в 2018 г. и по середину августа 2019 г. Наибольшая их активность наблюдалась в июле 2018 г. и июне 2019 г. Установлена прямая средней силы зависимость динамической активности оленька обыкновенного от температуры воздуха.

#### **Библиографический список**

1. Моисеев Б. М. Определитель насекомых Европейской части СССР. М. : Просвещение, 1976. 304 с.
2. Красная книга Республики Татарстан: животные, растения, грибы. изд. 3-е. Казань : Идел-Пресс, 2016. 760 с.
3. Красная книга Республики Татарстан: животные, растения, грибы. Казань : Природа, ТОО «Стар», 1995. 454 с.
4. Красная книга Республики Татарстан: животные, растения. изд. 2-е. Казань : Идел-Пресс, 2006. 832 с.
5. Красная книга Удмуртской республики [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.iz-article.ru/kr\\_kn000\\_3.php](https://www.iz-article.ru/kr_kn000_3.php) (дата обращения 16.03.2020)
6. Красная книга Чувашской республики. [Электронный ресурс]. – URL: <http://redbook21.ru/517-dorcus-parallelipipedus.html> (дата обращения 16.03.2020)
7. Красная книга Казахстана. Т. 1. Животные. Часть 2. Беспозвоночные. изд. 3-е. Алматы : Онер, 2006. 232 с.

### **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ БИОТОПОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРНИТОЦЕНОЗОВ НА ПРИМЕРЕ ГОРЫ СЕМИРОДНИКИИ (КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССИЯ)**

*Т. А. Сурнина, А. В. Аринина*

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, tani-411@yandex.ru*

Экологический мониторинг состояния окружающей среды занимает неотъемлемую часть в современных исследованиях. Орнитоценоз может выступать одним из инструментов биоиндикации. Изучение видового, количественного состава птиц позволяет оценить состояние различных по степени урбанизации ландшафтов.

Ключевые слова: мониторинг, орнитофауна, горная территория.

Горные территории Кавказа – уникальный природный объект, требующий постоянного изучения всех его компонентов. Контрастный рельеф, резкие климатические изменения и различная по степени антропогенная нагрузка влияет на биоту обширных горных территорий. Показатели относительного обилия и видового разнообразия авифауны являются важной характеристикой при оценке степени экологического своеобразия местообитаний [1]. Об использовании птиц в оценке изменений, происходящих в природе под воздействием человека, писали И. В. Дьяконова и А. Ю. Околелов [2], А. Н. Соловьёв [3]. Целью нашего исследования было изучение особенностей распределения авифауны в зависимости от степени антропогенной нагрузки.

Наблюдения проводили методом линейного маршрутного учета использовали ширины полосы [4] в начале летнего периода 2017–2019 гг. Были исследованы территории пос. Нижний Архыз Зеленчукского района республики Карачаево-Черкесия и горная местность, прилегающая к поселку. В горной местности на высоте 2500 м был заложен 1 маршрут (протяженность 9,025 км). Наблюдения проводили в утренние часы (с 9 до 13 часов). Он охватил разнообразные биотопы. Северная часть маршрута проходит через Северо-Кавказскую астрономическую станцию (СКАС) КФУ, которая включает зарастающий мелколиственными деревьями высоту Пуп Келдыша (2045 м), лишенный древесной растительности Грузинский холм (2295 м) и заканчивается наивысшей точкой – горой Пастухова (2733 м над у. м.). По бокам маршрут ограничен ущельями с долинами рек. Территория испытывает антропогенную нагрузку в виде воздействия выпаса скота, пешего и конного туризма, автотранспорта. У подножия гор заложено 2 маршрута: в черте поселка Нижний Архыз (протяженность 1,122 км) и в Аланском городище (2,26 км). Аланское городище – археологический памятник X–XII веков, остатки крупного аланского поселения, непосредственно примыкающего к поселку – Аланское городище. От шоссе с оживленным движением автотранспорта городище отделяет река Большой Зеленчук. Городище ежедневно посещают группы туристов и паломники, изредка проезжает легковой транспорт.

Плотность орнитофауны рассчитали по формуле Ю. С. Равкина (1967):  $P = (N_1 \cdot 40 + N_2 \cdot 10 + N_3 \cdot 3 + N_4) / L$ . Видовое богатство рассчитали по индексам Маргалефа и Шеннона-Уивера.

На исследуемой горной территории отмечено 70 видов, относящихся к 19 семействам. Наибольшее количество особей принадлежат семейству вьюрковые (*Fringillidae*) и славковые (*Sylviidae*) – по 10 видов (14%). Так же многочисленно семейство ястребиные (*Accipitridae*) – 9 (13%). По доли участия видов в населении можно выделить 3 группы: доминантные – 2 вида: горный конек *Anthus spinoletta* – 146 особей (16,19%) и московка *Parus ater* – 136 особей (15,08%). Их суммарная доля участия составляет 31,27%; субдоминантные – 12 видов с суммарной долей участия 38,36%: зеленая пеночка *Phylloscopus trochiloides* – 48 (5,32%), обыкновенная чечевица *Carpodacus erythrinus* 32 (3,55%), городская ласточка (воронок) *Delichon urbica* – 30 (3,33%), пеночка-теньковка *Phylloscopus collybita* – 30 (3,33%), дрозд деряба *Turdus viscivorus* – 30 (3,33%), королевский (корольковый) вьюрок *Serinus pusillus* – 28 (3,1%), аль-

пийская галка *Pyrhacorax graculus* – 26 (2,88%), буроголовая гаичка (Пухляк) *Parus montanus* – 26 (2,88%), обыкновенный клест *Loxia curvirostra* – 26 (2,88%) белозобый дрозд *Turdus torquatus* – 24 (2,66%), щегол *Carduelis carduelis* 24 (2,66%), зяблик *Fringilla coelebs* – 22 (2,44%); второстепенные виды – 56 видов с долей участия 46,56%. По плотности населения можно выделить многочисленые виды: московка *Parus ater* – 203,89 особи/км<sup>2</sup>, городская ласточка (воронка) *Delichon urbica* – 132,96 особи/км<sup>2</sup>, зеленая пеночка *Phylloscopus trochiloides* – 110,36 особи/км<sup>2</sup>, буроголовая гаичка (Пухляк) *Parus montanus* – 108,59 особи/км<sup>2</sup> и обычные виды – 66 видов.

Фауногенетический анализ выявил принадлежность орнитофауны к 8 типам: транспалеарктическому, сибирскому, тибетскому, арктическому, монгольскому, средиземноморскому, европейскому и китайскому. Большинство видов относится к европейскому типу фауны – 27 видов (38,6%) и транспалеарктическому типу – 25 (35,7%). Пространственная структура орнитоценозов образуется при участии следующих групп. По месту расположения гнезд выделено 5 ярусов: на земле, в кронах деревьев, на кустарниках, в дуплах и антропогенное. Наибольшее количество видов гнездится в кронах деревьев – 21 вид (30%) и на земле – 19 видов (27,1%). По биотопической приуроченности половина видов 35 (50%) принадлежит к лесопушечному комплексу. Виды относятся к четырем типам питания: питающиеся беспозвоночными 46 видов (65,7%), позвоночными животными 11 видов (15,7%), растительной пищей 4 вида (5,7%) и имеющие смешанное питание 9 видов (12,9%). По приуроченности мест добытия корма было выделено 5 ярусов питания: земля – 36 видов (51,4%), крона – 18 (25,7%), куст – 10 (14,3%), воздух – 5 (7,2%), ствол – 1 (1,4%). Индекс видового богатства Маргалефа – 10,15. Индекс Шеннона – 3,39. Своеобразные на такой высоте не зарегистрированы. Гнездятся следующие, включенные в Красную книгу России, виды: курганник *Buteo rufinus*, малый подорлик *Clanga pomarina*, черный гриф *Aegypius monachus*, белоголовый сип *Gyps fulvus*, бородач *Gypaetus barbatus*, стервятник *Neophron percnopterus*, змеяд *Circaetus gallicus*, беркут *Aquila chrysaetos*. В течение трех сезонов встречался сапсан *Falco peregrinus*. Отмечена единичная встреча клушицы *Pyrhacorax pyrrhacorax*. На высоте примерно 2200 метров находится колония альпийской галки *Pyrhacorax graculus*.

Видовое богатство орнитофауны горной территории высокое, что объясняется мозаичностью и разнообразием биотопов. По сравнению с другими маршрутами обладает большей встречаемостью дневных хищников.

Летняя орнитофауна пос. Нижний Архыз состоит из 16 видов птиц, относящихся к 10 семействам. Наибольшее количество видов относится к семейству дроздовые (*Turdidae*) – 3 вида (18,75%) и синицевые (*Paridae*) – 3 вида (18,75%). Долю видов, обитающих на урбанизированной территории можно разделить на 2 группы: доминантные – 2 вида: домовый воробей *Passer domesticus* – 42 особи (29,37%) и городская ласточка (воронка) *Delichon urbica* – 31 особь (21,68%). Их суммарная доля составляет 51,05%; второстепенные виды – 14 видов с долей участия 48,95%. Общая плотность населения – 1274,5 особи/км<sup>2</sup>. К многочисленным видам по плотности населения относятся:

домовый воробей *Passer domesticus* – 374,3 особи/км<sup>2</sup> и городская ласточка (воронка) *Delichon urbica* – 276,3 особи/км<sup>2</sup>.

Фауногенетический анализ показал принадлежность авифауны к 6 типам: транспалеарктическому, сибирскому, монгольскому, средиземноморскому, европейскому и китайскому. Большинство видов относится к европейскому типу фауны 8 видов (50%). Пространственная структура образуется при делении видов по месту расположения гнезд и биотопической приуроченности. Выделено 4 яруса гнездования: антропогенное гнездование является доминантным, к нему относится 6 видов (37,5%); дуплогнездные – 5 видов (31,25%); кроногнездные виды – 4 (25%) и наземногнездящиеся – 1 вид (6,25%). По биотопической приуроченности доминирует синантропный и лесопушечный экологический комплекс по 6 видов (37,5%). Так же 4 вида (25%) относятся к лесному комплексу. Доминирующим типом питания является питание безпозвоночными – 12 видов (75%). Смешанное питание имеют 3 вида (18,75%) и растительноядный 1 вид (6,25%). По приуроченности мест кормодобывания было выделено 3 яруса питания: земля – 8 видов (50%), крона – 5 (31,25%), воздух – 3 (18,75%). Индекс видового богатства Маргалёфа – 3,02. Индекс Шеннона – 2,23.

Территория поселка испытывает значительную антропогенную нагрузку, на которой сформирована урбанизированная орнитофауна. В данном биотопе отмечено наименьшее количество видов, для которых характерна очень высокая плотность.

На территории Аланского городища было встречено 30 видов птиц, относящихся к 10 семействам. Наибольшее количество особей принадлежит семейству славковые (*Sylviidae*) – 11 видов (36,7%). Доминантами по численности особей является деревенская ласточка *Hirundo rustica* – 24 особи (15,6%) и зяблик *Fringilla coelebs* – 18 особей (11,6%). Их суммарная доля участия составляет 27,2%. Виды субдоминанты: певчий дрозд *Turdus philomelos* – 14 особей (9,1%), большая синица *Parus major* – 12 особей (7,8%), болотная камышевка *Acrocephalus palustris* – 10 (6,5%). Суммарная доля участия 23,4%. На долю второстепенных видов приходится 25 видов (49,4%). Общая плотность авифауны – 1350,5 особи/км<sup>2</sup>. Многочисленными видами по плотности населения являются деревенская ласточка *Hirundo rustica* – 424,8 особи/км<sup>2</sup> и большая синица *Parus major* – 212,4 особи/км<sup>2</sup>.

Фауногенетический анализ показал принадлежность авифауны к 4 типам: транспалеарктическому, европейскому, монгольскому, китайскому. Большинство видов относится к европейскому типу фауны – 20 видов (66,7%). Выделено 5 ярусов гнездования. Доминирующим типом является гнездование на кустарниках – 11 видов (36,7%). Также многочисленны кроногнездные виды – 9 (30%). По биотопической приуроченности половина видов относится к лесопушечному экологическому комплексу – 15 (50%). Отмечено 4 типа питания: доминирует питание б/п – 25 (83,3%), смешанное питание имеют 4 вида (13,4%) и растительноядные 1 вид (3,3%). По приуроченности мест корма было выделено 5 ярусов питания: земля – 12 (40%), кустарники – 10 (33,4%), крона – 6 (20%) и воздух и ствол 1 вид (3,3%). Индекс видового богатства Маргалёфа – 5,8. Индекс Шеннона – 3.

Маршрут, пролегающий через Аланское городище, проходит по грунтовой дороге, по сторонам которой густые лиственные деревья, среди которых одичавшие культурные растения перемежаются с открытыми пространствами. Это объясняет доминирующее количество видов, относящихся к лесоопушечному экологическому комплексу. На территории находятся как древние сооружения, так и относительно современные небольшие постройки. Преобладание густой кустарниковой и древесной растительности, открытые луга с обилием беспозвоночных и река сформировали богатый видами орнитокомплекс.

Таким образом, наибольшим видовым богатством обладает горная территория с высокой мозаичностью биотопов. Горная территория испытывает различную по характеру и степени воздействия антропогенную нагрузку, которая в целом ниже, чем у подножия. На данном маршруте было отмечено 70 видов птиц с доминирующим европейским типом фауны. Присутствие синантропных видов свидетельствует о трансформации естественных биотопов.

Умеренное антропогенное воздействие в виде немногочисленных экскурсий не оказывает отрицательного воздействия на орнитофауну Аланского городища и является тем случаем, когда деятельность человека способствует увеличению видового богатства орнитофауны, так как постройки стали нишами для укрытия и гнездования.

Высокой плотностью но самым низким видовым богатством (2,2, по Шеннону) обладает территория поселка Нижний Архыз. Испытывающая значительную антропогенную нагрузку городская территория характеризуется доминированием антропогенных видов. На данном маршруте были отмечены типичные виды антропогенного ландшафта – сизый голубь *Columba livia*, домовый воробей *Passer domesticus*, городская ласточка *Delichon urbica*, являющиеся доминантами. Птицы активно селятся в домах и парках, пропитание находят в поселке и на прилегающих долинах.

Проверка на достоверность отличий по Шеннону показала, что у всех трех биотопов есть значимые отличия при  $\alpha=0,001$ .

Таким образом, эколого-фаунистическая характеристика орнитоценозов отражает степень антропогенного воздействия: с увеличением антропогенной нагрузки возрастает плотность орнитонаселения и доля синантропных видов, снижается видовое богатство.

*Исследования проведены при поддержке Казанского (Приволжского) федерального университета.*

#### **Библиографический список**

1. Эколого-биологический мониторинг урбоэкосистем / А. Ю. Левых, Г. Г. Пузынина, А. В. Ермолаева, А. В. Иванкова, Д. О. Шерер // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 1(8). С. 1890–1894.
2. Дьяконова И. В. Околелов А. Ю. Население птиц как показатель качества среды // Вестник Томского государственного университета. 2014. Т. 19. Вып. 5. С. 1272–1275.
3. Соловьёв А. Н. Биоиндикационное значение птиц в современных условиях // Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства. 2012. Вып. 1. С. 236–237.

4. Равкин Ю. С. К методике учета птиц лесных ландшафтов // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск, 1967. С. 66–75.

## **МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ЗООПЛАНКТОНА ГОРОДСКОГО ВОДОЕМА, ПОДВЕРГШЕГОСЯ ОЧИСТКЕ БИОПРЕПАРАТОМ**

*И. Ю. Ершов, С. А. Курбатова*

*Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, [ershov@ibiw.ru](mailto:ershov@ibiw.ru)*

Проведены четырехлетние наблюдения за динамикой растительности и зоопланктона в пруду в период применения биопрепарата для улучшения качества воды и в последующие годы. Показано, что позитивный эффект имел кратковременный характер. С учетом взаимосвязей всех уровней экосистемы рекомендовано сочетание применения биопрепаратов с механической очисткой.

Ключевые слова: водная растительность, зоопланктон, хлорофилл, трофность, сапробность, очистка воды, биопрепараты.

Одним из способов улучшения состояния небольших водоемов в последние годы стало применение биопрепаратов («Микрозим Понд Трит», «Биоклин Понд Кларифаер» и т. п.). Эти препараты содержат комплекс микроорганизмов, которые, попадая в водоем, начинают использовать избыточную органику, преобразуя ее в неорганические соединения. Предполагается, что применение биопрепаратов способствует интенсификации процессов самоочищения водоема, в результате чего должна увеличиться прозрачность воды и уменьшиться толщина иловых отложений. Внесение изменений в любое звено водной экосистемы неизбежно отражается на структуре и функционировании всех ее уровней. Исследования высшей водной растительности и зоопланктона водоемов, подвергшихся обработке биопрепаратом, ранее не проводили. Цель работы – осуществить мониторинг растительности и зоопланктона в водоеме в период применения биопрепарата и в последующие годы, а так же оценить эффективность мероприятий по биологической очистке, используя структурные показатели изучаемых сообществ.

Наблюдения проводили в течение четырех лет (2008–2011 гг.) в пруду парковой зоны г. Ярославля (57°35'1"N, 39°51'6"E). Площадь пруда составляет ~ 4 га. Преобладающие глубины 1,5–2,5 м. Грунты по механическому составу глинистые, покрытые черным илом с множеством растительных остатков, образованных водными растениями и опадом древесных насаждений, расположенных по берегу. Питание пруда осуществляется за счет грунтовых вод и поверхностного стока с окружающей местности. Уровень воды в вегетационный период изменяется незначительно. Из-за неудовлетворительного качества воды, которая время от времени становилась мутно-серой с гнилостным запахом, в 2008 и в 2011 гг. проводили мероприятия, направленные на улучшение качества воды, путем внесения биопрепарата.

Материалы о динамике растительности были получены путем натуральных наблюдений: составлением повторных описаний, фотографированием и картированием [1].

За период наблюдений отметили 29 видов водных и околоводных растений. На исследуемом участке описаны сообщества классов *Potametea*, *Lemnetea* и *Phragmitetea* ассоциаций *Elodeetum canadensis*, *Potametum perfoliati*, *Ceratophylletum demersi*, *Lemnetum trisulcae*, *Lemno-Spirodeletum*, *Persicarietum amphibii*, *Typhetum latipholiae*, *Sparganietum erecti*, *Butometum umbellate*, *Eleocharitetum palustris*, *Oenanthro-Rorippetum*, *Sagittario-Sparganietum emersi* (суб-асс. *sagittarietosum*), *Equisetetum fluviatilis*, *Cicuto-caricetum pseudocyperi*.

Наибольшего развития в водоеме достигали погруженные растения. Степень зарастания акватории пруда гидрофитами *Elodea canadensis*, *Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton perfoliatus* составляла около 80%. Для этих видов характерен интенсивный рост и обмен веществ, повышенное требование к содержанию минеральных соединений в воде и грунтах [2]. Известно [3], что *E. canadensis* и *C. demersum* обильно развиваются в водоемах с постоянным, но умеренным притоком биогенных веществ. *P. perfoliatus* хорошо вегетирует в условиях умеренного эвтрофирования и исчезает при интенсивном [2].

Сообщества укорененных растений с плавающими на поверхности воды листьями развивались слабо.

Ценозы прибрежных растений из-за особенностей морфометрии берегов занимали малые площади. Небольшие куртины находились в угнетенном состоянии из-за постоянного антропогенного механического пресса. Замечено [2], что продуктивность и жизненность популяций некоторых видов воздушно-водных растений (*Equisetum fluviatile*, *Rorippa amphibia*, *Sium latifolium*, *Typha latifolia*, *Cicuta virosa*) резко снижается при усилении эвтрофирования водоемов. Повышенная трофность воды и грунтов исследуемого пруда, наряду с механическим воздействием, возможно, объясняет угнетенное состояние этих геллофитов.

Значительных изменений растительности пруда за четырехлетний период не наблюдали. Внесение биопрепаратов не изменило в существенной степени структуру высшей водной растительности. Доминирование видов-«эвтрафентов» позволяет предположить, что трофический статус водоема остался высоким.

Интенсивность развития водорослей оценивали по содержанию хлорофилла *a* [4]. Концентрация хлорофилла *a* в воде за период наблюдений изменялась значительно и составляла от 2 до 67 мкг/л. В конце вегетационного сезона первого года применения биопрепарата (2008) в октябре, несмотря на низкую температуру воды (8 °С), фиксировали значительную концентрацию пигмента (50,7 мкг/л). На второй год (2009) концентрация хлорофилла *a* не достигала больших значений и менялась в пределах 2–12 мкг/л. В последующие годы содержание хлорофилла *a* вновь возросло до значений, обычно свойственных эвтрофным водам. В августе 2010 г. регистрировали 67 мкг/л хлорофилла *a*, в августе 2011 г. – 46 мкг/л.

Пробы зоопланктона отбирали один раз в месяц: в 2008 г. через 2 недели после первого внесения препарата с июля по октябрь, в 2009 г. с июня по сентябрь, в 2010 г. в июне–августе, в 2011 г. в августе. Зоопланктон концентрировали из 50 л прудовой воды, процеживая через сито с ячейей 64 мкм, и фиксировали в 4%-ном формалине. Определяли видовой состав зоопланктона, его численность и биомассу. По показателям зоопланктона рассчитывали степень трофии [3, 5] и индекс сапробности [6].

Всего в пробах зоопланктона отметили 28 видов Rotifera, 18 – Cladocera и 8 – Copepoda. Увеличение общего количества видов происходило в августе–сентябре из-за возрастания разнообразия коловраток и появления рачков сем. Chydoridae. Численность зоопланктона изменялась в пределах 99–682 тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомасса 129,4–3302,4 мг/м<sup>3</sup>. В октябре первого года применения биопрепарата (2008) регистрировали вспышку численности и биомассы зоопланктона (2128 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 31570,2 мг/м<sup>3</sup>), обусловленную массовым развитием коловраток *Asplanchna priodonta*, *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, *Polyarthra vulgaris*. В июле следующего года (2009) отмечали второй пик (2112 тыс. экз./м<sup>3</sup>, 5980,9 мг/м<sup>3</sup>). В этот период в равном количестве в планктоне развивались веслоногие рачки младших возрастных стадий и коловратки *Keratella quadrata*, *K. cochlearis*, *Asplanchna priodonta* и *Brachionus calyciflorus*. В первый год наблюдений доля ветвистоусых ракообразных не достигала 1% общей численности зоопланктона. В последующем она увеличилась и в среднем за сезон составляла в разные годы от 20 до 29%. Наибольшую численность среди Cladocera фиксировали для *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia quadrangula*, *Chydorus sphaericus*, *Diaphanosoma brachyurum* и *Polyphemus pediculus*.

В целом, структуре зоопланктона исследованного водоема свойственны черты сообщества эвтрофных водоемов [7]: значительная доля коловраток, мелкие размеры ракообразных и уменьшение средней индивидуальной массы зоопланктона, обильное развитие видов-индикаторов эвтрофных условий – *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Brachionus quadridentatus*, *B. calyciflorus*, *Keratella quadrata*. К положительным изменениям в зоопланктоне после внесения биопрепарата можно отнести увеличение в сообществе доли ветвистоусых ракообразных. Показатели степени трофии, рассчитанные по зоопланктону, подтверждают статус пруда как эвтрофного водоема. Максимальные значения индексов рассчитаны в 2008 г. (в среднем за сезон 4 по Мяэметс и 4,6 по Наккари), что характеризует условия в водоеме как высокоэвтрофные, а иногда как гипертрофные. В последующие годы наблюдений индексы трофии снизились (1–1,5 по Мяэметс и 1–3,9 по Наккари).

Индекс сапробности, оцененный по зоопланктону, в большинстве случаев принимал значения от 1,4 до 1,6, что отражает β-мезосапробные условия [6].

Суммируя результаты мониторинга высшей водной растительности, фитопланктона и зоопланктона, можно заключить, что и после внесения биопрепарата водоем остался высокотрофным. Некоторые позитивные тенденции отметили на следующий год после применения биопрепарата, но затем вновь появились свидетельства увеличения трофии.

Функционирование всех сообществ водных экосистем взаимосвязано. При добавлении бактериального препарата происходит интенсификация круговорота биогенных веществ, но из экосистемы они не «уходят» и вновь включаются в следующий цикл внутри системы. Это подтверждает зарегистрированное в октябре первого года наблюдений увеличение концентрации хлорофилла в воде и одновременно значительный рост численности коловраток. Высшие водные растения конкурируют с фитопланктоном за питательные вещества. Вспышка численности фитопланктона, вероятно, происходит, когда гидрофиты не справляются с биогенной нагрузкой. В последующем, очевидно, существенное количество биогенных веществ перешло из толщи воды в грунт, чему способствовали наступление холодного периода и завершение вегетационного сезона. Поэтому на следующий год отмечали более низкие концентрации хлорофилла *a* и уменьшение показателей степени трофии по зоопланктону. Однако биогенные вещества из грунта изымаются погруженными укорененными растениями (элодеей, рдестом) и в процессе прижизненного метаболизма гидрофитов и после их отмирания вновь попадают в воду [8]. Кроме того, немалый вклад в обогащение воды биогенными веществами вносят рыбы, которые в результате жизнедеятельности выделяют соединения азота и фосфора [9], активно взмучивают ил тем самым, вызывая повторный переход части биогенных веществ из донных отложений в воду.

Именно значительное количество биогенных соединений – основная проблема экологического состояния данного водоема. Загрязнение органическим веществом в нем умеренное. На это указывает индекс сапробности, значения которого оставались близкими на протяжении всего периода наблюдений за исключением августа 2010 г., когда индекс, рассчитанный по зоопланктону, повысился, и это совпало с высокими показателями содержания хлорофилла в воде.

Таким образом, для улучшения качества воды водоема такого размера и с таким объемом накопленных донных осадков недостаточно только внесение биопрепарата. С учетом функционирования всех уровней водной экосистемы необходимо изымать излишки биогенных и органических веществ из водоема. Чтобы добиться желаемого результата, применение биопрепарата должно сочетаться с мероприятиями по механической очистке (извлечение массы погруженных растений и части грунта).

#### Библиографический список

1. Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР. Методы изучения. Л. : Наука, 1981. 187 с.
2. Макрофиты – индикаторы изменений природной среды / отв. ред. С. Гейны, К. М. Сытник. Киев : Наукова думка, 1993. 436 с.
3. Антропогенное воздействие на малые озера. Л. : Наука, 1980. 172 с.
4. Определение содержания хлорофилла в планктоне пресных водоемов. Киев : Наукова думка, 1982. 52 с.
5. Hakkaril L. On the productivity and ecology of zooplankton and its role as food for fish in some lakes in Central Finland // Biological Research Reports. University of Jyväskylä. 1978. No. 4. P. 3–84.
6. Макрушин А. В. Биологический анализ качества вод. Л.: ЗИН, 1974. 60 с.

7. Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов. СПб. : Наука, 1996. 189 с.
8. Щепански А. О макрофитах озер и их роли в круговороте веществ // Гидробиологический журнал. 1977. Т. 13, № 6. С. 23–27.
9. Fish-induced changes in zooplankton grazing on phytoplankton and bacterioplankton: a long-term study in shallow hypertrophic Lake Søbygaard / E. Jeppesen, M. Søndergaard, J. P. Jensen, E. Mortensen, O. Sortkjær // Journal of Plankton Research. 1996. Vol. 18. No. 9. P. 1605–1625. <https://doi.org/10.1093/plankt/18.9.1605>

## **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: конский каштан обыкновенный, 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 городе 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. Почки крупные смолистые. Растение высоко декоративное. Родиной является юг Балканского полуострова, распространено в Греции, Центральной Азии, на юге Болгарии.

Данные по устойчивости растения к техногенным нагрузкам и грибным заболеваниям, а также поражению насекомыми неоднозначны. Несмотря на частое использование в озеленении, информации о реакции *A. hippocastanum* L. на морфологическом и анатомическом уровнях организации крайне мало. Для оценки воздействия городской среды на состояние конского каштана были проанализированы параметры листьев. 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 измерения проводили на листьях, собранных с южной стороны кроны в средней части годового побега, после их полного разворачивания. В августе месяце проводили оценку поврежденности листовых пластинок некрозами различного происхождения. Уровень повреждения оценивали по шкале, предложенной в работе [1]. Исследования проводили в 2019 г. на территории города Воронежа, для исследования было отобрано порядка 100 деревьев, произрастающих в трех зонах различных 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, модельных 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.

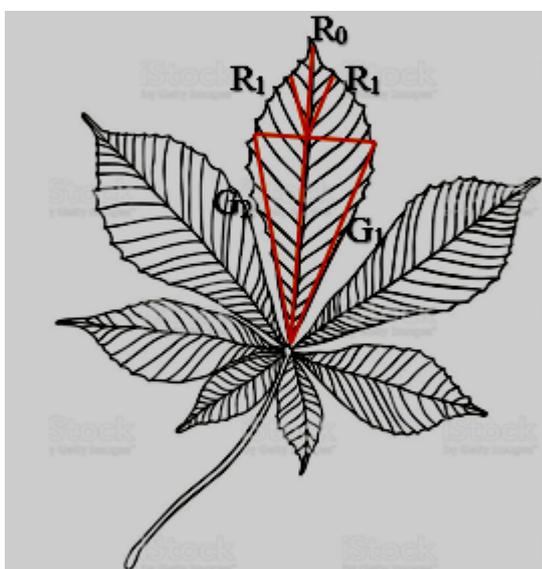


Рис. Морфометрические параметры листа *Aesculus hippocastanum* L.

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 по размерам, форма обратнойцевидная. Верхушка листочков острая оттянутая, основание клиновидное, края листочков зубчатые в верхней части и почти цельные или слегка волнистые у основания. Листья темно зеленого цвета с хорошо выраженными главными и боковыми жилками. 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 меньше в среднем на 15%, ширина практически такая же. Параметры осталь-

ных листочков сложного листа показывают сходные результаты, в результате чего общая площадь листа ниже 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 выше 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. 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%.

У высаженных вдоль крупных магистралей деревьев определен 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 поврежденные листья располагаются во всех ярусах кроны (нижний, средний, верхний). В уличных посадках довольно высок 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 *A. 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 другим уровнем освещенности.

Проведенные исследования показывают, что наиболее целесообразно высаживать *A. hippocastsnum* 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 и асимметрии листочков. Для упрощения измерений можно 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.

## ВЛИЯНИЕ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ЭКОЛОГО-БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ

*А. Ф. Бачурина, Н. В. Прохорова*

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва, bachurina.anna1996@mail.ru*

Особенности изменений площади листовых пластинок березы бородавчатой и липы сердцевидной, показателей их флуктуирующей асимметрии, наличие хлорозов и некрозов указывают на достоверное влияние выбросов нефтеперерабатывающего предприятия (КНПЗ) на рост и развитие древесных растений. Гистохимический анализ накопления тяжелых металлов в анатомических структурах их годичных побегов выявил более низкий уровень полиметаллического загрязнения природной среды в санитарно-защитной зоне КНПЗ по сравнению с жилым массивом.

Ключевые слова: береза бородавчатая, липа сердцевидная, флуктуирующая асимметрия листьев, хлороз, некроз, тяжелые металлы, гистохимический анализ.

Самарская область характеризуется развитым нефтеперерабатывающим производством. Одним из крупнейших предприятий этой отрасли является АО Куйбышевский НПЗ (КНПЗ), расположенный в Куйбышевском районе г. Самары. Ранее было выявлено негативное влияние этого производства на состояние почвенного и растительного покрова в зоне его непосредственного воздействия и в жилом массиве, отстоящем от завода на 5 км [1].

Настоящее исследование посвящено изучению биогеохимических характеристик и состояния фотосинтезирующих органов (листьев) двух древесных видов – березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth) и липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.), произрастающих в санитарно-защитной зоне предприятия и в системе озеленения г. Самары.

Оценивали состояние листьев березы и липы в зависимости от условий произрастания. Для этого при обследовании древесных насаждений случайным образом отбирали образцы листьев по 5–10 штук с одного дерева по периметру

кроны до высоты 2 м от поверхности почвы. Общая выборка листьев каждого вида с каждой пробной площади составляла 70–100 штук. Проводили визуальную оценку состояния поверхности листовых пластинок, отмечая хлорозы (% от общей площади листа), некрозы (% от общей выборки листьев), повреждения насекомыми (% от общей выборки листьев), а также наличие пыли и других веществ на верхней поверхности листьев (% от общей выборки листьев). После визуальной оценки отобранные листья гербаризировали, затем определяли площадь листовых пластинок весовым методом, а также все необходимые показатели для оценки их флуктуирующей асимметрии.

В качестве биогеохимических характеристик изучаемых растений использовали данные гистохимического выявления суммарного накопления тяжелых металлов в анатомических структурах годичных побегов березы и липы. Гистохимический анализ проводили с использованием дитизонового реактива, приготовленного по методике, предложенной И. В. Серегиним и В. Б. Ивановым для модельных экспериментов [2]. Этот метод не специфичен в отношении отдельных элементов, он позволяет выявлять особенности локализации большой группы тяжелых металлов (ТМ) (Cd, Pb, Zn, Co, Cu, Fe, Ni и др.) в различных анатомических структурах определенных органов растений. Для древесных растений наиболее удобным объектом такого исследования являются годичные побеги. Их относительно слабое одревеснение позволяет легко готовить серии прижизненных поперечных срезов без повреждения анатомической структуры побега. Его формирование в течение конкретного вегетационного сезона позволяет выявлять особенности загрязнения среды ТМ именно в этот сезон. Исследования можно проводить практически круглогодично. При обработке свежих поперечных срезов дитизоновым реактивом образуются нерастворимые соли дитизонаты, окрашивающие структуры, в которых накопились ТМ, в разные оттенки красного и розового цвета. Результаты представляют в балльной системе: 0 – нет металлов, 1 – низкое, 2 – среднее, 3 – высокое содержание металлов. Таким образом, данная методика работает в скрининговом режиме, позволяющем оценивать уровень загрязнения среды по системе «больше/меньше», что дает возможность выделять наиболее чистые и загрязненные участки. Эта методика была опробована в полевых исследованиях с разными видами древесных растений и показала достоверные результаты [3].

Сравнительный анализ площади листа березы и липы показал, что более крупные листья характерны для обоих видов из жилого района города по сравнению с санитарно-защитной зоной КНПЗ. Визуальное обследование листовых пластинок березы и липы выявили наличие хлорозов, некрозов, повреждений насекомыми и пылевых осадений во всех изучаемых вариантах отобранных проб.

Повреждение хлорозами оказалось более значимым для листьев березы и липы из санитарно-защитной зоны КНПЗ: 16% площади листа против 11% – у березы и 48% площади листа против 22% – у липы. Характер повреждений некрозами различался для листьев березы и липы. У березы некротические повреждения листьев в санитарно-защитной зоне КНПЗ и жилым массиве различались слабо (18% и 24% соответственно), но тенденция большего поврежде-

ния была выявлена в селитебной зоне. Для липы картина была диаметрально противоположной. Более частое повреждение некрозами было выявлено в санитарно-защитной зоне КНПЗ: 55% от общей выборки листьев на этой пробной площади и только 24% - в жилом массиве.

Визуальное обследование отобранных листьев березы и липы показало наличие пыли и других атмосферных выпадений на верхней поверхности листовых пластинок в одном варианте с березой (жилой поселок) и в обоих вариантах с липой. Оценивали не густоту налета, а количество листьев в выборках, у которых такой налет был выявлен. Оказалось, что в санитарно-защитной зоне КНПЗ листья березы практически не содержали такого налета, а в жилом поселке у 67% листьев такой налет был. Более шершавые листья липы были покрыты пылью и масляным налетом у 37 и 42% листьев в выборках из санитарно-защитной зоны КНПЗ и жилого района соответственно. Возможно, активное опыление листьев березы и более высокий показатель запыленности для листьев липы в жилом массиве связаны с наличием в нем участков с несформированными газонами и открытой почвой, а также более активным движением транспорта, по сравнению с санитарно-защитной зоной КНПЗ.

Поглощение ТМ древесными растениями может происходить двумя путями: через корни (корневое поглощение) и через листья (фолиарное поглощение). Большое значение имеет именно фолиарное поступление металлов в растения из газообразных выделений, дымов и техногенной пыли [4]. Нефтеперерабатывающие предприятия относят к техногенным источникам определенных металлов, в частности V и Ni [5], но более значимыми техногенными источниками большинства ТМ считаются металлообрабатывающие предприятия и автотранспорт [6].

В наших исследованиях был использован гистохимический биоиндикационный метод оценки загрязнения природных сред города ТМ, который позволяет оценить вклад корневого и фолиарного поступления металлов в зависимости от накопления их в конкретных тканях годичных побегов древесных растений. В частности, суммарная аккумуляция металлов в кутикуле, пробке, феллодерме, в определенной степени во флоэме побегов свидетельствует об их атмосферном источнике. Выявление значимых количеств металлов в ксилеме, перимедуллярной зоне и сердцевине побегов указывает на корневой источник их поступления в растение. По этим же признакам можно судить о большем или меньшем загрязнении атмосферного воздуха или почв конкретных территорий [3].

Относительные показатели суммарного содержания ТМ в анатомических структурах годичных побегов березы и липы из санитарно-защитной зоны КНПЗ и жилого массива Куйбышевского района г. Самары представлены на рисунках 1 и 2. Эти данные позволяют выявить относительное накопление металлов на уровнях низкого (0–1 балла), среднего (1,1–2 балла) и высокого (2,1–3 балла) содержания.

На рисунке 1 представлены данные о суммарном накоплении металлов в годичных побегах березы. Как следует из диаграммы, минимальные количества металлов накапливаются в кутикуле, склеренхиме и сердцевине побегов, средний уровень выявлен для ксилемы и перимедуллярной зоны, тенденция к более

высоким концентрациям установлена для пробки, феллодермы и флоэмы побегов. При этом показано, что более высокие концентрации металлов во всех анализируемых анатомических структурах характерны для побегов березы из жилого массива. Достоверные различия выявлены для феллодермы, склеренхимы, флоэмы, ксилемы, перимедуллярной зоны и сердцевины. Для кутикулы и пробки заметна лишь тенденция к превышению показателей из жилого района.

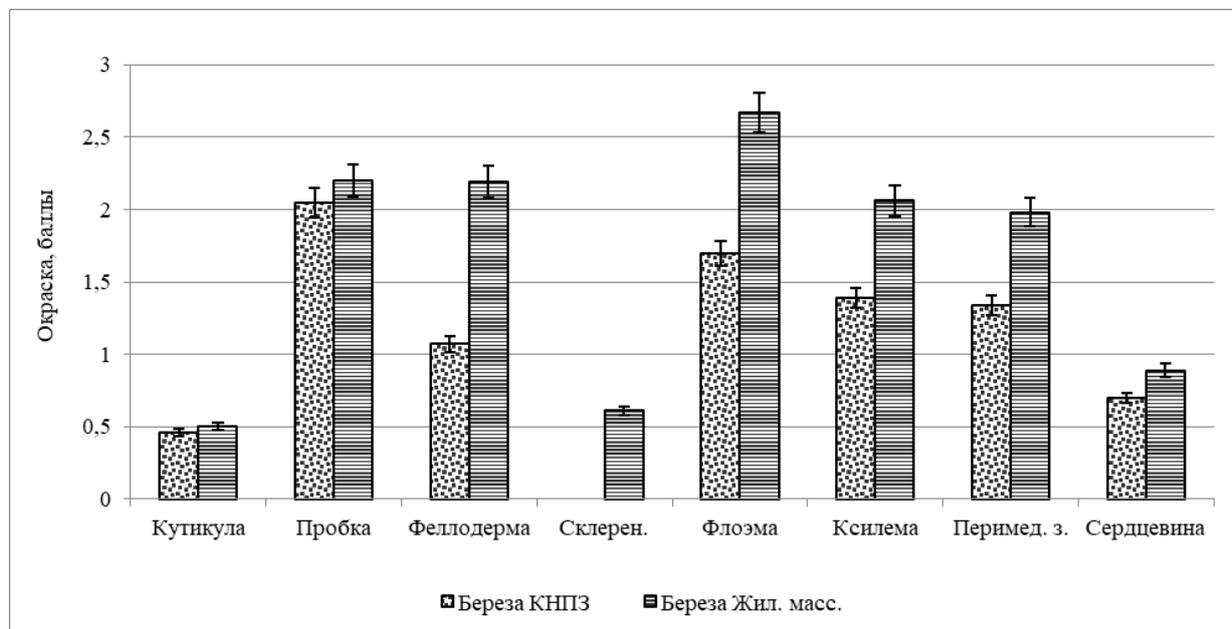


Рис. 1. Относительное суммарное содержание (баллы) тяжелых металлов в анатомических структурах годичных побегов березы бородавчатой в зависимости от условий произрастания

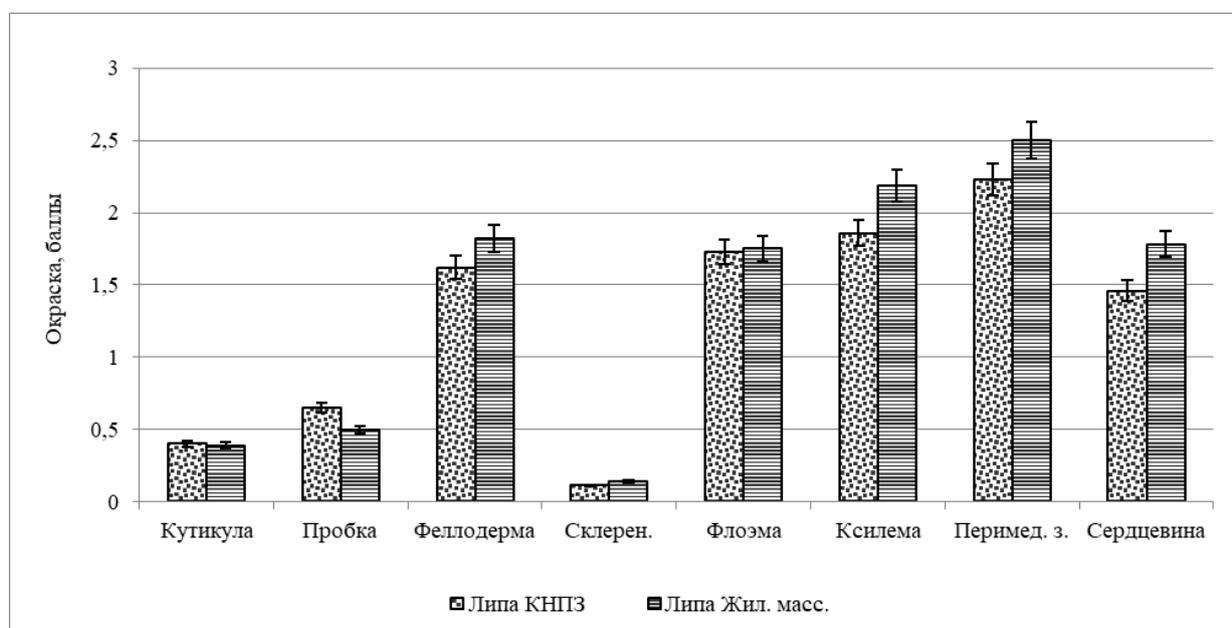


Рис. 2. Относительное суммарное содержание (баллы) тяжелых металлов в анатомических структурах годичных побегов липы сердцевидной в зависимости от условий произрастания

Гистохимический анализ годичных пробегов липы выявил в целом сходную ситуацию, отражающую достаточно заметную тенденцию более активного накопления металлов липой в жилом районе, но различия по функциональным зонам выявлены не столь четко, как с годичными побегими березы (рис. 2). Минимальные показатели установлены для кутикулы, пробки и склеренхимы, средние показатели – для феллодермы, флоэмы и сердцевины, более высокие показатели – для ксилемы и перимедуллярной зоны годичных побегов липы. Показатели по кутикуле, феллодерме, склеренхиме, флоэме и перимедуллярной зоне побегов из сравниваемых местообитаний достоверно не отличаются, но для большинства анализируемых структур тенденция более высокого накопления металлов в жилом районе достаточно выражена. При этом достоверные различия характерны только для ксилемы и сердцевины годичных побегов липы, но на уровне минимальной значимости этих различий. Очевидно, что береза и липа обладают определенной видоспецифичностью по отношению к металлоаккумуляции.

Проведенные исследования позволяют заключить, что общий уровень техногенного загрязнения выше в санитарно-защитной зоне КНПЗ, на что указывают данные по морфологической трансформации листьев березы и липы. Гистохимический анализ годичных побегов этих древесных растений достаточно убедительно выявил более высокий уровень полиметаллического загрязнения атмосферного воздуха и почв в жилом массиве Куйбышевского района г. Самары. Полученные результаты дают основания предполагать, что нефтеперерабатывающее предприятие не является особо активным источником загрязнения природной среды г. Самары ТМ, но другие специфические компоненты его выбросов (углеводороды, соединения серы и др.) негативно влияют на рост и развитие древесных растений.

#### **Библиографический список**

1. Лобачева А. А., Прохорова Н. В. Влияние нефтеперерабатывающего производства на природную среду // Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия. 2007. № 8 (58). С. 138–145.
2. Серегин И. В., Иванов В. Б. Гистохимические методы изучения распределения кадмия и свинца в растениях // Физиология растений. 1997. Т. 44. № 6. С. 915–921.
3. Перспективы использования гистохимических методов в биогеохимии тяжелых металлов / Н. В. Прохорова, Ю. В. Аксюткина, А. Н. Козлов, И. В. Коротков, И. А. Бакланов // Современные методы эколого-геохимической оценки состояния и изменений окружающей среды: доклады Междунар. школы. Новороссийск : Издательско-полиграфический комплекс «Биос» РГУ, 2003. С. 217–223.
4. Копылова Л. В. Фолиарное поступление тяжелых металлов в древесные растения // Вестник КрасГАУ. 2013. № 12. С. 126–133.
5. Доценко В. В. Происхождение нефти и газа : учебное пособие. Ростов-на-Дону : РГУ, 2001. 39 с.
6. Теплая Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // Астраханский вестник экологического образования. 2013. № 1 (23). С. 182–192.

## ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ РЕКУЛЬТИВИРОВАННОЙ АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ДЕРНОВОЙ ПОЧВЫ ПОСЛЕ ВЫРАЩИВАНИЯ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

*А. А. Вершинин, Т. В. Кузнецова, Л. К. Каримуллин, А. М. Петров*  
*Институт проблем экологии и недропользования*  
*Академии наук Республики Татарстан, A-vershinin@mail.ru*

Изучено функциональное состояние микробного сообщества рекультивированной аллювиальной дерновой почвы в процессе определения хронической токсичности под посевами пшеницы и гороха. Установлено наличие конкуренции за питательные субстраты между микрофлорой и растениями. Произрастающие растения способствовали стабилизации микробоценозов и восстановлению нормального функционирования почвы. Наиболее устойчиво микробное сообщество почвы отмечено под посевами гороха.

Ключевые слова: микробное сообщество, нефтяное загрязнение, базальное дыхание, субстрат-индуцированное дыхание, коэффициент микробного дыхания.

После проведения рекультивационных мероприятий на загрязненных нефтью территориях возникает вопрос о возможности использования земель в сельскохозяйственной практике. Рекультивированная почва может обладать токсическими свойствами, обусловленными, как самими нефтепродуктами, так и вторичными метаболитами, образующимися в процессе трансформации углеводородов нефти [1]. Кроме того в почве существует естественный источник фитотоксинов – плесневые грибы родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Phoma*, *Fusarium*, которые при активном развитии вносят значительный вклад в токсичность почвы [2]. Известно, что неправильное применение минеральных удобрений на заключительной стадии рекультивации почв может способствовать нарушению баланса микрофлоры и массовому развитию токсинообразующих форм микромицетов [3].

Вышесказанное определяет важность определения функционального состояния рекультивированной и в дальнейшем использованной для выращивания высших растений почвы. Интегральным показателем, отражающим состояние микробного пула почв, является интенсивность почвенного дыхания [4].

Цель исследований состояла в оценке функционального состояния рекультивированной нефтезагрязненной аллювиальной дерновой почвы после выращивания на ней пшеницы и гороха.

Объектом исследований служила содержащая разные дозы нефтяных загрязнений рекультивированная аллювиальная дерновая тяжелосуглинистая почва [5] после выращивания на ней высших растений – пшеницы яровой (*Triticum vulgare* L.) сорта «Йолдыз» и гороха посевного (*Pisum sativum* L.) сорта «Казанец».

Содержание нефтепродуктов (НП) в почвенных образцах определяли методом ИК-спектроскопии на анализаторе КН-2 согласно [6].

Посредством газохроматографических измерений [7] были определены скорости базального ( $V_{\text{базал}}$ ) и субстрат-индуцированного дыхания ( $V_{\text{сид}}$ ) [8], рассчитан коэффициент микробного дыхания ( $Q_T = V_{\text{базал}}/V_{\text{сид}}$ ) [9].

В рекультивированной аллювиальной дерновой почве без растений величина  $V_{\text{базал}}$  располагалась в интервале 5,79–10,0 мкг  $\text{CO}_2/\text{г час}$ . Максимум эмиссии  $\text{CO}_2$  фиксировался в варианте с остаточной концентрацией НП 4,3 г/кг. Скорость базального дыхания образцов рекультивированной почвы в 1,74–3,04 раза превосходила интенсивность дыхания контрольной почвы. Это указывает на отсутствие ингибирующего действия НП на базальное дыхание, отражая достаточное количество доступных органических субстратов в рекультивированной почве. Высокий уровень  $V_{\text{базал}}$  свидетельствует о том, что в рекультивированной почве продолжается деструкция углеводов нефти. Уровень базального дыхания почв под растениями был значительно ниже, чем в почве без растений. Очевидно, имеет место конкуренция между растениями и микрофлорой за питательные субстраты. Обнаружено отличие динамики  $V_{\text{базал}}$  между вариантами с пшеницей и горохом. При высоком остаточном содержании поллютанта показатели  $V_{\text{базал}}$  были достоверно ниже в почве под горохом (рис. 1А).

Значения  $V_{\text{сид}}$  рекультивированной почвы без растений были выше, чем после выращивания растений (25,18–36,12 мкг  $\text{CO}_2/(\text{г}\cdot\text{час})$ ) и возрастали по мере увеличения остаточного содержания НП в почве при некотором снижении при максимальной дозе поллютанта. Уровень  $V_{\text{сид}}$  почв под посевами пшеницы и гороха не превышал значений 20,50 мкг  $\text{CO}_2/\text{г час}$ . Кроме того, проявлялась тенденция уменьшения величины  $V_{\text{сид}}$  при увеличении остаточного содержания НП в почве под растениями. Динамика субстрат-индуцированного дыхания загрязненной почвы под посевами гороха и пшеницы была одинакова (рис. 1Б). Таким образом, характер  $V_{\text{сид}}$  свидетельствует о том, что наличие на поверхности почвы растений способствует снижению активности почвенной микрофлоры.

Особенности динамики дыхательной активности почв хорошо коррелируют с данными микробиологического анализа. В почве без растений содержание гетеротрофных микроорганизмов (ОМЧ) находилось в прямой зависимости от остаточного содержания НП. Выращивание растений сопровождалось значительным снижением ОМЧ. Если в диапазоне концентраций НП 0,05–4,30 г/кг не обнаруживалось отличий в содержании микробных клеток под посевами гороха и пшеницы, то в варианте, содержавшем 7,9 г/кг НП, значение ОМЧ в почве под посевами гороха было значительно ниже, чем под пшеницей (рис. 2). Очевидно, горох более конкурентоспособен за питательные субстраты, чем пшеница. Уменьшение числа микробных клеток в почве, обусловленное конкуренцией за питательные вещества между растениями и микроорганизмами, отразилось на уменьшении величины как базального, так и субстрат-индуцированного дыхания (рис. 1).

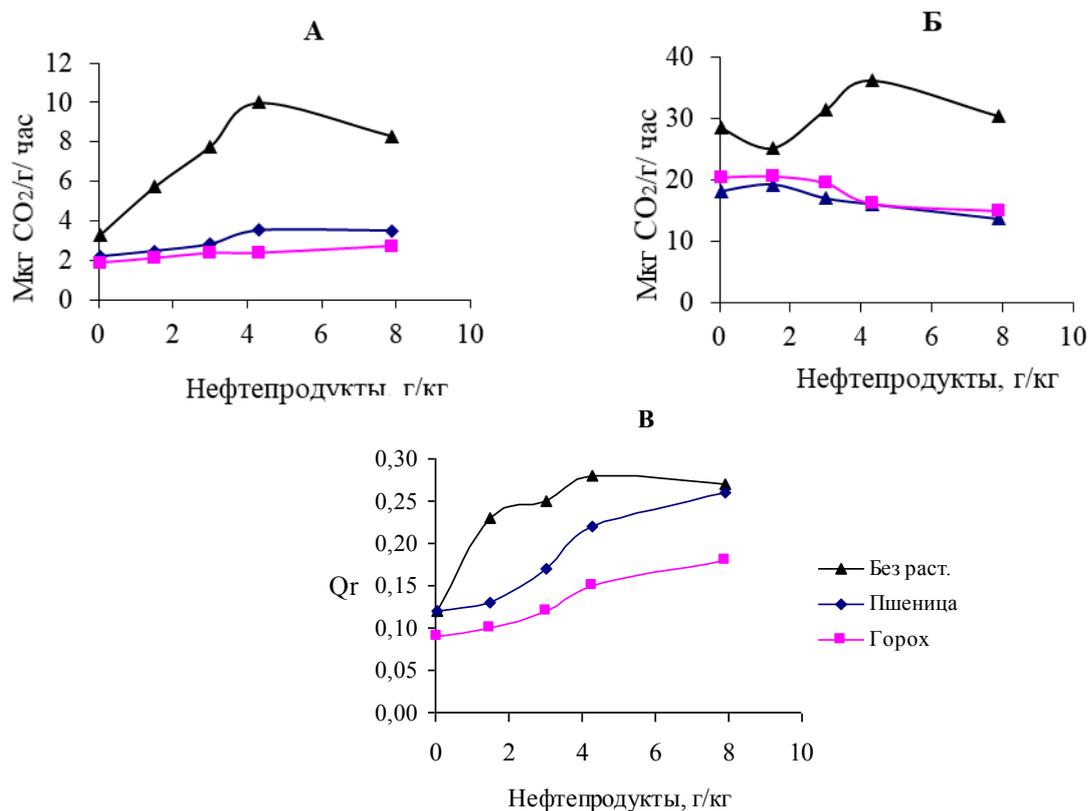


Рис. 1. Дыхательная активность рекультивированной аллювиальной дерновой почвы: А – V<sub>базал</sub>; Б – V<sub>сид</sub>; В – Q<sub>r</sub>

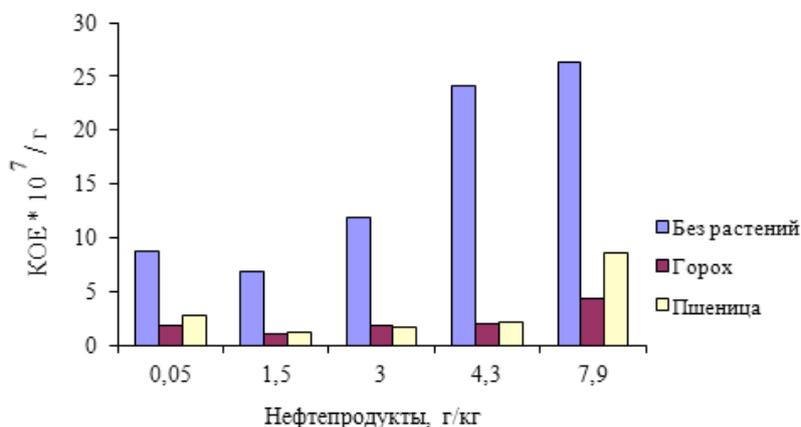


Рис. 2. Содержание гетеротрофных микроорганизмов в рекультивированной аллювиальной дерновой почве при разном остаточном содержании нефтепродуктов

Коэффициент микробного дыхания ( $Q_r$ ) характеризует состояние почвы и ее устойчивость к различным воздействиям [9, 10]. Приводятся сведения о том, что чем ниже значения  $Q_r$ , тем почвенная система более устойчива к воздействию неблагоприятных факторов [9, 11]. Считается, что величины  $Q_r = 0,1-0,2$  соответствуют благоприятному состоянию почвы. Значения  $Q_r$ , превышающие  $0,2-0,3$ , свидетельствуют о неблагоприятных воздействиях на почву [4]. В рекультивированной аллювиальной дерновой почве без растений

значения  $Q_r$  располагались в диапазоне 0,23–0,28, что позволяет сделать вывод, что сообщество почвенных микроорганизмов возвращается к нормальному функционированию. Влияние поллютанта на почву незначительное.

Культивирование растений способствовало повышению устойчивости микробного пула. Величины  $Q_r$  почвы после гороха составляли 0,10–0,18, после пшеницы были несколько выше, а в варианте с содержанием НП 7,9 г/кг достигали 0,28 (рис. 1В).

Таким образом, в рекультивированной аллювиальной дерновой почве не зафиксировано ингибирующее действие НП на базальное дыхание. Уровень эмиссии  $CO_2$  свидетельствовал о продолжающейся в почве деструкции поллютанта. Одновременно зарегистрировано снижение скорости субстрат-индуцированного дыхания. Величины  $Q_r$  в диапазоне 0,12–0,28 не являются критическими и указывают на то, что в данный момент отсутствуют какие-либо экстремальные воздействия на почву. Выращивание растений приводило к усилению конкуренции за питательные субстраты между микрофлорой и высшими растениями, результатом которой стало снижение биологической активности микробного пула. Наибольшее снижение активности микробного сообщества происходило в почве под горохом. Вместе с тем, в посевах под горохом микробный пул наиболее устойчив. Вышесказанное показывает, что фиторекультивация способствует стабилизации микробоценозов и восстановлению нормального функционирования почвы.

#### Библиографический список

1. Динамика эколого-биологических характеристик дерново-подзолистых почв в условиях длительного нефтяного загрязнения / А. М. Петров, А. А. Вершинин, Л. К. Каримуллин, Д. В. Акайкин, О. Ю. Тарасов // Почвоведение. 2016. № 7. С. 848–856. doi:107868/S0032180x16050130
2. Билай В. И., Пидопличко Н. М. Токсикообразующие микроскопические грибы и вызываемые ими заболевания человека и животных. Киев : Наукова думка, 1970. 291 с.
3. Гузев В. С., Левин С. В. Техногенные изменения сообщества почвенных микроорганизмов // Перспективы развития почвенной биологии / под ред. Д. Г. Звягинцева. М. : Изд-во МАКС Пресс, 2001. С. 178–219.
4. Благодатская Е. В., Ананьева Н. Д., Мякшина Т. Н. Характеристика состояния микробного сообщества почвы по величине метаболического коэффициента // Почвоведение. 1995. № 2. С. 205–210.
5. Дыхательная активность аллювиальных луговых почв в условиях нефтяного загрязнения / Л. К. Каримуллин, А. М. Петров, А. А. Вершинин, Т. В. Кузнецова, А. А. Утомбаева // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 3. С. 23–27.
6. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. М., 2005. 18 с.
7. 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.
8. 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.
9. Hund K, Schenk B. The microbial respiration quotient as indicator for bioremediation processes // Chemosphere. 1994. Vol. 28, No. 3. P. 477–490.

10. Ананьева Н. Д., Благодатская Е. В., Демкина Т. С. Влияние высушивания-увлажнения и замораживания-оттаивания на устойчивость микробных сообществ почвы // Почвоведение. 1997. № 9. С. 1132–1137.

11. Anderson T.-H., Domsch K.H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (q CO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils // Soil Biol. Biochem. 1993. Vol. 25, No. 3. P. 393–395.

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЭДАФОТОПА НЕКОТОРЫХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ г. МАКЕЕВКИ**

*А. В. Калинина<sup>1</sup>, Д. В. Сыщиков<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ГОУ ВПО «Донецкий национальный университет», *kalinina.angela91@mail.ru*

<sup>2</sup> ГУ «Донецкий ботанический сад», *2007dmitry@rambler.ru*

В статье представлены данные о содержании основных элементов минерального питания растений (аммонийного азота, подвижных фосфатов) и органического вещества в эдафотопях некоторых породных отвалов г. Макеевки, выявлены особенности формирования эмбриоземов отвалов угольных шахт.

Ключевые слова: эдафотопы, эмбриоземы, рекультивация, гумус, аммонийный азот, подвижные фосфаты.

Под техногенные и посттехногенные эдафотопы отведены значительные площади территории Донбасса, лидирующее место среди которых занимают породные отвалы угольных шахт. Они являются постоянным источником загрязнения окружающей среды [1, 2]. Особую опасность представляют нерекультивированные отвалы.

Создание фитоценозов на поверхности отвалов направлено на формирование всех экологически ценных свойств эдафотопов. Растительный покров отвалов способствует регенерации антропогенно нарушенных территорий, соответственно и нейтрализации негативного воздействия на окружающую среду.

Эколого-эдафические условия отвалов угольных шахт неблагоприятны для жизнедеятельности растений, следовательно, процесс естественного восстановления биогеоценозов очень длительный. Искусственно ускорить создание благоприятных условий для формирования растительного покрова на отвалах можно с помощью рекультивации. Поэтому рекультивация техногенных ландшафтов остается актуальным и востребованным научным направлением в Донбассе [1–4].

Изучение свойств эмбриоземов породных отвалов позволяет определить лимитирующие факторы, сдерживающие естественное восстановление техногенно нарушенных земель. Полученные данные могут быть использованы с целью разработки и применения специальных рекультивационных мероприятий, направленных на активизацию процессов самовосстановления нарушенных почв [2–6].

Цель исследования состояла в определении содержания основных элементов минерального питания растений (аммонийного азота, подвижных фос-

фатов) и органического вещества в эдафотопках отвалов, выявлении особенностей формирования эмбриоземов породных отвалов угольных шахт.

Исследования проводили на мониторинговых участках типичных отвалов угольных шахт, расположенных в Советском районе г. Макеевки.

Объектами исследования являлись субстраты мониторинговых участков отвалов № 1 и № 2 шахты Калиновская-Восточная, а именно их северные и южные экспозиции. Отбор почвенных образцов проводили по почвенным горизонтам. Были определены содержание органического вещества (гумуса), содержание элементов минерального питания (аммонийного азота, подвижных фосфатов), а также актуальная кислотность субстрата породных отвалов угольных шахт.

Содержание гумуса определяли по методу И. В. Тюрина со спектрофотометрическим окончанием по Орлову – Гриндель [7]. Концентрацию аммонийного азота определяли колориметрически с реактивом Несслера [7]. Определение подвижных форм фосфора проводили согласно методу Ф. В. Чирикова [7].

Мониторинговые участки № 1 и № 2 расположены на южной экспозиции и северной экспозиции отвала № 1 (48°04'23.9" северной широты, 38°00'56.8" восточной долготы). Окончание эксплуатации отвала № 1 осуществлено 47 лет назад, данных о проведении рекультивационных мероприятий нет. Общее проективное покрытие (ОПП) растений составляет 20–25%.

Мониторинговый участок № 1 характеризуется слабым зарастанием, встречаются единичные экземпляры травянистых растений: *Echium vulgare* L., *Oberna behen* (L.) Ikonn., *Diploaxis tenuifolia* (L.) DC., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Melilotus officinalis* (L.) Pall. Древесной растительности не обнаружено. ОПП примерно 15–17%. Морфологические признаки почвообразования выражены очень слабо, поверхность отвала отличается большой каменистостью.

Мониторинговым участком № 2 была выбрана типичная территория северной экспозиции отвала № 1. Растительность участка покрывает поверхность неравномерно. Общее проективное покрытие составляет 25–30%. Отмечается небольшая замшлевость. В травянистом ярусе встречаются *Echium vulgare* L., *Ambrosia artemisiifolia* L., *Conyza canadensis* (L.) Cronq., *Senecio vernalis* Waldst. & Kit., *Elytrigia repens* (L.) Nevski. *Poa bulbosa* L. Из древесных пород преобладают следующие: *Fraxinus excelsior* L., *Sorbus aucuparia* L., *Robinia pseudoacacia* L. Морфологические признаки почвообразования выражены слабо.

На отвале № 2 были выбраны мониторинговые участки № 3 и № 4 (48° 03' 50" северной широты, 38° 01' 20" восточной долготы). Участок № 3 расположен на южной экспозиции, участок № 4 – на северной экспозиции. С момента остановки эксплуатации отвала прошло 54 года, в 1991 году проведены рекультивационные мероприятия. Угольный отвал № 2 заросший, ОПП 80% и более, преобладают кустарники и древесные растения, однако растительный покров в целом неоднороден.

Растительный покров мониторингового участка № 3 отличается значительной плотностью и однородностью травянистых растений. ОПП около 80%, доминируют *Echium vulgare* L., *Oberna behen* L., *Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve. Субстрат определили как примитивные неразвитые почвы.

Мониторинговый участок № 4. Распространение травянистых видов рас­сеяно-групповое, встречаются *Galium aparine* L., *Achillea millefolium* L., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Poa bulbosa* L., *Senecio vernalis* Waldst. & Kit. Наблюдаются замшле­вость. На территории мониторингового участка единично встречаются древесные виды, такие как *Fraxinus excelsior* L., *Sorbus aucuparia* L., *Quercus robur* L., *Robinia pseudoacacia* L. Субстрат неоднороден, присут­ствуют признаки почвообразования.

Кислотность экотопов отвалов угольных шахт – один из важнейших па­раметров пригодности субстрата для произрастания растений [5–6]. Показатели рН<sub>Н2О</sub> мониторинговых участков находятся в пределах 5,93–6,75, реакция среды слабокислая, близкая к нейтральной, т. е. реакция среды эдафотопов исследуе­мых породных отвалов не является лимитирующим фактором и не препятству­ет росту и развитию растений (рис.).

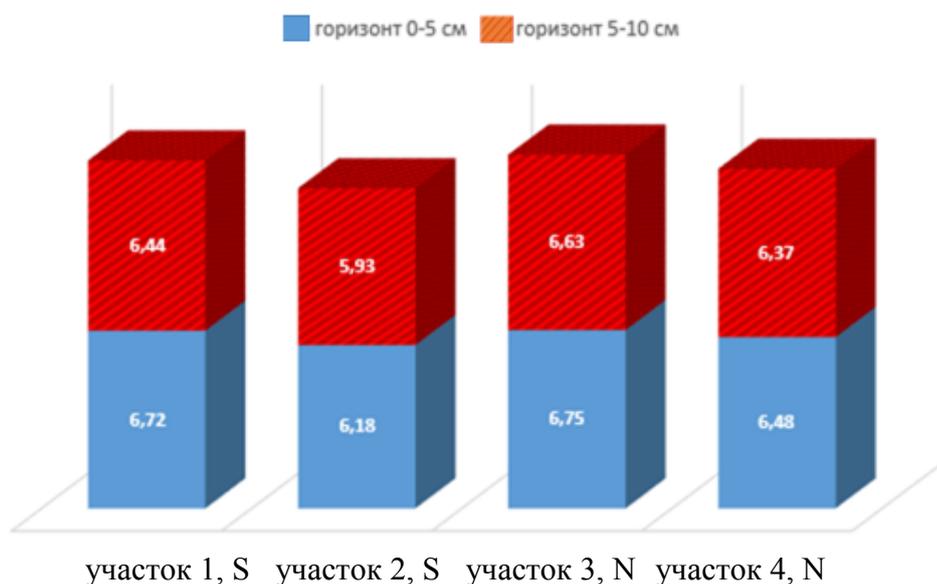


Рис. Значение рН<sub>Н2О</sub> на исследуемых мониторинговых участках № 1 – № 4 (N – северная экспозиция, S – южная экспозиция)

Содержание фосфора, доступного для питания растений, в форме легко­растворимых фосфатов в субстрате участков № 1 и № 2 оценили как очень низ­кое. Стоит отметить, что для участка № 1 южной экспозиции характерно незна­чительное повышения показателя до 2,18±0,14 мг/100 г. Анализ содержания подвижных фосфатов показал, что в образцах субстрата отвала № 1 их значения находятся в более низких пределах, чем образцы с отвала № 2 (табл.).

При изучении содержания аммонийного азота техногенных экотопов вы­бранных породных отвалов были отмечены следующие особенности: концен­трация аммонийного азота, исследуемого субстрата варьирует в широких пре­делах (участок № 2 – 0,98±0,14, участок № 3 – 6,54±0,31 мг/100 г), наибольшие значения отмечены для субстрата отвала № 2, наименьшие для – отвала № 1, концентрация аммония снижается в зависимости от увеличения глубины гори­зонта (табл.). На основании полученных данных определили обеспеченность аммонийным азотом субстрата, мониторинговые участки № 1, № 2, № 4 оцени-

ли как очень низко обеспеченные доступной формой азота, участок № 3 – низко обеспеченный.

Значимым показателем плодородия и экологического состояния техногенных экотопов является гумус. Процентное содержание гумуса в субстратах мониторинговых участков охарактеризовали как очень низкое. Наибольшие концентрации гумуса наблюдали в образцах поверхностных горизонтов участка № 1 ( $0,86 \pm 0,04$ ) и № 3 ( $0,82 \pm 0,05$ ), снижение концентрации гумуса больше характерно для северных экспозиций отвалов (табл.). Наибольшие изменения концентрации по горизонтам отмечены на участке № 3. Исследуемые образцы субстрата мониторинговых участков южных экспозиций характеризуются большим снижением содержания гумуса по почвенному профилю в сравнении с участками северных экспозиций.

*Таблица*

**Содержание гумуса и элементов минерального питания  
в эмбриоземах мониторинговых участков № 1 – № 4**

Почвенный горизонт, см	Экспозиция	Гумус, %	Аммонийный азот, мг/100 г	Подвижные фосфаты, мг/100 г
Мониторинговый участок № 1				
0–5	южная	$0,86 \pm 0,04$	$4,82 \pm 0,26$	$2,18 \pm 0,14$
5–10		$0,67 \pm 0,04$	$2,71 \pm 0,40$	$1,34 \pm 0,09$
Мониторинговый участок № 2				
0–5	северная	$0,62 \pm 0,03$	$1,52 \pm 0,07$	$1,23 \pm 0,07$
5–10		$0,6 \pm 0,03$	$0,98 \pm 0,14$	$0,6 \pm 0,03$
Мониторинговый участок № 3				
0–5	южная	$0,82 \pm 0,05$	$6,54 \pm 0,31$	$4,12 \pm 0,31$
5–10		$0,5 \pm 0,03$	$3,68 \pm 0,54$	$2,33 \pm 0,26$
Мониторинговый участок № 4				
0–5	северная	$0,77 \pm 0,06$	$2,84 \pm 0,29$	$3,06 \pm 0,28$
5–10		$0,58 \pm 0,09$	$1,31 \pm 0,12$	$1,42 \pm 0,12$

Полученные нами данные позволяют отнести исследуемые эдафотопы породных отвалов к примитивным неразвитым фрагментарным почвам. Субстраты мониторинговых участков характеризуются пониженным содержанием гумуса, аммонийного азота, подвижных фосфатов в сравнении с зональными почвами. Такая особенность может быть обусловлена рядом физических и биологических факторов. Кислотность субстратов близка к нейтральным показателям и является благоприятной для большинства видов растений.

Во флористическом отношении мониторинговые участки отвала № 2 более развиты, чем участки отвала № 1. Такая особенность объясняется проведением рекультивации на отвале № 2. Следует отметить, что участки северных экспозиций (№ 2, № 4) отличаются пониженными концентрациями элементов минерального питания и органического вещества и более сформированным растительным покровом в сравнении с южными экспозициями. Можно предположить, что их содержание уменьшается к осени, поскольку они расходуются в процессе вегетации. Поскольку отбор проб для исследования проводили осе-

нию, то появляется необходимость постоянного мониторинга почв в сезонной динамике.

### Библиографический список

1. Калинина А. В. Популяционный мониторинг техногенных экотопов некоторых породных отвалов г. Макеевки // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2019. С. 13–15.
2. Калинина А. В. Диагностика эдафотопов некоторых угольных шахт г. Макеевки методами фитотестирования // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2019. № 1–2. С. 6–9
3. Сафонов А. И., Фрунзе О. В. Фиторемедиационный эффект по данным экологического мониторинга в Донбассе // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Брянск, 25–27 апреля 2019 г.: Брянск : Изд-во БГИТУ, 2019. С. 159–162.
4. Сергеева А. С., Алемасова А. С., Сафонов А. И. Диагностика антропогенно трансформированных экотопов Донбасса по содержанию тяжелых металлов в гаметофитах мохообразных // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем : материалы XVII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2019. С. 15–18.
5. Сафонов А. И. Функциональная ботаника в Донбассе: экологический мониторинг, информационные ресурсные технологии, фитодизайн // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. 2017. № 1–2. С. 6–12.
6. Сафонов А. И., Гермонова Е. А. Комплексный показатель нарушенности экотопов по фитоиндикационному критерию в г. Донецке // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2019. № 3–4. С. 171–175.
7. Практикум по агрохимии / под ред. В. Г. Минеева. М. : Изд-во МГУ, 2001. 689 с.

## ПОСТУПЛЕНИЕ $^{137}\text{Cs}$ В УРОЖАЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

*М. Д. Калинин, А. А. Романенко*

*Севастопольский государственный университет, alrom60@yandex.ru*

Составлен прогноз уровня загрязнения цезием-137 урожая яровой пшеницы при возделывании ее на дерново-подзолистой почве с плотностью загрязнения 15–40 Ки/км<sup>2</sup> (555–1480 кБк/м<sup>2</sup>). Установлено, что зерно пшеницы, произведенное без применения средств химизации, так и с ними соответствует нормативным значениям (600 Бк/кг). Кроме того установлено, что максимальные уровни загрязнения почвы цезием-137, при которых еще можно получить урожай, соответствующий нормативным значениям, составили: без средств химизации – 85,7 Ки/км<sup>2</sup> (3,17 МБк/м<sup>2</sup>); с внесением удобрений по отдельности – 171,4 Ки/км<sup>2</sup> (6,34 МБк/м<sup>2</sup>), при комплексном применении средств химизации – 257,1 Ки/км<sup>2</sup> (9,51 МБк/м<sup>2</sup>).

Ключевые слова: яровая пшеница, цезий-137, урожай, прогноз, средства химизации, минеральные удобрения, уровни загрязнения.

Одной из самых значимых проблем, возникших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, оказалась ведение сельскохозяйственного производства

на землях, загрязненных радиоактивными веществами. При этом главной задачей оказалось производство сельскохозяйственной продукции, соответствующей санитарным нормам, и, как следствие, снижение дозовой нагрузки для населения [1, 2].

Авария на Чернобыльской АЭС подтвердила ранее установленные данные о том, что со второго и последующих лет основным путем поступления радионуклидов в продукцию растениеводства является корневой путь, что в свою очередь дает возможность предварительно оценить степень загрязнения радионуклидами планируемого урожая и его хозяйственного использования [3.]

Прогноз накопления цезия-137 в урожае яровой пшеницы без применения средств химизации проводили на основании литературных данных и формулы [4]:

$$A_{ур}(Бк/кг) = ПЗП(Ки/км^2) \times КП(Бк/кг / Ки/км^2), \text{ где} \quad (1)$$

$A_{ур}$  – удельная активность в урожае, Бк/кг,  
 ПЗП – плотность загрязнения почвы, Ки/км<sup>2</sup>,  
 КП – коэффициент перехода, Бк/кг / Ки/км<sup>2</sup>.

Используя формулу (1), можно рассчитать загрязнение урожая яровой пшеницы при внесении минеральных удобрений:

$$A_{ур}(Бк/кг) = ПЗП(Ки/км^2) \times КП(Бк/кг / Ки/км^2) / 2, \text{ где} \quad (2)$$

2 – эффективность применения минеральных удобрений по отдельности (калийных, фосфорных, известкование), которое дает 2-кратное снижение содержания цезия-137 в урожае [5].

$$A_{ур}(Бк/кг) = ПЗП(Ки/км^2) \times КП(Бк/кг / Ки/км^2) / 3, \text{ где} \quad (3)$$

3 – эффективность применения комплекса минеральных удобрений (калийных, фосфорных, азотсодержащих) дает 3-кратное снижение содержания цезия-137 в урожае [5].

Расчет плотности загрязнения почвы, при которой еще можно получить урожай соответствующий нормативным значениям без применения средств химизации производится по формуле:

$$ПЗП(Ки/км^2) = A_{ур(нз)}(Бк/кг) / КП(Бк/кг / Ки/км^2), \text{ где} \quad (4)$$

$A_{ур(нз)}$  – удельная активность в урожае (нормативное значение), Бк/кг  
 ПЗП – плотность загрязнения почвы, Ки/км<sup>2</sup>  
 КП – коэффициент перехода, Бк/кг / Ки/км<sup>2</sup>

При внесении минеральных удобрений формула имеет следующий вид:

$$ПЗП(Ки/км^2) = A_{ур(нз)}(Бк/кг) / КП(Бк/кг / Ки/км^2) \times 2, \text{ где} \quad (5)$$

2 – увеличивающий коэффициент, учитывающий эффективность применения минеральных удобрений по отдельности.

$$ПЗП(Ки/км^2) = A_{ур(нз)}(Бк/кг) / КП(Бк/кг / Ки/км^2) \times 3, \text{ где} \quad (6)$$

3 – увеличивающий коэффициент, учитывающий эффективность комплексного применения минеральных удобрений.

Прогнозирование уровня загрязнения радионуклидами урожая сельскохозяйственных культур проводится по нормативам степени загрязнения их в расчете на 1 Ки/км<sup>2</sup>.

В работе выполнен прогноз уровня накопления цезия-137 в урожае яровой пшеницы при возделывании ее на дерново-подзолистой супесчаной почве с плотностью загрязнения 15–40 Ки/км<sup>2</sup>.

При ведении отрасли растениеводства, на загрязненной радиоактивными веществами территории возникает необходимость знать содержание радионуклида в будущем урожае с каждого конкретного поля с учетом севооборота. Затем, на основании прогноза, разработать и внедрить систему мероприятий, позволяющих получать продукцию с наименьшим содержанием радионуклидов и найти наиболее рациональное использование продукции (продовольственные цели, фураж, промышленная переработка и т. д.).

Поступление радионуклидов в растения зависит от многих факторов, среди которых наиболее значимыми являются следующие: тип и кислотность почвы, содержание гумуса, обменных катионов, биологических особенностей культур и физико-химических свойств радионуклидов.

В этой связи прогноз степени загрязнения сельскохозяйственной продукции имеет ориентировочный характер, однако позволяет спланировать проведение необходимых мероприятий, снижающих поступление радионуклидов в продукцию, и наметить пути использования продукции с содержанием радиоактивных веществ выше санитарной нормы.

Расчет накопления цезия-137 в урожае (зерно) яровой пшеницы без применения средств химизации осуществляли по формуле (1):

$$A_{ур}(\text{Бк/кг}) = 15(\text{Ки/км}^2) \times 7(\text{Бк/кг/ Ки/км}^2) = 105\text{Бк/кг};$$

$$A_{ур}(\text{Бк/кг}) = 40(\text{Ки/км}^2) \times 7(\text{Бк/кг/ Ки/км}^2) = 280\text{Бк/кг, где}$$

15, 40 – плотность загрязнения почвы, Ки/км<sup>2</sup>

7 – коэффициент перехода, Бк/Кг / Ки/км<sup>2</sup>

Используя формулу (2) рассчитаем накопление радионуклида в зерне яровой пшеницы при внесении минеральных удобрений по отдельности:

$$A_{ур}(\text{Бк/кг}) = 15(\text{Ки/км}^2) \times 7(\text{Бк/кг / Ки/км}^2) / 2 = 52,5 \text{ Бк/кг};$$

$$A_{ур}(\text{Бк/кг}) = 40(\text{Ки/км}^2) \times 7(\text{Бк/кг / Ки/км}^2) / 2 = 140 \text{ Бк/кг.}$$

По формуле (3) рассчитаем накопление цезия-137 в урожае яровой пшеницы при комплексном внесении минеральных удобрений:

$$A_{ур}(\text{Бк/кг}) = 15(\text{Ки/км}^2) \times 7(\text{Бк/кг / Ки/км}^2) / 3 = 35\text{Бк/кг};$$

$$A_{ур}(\text{Бк/кг}) = 40(\text{Ки/км}^2) \times 7(\text{Бк/кг / Ки/км}^2) / 3 = 93,3\text{Бк/кг.}$$

Расчет плотности загрязнения почвы, при которой еще можно получить урожай соответствующий нормативным значениям без применения средств химизации, производили по формуле (4):

$PЗП(\text{Ки/км}^2) = 600(\text{Бк/кг}) / 7(\text{Бк/кг / Ки/км}^2) = 85,7\text{Ки/км}^2$  (3,17 МБк/м<sup>2</sup>), где 600 – нормативный показатель допустимого содержания цезия-137 в зерне яровой пшеницы.

По формуле (5) рассчитаем максимальную плотность загрязнения почвы при внесении минеральных удобрений по отдельности:

$$PЗП(\text{Ки/км}^2) = 600(\text{Бк/кг}) / 7(\text{Бк/кг / Ки/км}^2) \times 2 = 171,4\text{Ки/км}^2$$
 (6,34 МБк/м<sup>2</sup>)

При комплексном внесении удобрений максимальную плотность загрязнения почвы рассчитаем по формуле (6):

$$PЗП(\text{Ки/км}^2) = 600(\text{Бк/кг}) / 7(\text{Бк/кг / Ки/км}^2) \times 3 = 257,1\text{Ки/км}^2$$
 (9,51 МБк/м<sup>2</sup>)

Таким образом, результаты, полученные при составлении прогноза накопления цезия-137 в урожае яровой пшеницы показывают, что зерно пшеницы, произведенное на дерново-подзолистой супесчаной почве при плотности загрязнения 15–40 Ки/км<sup>2</sup> (555-1480 кБк/м<sup>2</sup>) без применения средств химизации так и с ними, соответствует нормативным значениям. Максимальные уровни загрязнения почвы цезием-137, при которых можно получить урожай соответствующий нормативным значениям, составили: без средств химизации – 85,7 Ки/км<sup>2</sup> (3,17 МБк/м<sup>2</sup>); с внесением удобрений по отдельности – 171,4 Ки/км<sup>2</sup> (6,34 МБк/м<sup>2</sup>), при комплексном применении средств химизации – 257,1 Ки/км<sup>2</sup> (9,51 МБк/м<sup>2</sup>).

#### **Библиографический список**

1. Сельскохозяйственная радиоэкология / под ред. Р. М. Алексахина и Н. А. Корнеева. М. : Экология, 1992. 400 с.
2. Вероятностный подход к прогнозированию радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции / С. В. Фесенко, Л. Г. Черняева, Н. И. Санжарова, Р. М. Алексахин // Атомная энергия. 1993. Т. 74, Вып. 6. С. 507–513.
3. Маркина З. Н., Курганов А. А., Воробьев Г. Т. Радиоактивное загрязнение продукции растениеводства Брянской области. Брянск, 1997. 241 с.
4. Смолина Г. А. Сельскохозяйственная радиология : методические указания. М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2017. 49 с.
5. Рекомендации по ведению сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения территории в результате аварии на ЧАЭС на период 1991–1995 гг. / под ред. Р. М. Алексахина. М. : Гос. комиссии СМ СССР по продовольствию и закупкам, 1991. 58 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДИК ШКОЛЬНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ**

***З. П. Макаренко***

*КОГОАУ «Лицей естественных наук», nauka-klen@mail.ru*

В статье описаны примеры решения экологических проблем с использованием методик школьного экологического мониторинга (ШЭМ) юными исследователями лицея с 1-го по 11-й класс. Методики ШЭМ позволяют определять степень чистоты питьевых, поверхностных и сточных вод; степень загрязнения атмосферного воздуха; загрязнение почвы; давать экологическую оценку различных продуктов и материалов; проверять эффективность очистки сточных вод, газовых выбросов, почвы, а также переработки и утилизации отходов.

Ключевые слова: школьный экологический мониторинг, питьевая вода, поверхностные воды, сточные воды, газовые выбросы, экологическая оценка, переработка отходов, утилизация отходов.

Методики школьного экологического мониторинга (ШЭМ) включают в себя методики: капельные химического анализа, биоиндикационные, токсикологического анализа, органолептического анализа и микробиологического ана-

лиза. [1–4]. Эти методики достаточно точны, просты в исполнении, не требуют сложного оборудования, могут быть использованы в полевых условиях.

В таблице приведены методики ШЭМ и области их применения.

Таблица

**Методики ШЭМ и направления исследовательской деятельности, в которых их можно применить**

№	Методики ШЭМ	Направления исследовательской деятельности
Методики химического анализа		
1.	Определение органолептических показателей: запах, вкус, цветность, прозрачность.	Исследование воды (питьевой, водопроводной, речной, сточной, озерной, родниковой, ключевой, артезианской), продуктов.
2.	Капельный химический анализ показателей: водородный показатель, окисляемость, хлориды, сульфаты, фосфаты, нитриты, железо общее, аммоний, карбонаты, общая жесткость.	Исследование химического состава воды (питьевой, водопроводной, речной, сточной, озерной, родниковой, ключевой, артезианской), водных вытяжек почвы, суспензий продуктов. Определение эффективности очистки; выбор эффективных сорбентов.
3.	Определение антиоксидантной активности (АОА) воды, соков, растений и продуктов с использованием перекиси водорода, жидкого мыла и перманганата калия.	Выбор эффективных антиоксидантов.
4.	Определение интенсивности окраски спиртовых и масляных вытяжек пигментов (антоцианов, ксантофила, хлорофилла) из растений и цветов.	Мониторинг экологического состояния территорий.
Биоиндикационные методики		
5.	Замер площади листьев лиственных деревьев: клена, березы, липы и др.	Определение степени загрязнения атмосферного воздуха.
6.	Метод лишеноиндикации.	Определение степени загрязнения атмосферного воздуха.
Методики токсикологического анализа		
7.	Определение фитотоксичности.	Определение токсичности воды, почвы, различных продуктов и материалов. Определение эффективной дозы жидкого удобрения. Контроль процесса разложения полимеров и биополимеров в почве.
8.	Определение токсичности с использованием различных тест-объектов ( <i>Daphnia magna</i> Straus, артемии, гупии).	Определение токсичности воды, почвы, различных продуктов и материалов. Контроль процесса разложения полимеров и биополимеров в почве.
Методики микробиологического анализа		
9.	Определение микробиологической активности с использованием рентгеновской пленки с желатином.	Определение качества (степени чистоты) речной, озерной воды. Определение плодородия почвы для расчета дозы органического удобрения.

Ежегодно с исследовательскими работами и проектами, выполненными с использованием методик ШЭМ, лицеисты участвуют в заочных конкурсах: ОО ДЭД «Зеленая планета», НП «Человек на Земле», «Экологический поиск» и др.; в 14–20-и очных конференциях, выставках, конкурсах городского, областного, регионального, федерального, всероссийского и международного уровней; защите проектов на олимпиаде по экологии.

Издано 23 сборника тезисов научно-исследовательских работ, статьи по исследовательской деятельности публикуются в сборниках различных организаций.

Лицеисты участвовали в следующих международных форумах со следующими исследовательскими работами и проектами: «Разработка технологии очистки ливневого стока» (г. Ганновер, Германия), «Разработка компактной блочной установки биохимической очистки сточных вод кожевенно-мехового производства», «Экспериментальное обоснование безопасных методов обеззараживания воды плавательных бассейнов» (г. Дублин, Ирландия), «Микробиологическое загрязнение компьютеров» (г. Барселона, Испания). Ежегодно до 10 учащихся лица включаются в национальные команды России для участия в международных форумах.

В Лицее естественных наук за 24 года подготовлено 700 научно-исследовательских работ с экологической направленностью, при защите которых на конференциях, конкурсах, выставках различного уровня и получено 1827 призовых мест на научно-практических конференциях и выставках: 63 – городского уровня; 252 – областного уровня; 962 – регионального уровня; 90 – федерального уровня; 389 – всероссийского уровня; 57 – международного уровня. 56 выпускников лица поступили и учатся или защитили дипломы на кафедре «Промышленная экология» факультета «Энергетическое машиностроение» и других факультетах МГТУ им. Н. Э. Баумана. Более 400 выпускников лица учатся на факультетах МГУ им. М. В. Ломоносова, РХТУ им. Д. И. Менделеева, Академии тонкого органического синтеза г. Москвы, Нижегородского университета, Пермской фармацевтической академии, вузах г. Кирова: ВятГУ, КГМУ, ВГСХА. Первые выпускники вузов продолжают образование в ординатурах и аспирантурах, работают в областном Краеведческом музее, ВНИИОЗе (бывший институт пушнины), «Водоканале», преподают экологию в школе.

#### **Библиографический список**

1. Ашихмина Т. Я. Экологический мониторинг : учебно-методическое пособие. Киров : ООО «Типография «Старая Вятка»», 2012. 96 с.
2. Школьный экологический мониторинг : учебно-методическое пособие / под ред. Т. Я. Ашихминой. М. : АГАР, 2000. 213 с.
3. Экологический мониторинг : учебно-методическое пособие / под ред. Т. Я. Ашихминой. М. : Академический Проект, 2005. 416 с.
4. Рекомендации по разработке экологического паспорта населенного пункта : учебно-методическое пособие. Публикация в International Book Market Service Ltd. (Brivibas Gatve 197, LV-1039, Riga, Latvia, European Union) Registration number: C07072290. 2019. 182 с.

## СЕКЦИЯ 3 ХИМИЯ И ЭКОЛОГИЯ ПОЧВ

### ПОЧВЫ ОСТРОВА ВАЙГАЧ И МЫСА БЕЛЫЙ НОС, ИХ СВОЙСТВА (ПО МАТЕРИАЛАМ ЭКСПЕДИЦИИ «АРКТИЧЕСКИЙ ПЛАВУЧИЙ УНИВЕРСИТЕТ – 2015»)

*С. В. Любова*

*Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М. В. Ломоносова, s.lyubova@narfu.ru*

В статье представлены материалы комплексной экспедиции «Арктический Плавучий университет – 2015» по изучению почвенного покрова на арктических островах и побережьях Архангельской области. Полевые исследования проводились под руководством доктора географических наук С. В. Горячкина (Институт географии РАН, Москва). Изучено разнообразие почв, строение почвенных профилей, почвообразовательные процессы, формирующие их, свойства генетических горизонтов профилей.

Ключевые слова: почвы Арктики, почвенный профиль, морфологические признаки, почвообразовательный процесс, свойства и состав почвы.

Площадь арктических и арктических тундровых почв на территории Архангельской области составляет 5500 тыс. га, то есть 10,6% от общей площади почвенного покрова, тундровых почв – 8167 тыс. га или 15,6% [1].

Для арктической и тундровой областей характерны следующие особенности почвообразования: цикличность развития почв, что обусловлено криогенезом; слабая дифференциация профиля, сочетание унаследованных от материнских пород текстур с криогенными структурами; незначительный педоморфизм минеральной массы, выражающийся в сохранности состава первичных минералов, элементов строения глинистого материала материнской породы и ряда физико-химических свойств почв; замедленное преобразование органического вещества и формирование слабо развитого гумусово-аккумулятивного, грубогумусового или перегнойного горизонта в автоморфных почвах и торфяного – в гидроморфных.

Вайгач – остров на границе Баренцева и Карского морей, отделен узким проливом Югорский Шар от континента, и проливом Карские Ворота от архипелага Новая Земля. Площадь острова 3,4 тыс. км<sup>2</sup>, максимальная высота около 157 м. Рельеф равнинный, с двумя параллельными грядами. Остров сложен глинистыми сланцами, песчаниками и известняками. Много озер и болот. Растительность тундровая: распространены мхи и лишайники, сосудистые расте-

ния, большинство из них низкорослые или стелющиеся. Встречаются карликовые березы и ивы.

На острове Вайгач исследования проводились на типичной плоской морской террасе, слабо наклоненной к югу. Рельеф криогенный, распространены бугорчато-полигональные формы и валиковые вогнутые полигоны.

Географическое положение разрезов  $69^{\circ}41'34,5$  с.ш.  $60^{\circ}10'05,9$  в.д. Почвенный профиль глеезема грубогумусированного криотурбированного окисленно глеевого – разрез В-1 (рис. 1 а) имеет строение  $O_{ao}-B_g-[AH]-G-D_{Ca}$ . В профиле имеются морфоны, сформировавшиеся под воздействием криогенных процессов:  $CG$  – глеевый окисленный и  $C_{Ca}$  – пятнами.



а  
б  
Рис. 1. Почвенный разрез В-1 (а) и В-2 (б)

Разрез В-2 расположен восточнее В-1 на микроповышении (рис. 1 б). Строение почвенного профиля глеезема торфяного мерзлотного:  $T_1-T_2-BG-G$ . Почвенный покров исследованной части острова представлен самостоятельными комплексами плоских и с уклоном менее  $0,5^{\circ}$  поверхностей, где преобладают глееземы криотурбированные в комплексе с почвами пятен. Пятнами занято около 5 % площади, форма пятен овальная. Образование их связано с мерзлотными процессами: пучением грунтов и солифлюкцией. Наличие в почвенном профиле разреза В-1 горизонта  $[AH]$  является примером полигонально-трещинного комплекса почв. На длинных пологих склонах распространены плосчатые криогенные комплексы криометаморфических почв, связанных с проявлением процессов структурной солифлюкции. Площадь их достигает 50%.

В таблице представлены показатели свойств почв острова Вайгач по генетическим горизонтам. Почва разреза В-1 сформировалась на карбонатной материнской породе, что отразилась на ее свойствах. Реакция в верхних горизонтах почвы нейтральная, в нижних – щелочная, для профиля характерна высокая емкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями. Почва с такими свойствами может аккумулировать гумус и питательные вещества, однако неблагоприятный водно-воздушный режим и избыток влаги замедляют эти процессы. Почва разреза В-2 сформировалась в условиях избыточного увлажнения и при поступлении небольшого количества растительных остатков, при

разложении которых образуется много низкомолекулярных органических и фульвокислот. Почва кислая, не насыщена основаниями, с низким содержанием питательных веществ.

Мыс Белый Нос расположен на Югорском полуострове, площадь его около 18 тыс. км<sup>2</sup>. Территория полуострова представляет волнистую равнину, высотой до 200 м над уровнем моря. В центральной части полуострова находится кряж Пай-Хой. Полуостров сложен морскими (в прибрежных районах) и ледниковыми отложениями.

Таблица

**Химические свойства почв о. Вайгач**

Горизонт	П/М	ППП	C <sub>орг С</sub>	C <sub>г</sub>	pH <sub>вод</sub>	pH <sub>сол</sub>	ГК	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
Вg	$\frac{5-15}{10}$	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
Dca <sub>1</sub>	$\frac{55-65}{10}$	19,24	0,43	0,75	8,19	7,44	-	48,81	48,81	100,00
Dca <sub>2</sub>	$\frac{65-75}{10}$	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
разрез В-2										
T <sub>1</sub>	$\frac{0-10}{10}$	66,85	28,11	48,46	5,71	5,05	34,08	102,37	136,44	75,03
T <sub>2</sub>	$\frac{10-20}{10}$	34,85	19,92	34,34	5,74	5,06	38,73	110,66	149,40	74,07
G	$\frac{20-40}{20}$	10,22	-	-	6,00	5,50	12,04	20,62	32,66	63,13

*Примечание:* П/М – протяженность и мощность почвенных генетических горизонтов, см; ППП – потери при прокаливании, %; C<sub>орг С</sub> – содержание органического углерода, %, C<sub>г</sub> – содержание гумуса, %; pH<sub>вод</sub> – актуальная кислотность, pH водной вытяжки; pH<sub>сол</sub> – обменная кислотность, pH солевой вытяжки; ГК – гидролитическая кислотность, мг-экв./100 г почвы; СПО – сумма поглощенных оснований, мг-экв./100 г почвы; ЕКО – емкость катионного обмена, мг-экв./100 г почвы; СНО – степень насыщенности основаниями, %.

Ландшафт в районе метеорологической станции Белый Нос цокольный грядово-холмистый. В процессе исследований заложен гипсометрический профиль на холме высотой 15 м, длиной 110 м (рис. 2).

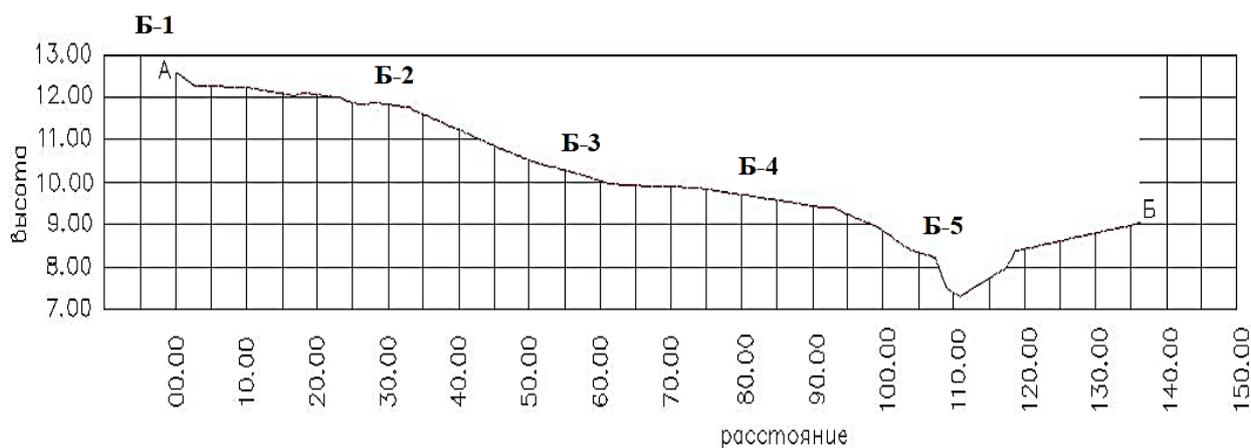


Рис 2. Гипсометрический профиль на Мысе Белый Нос

Склон холма южной экспозиции, ровный, средней крутизны. Рельеф бугорчатый со слабой полигональностью. Географическое положение почвенного разреза Б-1, заложенного в верхней части холма, –  $69^{\circ}36'32,2$  с.ш.  $60^{\circ}12'41,4$  в.д. Название почвы: перегнойная остаточно-карбонатная, с почвенным профилем  $OH_1-OH_2-AN-BC_{ca}$  (рис. 3 а). Почвенный профиль разреза Б-2 имеет следующее строение:  $T_1-T_2-G-CG$ , название почвы: торфяно-глеезем мерзлотный (рис. 3 б).



а



б

Рис. 3. Почвенные разрезы Б-1 (а) и Б-2 (б)

Координаты разреза Б-3, расположенного на высоте 12 м –  $69^{\circ}36'33,3''$  с.ш.,  $60^{\circ}12'40,2''$  в.д. Строение почвенного профиля торфяно-глеезема мерзлотного  $T_1-T_2-T_3-G$  (рис. 4 а). Разрез Б-4 заложен на высоте 10 м, географическое положение  $69^{\circ}36'35,1$  с.ш.  $60^{\circ}12'39,7$  в.д. Строение почвенного профиля перегнойно-глеевой иловато-песчаной почвы  $H_1-H_2-G$  (рис. 4 б). Разрез Б-5 располагался у подножья холма, около русла водного потока, образующегося при таянии снега в весенний период. Географическое положение  $69^{\circ}36'36,5$  с.ш.

60°12'39,6 в.д. на высоте 6 м над уровнем моря. Строение почвенного профиля перегнойно-глеевой мерзлотной почвы Н<sub>1</sub>–Н<sub>2</sub>–Н<sub>3</sub>–G (рис. 4 в).



а б в  
Рис. 4. Почвенные разрезы Б–3 (а) Б-4 (б) и Б-5 (в)

Почвы в пределах гипсометрического профиля формировались в различных условиях увлажнения. В верхней части склона полугидроморфные почвы, относящиеся к типу перегнойные, имеют строение почвенного профиля Н–С [2]. Они характеризуются высоким содержанием органического вещества – более 25%. Почвообразующая порода щебнистая или грубо-песчаная мелкоземистая. Для профиля характерно переувлажнение без признаков оглеения. Реакция почв по профилю от кислой до нейтральной. Дифференциация профиля по валовому и гранулометрическому составам не выявлена. Почвообразование перегнойных почв в верхней части склона протекает в условиях поверхностного увлажнения, сочетающегося с хорошим внутри профилем дренажом. Почвообразующими породами служат щебнисто-мелкоземистые элюво-делювий плотных пород. Эти почвы приурочены к вогнутым участкам крутых склонов в местах выклинивания грунтовых вод.

В средней части склона в условиях периодического переувлажнения на суглинисто-глинистых отложениях сформировались глееземы, имеющие строение профиля О (Н)-G-CG [2]. Для глееземов характерны достаточно мощные органогенные горизонты: подстилка, грубогумусные или перегнойные горизонты. В профиле минеральные горизонты имели сизую окраску, связанную с процессами оглеения, восстановлением оксидов железа. Криогенное ожелезнение выражено в виде ржавых прослоек на сизом фоне в глеевых и глееватых горизонтах исследуемых почвенных профилей.

У подножья склона образовались перегнойно-глеевые почвы с профилем Н-G-CG [2] с достаточно мощным 20 см темноокрашенным мажущимся перегнойным горизонтом. Горизонт отличается мраморной окраской и творожистой структурой. Реакция среды в верхних горизонтах слабокислая, ППК насыщен

основаниями, но карбонаты в профиле отсутствуют. В верхней части холма в нижних горизонтах почв отмечалось вскипание от HCl. На примере гипсометрического профиля, заложенного в среднеарктической тундре на Югорском полуострове, прослеживаются закономерности изменения почвенного покрова и отмечается его пестрота.

Основные типы почв среднеарктической тундры (зона тундровых глеевых почв и подбуров Субарктики): криометаморфические почвы, (торфяно)-глееземы, криоземы, подбуры, в том числе оподзоленные, торфяные почвы, дерновые грубогумусированные почвы, перегнойно-темногумусовые остаточно-карбонатные почвы, почвы пятен. Особенности почвенного покрова (ПП) состоят в том, что он преимущественно прерывистый, мозаичный.

#### **Библиографический список**

1. Варфоломеев Л. А. Цымбалюк Г. А. Почвенно-земельный фонд Архангельской области как составляющая землепользования // Почва как природный ресурс Севера : сб. материалов VII Сибирцев. чтений (Архангельск, 01.08.2005); отв. ред. Е. Н. Наквасина, Л.А. Варфоломеев. Архангельск : АГТУ, 2005. С. 34–40.

2. Классификация почв России [Электронный ресурс]: [офиц. сайт] / Почвенный институт им. В. В. Докучаева [Москва, 2006–2018] – Режим доступа: <http://soils.narod.ru/> свободный (дата обращения (01.06.2019)).

## **СВОЙСТВА ПОЧВ ПУГОВЫХ ХОЛМОВ ПАЛЕОЛЕДНИКОВОЙ ЗОНЫ ВЯТСКО-КАМСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ**

*И. А. Вартан, У. А. Стародумова, А. А. Крысов, А. М. Прокашев*  
*Вятский государственный университет, ia\_vartan@vyatsu.ru*

Статья посвящена характеристике почвенного покрова пуговых урочищ, расположенных в пределах палеоледниковой зоны Вятско-Камского Предуралья. Авторами рассмотрено влияние геоморфологического, литологического, а также техногенного факторов на базовые субстантивные физические и физико-химические свойства исследуемых почв.

Ключевые слова: пуговые урочища, песчано-гравийные холмы, почвенный покров, охрана природы.

Гравийно-галечниковые и моренные накопления, известные под названием «пуги» или дресвяные холмы, широко распространены в бассейнах таких крупных рек как Кама и Вятка [1, 2]. Пуговые холмы расположены преимущественно на водоразделах и обычно являются самыми высокими участками междуречий. В некоторых случаях встречаются сходные по строению придолинные образования, в том числе обособленные от водоразделов плейстоценовыми балками и заметные в рельефе как наиболее высокие берега небольших рек [2]. Пуги имеют небольшую относительную высоту (не более 30 м) и представляют собой округлые холмы или гряды овальной формы, вытянутые в направлении водораздельной линии [1, 3–5].

Актуальность исследования почвенного покрова пуговых холмов определяется их односторонней изученностью, главным образом, с минералогическими и, отчасти, палеоботаническими позициями.

Первая из исследуемых пуг с абсолютными высотами около 200 м расположена в южной части Чепецко-Кильмезской возвышенности восточнее д. Ермаки Унинского района. Она имеет линейно вытянутую форму с ориентировкой по длинной оси в широтном направлении и асимметричное строение с песчано-гравелистым северным склоном и гравелисто-суглинистым южным склоном.

Для толщи пуги характерна слоистость. Песчаниковые слои чередуются с гравийно-галечными конгломератами различной крепости в зависимости от степени сцементированности карбонатными материалами и, соответственно, степени выветрелости. Верхняя часть пуги на значительном протяжении нарушена старыми карьерными разработками, которые привели к избирательной выработке значительной части рыхлого песчано-гравийного наполнителя.

Растительный покров пуги неоднороден: южный и юго-западный склоны покрыты луговой злаково-разнотравной растительностью, северный и северо-восточный – березово-еловым лесом. На участках бывших карьерных разработок сейчас произрастают молодые сосново-березовые и елово-березовые леса.

Исследуемые почвы склонов и вершины пуговой гряды, подстилаемые песчано-гравийными отложениями, резко отличаются от окружающих дерново-подзолистых почв на покровных суглинках. Они имеют песчаный и супесчаный гранулометрический состав с большей или меньшей долей скелетной фракции. Супесчаные разности содержат около 20% физической глины, а песчаные – 9–10%. В гранулометрическом составе доминирует средне- и крупнопесчаная фракции (41–84%), на долю ила приходится не более 5–7%. Данные показатели свидетельствуют о хорошей водопроницаемости, малой водоудерживающей способности и высокой степени аэрации почвы. По-видимому, последним отчасти объясняется отсутствие или слабая выраженность элювиальных горизонтов в ряде разрезов. Другой причиной этого может служить относительная молодость почвенных профилей, в той или иной степени обновленных в результате карьерных разработок.

Анализируемая почва обладает неблагоприятным гумусным состоянием и физико-химическими свойствами. Содержание гумуса соответствует очень низкому уровню и колеблется от 0,6 до 1,7% в верхних горизонтах, закономерно снижаясь до близких к нулевым значений с глубины 60 см и более. Наиболее вероятными причинами этого может быть легкий гранулометрический состав, а также молодость отдельных профилей, заложенных вблизи бывших карьерных разработок. Емкость поглощения гумусовых горизонтов низкая (4–6 Смол/кг почвы), что объясняется легким гранулометрическим составом и низким содержанием органического вещества. Однако с глубиной она имеет тенденцию к возрастанию, что фактически не согласуется с данными гранулометрического состава и параметрами гумусового состояния нижних толщ профиля. Возможной причиной этого могут быть различия в минералогическом составе и, соответственно, сорбционных свойствах пуговых наносов. Содержание обменных

оснований в составе поглощающего комплекса низкое, особенно в верхней, наиболее интенсивно промачиваемой толще профиля. Поэтому значительную часть обменных позиций в почвенных коллоидах занимают ионы водорода, продуцируемые малозольной древесной мелколиственно-хвойной южнотаежной растительностью. Как следствие, верхние, наиболее выщелоченные и, вместе с тем, гумусированные горизонты характеризуются большими, хотя в целом и относительно невысокими величинами гидролитической кислотности, убывающими в нисходящем направлении.

Степень насыщенности основаниями верхних горизонтов варьирует в широких пределах – от крайне низкой до близкой к высокой, – возрастая вглубь профиля вслед за увеличением содержания оснований и уменьшением потенциальной кислотности при переходе к материнским породам. Судя по значениям рН солевой вытяжки, особенно в верхних горизонтах, находящихся преимущественно в кислом и сильнокислом интервале, в составе потенциальной кислотности велика доля обменного водорода. Реакция почвенных растворов слабокислая и закономерно изменяется до нейтральных и щелочных значений в направлении материнских (и подстилающих) пород.

Пуговое урочище Вострово, расположенное в Белохолуницком районе, имеет абсолютную высоту около 240 м и асимметричное строение [5]. Северный и юго-восточный склоны являются наиболее длинными. Для вершины пугового холма характерны луговые формации. Склоновые фации представлены преимущественно производными древесными (различных стадий облесения) и луговыми формациями. Подошва пугового холма покрыта елово-березовыми лесами.

Исследуемые почвы вершины и склонов пугового урочища, подстилаемые песчано-гравийными отложениями, имеют ряд отличий от местных зональных дерново-подзолистых почв на моренном суглинке. Они имеют преимущественно песчаный и супесчаный гранулометрический состав без признаков цементации. В гранулометрическом составе преобладают песчаные фракции (27–77%) с дополнительным незначительным участием крупной пыли, а на долю илистой фракции приходится обычно менее 10%, реже более, в отдельных случаях до 15–30%. Данные показатели свидетельствуют о хорошей водопроницаемости, малой водоудерживающей способности и высокой степени аэрации почв.

Изучаемые почвы бедны органическим веществом, содержание которого в гумусоаккумулятивных горизонтах варьирует от 1 до 3 %, реже более, и резко снижается вниз по профилю до близких к нулевым значений без признаков иллювиальной аккумуляции. Причиной этого является легкий гранулометрический состав и связанная с ним низкая обеспеченность элементами минерального питания, отрицательно влияющая на гумусное состояние почв.

Судя по рН солевой вытяжки, верхние горизонты имеют слабокислую, реже сильнокислую или, напротив, близкую к нейтральной реакцию. Ниже по профилю обменная кислотность заметно увеличиваются, что может быть следствием нисходящей миграции простых органических кислот типа уксусной,

муравьиной, щавелевой, возможно в сочетании с агрессивными фульватными фракциями гумуса и т.п.

Гидролитическая кислотность ввиду маргинального гумусового статуса в целом невелика, обнаруживая значительную степень variability, с максимумом как в верхней, так и в нижней зонах профиля. Сумма обменных оснований также мала – от 4 до 10 Смол/кг почвы, отмечается тенденция биоаккумуляции оснований в гумусовых горизонтах. Легкий гранулометрический состав и бедность ОВ определяют низкую емкость катионного обмена, преимущественно менее 10 Смол/кг. Степень насыщенности в верхних горизонтах АУ (как и в нижних) изменяется от высоких показателей до крайне низких – от 95–77 до 26%. В целом не всегда закономерное вертикальное распределение физико-химических показателей может объясняться влиянием химических мелиораций в недалеком прошлом – в агрокультурный период.

Таким образом, результаты предварительных исследований «пуговых почв» на примере отдельных разрезов свидетельствуют об их своеобразии, обусловленном, в первую очередь, свойствами литогенной матрицы. По этой причине свойства данных почв резко отличаются от дерново-подзолистых почв, окружающих песчано-гравийные холмы. Рассмотренные почвы имеют легкий гранулометрический состав и менее благоприятные физико-химические и биохимические свойства: малогумусность, низкие емкость катионного обмена и содержание обменных оснований, кислую реакцию. Судя по описанным почвенным профилям, среди почвообразовательных процессов преобладают элювиальные, что соответствует местному зональному комплексу современных условий и факторов почвообразования.

*Исследования выполнены в рамках гранта ВОО «РГО» по договору № 12/2018-Р.*

#### **Библиографический список**

1. Мильков Ф. Н. Среднее Поволжье. М. : Изд-во АН СССР, 1953. 261 с.
2. Петухова Н. М. О некоторых формах рельефа юга Кировской области // Ученые записки кафедры физической географии. Вып. 33. Киров, 1969. С. 3–21.
3. Структура пуговых ландшафтов Вятско-Камского Предуралья / И. А. Вартан, А. М. Прокашев, Р. Р. Чепурнов, М. А. Кельдышев, И. А. Черезова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2016. С. 81–86.
4. Фациальная структура пуговых холмов Вятского Прикамья / И. А. Вартан, А. М. Прокашев, М. А. Кельдышев, Е. С. Соболева, И. А. Черезова // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Киров, 2017. С. 8–13.
5. Ландшафтная структура и почвенный покров пугового урочища Вострово / И. А. Вартан, М. А. Кельдышев, А. А. Крысов, У. А. Стародумова, А. М. Прокашев // Почвы России: вчера, сегодня, завтра : материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Киров, 2017. С. 37–43.

## ЛИТОГЕННАЯ ОСНОВА И ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ЗАКАЗНИКА «БЫЛИНА»

*А. А. Крысов, У. А. Стародумова, И. А. Вартан*  
*Вятский государственный университет, ia\_vartan@vyatsu.ru*

Статья посвящена характеристике почв государственного природного заказника «Былина». Актуальность работы обусловлена отсутствием слабой изученностью почв заказника и факторов их формирования. Выделены наиболее характерные для данной территории типы почв.

Ключевые слова: ООПТ, почвенные разности, заказник «Былина».

Заказник «Былина» находится на территории Опаринского и Подосиновского районов Кировской области и занимает площадь 47623 га. Территория заказника обладает рядом отличительных черт, среди которых, в первую очередь, следует выделить естественные особенности. Заказник располагается на водоразделе Баренцева и Каспийского морей с преобладанием абсолютных высот в интервале 150–190 м, что создает естественные условия для высокой степени заболачивания территории. Рассматриваемая территория может быть отнесена к зоне с умеренно холодным и умеренно влажным климатом. Промывной и водозастойный водные режимы почв обеспечивают устойчивое доминирование процессов элювиальной либо органо-аккумулятивной (болотной) направленности ландшафтогенеза в современных условиях. Интенсивность первых из них возрастает на более расчлененных элементах рельефа в более дренируемых позициях, а вторых – на выположенных водоразделах и депрессиях рельефа.

В геологическом отношении территория соответствует краевой восточной части Московской синеклизы, кристаллический фундамент которой опущен на глубину более 2 километров. Он перекрыт древними коренными осадочными песчано-глинистыми, реже карбонатами отложениями позднего палеозоя и, отчасти, мезозоя, представленными с поверхности вохминской, шилихинской и слудской свитами нижнего триаса [1]. Огромное значение для формирования ландшафтов Северных Увалов и исследуемой территории имели моренные отложения [2]. В составе моренных отложений преобладают несортированные бесструктурные валунные суглинки. Суглинки содержат обломки известняков, но верхняя часть морены, выступающая в качестве почвообразующей породы, как правило, обескарбоната и перемыта.

Покровные суглинки, перекрывающие морены – это пылеватые безвалунные сортированные поверхностные отложения желто-бурого и бурого цвета, преимущественно тяжелосуглинистые. Водно-ледниковые песчаные и супесчаные отложения представлены серыми песками и супесями, часто с гравием и галькой, иногда с прослоями глинистого материала. Наиболее распространены пески с преобладанием мелкопесчаной фракции.

Из двучленных отложений разного генезиса, но близкого гранулометрического состава встречаются покровные суглинки, подстилаемые моренными

суглинками. Мощность покровных суглинков варьируется от 30–40 до 80–90 см, переход покровных суглинков в морены резкий, причем на границе раздела часто имеется разнородная супесчано-песчаная прослойка мощностью 5–10 см. В зоне контакта покровных отложений и морены усиливаются процессы оглеения и оподзоливания, наблюдается более длительное переувлажнение верхних горизонтов почв во влажные периоды по сравнению с почвами на однородных отложениях [3]. Сильная контрастность отложений в вертикальном профиле двучлена влияет на процессы почвообразования. Мощность водно-ледниковых отложений, как правило, определяет строение почвенного профиля – нижнюю границу элювиального горизонта. Свободный дренаж в верхней части профиля и затрудненный – в нижней обуславливают большое накопление влаги в почве и ее застой на контакте пород, вследствие чего усиливаются восстановительные процессы и образуются контактные подзолистые или оглеенные горизонты, что в свою очередь, часто приводит к заболачиванию поверхности [1, 4].

Ландшафты Северных Увалов со сложным мезорельефом в пределах района исследования характеризуются частым чередованием почвенных разностей. Такие компоненты природы, как климат и растительность накладывают свой отпечаток на «внешность» почв и «физиологию» протекающих в них процессов [2]. На территории заказника материнскими породами служат рыхлые глинистые и валунные суглинистые ледниковые наносы (покровные и валунные глины и суглинки).

Рассматриваемые в работе почвы относятся к 3 типам: подзолистым, дерново-подзолистым и болотным.

По гранулометрическому составу почвы заказника преимущественно глинистые и тяжелосуглинистые. В южной части заказника, к югу от Кайского болота, почвы имеют сильно различающийся механический состав, сформированный в результате частой смены ледниковых и водно-ледниковых отложений. По берегам р. Моломы преобладают флювиогляциальные пески и супеси.

Территория заказника целиком расположена в зоне средней тайги, где под пологом хвойных лесов сформировались подзолистые и сильноподзолистые почвы, бедные питательными веществами и имеющие значительную кислотность. Благодаря неглубоко залегающим водонепроницаемым слоям ледниковых валунных глин здесь наблюдается заболачивание почвы.

Подзолистые почвы в пределах рассматриваемой территории представлены 2 подтипами: подзолистыми типичными (П) и глееватыми (Пг) [4].

Таким образом, почвенный покров региона исследования находится в тесной зависимости от факторов почвообразования, обусловленных действием зональных и азональных процессов почвообразования. Среди зональных факторов выделяются биоклиматические условия, прежде всего, положение в подзоне средней тайги с высоким коэффициентом увлажнения, господством промывного, водозастойно-промывного и на значительных площадях – водозастойного типов водного режима, а также с низкосолевой, бедной основаниями, преимущественно хвойно-мелколиственной древесной и мохово-лишайниковой растительностью, зональные факторы определяют ведущую роль элювиальных

процессов и слабое проявление биоаккумулятивных процессов (исключение – болотные почвы). Из азональных факторов – преобладание слабоволнистого рельефа и сильно выщелоченных суглинистых и песчаных пород ледникового и водно-ледникового генезиса, определяющих наряду с зональными биоклиматическими условиями особенности пространственного распределения типов и подтипов почв преимущественно подзолистой и болотной групп, с одной стороны, и их соответствующие физические, физико-химические, биохимические, биопродуктивные свойства – с другой. В результате взаимосочетания и взаимодействия зонально-азональных факторов в пределах исследуемой территории преобладают следующие основные типы почв: подзолистые, торфяно-подзолистые, подзолы, торфяно-подзолы, торфяные эутрофные и сопутствующие им другие типы почв.

#### **Библиографический список**

1. Особенности литогенной основы и географии почв заказника «Былина» / А. М. Прокашев, И. А. Варган, И. А. Черезова, А. С. Матушкин, Н. Д. Охорзин, С. А. Пупышева, В. В. Масютин, А. Н. Винокуров, Г. С. Квакин, Е. О. Тайшина // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием. Киров, 2016. С. 62–66.

2. Фациальная структура ландшафтов заказника «Былина» / И. А. Черезова, И. А. Варган, А. С. Матушкин, А. М. Прокашев // Экология родного края: проблемы и пути их решения : материалы XII Всерос. науч.-практич. конф. Книга 2. Киров, 2017. С. 95–99.

3. Экология педогенеза и состав почв государственного природного заказника «Былина» / А. М. Прокашев, А. С. Матушкин, И. А. Варган, М.А. Кельдышев // Почвы России: вчера, сегодня, завтра: сб. статей по материалам Всерос. с междунар. участием науч. конф., посвященной Году экологии и 90-летию со дня рождения профессора В. В. Тюлина. Киров, 2017. С. 167–176.

4. Подзолы и дерново-подзолы государственного природного заказника «Былина» / А. М. Прокашев, И. А. Варган, А. С. Матушкин, С. А. Пупышева, А. Н. Винокуров // Почвы России: вчера, сегодня, завтра : сб. статей по материалам Всерос. с междунар. участием науч. конф., посвященной Году экологии и 90-летию со дня рождения профессора В. В. Тюлина. Киров, 2017. С. 177–185.

### **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПОЧВ ПОД ВИНОГРАДНИКАМИ В СТЕПНОМ КРЫМУ С УЧЕТОМ ХИМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

***В. Г. Кобечинская, В. Б. Пышкин***

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского»,  
valekohome@mail.ru, vpbiscrim@mail.ru*

В статье представлены результаты исследования физико-химических характеристик почв под виноградниками винсовхоза АО «Старокрымский» Кировского района Республики Крым. Выполнен анализ распределения микроэлементов и тяжелых металлов в почвах этого хозяйства и их влияние на качество продукции.

Ключевые слова: почвы, физико-химические методы, микроэлементы, тяжелые металлы, виноматериалы, степной Крым.

Современная виноградовинодельческая отрасль агропромышленного комплекса России является экономически и социально значимой. Производство винограда более доходно по сравнению с производством однолетних растениеводческих культур: в частности, доход с одного гектара плодоносящих насаждений винограда в 8,7 раза выше, чем от производства зерна озимой пшеницы [1].

Виноградарство на территории Крымского полуострова имеет давние исторические корни. Виноградную лозу завезли еще в период античности из древней Греции, эта культура выращивалась здесь на протяжении тысячелетий. В советский период пик достижений в виноградовинодельческой отрасли пришелся на 1971–1984 гг. В Крымской автономной области площадь виноградников составляла тогда 83,5 тыс. га, из них плодоносящих – 54,7 тыс. га, урожайность – 7,45 т/га, валовой сбор винограда достигал 407,3 тыс. тонн. Объем производства вина и вино-продукции составлял 17,5 млн дал, в том числе из собственного сырья – 14 млн дал. (80%) [2].

Для этого периода характерно развивающееся индустриальное производство вин с высоким уровнем механизации трудоемких процессов и оснащением предприятий отечественным оборудованием на основе разработок российских ученых. Были установлены закономерности изменения признаков винограда в зависимости от его эколого-географического размещения и физиолого-биохимических критериев отбора растений по комплексу признаков устойчивости; создание зонально-ориентированных сортов; выделение агроэкологических зон оптимального размещения винограда; разработка физико-химических основ и нормативной регламентации процессов производства различных видов винодельческой продукции и пр.

В 1985 г. ввиду начала в стране антиалкогольной кампании, виноградовинодельческая отрасль вступает в стадию стагнации – прекращения экономического роста. Последовавший в дальнейшем распад страны и перестройка национальной экономики усугубила ее состояние. Мощности предприятий первичного виноделия сократились в 2,7 раза, объем производства винодельческой продукции снизился в 7,3 раза.

Республика Крым – сегодня один из крупнейших, известнейших и старейших виноградарских регионов. Сортовой состав винограда самый богатый среди регионов Российской Федерации – 107 наименований. Из них – 69 технических и 38 столовых, которые вместе занимают территорию – 27,7 тыс. га, т. е. их площади снизились в 3 раза по сравнению с 1985 г. Остальные 3,3 тыс. га занимают сортовые смеси и малоизвестные сорта.

Акционерное общество «Старокрымский» – сельскохозяйственное предприятие, специализирующееся на производстве технических сортов винограда и его переработке было организовано в 1933 г южной части Кировского района степного Крыма. Обособленные подразделения его расположены на территории с. Первомайское и с. Изюмовка. Земельная площадь совхоза, а впоследствии АО «Старокрымский» составляет 8503 га, в том числе сельскохозяйственных

угодий – 7171 га. Наибольшие площади занимают сорта: Ркацители – 205,86 га, Шардоне – 170,33 га, Совиньон зеленый – 159,85 га и Алиготе – 153,09 га. Для остальных сортов площади колеблются от 62,0 га до 109,79 га. В комплекс предприятия входят: цех первичной переработки винограда, цех производства вин, а также цех виноградарства с виноградниками на площади 1092,99 га и он является одним из самых крупных виноградарско-винодельческих предприятий Крыма. Завод оснащен новой линией розлива, что делает его предприятием полного цикла.

Здесь крайне благоприятен климат для выращивания винограда. Продолжительность безморозного периода – 234 дня, годовая сумма осадков не превышает 333 мм. По международным стандартам данные показатели являются близкими к идеалу для выращивания винограда. Более того, завод расположен в уникальной местности, здесь постоянно смешиваются воздушные потоки, насыщенные солями Черного и Азовского морей, что придает производимому здесь вину оттенки редких ароматов, делая их уникальными, с особенно свежим вкусом и невероятным букетом.

Равнинный Крым располагается в подзоне дерновинно-злаковых сухих степей с южными черноземами и темно-каштановыми почвами, сформировавшимися на лессовидных породах. На землях АО нами в составе агрохимической службы был проведен отбор почвенных образцов с 10-ти элементарных участков виноградников с учетом рельефа местности (12–106 га) общей площадью 359,7 га. Были выполнены почвенные разрезы с отбором 115 образцов почвы из горизонтов 0–30 см, 31–60 см и 61–90 см с последующим их физико-химическим анализом и обработкой методами вариационной статистики [3]. Определяли количество гумуса, оксидов кальция, магния, железа комплексонометрическим титрованием, общее содержание азота при мокром озолении – методом Кьельдаля, оксидов калия и фосфора – с помощью пламенного фотометра. Также оценивали содержание микроэлементов и ряда тяжелых металлов. Ошибка средней величины для данных составила  $\pm 7\text{--}10\%$ .

Результаты наших исследований выявили следующие закономерности. Преобладают почвы с содержанием гумуса – 3,0–4,0%. Отмечено существенное колебание показателя по участкам. На площадях № 4 и № 8 содержание гумуса 1,55%, поскольку они расположены на возвышенности и подвержены процессам водной эрозии на участке № 10 в понижениях рельефа содержание гумуса достигает 3,79%. Вниз по профилю почв содержание гумуса значительно снижается до 0,5–1%. Это связано с особенностями корневой системы виноградников, которые проникают в глубину до 90 см, с обилием приповерхностных корней, активно забирающими элементы питания из верхних горизонтов.

Фосфор обеспечивает нормальное развитие и функционирование корневой системы, образование крупных соцветий, способствует вызреванию плодов, его нехватка негативно сказывается на цветении и процессе созревания винограда. Содержание  $P_2O_5$  колеблется от 7 мг/кг га участке № 4 до 33 мг/кг на участке № 9. Он полностью расходуется виноградниками на свою жизнедеятельность и с глубиной почвенного разреза содержание этого элемента минимально. Следует отметить, что под столовыми сортами с высоким содержанием

сахара фосфор из почв расходуется более интенсивно. Площади с дефицитом фосфора составляют – 34,7%, т. е. почти треть от общего количества исследованных виноградников, что следует учитывать при внесении осенних подкормок под посадки для обеспеченности их нормального развития.

Содержание калия в горизонте А (0–30 см) на участке № 8 составляет 170 мг/кг, на участке № 10 в 2,5 раза выше и достигает 430 мг/кг. Обеспечение калием с глубиной резко снижается, так как виноградники активно потребляют этот элемент уже в верхнем горизонте.

Медь участвует в фотосинтезе, регулирует транспорт белков, а также повышает содержание в плодах азота и фосфора, защищает хлорофилл от разрушения. Содержание меди на контрольных участках колеблется от 0,22 мг/кг на участке № 3 до 4,78 мг/кг на участке № 9. Содержание ее в почве варьирует в зависимости от сорта винограда. Так, например, на участке, где выращивается белый сорт «Ркацители», содержание меди 0,29 мг/кг, а где выращивается красный сорт «Мерло» на участке № 6 содержание меди снижается с 1,18 мг/кг до 0,24 мг/кг. Следовательно, красные сорта винограда более требовательны к микроэлементам и активнее их потребляют из почвы.

Кобальт стимулирует развитие растительных тканей и клеточную репродукцию листьев путем увеличения толщины и объема мезофилла в листьях. На участке № 3 кобальта в верхнем горизонте содержится 0,05–0,02 мг/кг, с глубины 30–60 см на этом же участке он вообще не выявлен. На участке № 6 и № 8 прослеживается его возрастание в 3 раза, поэтому четкой закономерности в динамике его распределения по почвенному профилю не выявлено.

Цинк повышает выработку сахарозы и крахмала, которые содержатся в плодах, способствует выработке витаминов. При нехватке цинка растения хуже противостоят холоду и засухе. Содержание цинка варьирует от 0,46 мг/кг на участке № 3 до 7,51 мг/кг на участке № 10.

Были проведены также исследования на содержание в почве тяжелых металлов: свинца и кадмия. Установлено, что их содержание незначительно.

Основным источником кадмиевого загрязнения почв является внесение удобрений, в особенности суперфосфата, в состав которого он входит в качестве примеси. Отмечено, что содержания кадмия на данных почвах в 10–15 раз ниже ПДК. На отдельных участках его содержание составляло 0,011–0,015 мг/кг при ПДК 0,7 мг/кг. Он малоподвижен, легко адсорбируется на глине, практически не загрязняет почвы.

Содержание свинца на участке № 4 в верхнем горизонте почвы невысокое – 1,13 мг/кг, № 6 – 1,07 мг/кг. Самые значительные показатели выявлены на участке № 9 – 2,15 мг/кг при ПДК 6,0 мг/кг.

Степень карбонатности почв варьирует от средней до высокой. Содержание активной извести в слое до 90 см – среднее. Поэтому для снижения эффекта хлороза виноградников, который распространен в этой зоне, рекомендуется применение препаратов, содержащих железо в доступных для растений формах, например, хелата железа.

Следовательно, анализ физико-химических свойств почв показал, что они пригодны для выращивания продуктивного винограда. В целом почва характе-

ризуется средним уровнем плодородия. Наиболее качественная продукция винограда может быть выращена на каменистых, легких, хорошо прогреваемых, аэрируемых почвах с высокой влагоемкостью, с относительно высоким содержанием элементов питания. На таких почвах произрастают виноградники винсовхоза АО «Старокрымский» Кировского района, поэтому здесь получают виноматериалы, соответствующие нормативным требованиям.

#### **Библиографический список**

1. Черемисина С. Г. Развитие виноградо-винодельческого производства Крыма : монография. К. : Изд-во «ННЦ ИАЭ», 2009. 490 с.
2. Матчина И. Г., Бузни А. Н. Экономика виноделия. Симферополь : Изд-во «Таврида», 2012. 256 с.
3. Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М. : МГУ, 1998. 272 с.

### **ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ЛУГОВЫХ ПОЧВАХ НА СОДЕРЖАНИЕ СУХОГО ВЕЩЕСТВА В ВЫСШИХ РАСТЕНИЯХ**

*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 луговой среднесуглинистой и супесчаной почвах на рост пшеницы яровой и гороха посевного. В большинстве опытных вариантов при разном остаточном содержании поллютанта достоверные различия в урожайности сухой зеленой массы отсутствовали. При максимальных концентрациях нефтепродуктов в почве отмечено достоверное увеличение содержания сухой зеленой массы гороха.

Ключевые слова: нефтепродукты, аллювиальная луговая почва, урожайность, биомасса, пшеница, горох.

С точки зрения сельского хозяйства, почва – это ресурс, который может предоставить оптимальное количество питательных элементов для роста растений. Плодородие почвы является гарантией высокого и качественного урожая.

Проведение рекультивационных мероприятий на нефтезагрязненных почвах не предусматривает полное удаление поллютанта [1, 2], что ставит вопрос о влиянии его остаточного содержания на рост высших растений, в том числе и на содержание в них сухой зеленой массы.

Цель исследований – изучить влияние остаточного содержания нефтяных загрязнений в рекультивированных аллювиальных луговых почвах среднесуглинистого и супесчаного состава на содержание сухого вещества в зеленой массе высших растений.

В исследованиях были использованы образцы рекультивированных аллювиальных луговых супесчаных (АЛсп) и среднесуглинистых (АЛсс) почв,

содержащих разное остаточное количество нефти. Содержание нефтепродуктов (НП) определяли путем сопоставления потерь при прокаливании массы образцов чистых и загрязненных нефтью почв [3].

Лабораторные эксперименты проводились с использованием пшеницы яровой (*Triticum vulgare* L.) сорта «Йолдыз» и гороха посевного (*Pisum sativum* L.) сорта «Казанец» при температуре окружающего воздуха 19–26 °С и влажности почв на уровне 60% от полной влагоемкости [4]. В качестве контроля использовали чистую, не загрязненную нефтью почву. Количество повторностей – 3. Определение содержания сухого вещества в зеленой массе растений проводили на 14 и 42 сутки вегетационного эксперимента.

По результатам экспериментов в большинстве опытных вариантов не выявлено влияние дозы НП в почве на содержание сухого вещества в зеленой массе растений (табл.).

Таблица

**Относительное содержание сухого вещества в зеленой массе растений на почвах с разным остаточным содержанием нефтепродуктов (% от контроля)**

Содержание НП, г/кг	АЛ среднесуглинистая				Содержание НП, г/кг	АЛ супесчаная			
	Пшеница		Горох			Пшеница		Горох	
	14 сут.	42 сут.	14 сут.	42 сут.		14 сут.	42 сут.	14 сут.	42 сут.
5,9	88	102	95	92	1,5	97	86	110	108
8,6	85	90	106	100	4,9	98	93	96	85
10,8	96	103	105	93	6,0	98	92	96	111
14,3	96	90	<b>75</b>	<b>135</b>	11,0	113	112	86	<b>123</b>

Более низкая доля сухого вещества (75% от контроля) была отмечена на 14 сутки культивирования на АЛсс почве в растениях гороха, выросших в варианте, содержащем 14,3 г/кг НП.

Достоверно более высокое содержание сухого вещества в растениях гороха было зарегистрировано в обеих почвах на 42 сутки эксперимента в вариантах с максимально испытанными концентрациями поллютанта, что вероятно, связано с особенностями массообменных процессов при высоком содержании НП в почве.

В остальных вариантах доля сухого вещества в растениях достоверно не отличалась от контроля, взаимосвязь между остаточным содержанием нефтепродуктов в почве и сухой массой растений не выявлена.

С учетом выявленной зависимости между остаточным содержанием НП в почве и динамикой роста растений [5] представляло интерес определение взаимосвязи между длиной растений и содержанием в них сухой биомассы.

Проведенный корреляционный анализ с использованием стандартной программы Microsoft Office Excel, показал, что в конце эксперимента на нефтезагрязненной аллювиальной луговой супесчаной почве проявляется обратная зависимость между длиной растений и содержанием в них сухой биомассы (-0,69 и -0,77 для пшеницы и гороха, соответственно).

Полученные результаты показывают, что в изучаемом диапазоне содержания нефтепродуктов в рекультивированной аллювиальной луговой средне-суглинистой и супесчаной почвах взаимосвязь между дозой поллютанта и сухой зеленой массой растений отсутствует. В вариантах с максимальной концентрацией нефтепродуктов наблюдается достоверное увеличение доли сухой массы в растениях гороха. При выращивании пшеницы и гороха на нефтезагрязненной аллювиальной луговой супесчаной почве проявляется обратная зависимость между длиной растений и содержанием в них сухой биомассы.

#### **Библиографический список**

1. Разработка нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах Республики Татарстан для земель сельскохозяйственного назначения / А. М. Петров, Э. Р. Зайнулгабидинов, Л. М. Сунгатуллина, Р. Р. Шагидуллин, Д. В. Иванов, О. Ю. Тарасов, Б. Р. Григорьян // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 23. С. 129–135.
2. Методические подходы к нормированию содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах / Р. Р. Шагидуллин, А. М. Петров, Д. В. Иванов, О. Ю. Тарасов, Р. А. Шагидуллина, М. А. Буфатина // Экология и промышленность России. 2011. № 6. С. 24–28.
3. Игнатъев Ю. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Применение метода прокаливания для определения аллохтонных углеводородов нефти в серых лесных почвах // Российский журнал прикладной экологии. 2018. № 3. С. 34–37.
4. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. М. : Стандартинформ, 2010. 16 с.
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.

### **ВЛИЯНИЕ ФИТОРЕКУЛЬТИВАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА СОСТАВ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ДЕРНОВОЙ ПОЧВЕ**

*Ю. А. Игнатъев, Э. Р. Зайнулгабидинов, А. М. Петров  
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ*

Газохроматографическим методом изучено изменение содержания нефтяных углеводородов (УВ) и n-алканов в нефтезагрязненной аллювиальной дерновой легкосуглинистой почве после проведения фиторекультивационных мероприятий. Показано, что использование растений оказывает влияние как на общее содержание УВ, n-алканов, так и на их распределение.

Ключевые слова: аллювиальная дерновая почва, нефтяное загрязнение, газожидкостная хроматография.

Токсическая природа нефти обусловлена наличием неспецифических соединений углеводородного состава. С течением времени нефть подвергается трансформации и деградации с образованием полярных и неполярных соедине-

ний. Скорость и интенсивность изменения этих процессов определяется составом нефти, биологическими и физико-химическими свойствами почвы, а также проводимыми рекультивационными мероприятиями, способствующими восстановлению плодородия загрязненной почвы. Одним из наиболее часто применяемых приемов восстановления свойств загрязненной почвы является фиторекультивация с высаживанием различных растений-ремедиантов.

Присутствие остаточного содержания нефтепродуктов (НП) в почве определяет возможность ее дальнейшего соответствующего использования [1]. Однако без всестороннего анализа наличия и концентрации загрязнителей невозможно дать конкретные рекомендации по ее применению.

Различные методы инструментального контроля не позволяют достаточно полно оценить содержание нефтепродуктов в объектах окружающей среды (ОС). Наиболее информативным в этом отношении является метод газожидкостной хроматографии (ГЖХ). С его помощью возможно определение, как общего содержания органических веществ, так и индивидуальных соединений, извлекаемых из загрязненных почвенных образцов.

Цель исследования: изучить газохроматографическим методом изменение остаточного содержания нефтепродуктов в рекультивированной почве, прошедшей и не прошедшей этап фиторемедиации с использованием однодольных и двудольных растений.

Объектом исследования служила загрязненная парафинистой нефтью Ямашинского месторождения Республики Татарстан (РТ) рекультивированная аллювиальная дерновая почва легкосуглинистого состава с различным содержанием поллютанта.

При проведении фиторекультивационных мероприятий использовали двудольное растение – горох посевной и однодольное – пшеницу яровую. Полученные результаты сопоставляли с результатами анализа содержания нефтепродуктов в почвах не подвергшихся фиторемедиации (К).

В опытных и контрольных образцах методом газожидкостной хроматографии (ГЖХ) определяли общее остаточное содержание углеводородов (УВ) и н-алканов [2]. Опытные варианты (В1, В2, В3, В4) содержали – 0,7 г/кг, 1,4 г/кг, 1,3 г/кг и 4,0 г/кг НП, соответственно.

Результаты хроматографического анализа показали, что, как в контрольных, так и опытных вариантах практически полностью отсутствуют низкомолекулярные н-алканы, а также наблюдаются две области распределения УВ: с числом атомов углерода (С14 – С27) и (С27 – С32) (рис. а-в). Следует также отметить в вариантах В1-В3 различия в содержании н-алканов с четным и нечетным количеством атомов углерода. Наибольшее содержание нечетных УВ не превышает 10%, в то время как содержание только С18 приближается к 25%. В варианте В4 с максимальным содержанием поллютанта различия в распределении четных и нечетных УВ не столь заметны.

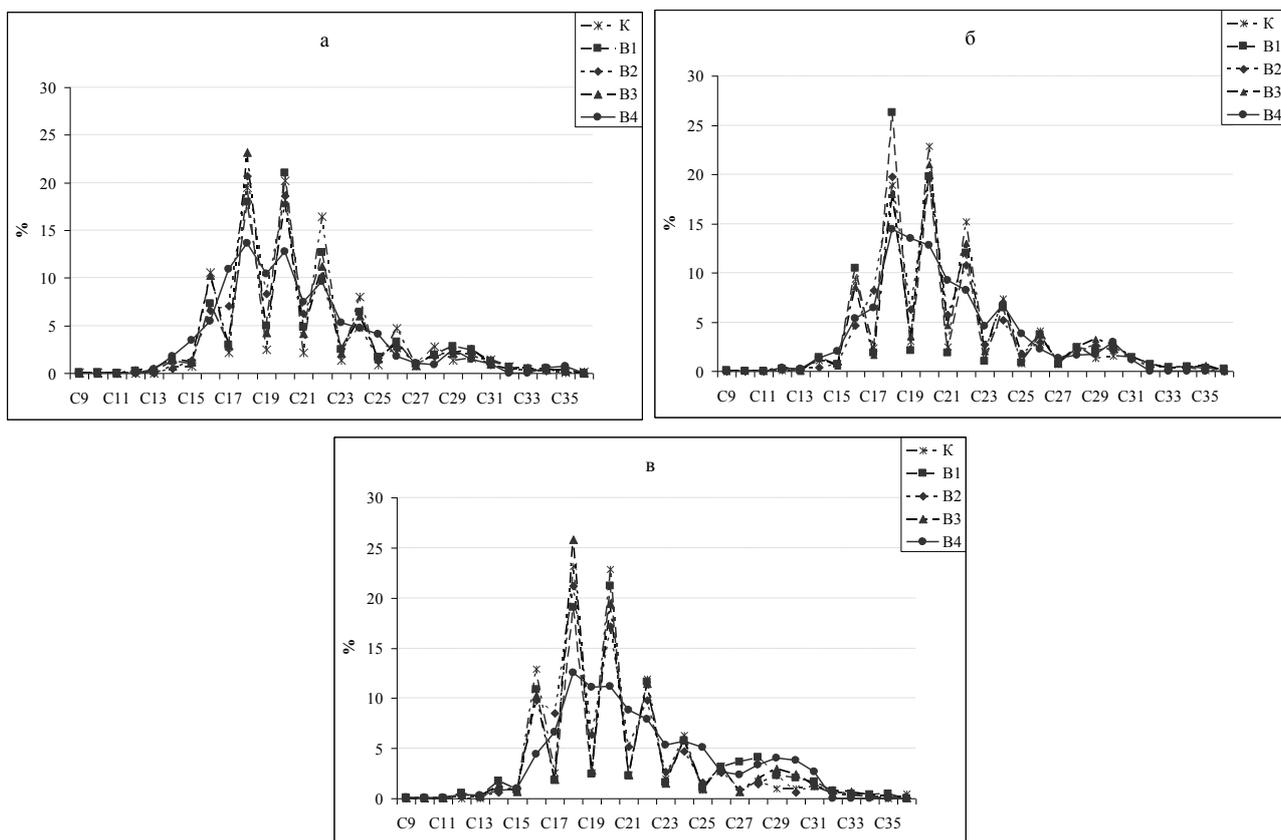


Рис. Процентное содержание н-алканов в контрольных и опытных вариантах эксперимента (а – контроль, б – после гороха, в – после пшеницы)

Проведенные расчеты показали, что в почве после фиторекультивационных мероприятий в вариантах В2 и, особенно, В4 отмечается более низкое содержание УВ с четным и, соответственно, более высокое с нечетным числом атомов углерода по сравнению с вариантами В1 и В3 (табл.).

Таблица

**Сумма четных и нечетных н-алканов (%) и их соотношение по вариантам эксперимента**

Вариант эксперимента	B1	B2	B3	B4
	Σчет			
К	75,9	68,4	78,9	52,6
горох	86,6	68,7	79,3	56,0
пшеница	81,3	69,1	83,5	52,7
Σнечет				
К	24,1	31,6	21,1	47,4
горох	13,4	31,3	20,7	44,0
пшеница	18,7	30,9	16,5	47,3
Отношение нечет/чет				
К	0,3	0,5	0,3	0,9
горох	0,2	0,5	0,3	0,8
пшеница	0,2	0,5	0,2	0,9

Результаты газохроматографического анализа показали, что использованные в экспериментах растения при разных концентрациях поллютанта по-разному влияют на состав УВ в почве. В вариантах В2 сумма четных н-алканов

практически не зависела от культивируемого растения, в то время, как в вариантах В1 и В4 после выращивания гороха наблюдалось увеличение содержания УВ с четным числом атомов углерода по отношению к контрольному и опытному варианту с пшеницей. В варианте В3 после культивирования пшеницы суммарное содержание углеводов с четным числом атомов углерода было несколько выше, чем в контроле и в эксперименте с горохом.

Относительное содержание УВ в почвах позволяет определить степень деградации нефтяного загрязнения. В большинстве нативных и загрязненных нефтью почв преобладают н-алканы с высокой молекулярной массой, в частности, наибольшее значение имеют УВ с нечетным числом атомов С25, С27, С29 и С31 [3–6]. В парафинистых нефтях преобладают н-алканы низкомолекулярного строения. [2]. Согласно проведенным исследованиям установлено, что наибольшей деградации в период инкубирования рекультивированной аллювиальной дерновой легкосуглинистой почвы подвергаются УВ с нечетным числом углеродных атомов.

Проведенные исследования показали, что культивирование растений оказывает влияние как на общее содержание УВ, н-алканов, так и на их распределение. При проведении фиторекультивационных мероприятий на загрязненных нефтью почвах максимум содержания нормальных углеводов смещается в область со средним числом атомов углерода. Наблюдается изменение соотношения между н-алканами с четным и нечетным содержанием атомов углерода по отношению к фоновым незагрязненным почвам.

#### **Библиографический список**

1. Разработка нормативов допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в светло-серых лесных почвах Республики Татарстан / А. М. Петров, Р. Р. Шагидуллин, Э. Р. Зайнулгабидинов, Д. В. Иванов, О. Ю. Тарасов, Б. Р. Григорьян // Экология и промышленность России. 2011. № 6. С. 29–34.
2. Игнатъев Ю. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Изменение углеводородного состава нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы в стандартизированных условиях инкубации // Вестник технологического университета. 2014. Т. 17, № 15. С. 256–260.
3. Особенности распределения нормальных алканов в современных дерново-подзолистых почвах / Э. Р. Зайнулгабидинов, Ю. А. Игнатъев, А. М. Петров, Р. Э. Хабибуллин // Вестник технологического университета 2015. Т. 18, № 4. С. 271–274.
4. Насыщенные углеводороды в фоновых и загрязненных почвах предуралья / Д. Н. Габов, В. А. Безносиков, Б. М. Кондратенок, И. В. Грузлев // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1190–1196.
5. Влияние нефтезагрязнения на состояние природного фона почв / И. Н. Зуева, Ю. С. Глянцева, О. Н. Чалая, С. Х. Лифшиц // Успехи современного естествознания. 2012. № 11. С. 89–91.
6. Зайнулгабидинов Э. Р., Игнатъев Ю. А., Петров А. М. Исследование изменения состава нормальных алканов нефтезагрязненной серой лесной почвы // Журнал экологии и промышленной безопасности. 2015. № 1–2. С. 73–76.

## ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В РЕКУЛЬТИВИРОВАННОЙ АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ДЕРНОВОЙ ПОЧВЕ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ

Э. Р. Зайнулгабидинов, Ю. А. Игнатъев, А. А. Утомбаева, А. М. Петров  
Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, [comp05@mail.ru](mailto:comp05@mail.ru)

Определено влияние выращивания одно- и двудольных растений на изменение содержания нефтепродуктов в рекультивированной аллювиальной дерновой легкосуглинистой почве. Показано, что под посевами пшеницы деградация нефтяных УВ происходит более эффективно.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение; нефтепродукты; аллювиальная дерновая легкосуглинистая почва; пшеница; горох; фиторекультивация.

В настоящее время биологические методы восстановления почв, загрязненных органическими загрязнителями, рассматриваются как перспективное направление в биотехнологии. Фиторемедиация является одним из таких подходов, который основан на объединении метаболического потенциала с микроорганизмами. Многими работами показано, что симбиоз высших растений и микроорганизмов способствует деструкции и трансформации загрязняющих веществ, в частности углеводородов (УВ) нефти [1–5].

Обсуждая технологии рекультивации нефтезагрязненных земель, исследователи подчеркивают важную роль растений-индикаторов загрязнения и растений-ремедиантов. При отработке технологии восстановления почв основное внимание уделяется отбору культур, устойчивых к нефтяному загрязнению, что должно способствовать усилению активности проходящих в почве биохимических процессов и влиянию на скорость деструкции нефтяных УВ [6–9].

Целью настоящей работы явилось изучение влияния выращивания представителей одно- и двудольных растений на содержание нефтепродуктов (НП) в рекультивированной аллювиальной дерновой легкосуглинистой почве.

Объектом исследования являлась рекультивированная аллювиальная дерновая легкосуглинистая почва с разным остаточным уровнем нефтяного загрязнения. Варианты В1, В2, В3 и В4 содержали – 0,7 г/кг, 1,4 г/кг, 1,3 г/кг и 4,0 г/кг НП, соответственно. В качестве контроля (К) была использована почва, не содержащая загрязняющих веществ.

Эксперименты по фиторекультивации проводились в лабораторных условиях при температуре 21–26 °С с использованием пшеницы яровой (*Triticum vulgare* L.) и гороха посевного (*Pisum sativum* L.).

Режим освещения – 16 часов в сутки, интенсивность – 4000 Лк. Влажность почвы в ходе эксперимента поддерживали на уровне 60% от полной влагоемкости. Через 42 дня инкубации растения удалялись, и определялось содержание НП в почве.

Выделение НП из 5 г почвы проводили экстракцией четыреххлористым углеродом (ЧХУ) с использованием ультразвука. Для отделения от полярных,

смолистых и асфальтеновых веществ экстракт пропускали через колонку, заполненную оксидом алюминия. Полученный элюат подвергали дальнейшему анализу.

Определение общего содержания НП проводили методом газожидкостной хроматографии [10]. Идентификацию углеводородов нормального строения проводили по реперным соединениям, в качестве которых использовали ундекан, додекан, тридекан, тетрадекан и гексадекан. В тех же условиях по хроматограмме дизельного топлива идентифицировали n-алканы с числом углеродных атомов от октана до гексатриконтана (C<sub>8</sub> - C<sub>36</sub>).

Известно, что эффективность этапа фиторекультивации зависит от правильного выбора высеваемых культур растений. Предполагается, что использование высшей растительности, устойчивой к нефтяному загрязнению, способствует усилению активности проходящих процессов биodeградации и трансформации нефтяных УВ. Показано, что как однодольные, так и двудольные растения с устойчивой к воздействию поллютантов корневой системой могут применяться для восстановления нефтезагрязненной почвы [6].

Анализ результатов показал, что в эксперименте с рекультивированной почвой суммарная концентрация УВ нефти в вариантах «К» и «В1», «В2» и «В3» практически не отличалась. В варианте «В4» содержание НП составляло 4 г/кг почвы (рис. а).

Доля n-алканов в опытных вариантах с рекультивированной почвой изменялась от 18 до 40% и определялась начальным уровнем загрязнения. Однако в варианте «В3», их процентное содержание составляло 40%.

Культивирование высших растений привело к снижению суммарного содержания НП. Максимальный эффект разрушения неполярных УВ нефти после посева растений отмечен в почвенных образцах с высоким начальным уровнем загрязнения. Так, в вариантах «В3» концентрация УВ нефти варьировала в пределах 1,1–1,0 г/кг, а в вариантах «В4» – 1,9–1,1 г/кг после выращивания гороха посевного и яровой пшеницы соответственно (рис. б, в).

Процентное содержание n-УВ в данных опытных образцах относительно эксперимента без растений практически не изменилось и варьировало в пределах 20–40% в зависимости от уровня начального загрязнения. Максимальная доля n-алканов зарегистрирована в эксперименте с культурой гороха только в варианте с минимальным уровнем содержания загрязнителя – «В1». Здесь же относительно других аналогичных вариантов отмечено наибольшее снижение суммарной концентрации НП.

Сопоставление полученных результатов показало, что культивирование пшеницы обеспечивает более эффективный метаболизм поллютанта, при сохранении прямой зависимости интенсивности деградации нефтяных УВ от начального содержания НП (рис. б). В эксперименте с горохом такая зависимость не наблюдалась, эффективность деструкции НП имела тенденцию к снижению в вариантах с более высоким исходным уровнем содержания загрязнителя в почвенных образцах (рис. в).

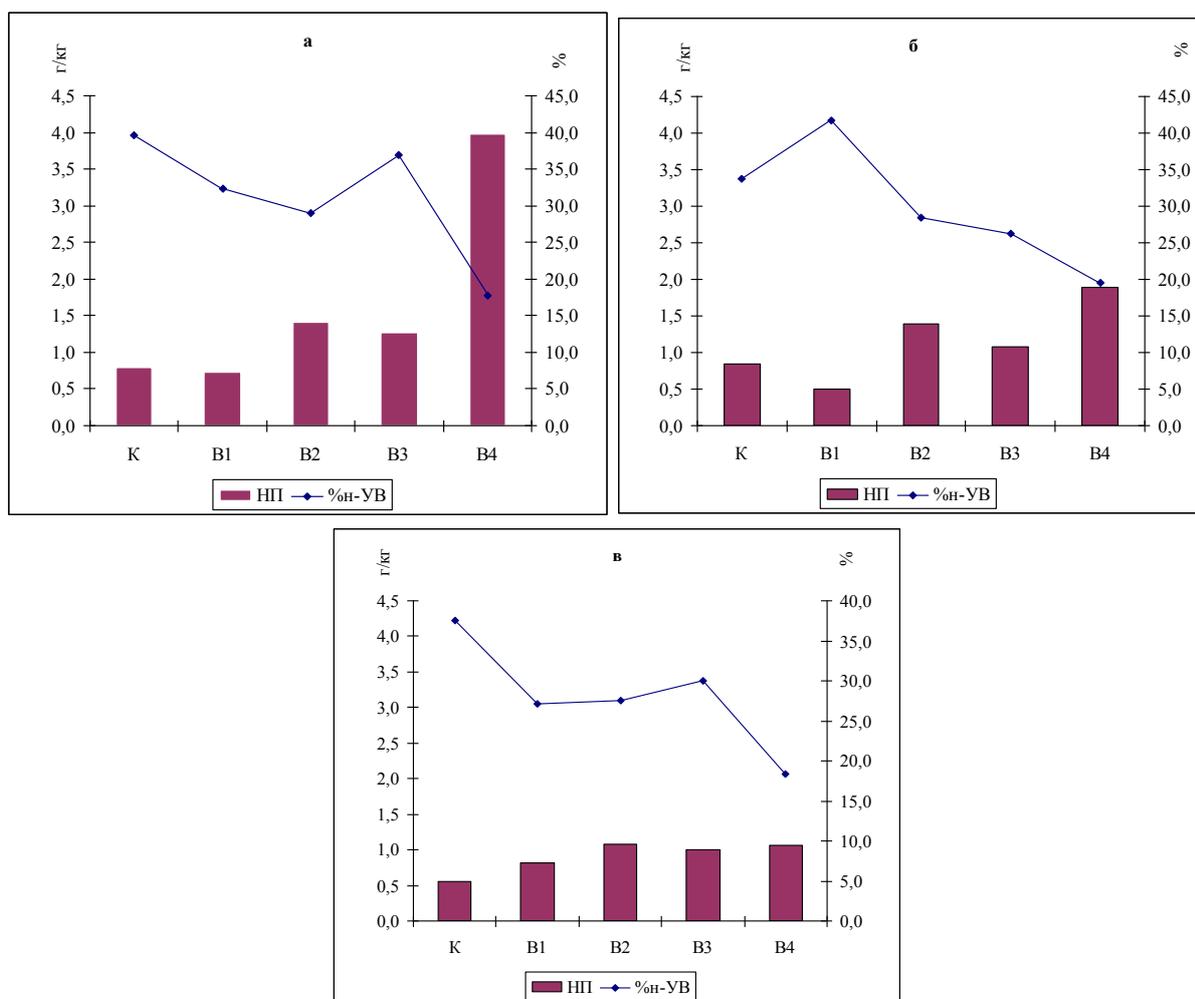


Рис. Суммарное содержание НП и относительное содержание н-алканов в рекультивированных образцах аллювиальной дерновой легкосуглинистой почвы без и после выращивания растений (а – рекультивированная, б – после выращивания гороха, в – после выращивания пшеницы)

В целом можно отметить, что в исследуемом диапазоне концентраций поллютанта испытанные растения стимулируют процесс биodeградации нефтяных УВ в аллювиальной дерновой почве. Более высокая устойчивость пшеницы к НП обеспечивает более эффективное разложение нефтяных загрязнений. Негативное влияние на рост и развитие гороха высоких остаточных концентраций загрязнителя может являться одним из факторов, ограничивающих использование этой сельскохозяйственной культуры при проведении фиторекультивационных мероприятий на нефтезагрязненных почвах.

Ранее для почв с легким механическим составом было установлено, что эффективность фиторекультивационных мероприятий определяется остаточным содержанием НП в почвах и используемой для этого культурой. Было показано, что выращивание пшеницы возможно при относительно высоком содержании УВ нефти в почве [2]. Однако принимая во внимание способность бобовых за счет симбиотических азотфиксаторов повышать микробиологическую активность почв, учитывая более высокую эффективность биodeградации низких концентраций поллютанта при использовании гороха, можно рекомендо-

вать его посев на нефтезагрязненных территориях после выращивания более устойчивых растений-ремедиантов.

#### **Библиографический список**

1. Моделирование деградации углеводов под посевами костреца и вопросы фиторемедиации / Н. А. Киреева, А. С. Григориади, В. В. Водопьянов, Л. Л. Водопьянова // Известия Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14, № 1(9). С. 2237–2239.
2. Каримуллин Л. К., Петров А. М., Вершинин А. А. Фиторекультивация и физиологическая активность нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы // Российский журнал прикладной экологии. 2016. № 1. (5) С. 14–17.
3. Использование комплексной фиторемедиации для очистки почвы, загрязненной нефтешламом / А. Ю. Муратова, А. Д. Бондаренкова, Л. В. Панченко, О. В. Турковская // Биотехнология. 2010. № 1. С. 77–84.
4. Биологическая активность чернозема выщелоченного, загрязненного продуктами сгорания попутного нефтяного газа, и возможности ее восстановления при фиторемедиации / Н. А. Киреева, Е. И. Новоселова, А. А. Шамаева, А. С. Григориади // Почвоведение. 2009. № 4. С. 498–503.
5. Фиторемедиация – эффективный и экономический метод очистки почвы, загрязненной нефтью и нефтепродуктами / П. Н. Фатина, И. В. Лапаева, Е. А. Давыдова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 5. С. 75–78.
6. Подбор растений для фиторемедиации почв, загрязненных нефтяными углеводородами / Н. А. Киреева, А. С. Григориади, В. В. Водопьянов, А. Р. Амирова // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, № 5 (2). С. 184–187.
7. Использование бархатцев прямостоячих *Tagetes erecta* L. для фиторемедиации почвы, загрязненной нефтяными углеводородами / Н. А. Киреева, А. С. Григориади, Р. М. Баширова, А. Р. Амирова // Агрехимия. 2012. № 5. С. 66–72.
8. Киреева Н. А., Водопьянов В. В. Мониторинг растений, используемых для фиторемедиации нефтезагрязненных почв // Экология и промышленность России. 2007. № 9. С. 46–47.
9. Оптимизация выбора растений для биоремедиации почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами в условиях южной Сибири / Н. В. Пахарькова, С. В. Прудкова, А. С. Гекк, А. Н. Ларькова, Н. С. Коростелева // Вестник КрасГАУ. Биологические науки. 2015. № 8. С. 28–32.
10. Игнатъев Ю. А., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Изменение углеводородного состава нефтезагрязненной дерново-подзолистой почвы в стандартизированных условиях инкубации // Вестник технологического университета. 2014. Т. 17, № 15. С. 256–260.

### **ИЗМЕНЕНИЕ СРОКОВ ЕСТЕСТВЕННОЙ ДЕТОКСИКАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ КОМПЛЕКСА ПЕРЕМЕННЫХ И ПОСТОЯННЫХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ**

**Д. В. Акайкин**

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, akaykin@mail.ru*

В ходе изучения динамики фитотоксичности нефтезагрязненной супесчаной и среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы рассмотрено влияние исходной влажности на скорость деструкционных процессов и установлены сроки естественной детоксикации нефтезагрязненных почв разного гранулометрического состава.

Ключевые слова: нефть, фитотоксичность, влажность, гранулометрический состав, дерново-подзолистые почвы.

Сроки восстановления свойств нефтезагрязненных почв, а также необходимый спектр мероприятий по их рекультивации, определяется широким перечнем факторов, таких как: зонально-климатические особенности, тип почвы, концентрация, состав нефтяных загрязнений и другие [1–3]. Влажность почвенного покрова на момент загрязнения поллютантом может оказаться ключевой величиной, оказывающей влияние на скорость деструкционных процессов в почвах различного гранулометрического состава, определяя дальнейший перечень и интенсивность рекультивационных и восстановительных работ [4].

Целью исследования явилось изучение в условиях длительного воздействия поллютанта физических и токсикологических свойств нефтезагрязненных дерново-подзолистых супесчаных и среднесуглинистых почв при варьировании их исходной влажности.

В исследовательской работе использованы дерново-подзолистые почвы (ДПП) Республики Татарстан супесчаного и среднесуглинистого гранулометрического состава. Варианты экспериментов представлены 2 сериями.

Серия эксперимента 1. В дерново-подзолистые супесчаную и среднесуглинистую почвы с исходной влажностью 1–3% вносили различное количество сернистой нефти Ямашинского месторождения Республики Татарстан. В экспериментах с супесчаной почвой были использованы образцы с начальным содержанием нефти 2,4, 4,8, 9,0, 13,0%, со среднесуглинистой почвой – 4,8, 7,1, 9,0, 13,0, 16,7 и 20,0%. Опытные образцы готовились путем внесения нефти в почву с учетом ее сорбционной емкости [5]. Контролем служила чистая почва.

Серия эксперимента 2. В дерново-подзолистые супесчаную и среднесуглинистую почвы с исходной влажностью 60% от полной влагоемкости вносили различное количество нефти. С учетом сорбционных свойств исследуемых почв, в экспериментах с супесчаной почвой были использованы образцы с начальным содержанием нефти 2,4, 4,8, 9,0, 13,0 и 16,7%, со среднесуглинистой почвой 7,1, 9,0, 13,0, 16,7 и 20,0%.

В ходе лабораторных экспериментов каждые 5–6 дней опытные и контрольные образцы почвы рыхлились и увлажнялись [6]. Влажность поддерживалась на уровне 60% от полной влагоемкости почвы, температура в интервале 20–24 °С.

При установлении токсичности исследуемых образцов нефтезагрязненных дерново-подзолистых почв определялась всхожесть семян и длина корней проростков пшеницы (*Triticum vulgare* L.) на ранней стадии развития в сравнении с контрольными пробами [6]. Время инкубации семян при фитотестировании составляло 5–7 суток. Острую токсичность исследуемых образцов определяли с периодичностью 4–19 суток на протяжении 365 дней.

При нормировании содержания нефти и продуктов ее трансформации в качестве статистического критерия использовалась концентрация нефтепродуктов, при которой фитотоксический эффект превышает 20% [7–9]. При обсуждении результатов экспериментов по тексту используется условное обозначение

для Серии 1 – исходно «воздушно-сухая» почва, для Серии 2 – исходно «влажная» почва.

Устранение фитотоксического действия в «воздушно-сухой» супесчаной дерново-подзолистой почве при начальном содержании нефти 2,4% (рис. 1) было зарегистрировано на 135 сутки, во «влажной» (рис. 2) на 339 сутки инкубации, при 4,8% содержании поллютанта на 233 и 339 сутки, соответственно. Преодоление негативного воздействия нефти в супесчаной почве в концентрациях 2,4 и 4,8% наступало соответственно в 2,5 и 1,5 раза быстрее при исходно низкой влажности. При более высоком содержании поллютанта (9,0% и 13,0%) токсическое действие сохранялось на протяжении всего эксперимента вне зависимости от гранулометрического состава почвы.

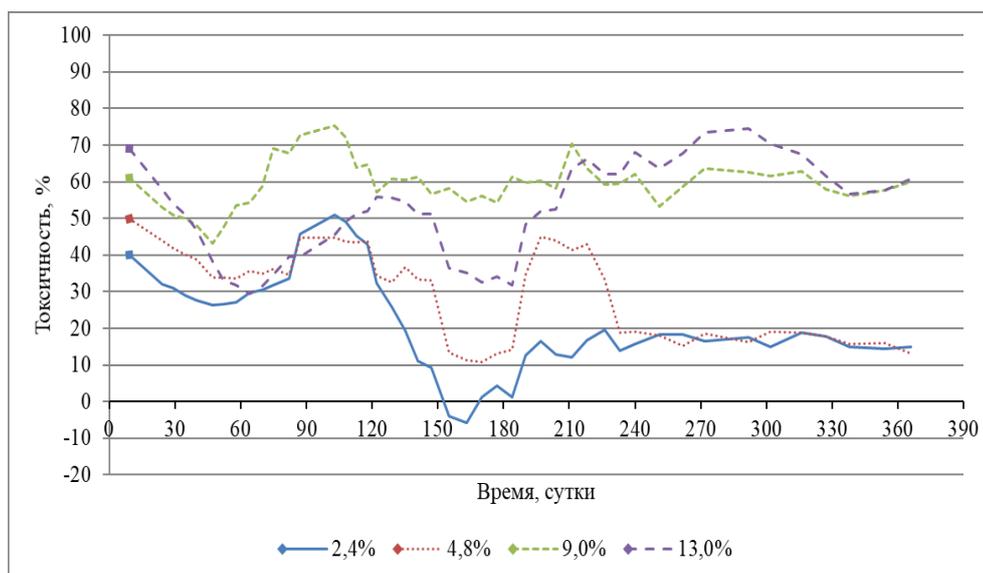


Рис. 1. Динамика фитотоксичности нефтезагрязненной супесчаной ДПП (Серия 1)

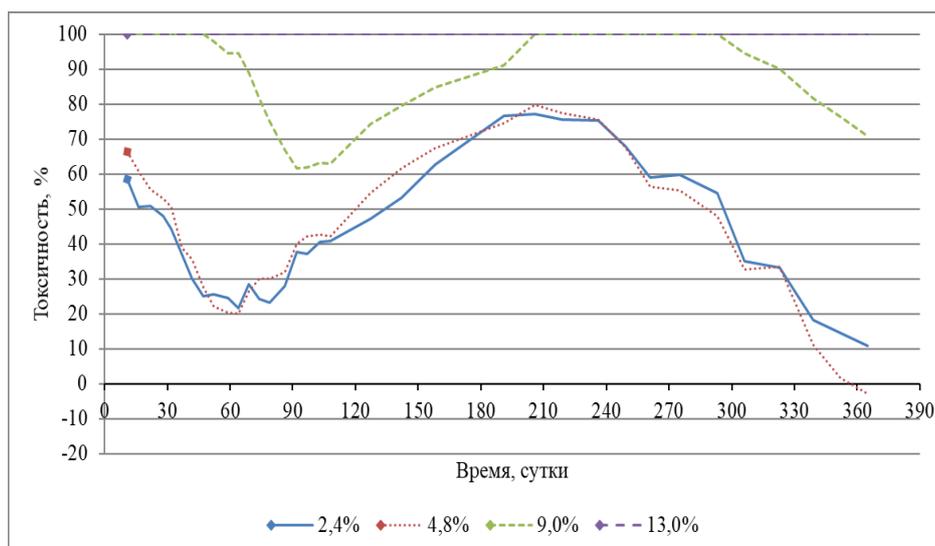


Рис. 2. Динамика фитотоксичности нефтезагрязненной супесчаной ДПП (Серия 2)

Устранение острого токсического действия нефти на пшеницу при ее исходном содержании 4,8, 7,1 и 9,0% в «воздушно-сухой» среднесуглинистой почве (рис. 3) было отмечено на 52, 68 и 94 сутки эксперимента, в исходно «влажной» (рис. 4) на 97, 103 и 127 сутки, соответственно. Преодоление негативного воздействия нефти в среднесуглинистой почве в концентрациях 4,8, 7,1 и 9,0% наступало соответственно в 1,9, 1,5 и 1,4 раза быстрее при исходно низкой влажности. При 13,0 и 16,7% содержании нефти в образцах «воздушно-сухой» среднесуглинистой почвы фитотоксическое действие устранялось на 94 и 304 сутки, тогда как в исходно «влажной» почве при вышеуказанном содержании поллютанта токсическое действие сохранялось на протяжении всего эксперимента.

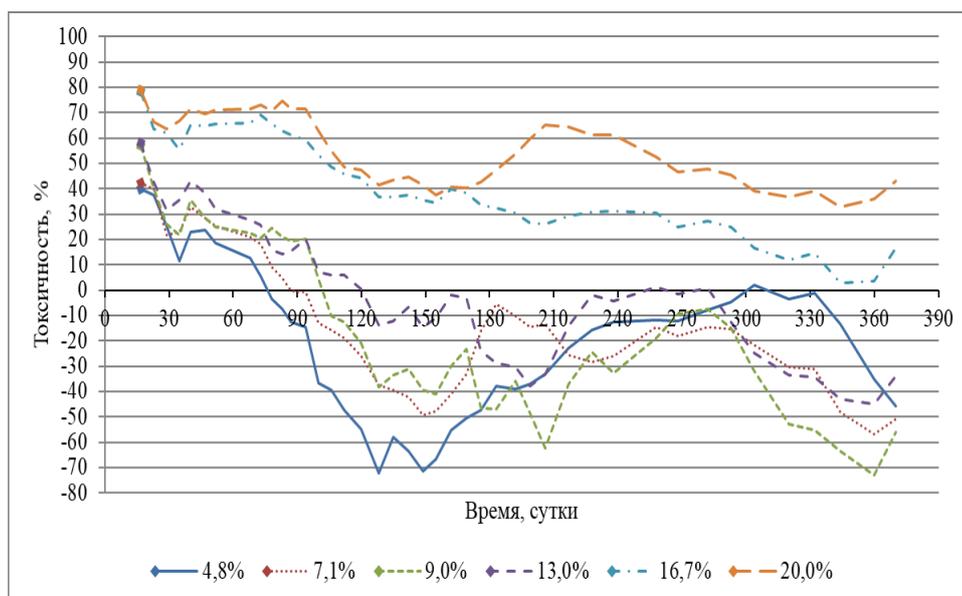


Рис. 3. Динамика фитотоксичности нефтезагрязненной среднесуглинистой ДПП (Серия 1)

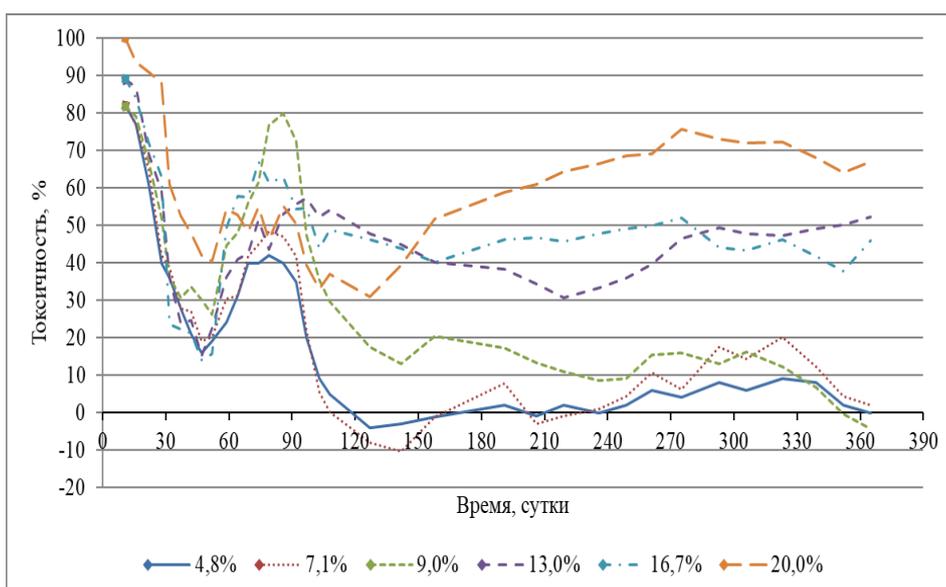


Рис. 4. Динамика фитотоксичности нефтезагрязненной среднесуглинистой ДПП (Серия 2)

Неоднородность распределения нефтяного загрязнения, обусловленная разным гранулометрическим составом, находит отражение в динамике токсикологических характеристик дерново-подзолистых почв. Вместе с тем, начальное содержание поллютанта и исходная влажность почвы также влияют на сроки преодоления негативного токсического воздействия нефти. Как следствие, конечный результат естественной трансформации нефти в почвах во времени может существенно различаться и будет определяться комбинацией характеристик почв и переменных факторов воздействия.

#### **Библиографический список**

1. Технологии восстановления почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами : справочник / S. Miertus, Н. Ю. Гречищева, С. В. Мещеряков, Н. Г. Рыбальский, А. Р. Барсов. М. : РЭФИА НИА-Природа, 2001. 185 с.
2. Assessing the biological activity of oil-contaminated soddy-podzolic soils with different textures / A. A. Vershinin, A. M. Petrov, D. V. Akaikin, Y. A. Ignat'ev // Eurasian Soil Science. 2014. Т. 47. № 2. С. 134–139.
3. Другов Ю. С., Родин А. А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов: практическое руководство. СПб. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2000. 248 с.
4. Козунь Ю. С., Казеев К. Ш. Влияние климата на эколого-биологическую активность почв Ростовской области // Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред : Тезисы докладов Международной конференции. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. С. 100.
5. Акайкин Д. В., Зайнулгабидинов Э. Р., Петров А. М. Влияние исходной влажности на токсикологические характеристики нефтезагрязненных почв // Журнал экологии и промышленной безопасности. 2013. № 3 (59). С. 63–64.
6. Прикладная экобиотехнология : учебное пособие / А. Е. Кузнецов, Н. Б. Градова, С.В. Лушников, М. Энгельхарт, Т. Вайссер, М.В., Чеботаева. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. Т. 2. 2-е изд. 485 с.
7. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв. ФР.1.39.2006.02264. СПб., 2009. 22 с.
8. Качество почвы. Биологические методы. Хроническая фитотоксичность в отношении высших растений. ГОСТ Р ИСО 22030-2009. М. : Стандартиформ, 2010. 16 с.
9. Динамика эколого-биологических характеристик дерново-подзолистых почв в условиях длительного воздействия нефтяного загрязнения / А. М. Петров, А. А. Вершинин, Л. К. Каримуллин, Д. В. Акайкин, О. Ю. Тарасов // Почвоведение. 2016. № 7. С. 848–856.

### **МИКРОБНЫЙ ПУЛ АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ЛУГОВОЙ ПОЧВЫ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ОСТАТОЧНОМ СОДЕРЖАНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

*Т. В. Кузнецова, А. М. Петров, И. В. Князев, А. А. Вершинин*  
*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,*  
*kuznetsovatatyana@mail.ru*

Проведен сравнительный анализ структуры микробных сообществ находящейся под воздействием разных остаточных доз нефтепродуктов аллювиальной луговой почвы. Присутствие поллютанта в супесчаной почве в меньшей степени, чем в суглинистой, влияло на численность углеводородокисляющих

микроорганизмов. Высокое остаточное содержание нефтепродуктов приводило к снижению численности микромицетов и увеличению количества бактерий, утилизирующих минеральный азот. Содержание спорообразующих микроорганизмов в большинстве опытных вариантов было ниже, чем в контроле.

Ключевые слова: аллювиальная луговая почва, нефтепродукты, микробный пул.

Загрязнение почвы углеводородами способствует изменению активности, численности и соотношения групп почвенных микроорганизмов.

Нефтяные углеводороды для почвенной микрофлоры выступают, с одной стороны, как источник углерода, а с другой – как загрязняющие вещества с токсичными свойствами [1]. В связи с этим их поступление в почву может как стимулировать, так и угнетать жизнедеятельность микроорганизмов [2–4]. Реакция почвенной биоты на загрязнение нефтью зависит от дозы загрязнителя, почвенно-климатических условий и различается для разных групп почвенных микроорганизмов [5–7].

Общая численность микроорганизмов, как правило, достаточно четко отражает микробиологическую активность почвы, скорость разложения органических веществ и круговорота минеральных элементов. На основании данного показателя можно судить не только о степени загрязненности почвы нефтью, но и о потенциальной способности к восстановлению в естественных природных условиях и при рекультивации загрязненных почв [8].

Нефтяное загрязнение может способствовать накоплению в почве микроскопических грибов, выделяющих фитотоксины и вызывающих заболевания растений [9], что играет немаловажную роль при прогнозировании направления дальнейшего хозяйственного использования нефтезагрязненных земель.

С целью анализа влияния остаточного содержания нефтепродуктов (НП) в рекультивированных почвах на микробоценоз было проведено изучение численности основных физиологических групп почвенных микроорганизмов.

В процессе выполнения микробиологических исследований определяли общую численность микроорганизмов, численность спорообразующих и углеводородокисляющих микроорганизмов, азотофиксаторов и нитрификаторов, актиномицетов и микромицетов при различных уровнях загрязнения почв углеводородами нефти.

В исследовании были использованы образцы рекультивированных после загрязнения разными дозами сернистой нефти аллювиальных луговых супесчаных и среднесуглинистых почв.

Микробиологический анализ аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы показал, что присутствие в ней нефтепродуктов приводит к увеличению общей численности гетеротрофов (ОМЧ, в 1,2–2,7 раза), спорообразующих (в 1,7–2,3 раза), углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ, в 4,0–28 раз), микромицетов (1,2–2,3 раза), бактерий, утилизирующих минеральный азот (БУМА, в 1,7–2,4 раза). Численность актиномицетов и азотфиксаторов была

или выше или на уровне их присутствия в контрольных пробах (рис. 1). НП в концентрации 4,1–6,0 г/кг приводили к 28–38% снижению численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Численность нитрификаторов во всех опытных вариантах варьировала в интервале от 1 до 46% от их содержания в контроле. Полученные результаты в целом согласуются с данными ряда авторов [10, 11].

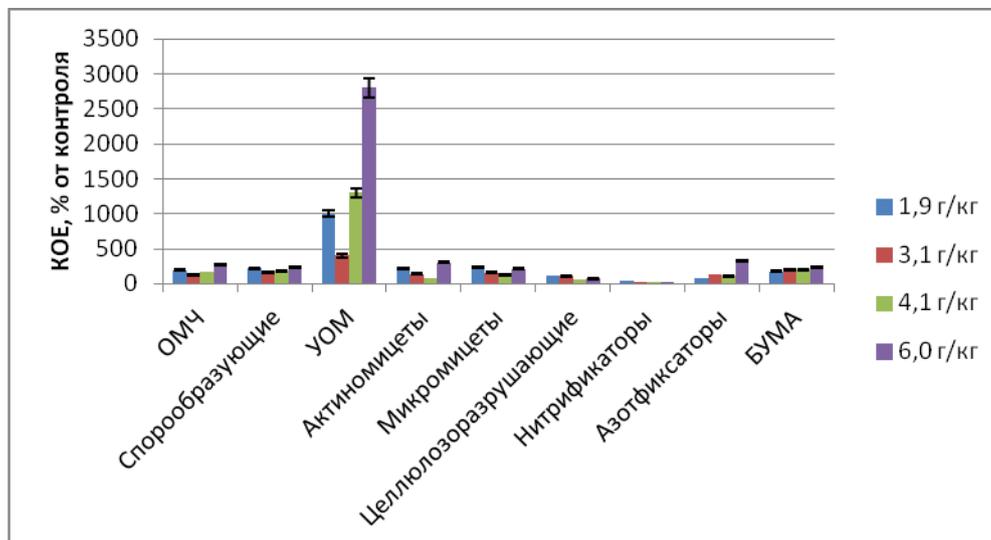


Рис. 1. Численность микроорганизмов при различном содержании нефтепродуктов в образцах аллювиальной луговой среднесуглинистой почвы

Пик численности общего количества гетеротрофных и углеводородокисляющих микроорганизмов, содержания БУМА и актиномицетов в аллювиальной луговой супесчаной почве приходился на образец, содержащий 6,5 г/кг нефтепродуктов (рис. 2). Следует отметить, что присутствие поллютанта в супесчаной почве в меньшей степени, чем в суглинистой влияло на численность УОМ; структура почвы, проходящие в ней метаболические процессы, приводили к увеличению численности БУМА, особенно в вариантах, содержавших 3,1–6,5 г/кг НП. Содержание споробразующих микроорганизмов в большинстве опытных вариантов было ниже, чем в контроле. Увеличение остаточного содержания поллютанта приводило к снижению численности микромицетов со 119% в варианте содержанием 1,8 г/кг НП, до 37% в варианте с 6,5 г/кг. Азотфиксаторы не обнаружены ни во всех опытных, ни в контрольных образцах почвы.

Согласно «Методическим рекомендациям по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве» [12], «пороговой является та концентрация нормируемого вещества, которая вызывает любые достоверные отрицательные изменения нескольких показателей (более 1)». Для микробиологических показателей действующей концентрацией химического вещества считают ту, которая оказывает выраженное угнетающее действие не менее чем на 50% по отношению к контролю. Несомненно к отрицательным изменениям под влиянием изучаемой концентрации нормируемого вещества необходимо также отнести угнетение численности сапрофитных бактерий, азотфиксации и накопления азота нитратов, а также стимуляцию роста почвенных грибов. Последнее

приводит к разбалансировке комплекса почвенных микроорганизмов, приводит к доминированию грибов, являющихся активнейшими токсинообразователями.

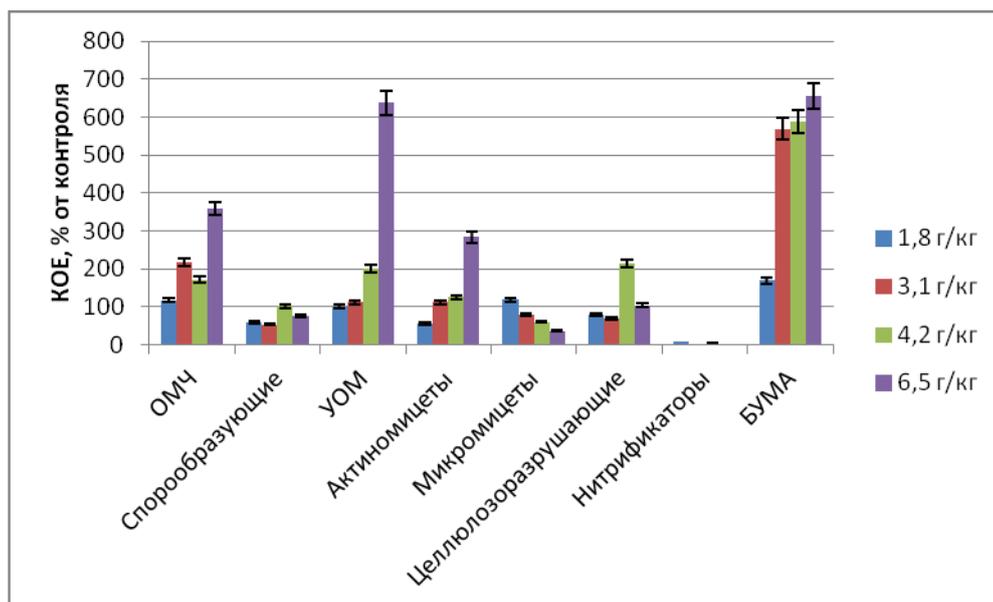


Рис. 2. Численность микроорганизмов при различном остаточном содержании нефтепродуктов в образцах аллювиальной луговой супесчаной почвы

Полученные результаты показывают, что, несмотря на то, что остаточное содержание НП в почве приводит к снижению численности ряда микроорганизмов на 50 и более процентов, в целом в испытанном диапазоне содержания поллютанта в почвах не наблюдается деградация основной части микробного сообщества. Большинство групп микроорганизмов сохраняет или даже повышает свою активность, выражающуюся в увеличении их численности, что подтверждает способность аллювиальных луговых почв при остаточном содержании нефтепродуктов до 6,0–6,5 г/кг самостоятельно, без дополнительных рекультивационных мероприятий восстанавливать свои свойства.

#### Библиографический список

1. Чупахина Г. Н., Масленников П. В. Адаптация растений к нефтяному стрессу // Экология. 2004. № 5. С. 330–335.
2. Марфенина О. Е. Микробиологические аспекты охраны почв. М. : Изд-во МГУ, 1991. 120 с.
3. Фатеев А. И. Изменение агрохимических и микробиологических свойств нефтезагрязненного чернозема в рекультивационный период // Агрохимия. 2004. № 10. С. 53–60.
4. Кузнецова Т. В., Петров А. М., Тарасов О. Ю. Ответная реакция почвенного микробного сообщества на нефтяное загрязнение // Журнал экологии и промышленной безопасности. 2014. № 1–2. С. 42–43.
5. Гилязов М. Ю., Гайсин И. А. Агроэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязненных черноземов Республики Татарстан. Казань : Фэн, 2003. 228 с.
6. 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.
7. Влияние остаточного содержания нефтепродуктов на состав и активность почвенного микробного сообщества / А. М. Петров, Л. К. Каримуллин, Т. В. Кузнецова, А. А. Вер-

шинин, Р. Э. Хабибуллин // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 23. С. 356–359.

8. Киреева Н. А. Микробиологическая оценка почвы, загрязненной нефтяными углеводородами // Башкирский химический журнал. 1995. Т. 2, № 3–4. С. 65–68.

9. Фитотоксичность антропогенно-загрязненных почв / Н. А. Киреева, Г. Г. Кузяхметов, А. М. Мифтахова, В. В. Водопьянов. Уфа : Гилем, 2003. 266 с.

10. Киреева Н. А. Микробиологические процессы в нефтезагрязненных почвах. Уфа : БашГУ, 1995. 171 с.

11. Фахрутдинов А. И. Микробиологическая и ферментативная активность почв и грунтов при рекультивации нефтезагрязненных территорий : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.07. СПб., 2005. 19 с.

12. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве (утверждены заместителем главного государственного санитарного врача СССР 5 августа 1982 г. № 2609-82).

## **ЗАПАСЫ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ПОЛУГИДРОМОРФНЫХ ЛАНДШАФТОВ РАЗНОГО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ**

*А. Ф. Осипов<sup>1</sup>, П. Ф. Машков<sup>2</sup>, А. А. Дымов<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, osipov@ib.komisc.ru*

<sup>2</sup> *Сыктывкарский государственный университет имени Питирима Сорокина,  
aadyumov@gmail.com*

На основе собственных и литературных данных рассчитаны запасы углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) в болотно-подзолистых почвах на европейском Северо-Востоке. Охарактеризована роль лесной подстилки, слоев почвы глубиной 0–30 и 0–50 см в создании общих запасов  $C_{\text{орг}}$  метрового профиля. Показаны различия  $C_{\text{орг}}$  в почвах разного механического состава (песчаные/супесчаные, двучлены, глинистые/суглинистые).

Ключевые слова: углерод, болотно-подзолистые почвы, Север.

Леса бореального пояса играют важную роль в углеродном цикле биосферы [1]. Значимым пулом углерода в этом поясе является почва ( $C_{\text{орг}}$ ), которая в условиях переувлажнения может концентрировать более половины от общих запасов углерода экосистемы [2]. Несмотря на давнюю историю изучения почвенного покрова на Северо-Востоке европейской части России, оценки  $C_{\text{орг}}$  в лесных почвах единичны [3–5]. Наиболее распространенными в регионе являются почвы полугидроморфных ландшафтов. Болотно-подзолистые почвы занимают около 18,3 млн. га, что составляет около 44% территории Республики Коми [6]. Несмотря на сходство условий увлажнения, почвы полугидроморфных ландшафтов различаются по механическому составу в зависимости от почвообразующих пород, которые представлены песчаными и супесчаными, суглинистыми и глинистыми отложениями, а также двучленами, когда легкие по гранулометрическому составу породы с глубины 50–70 см подстилаются тяже-

лыми. Цель настоящей работы дать оценку запасам углерода в почвах полугидроморфных ландшафтов разного механического состава на европейском Северо-Востоке России.

Работа выполнялась на территории Республики Коми. Расчет  $C_{\text{орг}}$  проводили общепринятым методом, используя данные по мощности горизонтов, объемному весу и концентрации углерода. Для обобщенных оценок кроме собственных аналитических данных использовались литературные данные, содержащие описания разрезов в регионе исследования. В связи с тем, что в них обычно отсутствуют сведения по объемному весу (ОВ), по собственным результатам его определения нами были выведены усредненные значения для отдельных слоев: лесной подстилки, горизонтов EL, BEL и BC/BT. Всего проанализировано 203 повторности (63, 36, 44, 60 образцов, соответственно). В случае отсутствия данных по содержанию углерода и гумуса в литературных описаниях, эти результаты в дальнейшую работу не включались. Общее количество описаний почв, по которым определялись запасы  $C_{\text{орг}}$ , составило 55 разрезов почв, развивающихся на суглинистых и глинистых (28), двучленных (14), а также песчаных (13) почвообразующих породах. При анализе результатов основное внимание было уделено слоям почвы: лесная подстилка, слой глубиной 0–30 см, 0–50 см, 0–100 см. Статистическая обработка была выполнена в программе Microsoft Excel, были рассчитаны средние значения и величины погрешностей. Независимость переменных проверяли при помощи  $t$  критерия Стьюдента.

Значения ОВ в отдельных горизонтах исследуемых почв значительно отличались друг от друга ( $p < 0,05$ ), а его величины возрастали с глубиной от  $0,07 \pm 0,01$  г/см<sup>3</sup> в лесной подстилке до  $1,77 \pm 0,02$  г/см<sup>3</sup> в горизонтах BC и BT.

Сведения, характеризующие запасы углерода в метровой толще болотно-подзолистых почв разного механического состава, приведены в таблице. Показано, что количество  $C_{\text{орг}}$  варьируют в широких пределах, а наибольший разброс характерен для полугидроморфных почв на тяжелых породах. Для них также характерны более высокие значения среднего запаса  $C_{\text{орг}}$ , что связано с относительно высокой концентрацией углерода в глинистых почвах. Легкий гранулометрический состав обуславливает меньшую поверхность соприкосновения, что не способствует закреплению органического вещества в почвенном профиле и ведет к меньшим средним значениям  $C_{\text{орг}}$ . Низкие запасы характерны для почв, формирующихся на двучленных отложениях. Следует отметить, что в этих условиях формируются относительно продуктивные ельники и сосняки черничной группы типов, а мощность лесной подстилки меньше, что свидетельствует о более благоприятных условиях увлажнения.

Мощная лесная подстилки является значимым горизонтом почвенного профиля, в котором сосредоточено около 29–33% от  $C_{\text{орг}}$  метрового профиля. Слой 0–30 см концентрирует 37–49%, а большая часть (68–73%) аккумулярована в слое 0–50 см. Важная роль в накоплении  $C_{\text{орг}}$  в ризосфере обусловлена агрегатами и органо-минеральными комплексами, связанными с корнями растений, что облегчает их создание за счет увеличения микробной биомассы, производящей полимеры, выступающие в качестве связующих агентов [7].

**Запасы  $C_{орг}$  в почвах разного гранулометрического состава  
(на глубину 1 м)**

	Гранулометрический состав			
	песчаные/супесчаные	двучлены	суглинистые/глинистые	без разделения
Разброс значений, кг/м <sup>2</sup>	6,72–19,21	5,71–15,06	5,87–73,23	5,71–73,23
$M \pm SE$ , кг/м <sup>2</sup>	11,31 $\pm$ 0,02	10,06 $\pm$ 0,02	14,32 $\pm$ 0,02	12,66 $\pm$ 0,02
CV, %	29,3	29,9	90,7	75,1

Полученные нами данные можно использовать для расчета пула углерода крупных территорий, используя почвенные карты, а также применять для модельных оценок цикла углерода в лесах бореального пояса.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ 19-29-05111-мк.*

**Библиографический список**

1. Bradshaw C. J. A., Warkentin I. G. Global estimates of boreal forest carbon stocks and flux Global and Planetary Change. 2015. Vol. 128. P. 24–30. doi:10.1016/j.gloplacha.2015.02.004
2. Осипов А. Ф. Динамика содержания органического углерода в заболоченных сосняках средней тайги : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08. Сыктывкар, 2011. 18 с.
3. Осипов А. Ф., Кузнецов М. А. Содержание органического углерода в болотно-подзолистых почвах хвойных лесов средней тайги // Лесоведение. 2010. № 6. С. 65–70.
4. Дымов А. А., Жангуров Е. В., Старцев В. В. Почвы северной части Приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение. 2013. № 5. С. 507–516. doi: 10.7868/S0032180X1305002X
5. Пастухов А. В., Каверин А. А. Запасы почвенного углерода в тундровых и таежных экосистемах северо-восточной Европы // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1084–1094. doi: 10.1134/S1064229313070077
6. Атлас почв Республики Коми / под ред Г. В. Добровольского, А. И. Таскаева, И. В. Забоевой. Сыктывкар : ООО «Коми республиканская типография», 2010. 356 с.
7. Chen H. Y. H., Shrestha B. M. Stand age, fire and clearcutting affect soil organic carbon and aggregation of mineral soils in boreal forests // Soil Biol. Biochem. 2012. Vol. 50. P. 149–157.

**НОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МЫШЬЯКА  
В ПОЧВАХ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

***Е. В. Дабах***

*Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,  
Вятский государственный университет, ecolab2@gmail.com*

Рассмотрены проблемы и противоречия в оценке содержания мышьяка в почвах Кировской области. Установлено, что концентрации элемента могут быть выше самых строгих нормативных значений, при этом почвы не испытывают антропогенной нагрузки и указанные концентрации однозначно обусловлены высокой исходной концентрацией элемента в почвообразующих породах.

Ключевые слова: мышьяк в почвах, ПДК, ОДК, природные аномалии.

При оценке содержания мышьяка в почвах Кировской области специалисты-экологи неоднократно отмечали несоответствие антропогенной нагрузки на территорию региона концентрации элемента в почвах. Эта проблема нашли отражение и в обзорах экологической ситуации Кировской области [1], где указывалось на повышенное природное содержание мышьяка в почвах региона. В частности, по результатам агрохимического обследования, проводимого Государственным центром агрохимической службы «Кировский», средневзвешенное содержание мышьяка в почвах сельхозугодий составляло 3,8 мг/кг (при ПДК 2 мг/кг).

Единственный официальный источник, позволяющий оценить региональное фоновое содержание элементов – Эколого-геохимическая карта почв Кировской области [2] не содержит сведений о мышьяке. Приводимые в таблице 4.1 СП 11-102-97 «ориентировочные значения для дерново-подзолистых почв средней полосы» в зависимости от гранулометрического состава соответствуют 1,5 мг/кг для песчаных и супесчаных почв, 2,2 мг/кг – для суглинистых почв [3]. Официально утвержденное значение ПДК мышьяка в почвах - 2 мг/кг [4], ОДК – в зависимости от рН и гранулометрического состава 2-5-10 мг/кг [5]. Оценивая концентрацию мышьяка в почвах населенных мест по СанПин 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы» отмечаем, что мышьяк относится к первому классу опасности, его ПДК составляет 2 мг/кг, уровни показателей вредности: транслокационный (К1) – 2 мг/кг, миграционный водный (К2) – 15 мг/кг, общесанитарный (К4) – 10 мг/кг [6]. В этом же документе предлагается оценивать содержание элементов первого класса опасности (в неорганических соединениях) по шкале, представленной в таблице 1. В таблице приведены также данные, демонстрирующие парадоксальную ситуацию, сложившуюся при оценке содержания мышьяка в почвах таежно-лесной зоны, когда ориентировочные фоновые значения для суглинистых почв (2,2 мг/кг) выше ПДК.

Таблица 1

#### Оценка качества почв по содержанию мышьяка

Категории загрязнения	1 класс опасности	Обозначенные в нормативных документах диапазоны концентраций мышьяка
Чистая	От фона до ПДК	1,5 (2,2)–2
Допустимая	От 2 фоновых значений до ПДК	3(4,4)–2
Опасная	От ПДК до $K_{max}$ *	2–15
Чрезвычайно опасная	$> K_{max}$	$>15$

*Примечание:* \* $K_{max}$  – максимальное значение допустимого уровня содержания элемента по одному из четырех показателей вредности.

Таким образом, проблема оценки концентрации мышьяка в почвах актуальна и особенно остро проявляется в тех районах, где природное содержание мышьяка высокое.

Опыт изучения валового состава почв Кировской области, формирующихся в разных биоценозах на разных по происхождению и составу породах, позволил обобщить результаты исследований (табл. 2).

**Мышьяк в почвах Кировской области (мг/кг)**

Район, количество проанализированных образцов, метод анализа	Кислые почвы (песчаные и супесчаные) с рН < 5,5	Кислые суглинистые почвы с рН < 5,5	Нейтральные и слабощелочные суглинистые почвы с рН > 5,5
Оричевский р-н, 73 образца атомно-абсорбционный метод	0,5–3,4	0,1–7,9	9,8
Кирово-Чепецкий р-н, 19 образцов, АЭС ИСП*, ПНДФ 16.1:2.3:3.11-98			3,8–11,2
Кирово-Чепецкий р-н, 6 образцов, АЭС ИСП*		8,6–14,5	
Кильмезский р-н, 15 образцов, АЭС ИСП*	1,4–2,4	1,2–11,8	
Нагорский р-он, 20 образцов, АЭС ИСП*	1,1–1,7		2,4–3,2

*Примечание:* \*АЭС ИСП – атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно связанной плазмой.

Почти во всех рассмотренных районах встречаются почвы с превышающими ПДК и ОДК концентрациями мышьяка. В отдельных пробах тяжелосуглинистых почв, отобранных в Оричевском районе, в условиях отсутствия источника загрязнения мышьяком содержание его в почвах на пермских глинах в нижней части профиля достигало 28 мг/кг при концентрации в гумусовом горизонте 6 мг/кг.

В аллювиальных почвах в пойме р. Вятки в районе г. Кирово-Чепецка содержание мышьяка в верхних горизонтах почв на гривах составляло около 11 мг/кг, а в переувлажненных почвах межгривных понижений богатых органическим веществом – до 14,3 мг/кг. Вниз по профилю концентрация элемента увеличивалась (максимальное выявленное содержание мышьяка в горизонте Вg составило 19,8 мг/кг). Эти результаты согласуются с данными, представленными в литературе [7], согласно которым максимальные концентрации мышьяка связаны с аллювиальными почвами и почвами, обогащенными органическим веществом. Таким образом, концентрация мышьяка в почвах Кировской области варьирует в широких пределах и часто значительно превышает не только ПДК и ОДК, но и максимально допустимое значение уровня содержания элемента ( $K_{max}$ ), что следует рассматривать как природную особенность почв, обусловленную характером и разнообразием почвообразующих пород. Для реальной оценки уровня загрязнения почв мышьяком, источники которого существуют на территории области, необходимо прежде всего провести геохимическое обследование почв и определить фоновые концентрации элемента в почвах, относящихся к разным типам и разновидностям. При расчете суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) и других показателей, производных от коэффициентов концентрации, для почв Кировской области следует ориентироваться только на фоновые значения.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Института биологии Коми НЦ УрО РАН по теме «Оценка и прогноз отсроченного техноген-*

ного воздействия на природные и трансформированные экосистемы подзоны южной тайги» № 0414-2018-0003.

#### **Библиографический список**

1. О состоянии окружающей среды Кировской области в 2017 году : Региональный доклад / под ред. А. В. Албеговой. Киров, 2018. 173 с.
2. Эколого-геохимическая карта почв Кировской области. СПб. : ВСЕГЕИ, 1996.
3. СП 11-102-97 СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства.
4. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.
5. ГН 2.1.7.2042-06 ОДК Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве.
6. СанПин 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы».
7. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М. : Мир, 1989. 439 с.

### **ИЗУЧЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ПОЧВ ВБЛИЗИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ В РАЙОНЕ г. ШАХУНЬЯ**

*Е. С. Долинина, Т. А. Адамович, В. Н. Кулаков*

*Вятский государственный университет, dolininakate28@gmail.com*

Изучено содержание тяжелых металлов (ТМ) в почвах на разном удалении от железнодорожного полотна в г. Шахунья Нижегородской области. Показано, что распределение ТМ неоднозначно. Концентрации меди и цинка снижаются по мере увеличения расстояния от дороги, кадмий распределяется равномерно, а содержание никеля увеличивается в наиболее удаленной от дороги точке. Выявлено превышение ПДК меди в почвах, отобранных на расстоянии 50 м от полотна железной дороги.

Ключевые слова: тяжелые металлы (ТМ), железная дорога, загрязнение.

В сложившихся условиях все возрастающей антропогенной нагрузки на окружающую среду увеличивается вклад транспорта в загрязнение почв. Железная дорога является линейно сложным, системно работающим технико-технологическим комплексом, имеющим в своем составе путевое хозяйство, подвижной состав, ряд производств, объединенных функцией перевозки пассажиров и грузов [1].

Опасность загрязнения ТМ почв, прилегающих к железнодорожному пути, обусловлена тем, что зачастую вблизи располагаются земли сельскохозяйственного назначения и жилые строения. Почвы в отводах железных дорог отличны от естественных по водно-физическим свойствам и химическому составу [2]. ТМ поступают в почвы вблизи железных дорог с выхлопными газами от двигателей тепловозов, вследствие отопления вагонов углем, при истирании ходовой части и рельсов; их содержание зависит от химического состава балластного слоя и земляного полотна [3]. Это обстоятельство определяет необходи-

мость проведения постоянного мониторинга поступления ТМ в окружающую среду.

Цель исследования – изучить загрязнение почвенного покрова ТМ вблизи железной дороги г. Шахунья.

Объектом исследования являлись почвы, образцы которых были отобраны вблизи железной дороги г. Шахунья. Отбор, хранение и транспортировка почв осуществлялись в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [4].

Определение ТМ в почве проводили методом атомно-адсорбционной спектрометрии [5]. Полученные данные сравнивали с ПДК ТМ для почв (табл.).

Согласно полученным данным (табл.) на участках вблизи железной дороги в пробе, отобранной на расстоянии 50 м от источника загрязнения, отмечали превышение ПДК меди в 1,33 раза. Содержание свинца, никеля и цинка не превышало ПДК для почв ни в одной из исследуемых проб. Содержание кадмия было значительно ниже ПДК во всех исследуемых пробах почвы. Максимальное содержание ТМ отмечали в пробах, отобранных вблизи железной дороги (на расстоянии 50 и 100 м).

*Таблица*

**Содержание тяжелых металлов в пробах почв в районе г. Шахунья, мг/кг**

Номер пробы	Кадмий	Никель	Свинец	Медь	Цинк
1	0,15±0,04	1,41±0,39	8,3±1,7	<b>4,0±0,9</b>	4,1±1,4
2	0,100±0,030	1,27±0,36	7,6±1,6	3,8±0,9	4,1±1,3
3	0,100±0,030	1,32±0,37	7,4±1,6	0,83±0,19	2,9±0,9
4	0,14±0,04	3,3±0,9	2,9±0,6	0,78±0,18	2,9±0,9
ПДК	0,5	4	30	3	23

*Примечание:* номер анализа: 1 – 50 м от железной дороги, 2 – 100 м от железной дороги, 3 – 200 м от железной дороги, 4 – 500 м от железной дороги.

Однако, закономерного снижения концентрации всех изучаемых ТМ по мере удаления от железнодорожного полотна не выявлено. В частности, концентрация никеля в 500 м от железной дороги более чем в 2 раза выше, чем в ближайших от нее пробах и, вероятно, обусловлена влиянием других источников.

Проведенные исследования могут иметь научно-техническую и практическую ценность при разработке новых региональных нормативов загрязнения почв г. Шахунья Нижегородской области.

**Библиографический список**

1. Журавлева М. А., Зубрев Н. И., Кокин С. М. Загрязнение полосы отвода // Мир транспорта. 2012. Т. 41, № 3. С. 112–118.
2. Казанцев И. В. Железнодорожный транспорт как источник загрязнения почв тяжелыми металлами // Самарский научный вестник. 2015. № 2 (11). С. 94–96.
3. Казанцев И. В. Экологическая оценка влияния железнодорожного транспорта на содержание тяжелых металлов в почвах и растениях полосы отвода : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2008. 135 с.
4. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
5. ФР.1.31.2012.13573. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЯТСКО-КАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

*Н. В. Сырчина, Н. Н. Богатырёва*

*Вятский государственный университет, nvms1956@mail.ru*

Фосфориты, хвосты обогащения фосфоритов и глауконитовые пески Вятско-Камского месторождения являются ценным сырьем для производства удобрений для органического земледелия. Сырье характеризуется низким содержанием радионуклидов, Cd и других тяжелых металлов. Ориентация на производство удобрений для органического земледелия может стать новым стимулом для возобновления работы Верхнекамского фосфоритного рудника.

Ключевые слова: Вятско-Камское месторождение, фосфориты, органическое земледелие, удобрения.

Вятско-Камский фосфоритоносный бассейн (Вятско-Камское месторождение фосфоритов), расположенный на водоразделе рек Вятки, Камы и Сысолы, относится к крупнейшим месторождениям фосфоритных руд в РФ и Европе. Протяженность бассейна с севера на юг – более 100 км, с запада на восток – около 25–30 км. Общая площадь месторождения – более 2300 кв. км. Оценочные запасы руды превышают 2,5 млрд т.

Начало систематического изучения фосфоритов Вятско-Камского бассейна связано с именем профессора Казанского университета П. И. Кротова, который в 1888 г. сделал первое описание залежей в Грушниковском, Кайгородском и Кобринском районах. В 1912 г. Пермское и Вятское губернские земства организовали разведочные работы на территории месторождения и через 5 лет (в 1917 г.) на разведанных участках вблизи д. Горшковой были добыты первые 200 т фосфоритов. В 1916–1918 гг. было организовано специализированное предприятие – Верхнекамский фосфоритный рудник. На протяжении всей истории освоения месторождения этот рудник был практически единственным предприятием, на котором производились работы по добыче, обогащению и переработке руды, в связи с этим добываемую на месторождении руду стали называть верхнекамской.

Практический интерес к освоению месторождения был во многом связан с именем Д. Н. Прянишникова, который научно доказал возможность переработки низкокачественного отечественного фосфоритного сырья в более ценную форму фосфорного удобрения – суперфосфат. Организация работ по добыче и обогащению фосфоритов имела большое значение для рациональной постановки химической промышленности Урала и Горьковского края, поэтому в организацию работ на руднике вкладывались серьезные средства. Если в 1929 г. основные фонды рудника оценивались в 253 тыс. руб., то на 1 января 1934 г. стоимость основных фондов увеличилась почти в 25 раз, до 6300 тыс. руб. В 1929 г. было начато и в 1931 г. завершено строительство железной дороги Яр-Фосфоритная протяженностью 185 км. В 1929 г. на рудник был завезен первый

вскрышной экскаватор. В 1933 г на месторождении работали уже 5 вскрышных и 5 добычных экскаваторов. Задействованная на руднике техника приобреталась за рубежом и доставлялась на месторождение водным транспортом. Основной продукцией рудника были концентрат и фосфоритная мука.

В послевоенные годы рудник был существенно модернизирован, были созданы обогатительный и размольный цеха. В 50-е годы на руднике добывалось от 300 до 500 тыс. т руды в год. Добываемая руда преимущественно перерабатывалась в фосфоритную муку и только небольшая часть концентрата класса +1 мм отправлялась на металлургические предприятия.

В 70-е годы на руднике были построены новые ширококолейные железнодорожные линии и автодороги, усовершенствована технология добычи руды, построена новая фабрика, пульпопровод до хвостохранилища, заменено экскаваторное оборудование, благоустроен поселок. В 1986 г. была сдана в эксплуатацию флотационная фабрика, позволяющая извлекать богатые фосфором компоненты из отходов промывки руды. В 1986 году на руднике было произведено 542,9 тыс. т фосфоритной муки [1], в 1991 – 704,2 тыс. т.

С началом перестройки добыча фосфоритов на руднике резко сократилось и в 2000 г. была практически остановлена. Основная причина – отсутствие спроса на фосфоритную муку со стороны сельского хозяйства. Падение спроса было обусловлено недостатком средств у сельскохозяйственных предприятий на приобретение удобрений.

Современное сельское хозяйство преимущественно ориентируется на использование растворимых концентрированных минеральных удобрений, получаемых методом химической переработки исходного сырья. Фосфоритная мука в соответствующую категорию удобрений не входит. Для производства растворимых форм фосфорных удобрений требуется высококачественное сырье с высоким содержанием  $P_2O_5$  и низким содержанием вредных примесей (соединения железа, карбонаты). Данным требованиям отвечают апатиты хибинского месторождения. Для вятскокамских фосфоритов характерно повышенное содержание железа и карбонатов, невысокое содержание  $P_2O_5$  и трудная обогатимость, поэтому в качестве перспективного сырья для кислотной переработки в растворимые формы фосфорных удобрений они рассматриваться не могут (по крайней мере в настоящее время).

Вместе с тем, фосфориты Вятско-Камского месторождения, по сравнению с растворимыми фосфорными удобрениями и фосфоритами других месторождений, имеют целый ряд преимуществ, к числу которых можно отнести низкое содержание тяжелых металлов (Cd, Hg, Pb, Cu и др.); низкое содержание радиоактивных элементов (U, Th и др.); наличие примеси глауконита (до 19%) и известковых материалов; повышенное содержание дефицитного для большинства почв Se и Co; относительно высокое содержание доступных для растений форм фосфора (при внесении фосфоритов в почву в виде тонкомолотой муки); пригодность для использования в качестве удобрения в органическом земледелии. Вносимая в почву фосфоритная мука обладает длительным периодом действия и не представляет опасности в плане загрязнения окружающей среды растворимыми фосфатами.

Агрохимическую ценность представляет не только фосфоритная мука, получаемая при размоле концентрата руды, но и хвосты обогащения, в состав которых в основном входят фосфориты мелких фракций (до 10,5% в пересчете на  $P_2O_5$ ), глаукониты (до 70%), известковые материалы при относительно невысокой доле кварца.

В таблице приведены данные, характеризующие состав фосфоритной муки, хвостов обогащения и глауконитов Верхнекамского фосфоритного рудника. Для определения элементного состава образцов применялись спектрофотометрический, атомно-эмиссионный и масс-спектральный методы анализа. Для выделения глауконита использовался метод магнитной сепарации.

*Таблица*

**Состав фосфоритной муки, хвостов обогащения и глауконитов  
Верхнекамского фосфоритного рудника**

Компоненты	Содержание		
	Фосфоритная мука	Хвосты обогащения	Глаукониты
$P_2O_5, \%$	23	6,0	4,9
$K_2O, \%$	1,5	4,5	5,1
$CaO, \%$	37,6	9,6	5,1
$MgO, \%$	1,1	1,8	2,1
$Al_2O_3, \%$	2,6	8,6	9
$S_{общ}, \%$	1,0	1,0	1,0
$Fe_{общ}, \%$	4,9	до 13,5	до 16
$SiO_2, \%$	15,8	до 55	до 53

Приведенные в таблице данные свидетельствуют о том, что хвосты обогащения могут быть использованы в качестве самостоятельного натурального РК удобрения. Наличие глауконита в хвостах обогащения существенно повышает их агрохимическую ценность. Глауконит обладает богатым элементным составом и выраженными ионообменными свойствами, благодаря которым обеспечивается продолжительный период поступления в почвы калия, фосфора, микроэлементов, улучшается структура и водный режим почв, активизируется деятельность почвенной микрофлоры. Несмотря на то, что глаукониты практически не содержат азота, внесение их в почвы приводит к существенному повышению содержания в почвенном растворе аммонийного азота (за счет активизации микробиологических процессов азотофиксации) [2]. Таким образом, внесение этого минерала способствует обогащению почв всеми основными элементами минерального питания. Кроме того, глауконит способен эффективно сорбировать тяжелые металлы, предотвращая их поглощение растениями.

Исследования последних лет показывают, что на основе верхнекамских фосфоритов могут быть получены эффективные формы органоминеральных удобрений, причем производство соответствующих удобрений соответствует принципам зеленой химии [3–6].

Натуральный состав и экологическая безопасность верхнекамских фосфоритов представляют большой интерес для органического земледелия (ОЗ). Обеспечение ОЗ экологически безопасными удобрениями в настоящее время приобретает особую актуальность, поскольку применение традиционных мине-

ральных удобрений, получаемых методом химической переработки сырья, для получения органической продукции не допускается [7]. В качестве фосфорных удобрений в ОЗ разрешено использование природных фосфатов с содержанием кадмия (Cd) не более 90 мг/кг  $P_2O_5$ . С учетом того, что доля  $P_2O_5$  в природных фосфатах составляет 20–30%, допустимое содержание Cd должно находиться в пределах 20–30 мг на кг фосфата. В фосфоритах Вятско-Камского месторождения содержание Cd не превышает 0,20 мг/кг, что обеспечивает их конкурентные преимущества на рынке удобрений, в том числе удобрений для ОЗ. Производство органической продукции относится к перспективным направлениям развития современного сельского хозяйства, однако без применения удобрений обеспечить достаточную урожайность и предотвратить деградацию обрабатываемых почв невозможно. Вопрос обеспечения ОЗ экологически безопасными удобрениями пока далек от решения. Рынок соответствующих удобрений только начинает формироваться. В этом отношении натуральные удобрения на основе верхнекамских фосфоритов имеют большие перспективы для практического внедрения в практику земледелия.

Таким образом, верхнекамские фосфоритовые руды являются перспективным сырьем для производства натуральных удобрений для органического земледелия.

К преимуществам верхнекамских фосфоритов относится богатый элементный состав, низкое содержание тяжелых металлов, наличие глауконита и известковых компонентов.

Благодаря наличию глауконита, удобрения на основе верхнекамских фосфоритов можно позиционировать как натуральные РК-удобрения с микроэлементами.

Ориентация на производство удобрений для органического земледелия может стать новым стимулом для возобновления работы Верхнекамского фосфоритного рудника.

#### **Библиографический список**

1. Тамойкин Ю. С., Суздалева Э. С., Бурцев Н. И. Отчет о разведке и переоценке запасов эксплуатируемых Прирудничных участков Вятско-Камского месторождения фосфоритов в Верхнекамском районе Кировской области, проведенных Кировской ГПП в 1982–1988 гг. 2141 с.
2. Макаров Б. И., Терещенко Н. Н., Рудмин М. А. Оценка эффективности применения глауконита в качестве удобрения для яровых зерновых // Известия КГТУ. 2020. № 56. С. 143–156.
3. Татаринова Е. Е., Сырчина Н. В. Органоминеральные удобрения с гуматами на основе верхнекамских фосфоритов // Экология родного края: проблемы и пути их решения. Киров, 2017. С. 210–214.
4. Сырчина Н. В., Козвонин В. А., Сазанов А. В. Глауконитовые пески Вятско-камского месторождения и перспективы их практического использования в сельском хозяйстве // Почвы России: вчера, сегодня, завтра. Киров, 2017. С. 108–113.
5. 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

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. ГОСТ Р 56508-2015 Продукция органического производства. Правила производства, хранения, транспортирования.

## **АГРОХИМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЛОНГИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ПОЛИГАЛИТА И АЗОТНОКИСЛОТНЫХ ОТХОДОВ**

*Р. Х. Хузиахметов, А. М. Накып*

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,  
gafiat2013@mail.ru*

Представлены результаты опытов по оценке агрохимической эффективности пролонгированных  $K(MgS)$  и  $NK(MgS)$ -удобрений, полученных на основе полигалитсодержащих пород новых месторождений с использованием азотнокислотных отходов. Показано, что в зависимости от типов почв и обеспеченности их азотом и калием прибавка зеленой массы рапса составляет от 5–45%.

Ключевые слова: полигалитсодержащая порода (ПГСП), азотнокислотные отходы, пролонгированные удобрения, агрохимическая эффективность, зеленая масса рапса.

Практически все основные промышленные минеральные удобрения: азотные –  $NH_4NO_3$ ,  $(NH_2)_2CO$ ; калийные –  $KCl$ ,  $K_2SO_4$ ; фосфорные –  $Ca(H_2PO_4)_2$  хорошо растворяются в воде, что обуславливает быстрое вымывание из них элементов питания (в случае азотных удобрений потери азота достигают 50–70%). Это приводит не только к увеличению себестоимости сельскохозяйственной продукции, но и к серьезным экологическим проблемам (загрязнение подземных вод, эвтрофикация водоемов и т. д.).

Возрастающие требования к качеству минеральных удобрений сталкиваются с углубляющейся проблемой непрерывного истощения запасов высококачественного фосфатного и калийного агрорудного сырья. Одновременно ужесточаются экологические требования к отходам различных производств при их хранении в отвалах и запасниках.

В связи с этим вовлечение в переработку низкокачественного агрорудного сырья с использованием различных видов побочных продуктов и отходов производств является одним из направлений решения вышеуказанных экономических и экологических проблем.

Особое внимание при этом следует уделять разработке технологий пролонгированных удобрений, которые представляют собой один из видов удобрений-дефендеров, призванных способствовать не только увеличению урожайности, но и выполнять различные защитные функции (уменьшение кислотности и

загрязнения почвы, снижение содержания нитратов в растениях, защита растений от болезней и т.д.).

Полигалит ( $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), содержащий 16%  $K_2O$  (главный элемент питания) и 3% макроэлементов (Mg, S, Ca) [1], имеет малую скорость растворения (в отличие от  $K_2SO_4$  и  $MgSO_4$ ), следовательно, может быть использован в качестве пролонгированного  $K(MgSCa)$ -удобрения [2]. Однако полигалитсодержащие породы в сельском хозяйстве практически не применяются по следующим причинам:

- они содержат значительное количество различных примесей (наиболее вредным для растений является галит –  $NaCl$ );

- высокую эффективность могут проявлять лишь на засоленных почвах («гипсование» благодаря наличию  $CaSO_4$ );

- в них завышенное содержание макроэлементов относительно главного элемента питания [ $(MgO+S+CaO):K_2O = (6,6+5,3+18,6):16 \approx 2$  масс.], что может препятствовать поступлению калия из почвы в растения.

Фундаментальные исследования по переработки ПГСП на концентрированные комплексные минеральные удобрения [ $NK(MgS)$  до 40%] были проведены во ВНИИГалургии (г. Санкт-Петербург) И. Д. Соколовым с сотрудниками [3]. Основным недостатком полученных удобрений является их несбалансированный состав –  $N:K_2O:MgO = 1:1,7:0,3$  масс. (для большинства сельскохозяйственных культур необходимо  $N:K_2O \approx 1:0,5 \div 1,5$  масс.). В работах, выполненных нами совместно с ЦНИИгеолнеруд (г. Казань), показана возможность переработки ПГСП новых месторождений (Оренбургской и Калининградской обл.) на  $K(MgS)$ - и  $NK(MgS)$ -удобрения с уравновешенным составом элементов питания [4, 5].

Можно предположить, что для некоторых культур, используемых в качестве зеленых кормов в течение продолжительного периода (2–3 укоса с мая по октябрь месяцы), тонкоизмельченные медленно растворимые полигалитсодержащие породы могли бы заменить дефицитные бесхлорные калийные удобрения.

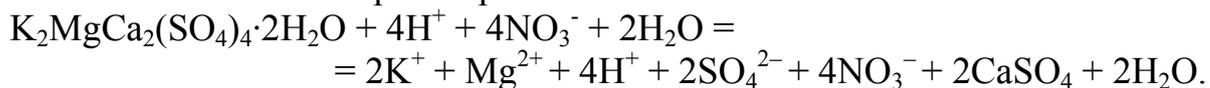
С учетом вышесказанного, целью данной работы являлась оценка влияния на выход зеленой массы рапса пролонгированных удобрений, полученных переработкой полигалитсодержащих пород с использованием азотнокислотных отходов некоторых производств.

Выбор рапса в качестве объекта исследований обусловлен тем, что для его развития, в отличие от большинства сельскохозяйственных культур, необходимо значительное количество серы.

Для получения пролонгированного  $K(MgS)$ -удобрения исходную полигалитсодержащую породу (полигалит ~ 55%, ангидрит ~ 10 %, галит ~ 35%) отмывали от галита и измельчали до 0–3 мм. В отмытой ПГСП содержание полигалита возросло до ~ 70% (ангидрит ~ 26%, остальное – примеси  $MgCO_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$ ).

Комплексные  $NK(MgS)$ -удобрения получали по методике, подробно описанной нами в работе [4], используя в качестве азотнокислотных растворов от-

ходы производства нитратов целлюлозы [6]. При этом сначала отмытую породу разлагали азотнокислотным раствором:



Затем остаточное количество  $\text{HNO}_3$  нейтрализовали аммиачной водой и фильтрацией суспензии отделяли осадок  $\text{CaSO}_4$ . Фильтрат при этом представлял собой жидкое комплексное удобрение следующего состава:  $\text{K}_2\text{SO}_4 \sim 7\%$ ,  $\text{MgSO}_4 \sim 5\%$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3 \sim 16\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} \sim 70\%$ .

Для получения пролонгированных  $\text{NK}(\text{MgS})$ -удобрений, отличающихся скоростью растворения гранул, достаточно выпаривать фильтрат при различных температурах. При этом  $\text{K}_2\text{SO}_4$  и  $\text{MgSO}_4$  кристаллизуются с образованием кристаллогидратов с различным содержанием воды:  $T < 70 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (быстрорастворимый «шениит»);  $T = 70\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  («леонит»);  $T > 120 \text{ }^\circ\text{C}$  –  $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$  (малорастворимый «лангбейнит») [7].

Состав  $\text{NK}(\text{MgS})$ -1 удобрения, полученного из ПГСП Оренбургского месторождения, был следующим:  $\text{K}_2\text{SO}_4 \sim 22\%$ ,  $\text{MgSO}_4 \sim 15\%$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3 \sim 50\%$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \sim 7\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} \sim 6\%$   $\text{NK}(\text{MgS}) \sim 40\%$  при  $\text{N}:\text{K}_2\text{O}:\text{MgO}:\text{S} = 1:0,6:0,4:0,4$  масс. и  $(\text{N}+\text{K}_2\text{O}):\text{(MgO+S)} = 1:0,5$  масс. Видно, что соотношение главных элементов питания в нем не уравновешенное и необходимо добиваться их равенства  $\text{N}:\text{K}_2\text{O} \approx 1:1$  масс. [8].

При переработке полигалитсодержащей породы без примесей галита (ПГСП Калининградской обл.) было получено  $\text{NK}(\text{MgS})$ -2 удобрение состава  $\text{N}:\text{K}_2\text{O}:\text{MgO}:\text{S} = 14:13:5:3,4 = 1:0,9:0,4:0,3$  масс.  $(\text{N}+\text{K}_2\text{O}):\text{(MgO+S)} = 1:0,4$  масс. Данный состав можно считать оптимальным, несмотря на то, что отношение « $(\text{MgO+S}):\text{(N+K}_2\text{O)}$ » несколько завышено (для большинства культур ориентировочно  $(\text{MgO+S}):\text{(N+K}_2\text{O}) \approx 0,2$  масс.). При необходимости содержание  $\text{MgO}$  можно уменьшить путем его осаждения в виде  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , однако это приводит к усложнению технологии.

Как отмечалось выше, высокую агрохимическую эффективность исходного измельченного полигалита следовало бы ожидать лишь на засоленных почвах, требующих гипсования. Основные типы почв Республики Татарстан (1,7 млн га черноземов и 1,6 млн га серых лесных, составляющих  $\sim 80\%$  пашни) являются нейтральными или слабокислыми (около 50%). Тем не менее, потенциальную агрохимическую эффективность новых удобрений можно оценить экспериментальным путем подбором соответствующих культур, отзывчивых на внесение указанных выше элементов питания, и почв с низкой степенью обеспеченности азотом и калием.

Для подтверждения перспективности применения полученных удобрений были проведены вегетационные опыты с рапсом на характерной для Республики Татарстан серой лесной почве (СЛП) и малообеспеченной элементами питания дерново-подзолистой супесчаной почве (ДПСП). Обеспеченность азотом указанных почв была низкой ( $\text{pH} \sim 6$  и  $4,7$ ; гумус – 3,4 и 0,9%,  $\text{N}$  – 90 и 60 мг/кг;  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 160 и 107 мг/кг;  $\text{K}_2\text{O}$  – 130 и 60 мг/кг, соответственно).

Результаты вегетационных опытов на выбранных типах почв представлены в таблице.

Потребность большинства кормовых культур в  $K_2O$  обычно даже больше, чем азота (затраты NPK на формирование единицы зеленой массы рапса –  $N:P_2O_5:K_2O \approx (35\div55):(10\div20):(60\div75)$  кг/ц  $\approx 1:0,3:1,5$  масс., а для зерновых  $N:P_2O_5:K_2O \approx (30\div35):(10\div12):(20\div25)$  кг/ц  $\approx 1:0,3:0,7$  масс.

Таблица

**Выход зеленой массы рапса (сорт «Герос») на различных типах почв  
(доза удобрений: N – 150 мг/кг;  $K_2O$  – 100 мг/кг; MgO – 40 мг/кг)**

Вариант (удобрение)	Зеленая масса рапса, г/сосуд					
	Почва серая лесная			Почва дерново-подзолистая супесчаная		
	1укос	2укос	сумма	1укос	2укос	сумма
1. Контроль	52	16	68(-72%)	18	18,8	37(-76%)
2. $NH_4NO_3$	<b>197</b>	<b>44</b>	<b>241(±0%)</b>	<b>93</b>	<b>59,2</b>	<b>153(±0%)</b>
3. $NH_4NO_3 + KCl$	193	43	235(-2%)	111	71,8	183(+20%)
4. $NH_4NO_3 + K_2SO_4$	210	43	253(+5%)	118	80,5	198(+30%)
5. $NH_4NO_3 + *ПМ (0,2 \text{ мм})$	200	37	237(-1%)	124	81	205(+34%)
6. $NH_4NO_3 + *ПМ (2-3 \text{ мм})$	–	–	–	132	71	203(+33%)
7. $NH_4NO_3 + MgSO_4$	–	–	–	98	77,6	175(+15%)
8. $NH_4NO_3 + K_2SO_4 + MgSO_4$ [(MgO+S):(N+ $K_2O$ ) = 0,4 ]	215	47,5	262(+9%)	–	–	–
9. $NH_4NO_3 + K_2SO_4 + MgSO_4$ [(MgO+S):(N+ $K_2O$ ) = 0,2]	193	37	230(-4%)	–	–	–
10.** NK(MgS)-1 [(MgO+S):(N+ $K_2O$ ) = 0,5]	–	–	–	134	74,4	209(+37%)
11.***NK(MgS)-2 [(MgO+S):(N+ $K_2O$ ) = 0,4]	–	–	–	134	86,8	221(+45%)

Примечание: \*ПМ – полигалитовая мука (Оренбургская обл.,  $K_2O \approx 11\%$ );

\*\* NKMg-1 –  $N:K_2O:MgO:S = 1:0,6:0,4:0,4$  масс.;

\*\*\*NKMg-2 –  $N:K_2O:MgO:S = 1:0,9:0,4:0,3$  масс.

Степень обеспеченности азотом в указанных почвах низкая, поэтому выход зеленой массы зависит, в первую очередь, от количества используемого азотного удобрения ( $NH_4NO_3$ ). При внесении дополнительной дозы  $K_2O$  соотношение NPK в почве становится более оптимальным:

	<i>исходное I</i>	$\rightarrow$	<i>доза N I</i>	$\rightarrow$	<i>доза <math>K_2O</math></i>
– СЛП:	1:1,8:1,4	$\rightarrow$	1:0,7:0,5	$\rightarrow$	1:0,7:1 масс.;
– ДПСП:	1:1,8:1	$\rightarrow$	1:0,5:0,3	$\rightarrow$	1:0,5:0,8 масс.

Как видно из таблицы, внесение в серую лесную почву (низкая степень обеспеченности азотом при повышенной обеспеченности калием) калийного удобрения в виде KCl не дает какого-либо эффекта, в то же время использование  $K_2SO_4$  (вариант №4) способствует существенному увеличению выхода зеленой массы. При внесении полигалитовой муки также не наблюдается положительного эффекта, что можно объяснить очень малой растворимостью полигалита. Для сравнения, внесение смеси растворимых солей  $K_2SO_4 + MgSO_4$  при соотношении  $K_2O:MgO = 1:0,4$  мас. (вариант № 8) способствует значительному

увеличению массы рапса, хотя при соотношении  $K_2O:MgO = 1:0,2$  масс. (вариант № 9) происходит даже ее снижение.

В опытах на дерново-подзолистой супесчаной почве (с очень низкой степенью обеспеченности азотом и калием) наблюдается иная картина. Внесение калия на фоне  $NH_4NO_3$  в виде  $KCl$  дает прибавку массы 20%, а  $K_2SO_4$  – 30%. Достаточно высокая прибавка массы от внесения  $MgSO_4$  (вариант № 7) подтверждает значительную роль магния. Следовательно, при использовании полигалитовой муки (на фоне  $NH_4NO_3$ ), содержащей  $K_2SO_4$  и  $MgSO_4$ , возрастание выхода зеленой массы до 34 % является весьма закономерным (варианты № 5 и № 6). Эти результаты соизмеримы с данными, полученными при внесении  $NK(MgS)$ -1 удобрения с соотношением  $(MgO+S):(N+K_2O) = 0,5$  масс. (вариант № 10).

Существенное увеличение зеленой массы в варианте № 11 при внесении  $NK(MgS)$ -2 удобрения с более оптимальным соотношением  $(MgO+S):(N+K_2O) = 0,4$  масс. подтверждает необходимость учета не только общей массы элементов питания, но и их оптимального соотношения.

Основные выводы на основе проведенных исследований следующие:

– полигалитсодержащие руды можно переработать на бесхлоридное пролонгированное  $K(MgS)$ -удобрение путем простой отмывки от галита водой;

– путем их химической переработки с использованием азотнокислотных отходов различных производств можно получить  $NK(MgS)$ -удобрения, скорость растворения которых легко регулировать сушкой продуктов реакции при различных температурах;

– в вегетационных опытах с рапсом показано, что полученные удобрения, в зависимости от типов почв, способствуют увеличению выхода зеленой массы на 5–45%;

– результаты исследований могут быть приняты за основу при проведении полевых опытов с различными кормовыми и зерновыми культурами в условиях Среднего Поволжья.

#### Библиографический список

1. ГОСТ 20432-83. Удобрения (Термины и определения). Введ. 01.07.1984. М. : Изд-во стандартов, 1992. 22 с.
2. Вишняков А. К., Шакирзянова Д. Р., Габдрахманова В. И. Полигалитовые породы – новое сырье для производства дефицитных сульфатных калийно-магниевых удобрений // Разведка и охрана недр. 2007. № 11. С. 29–33.
3. Грабовенко В. А. Производство бесхлорных калийных удобрений. Л. : Химия, 1980. 242 с.
4. Обогащение и переработка полигалитсодержащих пород на бесхлоридные удобрения / В. А. Хуснутдинов, А. К. Вишняков, Р. Х. Хузиахметов, Д. Р. Шакирзянова, А. Н. Низамова // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 8. С. 361–367.
5. Вишняков А. К., Нажарова Л. Н., Хузиахметов Р. Х. Инновационные технологии комплексных удобрений из полигалитсодержащих пород // Инновации и «зеленые» технологии : Материалы регион. науч.-практ. конф. Тольятти : «Изд-во «Вектор», 2018. С. 196–199.
6. Гиндич В. И. Технология пироксилиновых порохов: производство нитратов целлюлоз и регенерация кислот. Казань : Изд-во ГосНИИХП, 1995. Т. 1. 563 с.

7. Стефанцева О. Г., Рупчева В. А., Пойлов В. З. Исследование кристаллизации леонита из сульфатных калийно-магниевых щелоков // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326, № 5. С. 99–106.

8. Пат. РФ 2276123. Способ получения комплексного минерального удобрения / В. А. Хуснутдинов, А. К. Вишняков. № 2004120636/15; заявл. 06.06.2004; опубл. 10.05.2006. Бюл. № 13. 6 с.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ И МЕТОДЫ РЕКУЛЬТИВАЦИИ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЬЮ И МИНЕРАЛИЗОВАННЫМИ ЖИДКОСТЯМИ**

*В. П. Середина<sup>1</sup>, М. В. Носова<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет,  
seredina\_v@mail.ru*

<sup>2</sup> *Акционерное Общество «ТомскНИПИнефть»,  
nosovaMV@tomsknpi.ru*

В работе представлены результаты полевых и лабораторных исследований загрязненных почв пойменных экосистем Западной Сибири. Выявлены особенности распределения высокоминерализованных вод в почвенном профиле, установлена степень и химизм засоления, определены соединения токсичных солей. Предложен способ рекультивации техногенно-засоленных почв.

Ключевые слова: техногенный галогенез, галофиты, экологические свойства, ремедиация.

В условиях роста техногенной нагрузки на окружающую природную среду актуальными становятся вопросы ее экологического состояния. В соответствии с исследованиями многих ученых [1–6] воздействие нефтяного загрязнения на природные экосистемы связано с геохимическими и физическими нагрузками. Стоит отметить, что подавляющее большинство нефтяных месторождений Томской области расположено на территории с расчлененным рельефом и частично находится в пойме р. Обь. При этом аллювиальные почвы пойменных экосистем обладают самым низким потенциалом к самоочищению от техногенных поллютантов и высокой способностью к аккумуляции всех загрязняющих веществ, поступающих с водоразделов. Поэтому пойменные почвы являются своего рода индикатором экологического состояния всей системы геохимически сопряженных элементарных ландшафтов.

В условиях гумидного климата Западной Сибири почвы природных экосистем не справляются с мощным одноразовым техногенным всплеском, тем самым замедляется время реабилитации природной среды от такого рода загрязнений. Поэтому проблема загрязнений ландшафтов высокоминерализованными водами является одной из наиболее ключевых задач, для решения которой требуется разработка комплексного и систематизированного подхода, внедрение новых технологических решений. Необходимо отметить, что в настоя-

щее время для почв, подвергшихся техногенному засолению, отсутствует утвержденная технология рекультивации. Поэтому исследования, посвященные практическим аспектам рекультивации таких почв, приобретают особую значимость.

Целью настоящей работы является выявление особенностей и экологических последствий техногенной трансформации легкорастворимых солей в почвах пойменных экосистем в условиях локального загрязнения нефтью и минерализованными жидкостями и оценка методов возможной их рекультивации.

Основным объектом проведения полевых исследований послужили почвы, подвергшиеся разливам сырой нефти на территории пойменных экосистем. Почвенные пробы отбирались в трех зонах загрязнения: эпицентр, импактная зона, граница нефтяного пятна. За полевые сезоны было заложено шесть полнопрофильных почвенных разрезов и 25 почвенных прикопок (глубина отбора проб 0–10 и 10–20 см). Условным фоном являлись несколько типов аллювиальных почв: аллювиальная луговая обычная грунтово-глеевая тяжелосуглинистая почва, формирующаяся в центральной части поймы, аллювиальная лугово-болотная среднесуглинистая почва, аллювиальная перегнойно-глеевая ненасыщенная малогумусированная среднесуглинистая. Почвы, подвергшиеся нефтяному загрязнению и засолению минерализованными водами в соответствии с общепринятой классификацией почв [7], являются хемоземами. Определение легкорастворимых солей проводилось в водной вытяжке из почв.

Поступление в почвы больших объемов минерализованных вод вызывает усиление восстановительных процессов в почвах и развитие процессов техногенной солончаковатости, не свойственных для гумидного почвообразования Западной Сибири. Уровень содержания солей и характер их радиального распределения зависят от свойств исходных почв: наличия и мощности органо-генных горизонтов и гранулометрического состава, определяющих скорости миграции и интенсивность изменения вещественного состава техногенных потоков. Засоление почв вызывает деградацию и гибель растительности. В связи с тем, что суммарный эффект засоления обусловлен неодинаковой токсичностью для растений различных солей и ионов, то при агрономической оценке засоленных почв важнейшее значение приобретает качественный состав солей. Сумма солей в наиболее соленасыщенных горизонтах почв (0–20 см) варьирует в широких пределах (от 0,29 до 1,2%), что обусловлено аккумуляцией солей в понижениях микрорельефа местности. После прекращения залповых выбросов поллютантов наиболее подвижный ион  $\text{Cl}^-$  преобладает в нижних горизонтах почв эпицентра разлива и краевой зоны загрязнения, при этом общее содержание менее подвижных ионов  $\text{Ca}^{2+}$  постепенно убывает от верхних слоев почв к нижним. Такое перераспределение ионов в почвенной толще обусловлено высоким содержанием катиона  $\text{Na}^+$  и аниона  $\text{SO}_4^{2-}$ . Поэтому засоление носит в основном сульфатный и хлоридно-сульфатный характер. Токсичные соли представлены соединениями  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ .

При выполнении восстановительных работ необходимо задействовать механизмы естественного рассоления почв. Факторами, влияющими на скорость миграции водорастворимых солей в почве, являются: количество осадков,

рельеф участка, температурный режим воздуха, глубина сезонного промерзания почво-грунтов и их фильтрационные свойства. В данных почвах необходим дополнительный полив пресной водой, который обеспечит вымывание солей из верхних и нижних горизонтов почв. Процесс вымывания солей можно интенсифицировать системой дренажных канав. Для экономии времени и снижения затрат по ввозу пресных вод, обустройство данных канав рекомендуется проводить в зимний период и использовать снежные валы. В весенний период при таянии снега начнется постепенная миграция талых вод внутри почвенного профиля, а затем дождевые осадки и система рассоляющих дренажных канав усилят горизонтальную миграцию водорастворимых солей в верхних горизонтах почв и выровняют их концентрацию в почвенном профиле. Устранение токсичного действия солей предполагается осуществить гипсованием и другими агротехническими приемами.

Завершающим этапом является фитомелиоративный посев аборигенных растений-галофитов, способных к аккумуляции остаточных легкорастворимых солей путем подтягивания их к биогенно-аккумулятивным горизонтам почв (в том числе и при вторичном засолении почв), с последующим удалением соленасыщенной растительной фитомассы и многократным досевом трав.

#### **Библиографический список**

1. Солнцева Н. П. Эволюционные тренды почв в зоне техногенеза // Почвоведение. 2002. № 1. С. 9–20.
2. Геннадиев А. Н. Нефть и окружающая среда // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. № 6. С. 30–39.
3. Углеродное состояние аллювиальных почв на территории Истринского морфоструктурного узла (Московская область) / Ю. И. Пиковский, А. Н. Геннадиев, Р. Г. Ковач, Н. И. Хлынина, А. В. Хлынина // Почвоведение. 2016. № 12. С. 1421–1434.
4. Пиковский Ю. И., Смирнова М. А., Геннадиев А. Н. Параметры нативного углеродного состояния почв различных биоклиматических зон // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1307–1321.
5. Особенности влияния нефтяного загрязнения на почвы средней тайги Западной Сибири / В. П. Середина, Е. В. Колесникова, В. А. Кондыков, А. И. Непотребный, С. А. Огнев // Нефтяное хозяйство. 2017. № 5. С. 108–112.
6. Seredina V. P., Sadikov M. E. The soils of West Siberia middle taiga oil deposits and a predictive estimate of contamination hazard with organic pollutants // Contemporary Problems of Ecology. 2011. Vol. 4. No. 5. P. 457–461.
7. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Научное издание

ЭКОЛОГИЯ РОДНОГО КРАЯ:  
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Материалы XV Всероссийской с международным участием  
научно-практической конференции

18 мая 2020 г.

Книга 1

Компьютерная верстка: Е. М. Кардакова

Дизайн обложки: А. С. Тимонов

Подписано в печать 10.07.2020 г. Печать цифровая.

Бумага для офисной техники.

Усл. печ. л. 15,87. Тираж 40 экз. Заказ № 6309.

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в центре полиграфических услуг  
Вятского государственного университета.

610000, г. Киров, ул. Московская, 36.