

На правах рукописи



Немеров Алексей Михайлович

**ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ,
НАРУШЕННЫХ ШЛАМОВЫМИ ВОДАМИ,
В ИМПАКТНОЙ ЗОНЕ АО «РУСАЛ АЧИНСК»**

1.5.15. Экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Томск – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук
Шепелев Игорь Иннокентьевич

Официальные оппоненты:

Андроханов Владимир Алексеевич, доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук, директор

Манакон Юрий Александрович, доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, заместитель директора по научно-организационной работе

Ерофеевская Лариса Анатольевна, кандидат биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», лаборатория геохимии каустобиолитов Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук – обособленного подразделения ЯНЦ СО РАН, старший научный сотрудник

Защита состоится 24 ноября 2021 г. в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета «НИ ТГУ. 1.5.02», созданного на базе Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства (Биологического института) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36 (корпус НИИ ББ ТГУ, к. 69).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на официальном сайте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» www.tsu.ru.

Материалы по защите диссертации размещены на официальном сайте ТГУ: <https://dissertations.tsu.ru/PublicApplications/Details/911c545a-fe03-40cb-a88f-7518922961bc>

Автореферат разослан «___» октября 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат биологических наук



Франк Юлия Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Интенсивное развитие промышленного химического и горного производства связано с формированием больших объемов отходов, накапливающихся в шламонакопителях и способствующих загрязнению окружающей среды. Вследствие этого в местах постоянного складирования отходов формируются зоны с повышенным содержанием загрязняющих веществ в почвах. Наибольшее нарушение почвенного покрова и экосистем в целом наблюдается при техногенных авариях, при которых происходит загрязнение прилегающих к шламохранилищу территорий дренажными щелочными водами. В паводковый период щелочьсодержащие воды с нарушенных земель попадают в открытые водоемы и близлежащие реки. Загрязнение прилегающей к шламохранилищу территории требует ее восстановления. Одним из экологических требований при формировании плодородного слоя на техноземах является обязательный контроль нормативов экологической безопасности используемых почвогрунтов и определение токсичности используемых природных образований вскрышных пород.

Актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью решения проблемы нормального функционирования экосистемы в условиях техногенеза, что будет способствовать формированию плодородного слоя с применением нетоксичных почвогрунтов, приготовленных из почвенно-растительного грунта вскрышных пород карьеров добычи полезных ископаемых, имеющих в импактной зоне предприятия. Данная работа является актуальной для металлургических предприятий алюминиевого и глиноземного производства.

Степень разработанности темы исследования. Экологическими исследованиями в процессе восстановления нарушенных земель с использованием нетрадиционных материалов природного и техногенного происхождения занимались российские и зарубежные ученые: В.А. Андроханов, Е.Д. Балаганская, Ю.А. Манаков, В.И. Бардина, Н.Н. Терещенко, А.М. Бурыкин, В.Ф. Вальков, Н.В. Барановская, В.Ф. Водолеев, И.М. Гаджиев, А.А. Гладышев, Г.А. Евдокимова, Н.В. Кожевников, В.Я. Кофман, М.В. Ларионов, А.Ф. Никифоров, А.М. Ивлев, Р. Тейт, F. Damian, L. Canellas, Н.В. Давыдова, Л.В. Брындина.

Недостаточно изученными остаются вопросы по комплексной экотоксикологической оценке почвы, нарушенной шламовыми водами глиноземного производства и научному обоснованию применения экологически безопасных грунтов вскрышных пород карьеров добычи полезных ископаемых.

Работа выполнена в соответствии с задачами, определенными в Федеральной целевой программе «Охрана окружающей среды» утвержденной постановлением Правительства РФ от 15.04.2014г. №326 с изменениями от 13.04.2019 г. №362 и подпрограммы «Ликвидация накопленного

экологического ущерба» на 2014-2025 г.г. (Протокол совещания Правительства РФ от 09.01.2013 г. №ДМ-П9-2ПР).

Цель исследования – выполнить комплексную экологическую оценку почвогрунтов для формирования плодородного слоя на нарушенных землях в импактной зоне шламохранилища АО «РУСАЛ Ачинск».

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

1. Выполнить комплексный анализ почвенного покрова в импактной зоне шламохранилища на основе данных агрохимических и химико-токсикологических показателей и ферментативной активности почвенных образцов.

2. Провести оценку токсичности почвенно-растительного грунта вскрышных пород карьеров добычи полезных ископаемых на пригодность для применения в качестве компонентов плодородного слоя почвы.

3. Выполнить анализ агрохимических и химико-токсикологических показателей восстановленного почвогрунта и осуществить подбор травосмеси для фиторемедиации и формирования растительного покрова.

4. Определить экотоксикологические показатели восстановленного почвогрунта в полевых условиях с использованием тест-культур.

Научная новизна:

1. Впервые проведена интегральная оценка восстановления нарушенных щелочными водами земель в импактной зоне действующего объекта химического производства.

2. Установлена высокая степень загрязнения шламовыми водами территории, прилегающей к шламохранилищу глиноземного производства. Выявлены основные лимитирующие факторы, тормозящие восстановление растительного покрова.

3. Установлено снижение биологической активности деградированной почвы в районе шламохранилища и уменьшение содержания органического вещества. Доказана низкая обеспеченность почв инвертазой (от 4,67 до 8,21 мг глюкозы / 1 г почвы 24 ч) и снижение уреазной активности от 1,8 до 3,5 раз по сравнению с фоном.

4. Методом фитотестирования доказано снижение токсичности почвы с категории «средняя» до «не токсичной» при использовании почвенных грунтов, приготовленных на основе почвенно – растительного слоя вскрышных пород.

Теоретическая значимость работы. Результаты исследований расширяют представления о характере деградации почв, загрязненных щелочьсодержащими шламовыми водами, и дополняют научные положения по определению степени интегральной токсичности почв с применением тестовых культур. На основе комплексного анализа агрохимических и химико-токсикологических показателей определена степень токсичности деградированных почв и научно обосновано применение экологически безопасных грунтов вскрышных пород в процессе восстановления нарушенных земель.

Практическая значимость работы. Разработанные технологические приемы формирования корнеобитаемого слоя поверхности отвалов нарушенных земель с применением почвенно-растительного грунта вскрышных пород карьеров добычи полезных ископаемых защищены тремя патентами на изобретения и внедрены при восстановлении нарушенных земель в АО «РУСАЛ Ачинск». Научные, лабораторные и практические результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс с включением их в лекционные курсы по дисциплинам «Экология и охрана окружающей среды», «Оценка воздействия на окружающую среду и экологическая экспертиза», «Региональная экология» при подготовке бакалавров по направлению 35.03.03 «Агрехимия и агропочвоведение» (направленность / профиль «Агроэкология») в институте агроэкологических технологий ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Положения, выносимые на защиту:

1. Ухудшение экологического состояния почвы под воздействием шламовых вод сопровождается повышением значения рН, снижением содержания органического вещества и увеличением содержания калия.

2. Уровень загрязнения нарушенных шламовыми водами земель определяются результатами комплексной оценки с применением экотоксикологических исследований на основе фитотестирования, агрохимических показателей и ферментативной активности почвы.

3. Применение почвогрунтов, приготовленных из не токсичного почвенно-растительного грунта вскрышных пород карьеров добычи полезных ископаемых, положительно влияет на экологическое состояние нарушенных земель и приводит к улучшению их почвенного плодородия.

Степень достоверности результатов исследования определяется методически обоснованным комплексом аналитических исследований с использованием стандартных методик, лабораторного аттестованного оборудования и поверенных средств измерений, обработкой результатов экспериментов статистическими методами, достаточным количеством проведенных опытов и подтверждается корреляцией результатов моделирования, лабораторных исследований и результатов опытно-полевых испытаний и их внедрения в импактной зоне шламохранилища АО «РУСАЛ Ачинск».

Методология и методы исследования. Методологической основой научной работы явились лабораторные, лабораторно-вегетационные и полевые исследования с использованием общепринятых методов изучения агрохимических, химико-токсикологических, биотестирования почвогрунтов и экотоксикологических показателей почвы со статистической обработкой полученных данных с использованием пакета анализа данных Microsoft Excel.

Личный вклад автора. Автором выполнен анализ научно-технических и патентных источников, определены задачи исследования, выполнены экспериментальные исследования по экотоксикологической оценке

почвогрунтов, разработаны технические решения по формированию корнеобитаемого слоя с использованием почвенно-растительного грунта вскрышных пород карьеров добычи полезных ископаемых и проведена их практическая апробация в импактной зоне шламохранилища АО «РУСАЛ Ачинск».

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты работы были доложены на IX и X Международном Конгрессе «Цветные металлы и минералы (Красноярск, 2017, 2018), XIII Международной научно-практической конференции «Российская наука в современном мире» (Москва, 2017), XXIII Международной научно-технической конференции «Приоритетные направления развития науки и технологий» (Тула, 2018), международной научно-практической конференции «Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития» (Красноярск, 2018), III Всероссийской научной конференции «Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий» (Новосибирск, 2018), XXIV Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» (Екатеринбург, 2019), национальной научно-практической конференции с международным участием «Современное состояние, проблемы и перспективы исследований в биологии, географии и экологии» (Рязань, 2019), XIV Международной научно-практической конференции «Инновационные исследования как локомотив развития современной науки: от теоретических парадигм к практике» (Москва, 2019), всероссийской научно-практической конференции «Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения» (Саратов, 2019), III Национальной (Всероссийской) научной конференции «Теория и практика современной аграрной науки» (Новосибирск, 2020), международной научно-практической конференции «Состояние окружающей среды: проблемы экологии и пути их решения», (Усть-Илимск, 2020), международной научно-практической конференции «Обмен знаниями как ключевое условие научного прогресса» (Казань, 2021).

Публикации. По материалам диссертации опубликованы 23 работы, в том числе 5 статей в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (из них 2 статьи в российском научном журнале, входящем в Scopus), 2 статьи в сборниках материалов конференций, представленных в изданиях, входящих в Web of Science и /или Scopus, 13 статей в сборниках материалов международных и всероссийских (в том числе с международным участием) научных, научно-практических и научно-технических конференций; получено 3 патента Российской Федерации.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 166 страницах, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка сокращений, списка литературы, включающего 243 источника, из них 19 – на иностранном языке, 4 приложений. Работа содержит 45 таблиц и 32 рисунка.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю доктору технических наук И.И. Шепелеву за руководство работой и заведующему кафедрой «Экология и природопользование» Красноярского ГАУ кандидату биологических наук, доценту Е.Н. Еськовой за консультации и обсуждение результатов исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1 АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЗЕМОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

В первой главе проведен аналитический обзор литературы о влиянии и экологических последствиях производства глинозема, деградации компонентов экосистем и техногенном преобразовании ландшафтов. Проведенный анализ показал, что для формирования плодородного слоя применяются различные природные образования и органогенные добавки. Для нивелирования отрицательного воздействия глиноземной промышленности на природную среду необходимо проведение комплексной экотоксикологической оценки состояния почвенного покрова и компонентов восстанавливаемого почвогрунта. При этом необходимо учесть, что на промплощадке АО «РУСАЛ Ачинск» имеется ряд грунтов природного образования, которые можно рассматривать в качестве компонентов потенциально плодородного слоя при восстановительных работах на нарушенных щелочными водами территориях.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являлись почвенные образцы с нарушенной территории, прилегающей к шламохранилищу. Для оценки исходного состояния почвенного покрова в импактной зоне шламохранилища АО «РУСАЛ Ачинск» в северо-западной части территории, прилегающей к шламовой карте №2 согласно ГОСТ 17.4.301-83 были отобраны образцы почв с участков А, Б и В и на удалении 500 м на север – фоновый образец, с территории не подверженной воздействию шламовых вод.

Для реабилитации нарушенного почвенного покрова в качестве компонентов почвогрунта были исследованы почвенно-растительный грунт вскрышных пород из карьеров добычи полезных ископаемых, расположенных вблизи промплощадки АО «РУСАЛ Ачинск». В качестве добавок, улучшающих плодородные свойства грунта, были исследованы органогенные добавки – ил с очистных сооружений г. Ачинска трех- и пятилетнего срока хранения. Определение агрохимических и химико-токсикологических показателей почвенных образцов проводилось в испытательной лаборатории ФГБУ «Красноярский референтный Центр Россельхознадзора».

Структурно-методологическая схема исследований приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурно-методологическая схема исследований

Экотоксикологическая оценка проводилась по двум способам: 1 – в соответствии с «Методикой выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв» и 2 – по расчету индексов фитотоксичности исследуемых образцов по всем учитываемым параметрам: энергии прорастания, всхожести семян, длине стебля и длине корня тест-растений. Для фитотестирования, согласно международному стандарту ISO 11269-2, выбраны тест-культуры – пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.) сорт Новосибирская 29 (далее пшеница) и кресс-салат (*Lepidium sativum* L.) сорт Забава (далее кресс-салат).

Ферментативная активность почвы определялась следующими методами: активность каталазы – перманганатометрическим методом, уреазы – фотоколориметрическим методом, инвертазы – по учету восстанавливающих сахаров, образующихся при расщеплении сахарозы.

Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием пакета анализа данных Microsoft Excel.

3 КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ИМПАКТНОЙ ЗОНЕ ШЛАМОХРАНИЛИЩА АО «РУСАЛ Ачинск»

Для проведения сравнительного анализа изменения агрохимических и химико-токсикологических показателей проб почвогрунтов был проведен отбор проб загрязненного почвогрунта с нарушенной территории. Исходный почвогрунт характеризовался сильнощелочной реакцией среды (значение рН = 10,3-10,7 ед.). Защелоченность почвогрунта обусловлена загрязнением его шламовыми водами, содержащими в больших концентрациях калийную и натриевую щелочь, что приводит к образованию на поверхностном слое корки, ухудшающей условия для произрастания растений (рисунок 2).



Рисунок 2 – Территория нарушенных земель в районе шламохранилища подверженная загрязнению шламовыми водами

Экотоксикологическая оценка почвогрунтов с нарушенных земель в районе шламохранилища, проведенная по снижению всхожести семян и угнетению роста корней тест-растений показала, что данная почва относится к группе «опасно токсичные» и «умеренно токсичные» (таблица 1).

Таблица 1 – Экотоксикологическая оценка почвогрунтов по снижению всхожести семян и угнетению роста корней тест-растений

Показатели		Участок А			Участок Б			Участок В		Фон
		А1	А2	А3	Б1	Б2	Б3	В1	В2	
Разница с контролем по всхожести, %	кресс-салат	59,7	55,9	53,0	34,0	67,3	62,7	55,6	66,7	13,2
	пшеница	60,5	67,1	67,4	31,5	56,1	52,3	42,2	72,8	10,4
	среднее	60,1	61,5	60,2	32,8	60,0	57,5	48,9	69,8	11,8
Разница с контролем по длине корня, %	кресс-салат	61,7	54,9	58,4	37,5	58,3	54,9	56,6	75,5	10,4
	пшеница	42,5	58,6	64,8	35,8	43,0	46,3	51,4	69,1	0,8
	среднее	52,1	56,8	61,6	36,7	50,7	50,6	54,0	72,3	5,6
Среднее по двум тест-функциям, %		56,1	59,2	60,9	34,8	55,4	54,1	51,5	71,1	8,7
Заключение о токсичности почвенных проб		3	3	4	2	3	3	3	4	1

* Примечание: 1 – практически не токсичные; 2 – малотоксичные; 3 – умеренно токсичные; 4 – опасно токсичные [Методика выполнения измерений..., 2006]

Для проверки выводов экотоксикологической оценки почвогрунтов с участков А, Б и В дополнительно были рассчитаны индексы фитотоксичности по каждой тест-функции (энергии прорастания, всхожести семян, длине ростков и корней) кресс-салата и пшеницы (таблица 2).

Таблица 2 – Экотоксикологическая оценка почвогрунтов по индексам фитотоксичности

Показатели	Тест-культуры	Участок А			Участок Б			Участок В		Фон
		А1	А2	А3	Б1	Б2	Б3	В1	В2	
ИФТ _Э	кресс-салат	38,8	37,6	35,8	49,1	31,1	34,6	36,7	27,8	82,0
	пшеница	48,6	23,7	23,4	50,3	37,4	32,3	51,1	21,1	85,1
ИФТ _В	кресс-салат	40,3	44,2	47,0	66,0	31,4	35,9	44,4	33,3	86,8
	пшеница	39,5	32,9	32,6	68,5	43,9	47,7	57,8	27,2	89,6
ИФТ _{Дс}	кресс-салат	40,7	47,0	42,9	69,7	39,1	45,1	53,8	25,1	93,0
	пшеница	62,1	40,9	37,0	79,6	65,7	71,3	61,0	40,1	96,6
ИФТ _{Дк}	кресс-салат	38,3	45,1	41,6	62,5	41,7	45,1	43,4	24,5	89,6
	пшеница	57,5	41,4	35,2	64,2	57,0	53,7	48,6	30,9	99,3
ИФТ _{среднее}	кресс-салат	39,5	43,5	41,8	61,8	35,8	40,2	44,6	27,7	87,9
	пшеница	51,9	34,7	32,1	65,7	51,0	51,3	54,6	29,8	92,7
ИФТ _{среднее} по двум тест-культурам		45,7	39,1	37,0	63,8	43,4	45,8	49,6	28,8	90,3
Заключение по токсичности тест-объектов*		3	3	4	2	3	3	3	4	1
Примечание: 1 – нет токсичности; 2 – слабая; 3 – средняя; 4 – высокая. Заключение по токсичности тест-объектов сделано по А. И. Федоровой, А. Н. Никольской [2000]										

Полученные результаты по фитотестированию почвы с участков нарушенных земель подтверждаются оценкой ферментативной активности почвы, на основании которой сделаны выводы о снижении скорости биологических процессов и их угнетении (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты ферментативной активности почвенных образцов, отобранных в районе шламохранилища

Участок	Точки отбора проб почв	Каталазная активность почв, мл КМnO ₄ за 1 мин / г почвы	Уреазная активность, мг аммиака / 10 г почвы за сутки	Инвертазная активность почв, мг глюкозы / 1 г почвы за сутки
Фон		3,36±0,04	11,98±0,39	16,45±0,96
А	А 1	1,26±0,02*	5,69±0,41*	6,22±0,12*
	А 2	1,96±0,01**	6,34±0,28**	6,85±0,54*
	А 3	1,30±0,01*	6,46±0,54**	7,47±0,25**
Б	Б 1	1,52±0,02*	4,28±0,23*	8,21±0,54**
	Б 2	1,26±0,03*	3,34±0,08*	6,75±0,36*
	Б 3	1,63±0,03*	4,12±0,18*	5,89±0,41*
В	В 1	0,98±0,02*	5,26±0,27*	5,26±0,25*
	В 2	0,78±0,03*	4,58±0,24*	4,67±0,41*
Примечание: * – p<0,01; ** – p<0,05				

Установлено ослабление ферментативной активности (отличие от контроля от 50,1 до 72,2%) с уменьшением содержания органического вещества в почве. В целом обеспеченность почвогрунтов инвертазой можно охарактеризовать как бедную (от 4,67 до 8,21 мг глюкозы / 1 г почвы за 24 ч). Уреазная активность опытных образцов снижена от 1,8 до 3,5 раз по сравнению с фоном. Все исследуемые почвогрунты характеризовались низкой ферментативной активностью, бедной степенью обогащенности почв уреазой (от 3 до 10 мг аммиака на 10 г почвы за сутки). Это свидетельствует о высоком уровне деградации данной территории и необходимости проведения экологических восстановительных мероприятий.

4 ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ КОМПОНЕНТОВ ПОЧВОГРУНТА ДЛЯ САНАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В ИМПАКТНОЙ ЗОНЕ ШЛАМОХРАНИЛИЩА

Для санации загрязненной территории в районе шламохранилища предложено использовать природные образования: почвенно-растительный грунт вскрышных пород из карьеров добычи полезных ископаемых, а также органогенную добавку.

В качестве органогенной добавки был применен ил с очистных сооружений г. Ачинска трех- и пятилетнего хранения, который имел нейтральную реакцию среды, высокое содержание органического вещества и подвижных соединений фосфора, азота, марганца и обменного калия, по содержанию тяжелых металлов не являлся опасным. Вскрышная порода из карьера добычи песка в пойме реки Чулым по своим агрохимическим показателям соответствовала нормативным требованиям и была опробована в качестве компонента почвогрунта при восстановлении загрязненных почв. На почвенном образце с загрязненного контрольного участка полностью отсутствовали всходы кресс-салата и наблюдались отдельные растения пшеницы (рисунок 3).

Проведена экотоксикологическая оценка изучаемых образцов почвогрунта по таким тест-функциям как всхожесть семян и длина корней тест-растений кресс-салата и пшеницы. Отмечено, что по токсичности тест-объекты отнесены к категории – «очень слабая токсичность» и «слабая токсичность». Фитотестирование почвогрунта показало очень высокую токсичность почвогрунта с загрязненного контрольного участка, остальные образцы практически не имели токсичности.



Ил с очистных сооружений
(пятилетнего срока
хранения)



Вскрышная порода карьера
добычи песка из поймы реки
Чулым



Проба загрязненного
почвогрунта с контрольного
участка

Рисунок 3 – Примеры пшеницы сорт Новосибирская 29, выращенной на пробах разных вариантов опыта

Для формирования плодородного слоя почвенного покрова были приготовлены опытные составы многокомпонентных почвогрунтов на основе загрязненного грунта с нарушенных земель, почвенно-растительного грунта вскрышной породы из карьера добычи песка в пойме реки Чулым и органомной добавки из ила с очистных сооружений г.Ачинска (пятилетнего срока хранения). Состав применяемых опытных многокомпонентных почвогрунтов приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Схема исследований и состав применяемых многокомпонентных почвогрунтов

Вариант	Состав	Соотношение компонентов, массовые доли
почвогрунт № 1	почвогрунт + ил	1:9
почвогрунт № 2	почвогрунт + ил	1:2
почвогрунт №3	почвогрунт + ил	1:1
почвогрунт № 4	почвогрунт + ил + вскрышная порода	2:3:5
почвогрунт № 5	почвогрунт + ил + вскрышная порода	1:2:7
почвогрунт № 6	почвогрунт + ил + вскрышная порода	3:2:5
почвогрунт № 7	почвогрунт + ил + вскрышная порода	1:1:8

В таблице 5 приведены данные экотоксикологической оценки опытных образцов почвогрунта, сделанной на основании расчета ИФТ по двум видам тест-растений. На основании полученных результатов по токсичности тест-объектов (таблица 5) можно заключить, что почвогрунты под номерами 5 и 7 относятся к категории «не токсично», под номером 4 – «очень слабая токсичность» (ИФТ_{среднее} = 85,6), почвогрунты под номерами 1, 2 и 6 – «слабая токсичность», а почвогрунт №3 – «средняя токсичность» (ИФТ_{среднее}=58,4).

Таблица 5 – Экотоксикологическая оценка почвогрунтов по индексам фитотоксичности

Вариант	ИФТ _{среднее} кресс-салат	ИФТ _{среднее} пшеница	ИФТ _{среднее} по двум тест-культурам	Заключение по токсичности тест-объектов
почвогрунт № 1	76,6	79,6	78,1	слабая
почвогрунт № 2	71,7	74,4	73,1	слабая
почвогрунт №3	57,6	59,1	58,4	средняя
почвогрунт № 4	87,0	84,2	85,6	очень слабая
почвогрунт № 5	98,0	89,7	93,9	не токсично
почвогрунт № 6	76,2	79,7	77,9	слабая
почвогрунт № 7	99,7	92,8	96,3	не токсично

Примеры тест-растений, выращенных на экспериментальных смесях почвогрунта представлены на рисунке 4. Визуальная оценка растений опытных групп почвогрунта позволила установить, что практически на всех предложенных вариантах растения кресс-салата и яровой мягкой пшеницы достаточно высокорослые, с хорошо развитой корневой системой.

После подбора состава многокомпонентных почвогрунтов в лабораторных условиях были проведены опытно-полевые испытания на опытном участке.



Почвогрунт №2

Почвогрунт №4

Фоновая проба

Рисунок 4 – Примеры тест-растений пшеницы сорт Новосибирская 29, выращенных на различных смесях компонентов почвогрунта и на фоновой пробе почвы

Предварительно было изучено влияние нейтрализующих агентов на почву нарушенной территории. Исследования значения рН водной вытяжки данной почвы после нейтрализации ее химическими реагентами показали, что после обработки почвогрунта сульфатом аммония в количестве 150-200 г/м² значение показателя рН снизилось с 10,2 (10.07.2016 г.) до 8,31 ед. (25.06.2018 г.).

Концентрация тяжелых металлов в изучаемых образцах на опытном участке была гораздо ниже установленных нормативов (таблица 6).

Таблица 6 – Химико-токсикологические показатели почвенных образцов с опытных участков в рамках промышленного испытания

Наименование образцов	Марганец		Никель		Свинец		Фтор	
	валов.	подвиж.	валов.	подвиж.	валов.	подвиж.	валов.	подвиж.
Опытный участок 1	167,4	57,73	18,84	1,82	31,07	1,12	< 2,0	< 0,95
Опытный участок 2	299,6	57,2	16,53	1,1	11,07	0,81	< 2,0	< 0,95
Опытный участок 3	301,9	144,7	13,07	0,95	9,82	0,93	< 2,0	1,41
Норматив	1500	140	80	4,0	32	6,0	10,0	2,8

Методом фитотестирования при использовании в качестве тест-растений пшеницы и кресс-салата была изучена экотоксичность почвенных образцов грунта с опытного участка. Практически на всех пробах почвогрунта, отобранных с опытных участков, растения кресс-салата и яровой мягкой пшеницы были достаточно высокорослыми, с хорошо развитой корневой системой. Рассчитанные индексы фитотоксичности по каждой тест-функции (энергии прорастания, всхожести семян, длине ростков и корней) кресс-салата и пшеницы показали, что использование вскрышной породы (почвенно-растительного слоя из карьера добычи песка в пойме реки Чулым) с органомной добавкой из ила с левобережных очистных сооружений г. Ачинска (пятилетнего срока хранения) в качестве компонентов почвогрунта позволяет снизить токсичность почвогрунта с категории «средняя токсичность» до «не токсичной».

5 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛОДОРОДНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В ИМПАКТНОЙ ЗОНЕ ШЛАМОХРАНИЛИЩА

Исходный загрязненный почвогрунт нарушенных земель на площади 7 га в районе, прилегающем к шламовой карте №2 АО «РУСАЛ Ачинск», характеризовался сильнощелочной реакцией среды (значение pH – 9,7-10,4 ед.). Защелоченность почвогрунта обусловлена загрязнением его шламовыми водами, содержащими в больших концентрациях калийную щелочь (таблица 7).

Установлено, что во всех пробах с участка после проведенных восстановительных работ содержание обменного калия значительно ниже фонового образца и ниже исходного загрязненного почвогрунта. По обменному натрию, также наблюдалась положительная динамика, достигнуто значительное снижение содержания по сравнению с условиями до проведения восстановительных работ, которое находилось на уровне фонового образца.

Таблица 7 – Агрохимические показатели проб почвогрунта с фонового, загрязненного и восстановленного участков

№	Наименование показателя	Фоновая скважина (Ф-1)	Усредненная проба почвогрунта	
			до восстановления	после восстановления
1.	pH водн., ед.	8,2	9,7	6,94
2.	Калий (обмен.), мг/кг	209	2647	140,8
3.	Натрий (обмен.), ммоль/100 г	0,17	6,7	0,13
4.	Общий азот, %	0,17	0,23	0,12
5.	Органическое вещество, %	4,67	3,08	4,01
6.	Фосфор (подвижн.), мг/кг	138	18	199,4

Анализ почвогрунта с восстановленного участка показал, что он содержал органическое вещество в необходимом количестве. По содержанию подвижной формы фосфора все почвенные пробы с участка после проведенных восстановительных работ обладали высокой степенью обеспеченности и значимо превышают фоновый образец, что улучшало снабжение растений питательными веществами и влагой. Все это свидетельствует о том, что условия произрастания растений будут улучшаться. Все пробы почвы с участка после восстановительных работ относятся к – легкосуглинистым почвам, тогда как до проведения технических мероприятий почва была тяжелосуглинистая. Химико-токсикологический анализ проб почвогрунтов с участка после восстановительных работ показал отсутствие превышения установленных нормативов по тяжелым металлам (таблица 8).

Таблица 8 – Химико-токсикологические показатели проб почвогрунта с загрязненного участка и после его восстановления

№	Наименование показателя	Нормативное значение	Фоновая скважина (Ф-1)	Усредненная проба почвогрунта	
				до восстановления	после восстановления
1.	Марганец (подвиж.), мг/кг	-	18,7	121,57	2,83
2.	Фтор (подвиж.), мг/кг	Не более 2,8	1,69	3,45	0,66
3.	Кадмий (подвиж.), мг/кг	Не более 0,2	0,13	0,07	0,05
4.	Медь (подвижн.), мг/кг	Не более 3,0	0,24	0,5	0,26
5.	Мышьяк (валов.), мг/кг	Не более 10	9,84	7,75	4,35
6.	Никель (подвижн.), мг/кг	Не более 4,0	0,27	0,41	0,21
7.	Ртуть (валов.), мг/кг	Не более 2,1	0,067	0,061	0,041
8.	Свинец (подвижн.), мг/кг	Не более 6,0	0,34	0,85	0,34
9.	Хром (подвижн.), мг/кг	Не более 6,0	0,52	0,37	0,16
10.	Цинк (подвижн.), мг/кг	Не более 23,0	1,27	2,31	0,37

Биологический этап на территории, прилегающей к шламохранилищу, предусматривал мероприятия, направленные на закрепление поверхностного слоя почвы корневой системой травянистых растений. Посеянные на участке в конце мая 2020 года многолетние травы показали хорошую всхожесть после проведенного биологического этапа и сформировали плотный травяной покров на поверхности всего участка площадью 7 га (рисунок 5).



Рисунок 5 –Травяной покров на участке после восстановительных работ

По величине биомассы травяного покрова можно утверждать, что при восстановлении антропогенно нарушенных земель в районе шламохранилища АО «РУСАЛ Ачинск», многокомпонентный почвогрунт из вскрышной породы карьера добычи песка и вскрышной породы карьера добычи известняка с добавлением ила с очистных сооружений показал высокую продуктивность выбранной для биологического этапа травосмеси. Результаты статистического анализа морфометрических показателей таких тест-функций проростков как длина ростков и длина корней тест-растений (кресс-салат и пшеница) приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Морфометрические показатели проростков тест культур

Вариант исследования	Длина ростков, мм	Разница с контролем, мм	Длина корней, мм	Разница с контролем, мм
Кресс-салат сорт Забава				
Контроль	62,0±1,41	-	84,5±2,19	-
Проба загрязненной почвы	20,2±1,16	41,8*	17,5±1,11	67,0*
Проба почвогрунта после восстановления	48,7±1,36	13,3**	71,3±1,28	13,2**
Пшеница сорт Новосибирская 29				
Контроль	212,4±2,98	-	168,7±3,24	-
Проба загрязненной почвы	82,9±1,85	129,5*	80,8±1,96	87,9*
Проба почвогрунта после восстановления	171,2±2,01	41,2*	140,3±2,18	28,4*
Примечание: *– p<0,05; ** – p<0,01				

Установлены достоверные отличия ($p<0,05$, $p<0,01$) по морфометрическим параметрам обеих тест-культур, выращенных на разных почвах. Наибольшая разница с контролем установлена у растений, выращенных на загрязненной почве: по длине ростков, более чем в 3 раза у кресс-салата и в 2,5 раза у пшеницы, корней – в 4,8 и 2 раза – у кресс-салата и пшеницы, соответственно. На основании проведенной экотоксикологической оценки почвенных образцов с участка после восстановительных работ по таким тест-функциям как

всхожесть семян и длина корней тест-растений можно сделать следующее заключение о токсичности проб: к умеренно токсичным отнесен почвогрунт, отобранный с загрязненной территории; к практически не токсичным – проба с фонового участка и проба почвогрунта с участка после проведенных восстановительных работ.

Методом биотестирования подтверждено отсутствие острого токсичного действия исследуемых образцов многокомпонентного почвогрунта, сформированного из почвенно-растительного слоя вскрышной породы карьера добычи известняка, вскрышной породы карьера добычи песка из поймы реки Чулым и ила с очистных сооружений г.Ачинска (пятилетнего срока хранения).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накопление и длительное хранение отходов глиноземного производства в шламохранилищах сопровождается техногенным преобразованием ландшафтов на значительных территориях. За счет инфильтрации экотоксичных щелочных растворов происходит деградация почвенного покрова в импактной зоне промышленного предприятия. Высокое содержание калийных солей в почве в районе, прилегающем к шламохранилищу, приводит к образованию на поверхностном слое корки, что значительно ухудшает условия для произрастания растений. Для снижения отрицательного воздействия щелочных шламовых вод на природную среду в качестве компонента потенциально плодородного слоя при восстановительных работах на нарушенных территориях было предложено использовать не токсичные почвогрунты природного образования в процессе добычи полезных ископаемых, которые находятся на промплощадке АО «РУСАЛ Ачинск». Для обеспечения экологических требований при формировании плодородного слоя на техноземах необходим обязательный контроль нормативов экологической безопасности используемых компонентов почвогрунтов и определение их токсичности. Комплексная оценка экологического состояния почвы нарушенных земель и компонентов восстанавливаемого почвогрунта включала агрохимические, химико-токсикологические и фитотоксикологические исследования с применением метода биотестирования и анализ ферментативной активности.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие **выводы:**

1. На основании экотоксикологической оценки методами биотестирования почвенного покрова территории, прилегающей к шламохранилищу АО «РУСАЛ Ачинск», определено, что почвогрунт с участков нарушенных земель по уровню токсичности отнесен к средне- и высокотоксичным, что свидетельствует о высоком уровне деградации данной территории и подтверждается оценкой ферментативной активности почвы, на основании

которой сделаны выводы о снижении скорости биологических процессов и их угнетении.

2. Для санации и восстановления загрязненных территорий в районе шламоохранилища предлагается использовать не токсичные почвенно-растительные грунты: вскрышную породу из карьера добычи песка поймы реки Чулым, вскрышную породу из карьера добычи известняка и органомную добавку из ила с очистных сооружений г. Ачинска пятилетнего срока хранения. Для этого методом фитотестирования при использовании в качестве тест-растений пшеницы мягкой яровой сорт Новосибирская 29 и кресс-салата сорт Забава была изучена экотоксичность почвогрунтов, приготовленных с данными компонентами и рассчитаны индексы фитотоксичности по каждой тест-функции. Показано, что использование предлагаемых почвогрунтов позволяет снизить токсичность почвогрунта с категории «средняя» до «слабой» и «не токсичной».

3. Разработанные технологические приемы формирования корнеобитаемого слоя поверхности отвалов нарушенных земель с применением почвенно-растительного грунта вскрышных пород карьеров добычи полезных ископаемых внедрены на участке площадью 7 га. При этом данными агрохимического и химико-токсикологического анализа, проведенного в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ «Красноярский референтный центр Россельхознадзора» установлено:

– все почвенные пробы с восстановленного участка площадью 7 га удовлетворяют требованиям ГОСТ17.5.1.03-86 по показателю рН для потенциально-плодородных грунтов, по содержанию подвижных форм марганца и фтора соответствуют гигиеническим нормативам;

– почва с участка после проведенных восстановительных работ по общему содержанию органического вещества относится к среднегумусовым, а по гранулометрическому составу относится к легкосуглинистым почвам, что благоприятно сказывается на условиях произрастания растений.

4. Экотоксикологическими исследованиями почвенных образцов, отобранных с участка после восстановительных работ, методом фитотестирования с использованием одно- и двудольных растений по комплексу признаков (энергия прорастания, всхожесть семян, рост побегов и корней) установлено, что почвогрунт с участка площадью 7 га после восстановительных работ, приготовленный из почвенно-растительного грунта вскрышной породы карьера добычи известняка, вскрышной породы карьера добычи песка из поймы реки Чулым с органомной добавкой ила с очистных сооружений г. Ачинска пятилетнего срока хранения относится к очень слабо токсичным, для сравнения проба с фонового участка – к слабо токсичным.

5. В условиях лабораторно-вегетационного опыта установлена всхожесть смеси многолетних трав из тимофеевки луговой, житняка сибирского, клевера красного лугового, мятлика лугового, овсяницы красной, овсяницы луговой

более 81 %. В процессе полевых исследований подтверждена хорошая всхожесть и продуктивность данной травосмеси.

В качестве научных перспектив дальнейших исследований можно отметить разработку интегрального показателя пригодности отдельных участков нарушенных земель в импактной зоне предприятия с учетом климатического, агрохимического и экологического факторов, а также проведение мониторинговых исследований состояния растительного покрова на восстановленных участках.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Шепелев И. И. Оценка экотоксичности экспериментальных смесей, разработанных для санации территории, прилегающей к шламохранилищу АО «РУСАЛ Ачинск» / И. И. Шепелев, Е. Н. Еськова, О. В. Романова, **А. М. Немеров**, О. В. Пиляева, Р. В. Кочетков // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 12. – С. 203–210. – 0,44 / 0,14 а.л.

2. Шепелев И. И. Разработка комплексных мероприятий по фитосанации для восстановления агроэкосистем в промышленном регионе / И. И. Шепелев, Е. Н. Еськова, **А. М. Немеров**, И. С. Стыглиц, Р. В. Кочетков // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 5. – С. 285–290. – 0,38 / 0,13 а.л.

3. **Немеров А. М.** Изменение токсичности почвогрунтов в условиях антропогенной нагрузки / А. М. Немеров, И. И. Шепелев, Е. Н. Еськова, С. О. Потапова, Е. В. Кирюшин, Н. В. Орлегова // Проблемы региональной экологии. – 2020. – № 3. – С. 10–17. – DOI: 10.24411/1728-323X-2020-13010. – 0,5 / 0,17 а.л.

4. Шепелев И. И. Снижение антропогенного воздействия шламохранилища глиноземного производства на окружающую природную среду / И. И. Шепелев, **А. М. Немеров**, Е. Н. Еськова, Е. И. Жуков, А. Ю. Сахачев, О. В. Пиляева, Е. В. Кирюшин, С. О. Потапова // Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 2. – С. 4–9. – DOI: 10.18412/1816-0395-2020-2-4-9. – 0,38 / 0,07 а.л.

Scopus: Shepelev I. I. Reduction of anthropogenic impact of alumina sludge storage on the environment / I. I. Shepelev, **A. M. Nemerov**, E. N. Eskova, E. I. Zhukov, A. Yu. Sochaczew, O. V. Pilaeva, E. V. Kiryushin, S. O. Potapova // Ecology and Industry of Russia. – 2020. – Vol. 24, № 2. – P. 4–9.

5. Шепелев И. И. Технология восстановления и экологической реабилитации земель, нарушенных токсичными реагентами / И. И. Шепелев, **А. М. Немеров**, Е. Н. Еськова, Е. И. Жуков, Е. В. Кирюшин, Н. В. Орлегова / Экология и промышленность России. – 2020. – Т. 24, № 5. – С. 40–45. – DOI: 10.18412/1816-0395-2020-5-40-45. – 0,38 / 0,09 а.л.

Scopus: Shepelev I. I. Technology for restoration and ecological rehabilitation of lands violated by toxic reagents / I. I. Shepelev, **A. M. Nemerov**, E. N. Eskova,

E. I. Zhukov, E. V. Kiryushin, N. V. Orlegova // Ecology and Industry of Russia. – 2020. – Vol. 24, № 5. – P. 40–45.

Патенты:

6. Патент № 2709713. Российская Федерация. Способ формирования корнеобитаемого слоя поверхности отвалов, образованных открытой разработкой полезных ископаемых / И. И. Шепелев (RU), Е. Н. Еськова (RU), **А. М. Немеров** (RU), Н. И. Пыжикова (RU), Е. И. Жуков (RU), А. Ю. Сахачев (RU), Н. В. Орлегова (RU), Ю. А. Книга (RU), Р. В. Кочетков (RU); патентообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» (RU). – № 2019105916, заявл.: 01.03.2019; опубл. 19.12.2019, бюл. № 35. – 6 с.

7. Патент РФ 2728223. Способ восстановления нарушенных земель при открытой разработке месторождений полезных ископаемых / И. И. Шепелев (RU), Е. Н. Еськова (RU), Н. И. Пыжикова (RU), **А. М. Немеров** (RU), Е. И. Жуков (RU), А. Ю. Сахачев (RU), Н. В. Орлегова (RU), Ю. А. Книга (RU), Р. В. Кочетков (RU); патентообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет» (RU). – № 2017139374, заявл.: 01.03.2019; опубл. 28.07.2020, бюл. № 22.

8. Патент № 2684236. Российская Федерация. Способ рекультивации породных отвалов / И. И. Шепелев (RU), Н. И. Пыжикова (RU), Н. И. Пыжикова (RU), Е. И. Жуков (RU), **А. М. Немеров** (RU), А. Ю. Сахачев (RU), И. С. Стыглиц (RU), Н. Н. Бочков (RU), Р. В. Кочетков (RU). – № 2019105917, заявл.: 13.11.2017, опубл. 09.04.2019, бюл. № 10. – 6 с.

Статьи в сборниках материалов конференций, представленных в научных изданиях, входящих в Web of Science и / или Scopus:

9. Shepelev I. I. Ecological engineering as a mean to reduce the anthropogenic impact of production on biota / I. I. Shepelev, **A. M. Nemerov**, E. N. Eskova, V. V. Keller, S. O. Potapova // IOP Conference Series. – 2019. – Vol. 537 : International Workshop on Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering (MIP) – Engineering. Krasnoyarsk, Russia, April 04–06, 2019. – Article number 062049. – 5 p. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/537/6/062049> (access date: 02.03.2021). – DOI: 10.1088/1757-899X/537/6/062049. – 0,31 / 0,08 а.л. (*Web of Science*).

10. **Nemerov A.** The use of non-toxic technogenic and natural materials to ensure the stability of disturbed ecosystems / A. M. Nemerov, I. I. Shepelev, E. N. Eskova, Y. A. Kniga, N. V. Orlegova // IOP Conference Series: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). – Vol. 315 : International Scientific Conference «AGRITech-2019: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies». Krasnoyarsk, Russian Federation, 20–22 June 2019. – Krasnoyarsk, 2019. – Article number 052012. – 4 p. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/315/5/052012> (access date: 02.03.2021). – DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052012. – 0,25 / 0,08 а.л. (*Scopus*).

Публикации в прочих научных изданиях:

11. Шепелев И. И. Экотоксикологические исследования техногенных материалов глиноземного производства / И. И. Шепелев, Е. Н. Еськова, И. С. Стыглиц, Е. И. Жуков, А. Ю. Сахачев, **А. М. Немеров** // Цветные металлы и минералы – 2017 : доклады IX Международного конгресса. Красноярск, 11–15 сентября 2017 г. – С. 159–164. – 0,38 / 0,11 а.л.

12. Еськова Е. Н. Оценка экотоксичности материалов техногенного происхождения для их вторичного использования / Е. Н. Еськова, **А. М. Немеров**, И. И. Шепелев, О. В. Пиляева, И. С. Стыглиц // Российская наука в современном мире : материалы XIII Международной научно-практической конференции. Москва, 29–30 декабря 2017 г. – Москва, 2017. – С. 16–17. – 0,13 / 0,05 а.л.

13. Шепелев И. И. Исследования почвогрунтов и техногенных материалов, применяемых для восстановления нарушенных земель в районе шламохранилища АО «РУСАЛ Ачинск» / И. И. Шепелев, **А. М. Немеров**, Р. В. Кочетков, Е. Н. Еськова, А. Ф. Шиманский / Приоритетные направления развития науки и технологий : труды XXIII Международной научно-технической конференции. Тула, 16–18 апреля 2018 г. – Тула, 2018. – С. 42–46. – 0,25 / 0,08 а.л.

14. **Немеров А. М.** Разработка технологии защиты и восстановления агроэкосистемы в районе, прилегающем к шламохранилищу АО «РУСАЛ Ачинск» / А. М. Немеров, И. И. Шепелев, Е. Н. Еськова, Е. И. Жуков, С. О. Потапова, Р. В. Кочетков, И. С. Стыглиц // Цветные металлы и минералы: доклады X Международного конгресса. Красноярск, 10–14 сентября 2018 г. – Красноярск, 2018. – С. 286. – 0,06 / 0,02 а.л.

на англ. яз.: **Nemerov A. M.** Development of technology of protection and restoration of the agroecosystem in the area adjacent to sludge depository of open society RUSAL Achinsk / A. M. Nemerov I. I. Shevelev, E. N Eskova, E. L Zhukov, S. O. Potapova, R. V. Kochetkov, I. S. Styglits // Non-ferrous metals and minerals : book of papers of the tenth international congress. Krasnoyarsk, September 10–14, 2018. – Krasnoyarsk, 2018. – P. 287.

15. Шепелев И. И. Исследование техногенных материалов для решения проблем функционирования агроэкосистем в промышленном регионе / И. И. Шепелев, Е. Н. Еськова, **А. М. Немеров**, Р. В. Кочетков // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : материалы международной научно-практической конференции. Красноярск, 17–19 апреля 2018 г. – Красноярск, 2018. – С. 214–216. – 0,19 / 0,07 а.л.

16. Шепелев И. И. Решение прикладных вопросов биологии с созданием искусственной агроэкосистемы в Ачинском регионе Красноярского края / И. И. Шепелев, Е. Н. Еськова, **А. М. Немеров**, Н. В. Орлегова // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий : материалы III Всероссийской (национальной) научной конференции. Новосибирск, 20–21 декабря 2018 г. – Новосибирск, 2018. – С. 316–320. – 0,25 / 0,08 а.л.

17. Шепелев И. И. Применение техногенных материалов для создания потенциально-плодородного слоя субстрата на территории шламовых карт АО

«РУСАЛ Ачинск» / И. И. Шепелев, Е. Н. Еськова, **А. М. Немеров**, Н. В. Орлегова, Ю. Н. Книга // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья : материалы XXIV Международной научно-технической конференции. Екатеринбург, 09–12 апреля 2019 г. – Екатеринбург, 2019. – С. 352–356. – 0,31 / 0,12 а.л.

18. Шепелев И. И. Экологический мониторинг состояния нарушенных земель после их восстановления / И. И. Шепелев, Е. Н. Еськова, **А. М. Немеров**, Н. В. Орлегова / Современное состояние, проблемы и перспективы исследований в биологии, географии и экологии : труды национальной научно-практической конференции с международным участием. Рязань, 03 октября 2019 г. – Рязань, 2019. – С. 146–149. – 0,22 / 0,07 а.л.

19. **Немеров А. М.** Снижение антропогенной нагрузки промышленного предприятия на почву прилегающих территорий / А. М. Немеров, И. И. Шепелев, Е. Н. Еськова // Инновационные исследования как локомотив развития современной науки: от теоретических парадигм к практике : труды XIV Международной научно-практической конференции. Москва, 31 октября 2019 г. – Москва, 2019. – С. 271–276. – 0,38 / 0,15 а.л.

20. Шепелев И. И. Разработка инновационных методов экологической реабилитации антропогенно нарушенных территорий в процессе производственной деятельности / И. И. Шепелев, **А. М. Немеров**, Е. Н. Еськова, Н. В. Орлегова // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения : труды всероссийской научно-практической конференции. Саратов, 12–13 декабря 2019 г. – Саратов, 2019. – С. 214–218. – 0,25 / 0,08 а.л.

21. Шепелев И. И. Решение проблем экологии и рационального природопользования нарушенных территорий, прилегающих к шламохранилищам / И. И. Шепелев, **А. М. Немеров**, Е. Н. Еськова, Н. В. Орлегова // Теория и практика современной аграрной науки : материалы III Национальной (Всероссийской) научной конференции. Новосибирск, 28 февраля 2020 г. – Новосибирск, 2020. – Т. 1. – С. 600–603. – 0,25 / 0,08 а.л.

22. Шепелев И. И. Решение экологических проблем при разработке ресурсосберегающих технологий переработки нефелиновых руд / И. И. Шепелев, Е. Н. Еськова, **А. М. Немеров**, С. О. Потапова / Состояние окружающей среды: проблемы экологии и пути их решения : материалы международной научно-практической конференции. Усть-Илимск, 23 ноября 2020 г. – Усть-Илимск, 2020. – С. 115–120. – 0,38 / 0,11 а.л.

23. **Немеров А. М.** Внедрение экологических проектов в АО «РУСАЛ Ачинск» / А. М. Немеров // Обмен знаниями как ключевое условие научного прогресса : материалы международной научно-практической конференции. Казань, 29 января 2021 г. – Казань, 2021. – С. 282–285. – 0,22 а.л.

Издание подготовлено в авторской редакции.
Отпечатано на участке цифровой печати
Издательства Томского государственного университета
Заказ № 7341 от «14» октября 2021 г. Тираж 100 экз.
г. Томск Московский тр.8, тел. 53-15-28