

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Национальный
исследовательский технологический университет «МИСИС»

Шайхислам Гулшат

ПОЧВОГРУНТЫ НА ОСНОВЕ ОКИСЛЕННОГО КАМЕННОГО И
БУРЫХ УГЛЕЙ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Специальность 1.6.21 – «Геоэкология»

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, научный сотрудник
НУИЛ «Физико-химия угля»
Соловьев Тускул Михайлович

Москва, 2025

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Восстановление техногенно-нарушенных природных ландшафтов является одной из важных проблем добычи полезных ископаемых. Широкое использование открытой разработки месторождений полезных ископаемых приводит к деградации рельефа местности, ликвидации плодородных почв, изменению и уничтожению растительных сообществ. На данный момент общая площадь нарушенных земель, образованных в результате добычи полезных ископаемых, на территории РФ составляет более 1,7 млн га. При этом, по данным Росприроднадзора, в настоящее время ежегодно рекультивируется около 40 тыс. га нарушенных земель, что существенно ниже прироста площадей, вновь формирующихся при разработке месторождений полезных ископаемых, техногенных участков.

Важным этапом рекультивации нарушенных земель является восстановление их плодородия для формирования устойчивого почвенно-растительного покрова. Для этого в основном применяют плодородный слой почвы или техноземы, состоящие из потенциально плодородных вскрышных пород. Однако объём плодородных почв, имеющихся на предприятиях, зачастую бывает недостаточным для восстановления всей площади нарушенных земель, а существующие потенциально плодородные вскрышные породы не всегда обеспечивают необходимую биологическую активность из-за нехватки гумуса и агрохимически важных элементов.

Поэтому, в настоящее время, особую актуальность приобретают природоподобные технологии рекультивации нарушенных земель, основанные на использовании вторичных ресурсов предприятий для создания модифицированных техноземов с высокой биологической активностью. В известных работах Шкутника Д.В., Озерского Д.А., Шульгина А.В., Шкуратника В.Л., Эпштейн С.А., Никитиной И.М. и Фоменко Н.А. предложены способы рекультивации нарушенных земель с применением торфа, осадков сточных вод, золошлаковых отходов (ЗШО), окисленных углей и т.д. Применение вторичных ресурсов горнодобывающих предприятий для рекультивации нарушенных земель позволит не только ликвидировать накопленные промышленные отходы и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, но и обеспечит планомерный переход предприятий к экономике замкнутого цикла.

В связи с этим вовлечение некондиционных или низкосортных углей и отходов их сжигания как компонентов модифицированных техноземов для биологической рекультивации нарушенных земель является актуальной научной задачей.

Цель работы заключается в обосновании состава и способа получения экологически безопасных почвогрунтов на основе бурых или окисленных каменных углей и отходов их сжигания как компонентов модифицированных техноземов для биологической рекультивации нарушенных земель.

Для достижения поставленной цели диссертационного исследования были сформулированы следующие задачи:

1. Выбор и характеристика компонентов для создания почвогрунтов и модифицированных техноземов.
2. Оценка состава и свойств отдельных компонентов почвогрунтов и модифицированного технозема с точки зрения их влияния на окружающую среду.
3. Исследование влияния методов активации угля на содержание гуминовых кислот в почвогрунтах.
4. Оценка воздействия состава и свойств почвогрунтов на водные объекты.
5. Проведение экспериментальных исследований по определению биологической активности почвогрунтов и модифицированных техноземов в лабораторных условиях.
6. Проведение полевых испытаний модифицированных техноземов на полигоне АО «Разрез Распадский».

Идея работы заключается в улучшении качества техноземов для биологической рекультивации путем использования почвогрунтов на основе бурых или окисленных каменных углей, являющихся источником гуминовых кислот, а также отходов сжигания углей, выступающих в качестве активатора гуминовых кислот и поставщика агрохимически важных элементов.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Окисленные каменные угли, золошлаковые отходы и вскрышные породы Распадского разреза характеризуются низкой вымываемостью, и низким содержанием как валовых, так и водорастворимых форм потенциально опасных элементов, таких как мышьяк, кадмий, кобальт, хром, ртуть, ванадий, молибден. В связи с чем они могут быть использованы в качестве экологически безопасного сырья для целей биологической рекультивации нарушенных земель.
2. Почвогрунты на основе окисленного каменного или бурых углей и золошлаковых отходов, полученные с использованием ультразвуковой или механохимической активации, характеризуются высоким содержанием гуминовых веществ и мобильных форм агрохимически важных элементов, таких как калий, натрий, магний, кальций и фосфор, что определяет возможность их применения для получения модифицированных техноземов.

3. Лабораторные и полевые испытания показали, что внесение почвогрунтов, полученных из окисленных каменных углей Распадского разреза и отходов их сжигания в равном массовом соотношении, в техноземы в количестве от 10 % до 30% обеспечивает повышение энергии прорастания многолетних травяных культур и количества зеленой фитомассы, а также не создает рисков загрязнения водных объектов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждаются: использованием для экспериментальных исследований представительных проб вскрышных пород (породы суглинок и четвертичных отложений) и окисленного каменного угля разреза «Распадский», бурых углей Канско-Ачинского бассейна, а также золошлаковых отходов угольной котельной разреза «Распадский», ТЭЦ и ГРЭС Красноярского края; значительным объемом экспериментальных исследований с использованием стандартных методов оценки базовых показателей углей, вымываемости вскрышных пород, золошлаковых отходов и углей, биологической активности техноземов, а также хорошо апробированных методик оценки макро- и микроэлементного состава вскрышных пород, углей, золошлаковых отходов и их водных вытяжек; удовлетворительной сходимостью результатов; применением современного аналитического и аппаратного оборудования с высокими метрологическими характеристиками.

Методы исследований, использованные в работе: стандартные методы оценки содержания фтора, мышьяка, ртути и общей серы в пробах вскрышных пород, угля и золошлаковых отходов; спектральные методы определения элементного состава; титриметрические методы анализа; метод капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель-105М» для определения анионного состава в водных вытяжках; стандартные методы для определения биологической активности почвогрунтов и модифицированных техноземов.

Научная новизна работы:

1. Показано, что применение почвогрунтов на основе окисленных каменных углей разреза «Распадский» или бурых углей Канско-Ачинского бассейна совместно с отходами сжигания позволяет существенно повысить биологическую активность техноземов. Эффективность почвогрунтов обусловлена высоким содержанием гуминовых веществ и мобильных форм агрохимически важных элементов, таких как магний и марганец;

2. Выявлена закономерность повышения биологической активности модифицированного технозема при увеличении содержания гуминовых кислот в составе углей.

3. Установлено, что увеличение в составе почвогрунтов доли окисленного каменного или бурых углей до 50 % приводит к повышению биологической активности модифицированных техноземов и снижению рисков загрязнения водных объектов такими элементами как медь, ванадий, хром, кобальт и мышьяк.

Практическая значимость и реализация результатов.

Полученные в рамках диссертационной работы результаты лабораторных исследований почвогрунтов на основе окисленных каменных углей разреза АО «Разрез Распадский» и отходов их сжигания переданы в СибГИУ, и были использованы при проведении полевых испытаний на экологическом полигоне, находящемся на АО «Разрез Распадский» под г. Междуреченском в Кемеровской области.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты диссертационной работы были доложены на VI Международной научной конференции «Новые материалы и технологии в условиях Арктики» (27-29 ноября 2023 г., г. Якутск); VI Международной научно-технической интернет конференции «Защита окружающей среды от экотоксикантов: международный опыт и российская практика» (9 апреля 2024 г., Уфа); 6-й конференции Международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (17-21 июня 2024 г., Москва); XXII Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (7-12 октября 2024 г., пгт Сириус); научно-практической конференции «Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие» (1-3 октября 2024 г., Новокузнецк - Междуреченск); 8-й конференция молодых ученых «Почвоведение: Горизонты будущего» (16-20 сентября 2024 г., Москва).

Публикации. Основные положения и результаты работы представлены в 12 печатных публикациях, в том числе 5 – в научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки, из них 4 – в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus, и 1 – в научных журналах, индексируемых в базе данных Web of Science.

Структура диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка используемой литературы из 126 источников и 1 приложения, содержит 47 рисунков и 21 таблицу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В диссертации проанализированы известные технологии регулирования физико-химических и агрохимических показателей вскрышных пород, используемых в качестве техноземов при биологической рекультивации нарушенных земель. В качестве природных компонентов для биологической рекультивации, как правило, применяют плодородный слой почвы и техноземы, состоящие из потенциально плодородных вскрышных и вмещающих пород. Однако, имеющиеся на рекультивируемых объектах техноземы не всегда соответствуют требованиям по содержанию гумуса и агрохимическим свойствам. Для улучшения качества и повышения плодородия техноземов применяют различные технологии, в том числе основанные на использовании природного сырья и отходов добычи, обогащения и переработки полезных ископаемых. Например, в работах Menghini M. J., Исхакова Х. А., Christos D. T., Шкутникова Д. В., Озерского Д. А., Шульгина А. В., Шкуратника В. Л., Эпштейн С. А., Никитиной И. М., Skousen J., Clinger C., Sopper W. E., Sheaffer J. R., Петровой Т. А. предложены способы рекультивации нарушенных земель с применением торфа, осадков сточных вод, ЗШО и т.д. В работе Фоменко Н. А. показана перспективность использования окисленных бурых углей для снижения эмиссии потенциально опасных макро- и микроэлементов в водные объекты при утилизации ЗШО. Эффективность предлагаемого способа основана на сорбционной активности гуминовых кислот, содержащихся в большом количестве в окисленных каменных углях. Кроме того выявлено, что наличие гуминовых кислот в окисленных бурых углях также способствует увеличению всхожести семян при их использовании в качестве почвогрунта при биологической рекультивации нарушенных земель.

В соответствии с основными положениями развития технологий замкнутого цикла в настоящее время наибольшую актуальность приобретают исследования, направленные на использование вторичных ресурсов при рекультивации нарушенных земель. В связи с этим, в настоящей работе рассмотрен вопрос, получения модифицированных техноземов на основе бурых и окисленных каменных углей, а также отходов их сжигания для рекультивации нарушенных земель.

Объекты исследований. Для получения техноземов были выбраны вскрышные породы разреза «Распадский», представленные суглинками и четвертичными отложениями. Исследованы как по отдельности породы суглинков и четвертичные отложения, так и техноземы, полученные смешением пород суглинков и четвертичных отложений в равном массовом соотношении. В качестве органоминерального компонента почвогрунтов и источника гуминовых веществ использованы окисленный каменный уголь разреза «Распадский», а также бурые угли месторождений Канско-Ачинского угольного бассейна.

В качестве активатора гуминовых веществ при получении почвогрунтов на основе окисленного каменного угля были выбраны ЗШО, образующихся на местной котельной разреза «Распадский». Для получения почвогрунтов на основе бурых углей Канско-Ачинского бассейна использованы ЗШО, отобранные из золоотвалов ТЭЦ и ГРЭС Красноярского края, расположенных вблизи соответствующих угольных разрезов. Отбор проб окисленных каменных углей и бурых углей проводился по ГОСТ Р 59248-2020, а ЗШО и вскрышных пород – по ПНД Ф 12.1:2.2.2:2.3:3.2-03. Для проведения соответствующих испытаний и анализов все исследуемые образцы измельчали до требуемой крупности.

Для характеристики углей определяли показатели технического анализа - массовую долю общей влаги W^t (%) по ГОСТ Р 52911-2020; зольность аналитической пробы на сухое состояние топлива A^d (%) по ГОСТ Р 55661-2013; массовую долю общей серы в аналитической пробе на сухое состояние топлива S_t^d (%) по ГОСТ 32465-2013. Полученные результаты представлены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, окисленные каменные угли характеризуются более высокой зольностью и меньшим содержанием общей влаги, чем бурые угли Канско-Ачинского бассейна. При этом во всех исследованных углях отмечено низкое содержание общей серы.

Таблица 1 – Характеристики исследованных углей

Месторождение	Вид угля	Сокращенное наименование	W^t , %	A^d , %	S_t^d , %
Разрез «Распадский»	Окисленный каменный уголь	ОУ1	21,8	30,5	0,33
Разрез «Назаровский»	Бурый уголь	У2	39,3	7,8	0,34
Пласт «Бородинский-1»	Бурый уголь	У3	28,2	5,9	0,21
Пласт «Бородинский-2»	Бурый уголь	У4	30,6	5,1	0,31
Пласт «Рыбинский-1»	Бурый уголь	У5	31,6	6,8	0,20
Пласт «Рыбинский-2»	Бурый уголь	У6	31,8	7,7	0,18
Разрез «Березовский» (уступ 1)	Бурый уголь	У7	35,1	5,5	0,24
Разрез «Березовский» (уступ 2)	Бурый уголь	У8	35,7	4,1	0,21

Примечание: « W^t » — содержание общей влаги; « A^d » — зольность на сухое состояние; « S_t^d » - содержание общей серы на сухое состояние пробы

Минеральный состав техноземов, состоящих из пород суглинков и четвертичных отложений, определяли методами рентгеновского дифракционного и рентгенофлуоресцентного анализа. Измерения проводили на аналитическом комплексе ARL 9900 Workstation IP3600. Полученные данные приведены в таблице 2. Установлено, что исследуемые пробы пород суглинков и четвертичных отложений характеризуются достаточно близким минеральным составом, и преимущественно состоят из силикатных и

алюмосиликатных породообразующих минералов, при этом отмечено преобладание кварца. Преобладание кварцевых минералов в почвах обуславливает их низкое плодородие. Это связано с химической инертностью кварца, его неспособностью удерживать влагу и элементы питания. Кроме того, в исследованных образцах выявлено содержание альбита, мусковита, каолинита, иллита и монтмориллонита. Стоит также отметить, что в породах суглинок в отличие от четвертичных отложений присутствуют ортоклаз и сидерит, но в то же время отсутствуют микроклин и анатаз, содержание которых было выявлено в четвертичных отложениях.

Таблица 2 – Минеральный состав техноземов, %

Фаза	Состав	Породы суглинок	Четвертичные отложения
Кварц	SiO_2	65,2	60,7
Ортоклаз	KAlSi_3O_8	1,3	-
Альбит	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	12,0	12,0
Мусковит	$\text{KAl}_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	5,8	4,8
Каолинит	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	5,1	9,1
Иллит	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	7,0	2,7
Монтмориллонит	$\text{Na}_{0.3}(\text{Al, Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	3,5	6,3
Сидерит	FeCO_3	-	-
Микроклин	KAlSi_3O_8	-	3,7
Анатаз	TiO_2	-	0,6

Примечание: «-» фаза отсутствует

Кроме того, в пробах техноземов было проведено определение содержания органического углерода по методике №241.0041/RA.RU.311866/2023 «Методика измерений массовой доли органического углерода в пробах отходов добычи, переработки, обогащения и сжигания твердого минерального топлива гравиметрическим методом». Анализ показал, что в исследованных породах суглинок и четвертичных отложений содержание органического углерода составляет 2,3 % и 2,0 %, соответственно. Это указывает на низкое содержание в их составе гумуса – важного элемента, определяющего плодородие почвы.

Методы исследований

Оценка воздействия техноземов, почвогрунтов и их отдельных компонентов на водные объекты

Для оценки воздействия на водные объекты компонентов модифицированного технозема и почвогрунтов использовали следующие критерии:

- валовые содержания макро- микроэлементов по отношению к кларку химических элементов в верхней части континентальной земной коры;

- рН и состав водных вытяжек, полученных по ГОСТ Р 58914–2020;
- вымываемость по содержанию сухого остатка после выпаривания аликвоты фильтрата;
- концентрация загрязняющих веществ в водных вытяжках по отношению к нормируемым ПДК.

Для определения валового содержания макро- и микроэлементов применяли следующие стандартные методы: ГОСТ Р 59014-2020 (фтор), ГОСТ Р 54242-2020 (мышьяк), ГОСТ Р 59176-2020 (ртуть), ГОСТ 32465-2013 (общая сера). Содержание остальных макро- и микроэлементов в аналитической пробе угля определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP-AES).

Выход водорастворимых форм веществ (вымываемость) определяли по ГОСТ Р 58914–2020. Определение химического состава водных вытяжек проводили также методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе ICP-AES. Содержание анионов в водных вытяжках определяли методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель». В полученном по ГОСТ Р 58914–2020 водном экстракте определяли также величину рН согласно ГОСТ 26423–85. Измерения проводили на предварительно отградуированном рН-метре.

Для предварительной оценки водно-миграционной опасности были рассчитаны значения ориентировочного водно-миграционного показателя (ОВМП_В) согласно СП 2.1.7.1386-03. Показатель ОВМП_В характеризует возможное отрицательное влияние отхода на условия жизни и здоровье человека в результате миграции его компонентов в грунтовые и поверхностные воды, и рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{ОВМП}_В = \sum \frac{C_i^В}{\text{ПДК}_i^В} \quad (1)$$

где:

$C_i^В$ - фактические концентрации i -го компонента в водном экстракте, мг/л;

$\text{ПДК}_i^В$ - предельно-допустимая концентрация содержания данного компонента в воде водоемов, мг/л.

Методы активации углей для повышения выхода гуминовых кислот

Для повышения выхода гуминовых кислот (ГК) применяли следующие методы активации угля: механоактивацию, ультразвуковое воздействие и деминерализацию. Определение содержания ГК в активированных образцах углей проводили по ГОСТ Р

70210-2022. Для более корректной оценки влияния разных методов активации на выход ГК, активированные пробы угля последовательно проходили все стадии анализа, предусмотренные в ГОСТ Р 70210-2022, включая термообработку на кипящей водяной бане. Все эксперименты проводили с использованием двух и более параллельных навесок угля.

Механоактивацию углей проводили в присутствии щелочи (NaOH) в воздушно-сухом состоянии (без добавления воды). Уголь со щелочью смешивали в массовом соотношении равным 2:1. При этом массу щелочи рассчитывали на массу сухого угля. Активацию смеси проводили на лабораторной шаровой мельнице. Размер стальных шаров составлял 1,5–2,0 мм, скорость оборотов ~ 200 об/мин, время активации 30 мин.

Ультразвуковую активацию проводили с помощью зондового ультразвукового диспергатора МЭФ93.Т при частоте 22 кГц, варьируя продолжительность активации. Активацию пробы углей проводили в щелочной среде (1 %-й раствор гидроксида калия) при соотношении твердой фазы к жидкой 1:10.

Помимо описанных методов активации также была применена деминерализация угля. Суть данного метода заключалась в обработке пробы угля 5 %-ой соляной кислотой, отделении пробы угля фильтрованием и её промывки дистиллированной водой до нейтральной среды. Идея деминерализации состоит в том, что под воздействием соляной кислоты происходит связывание катионов металлов, входящих в состав минеральной части угля, с хлорид анионом, из-за чего происходит разрушение органоминеральных комплексов в структуре угля, что приводит к увеличению выхода ГК. Такой метод может быть применен для высокозольных углей как предварительная стадия активации.

Определение биологической активности почвогрунтов и модифицированных техноземов в лабораторных условиях

Определение биологической активности модифицированных техноземов проводили по ГОСТ 12038–84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести» путем проращивания семян овса и клевера. Биологическую активность оценивали по изменению показателей всхожести, длины главного корешка и стебля по сравнению с контрольным опытом. Для формализации полученных результатов по формуле рассчитывали интегральный индекс фитоактивности (ИФ), который отражает отклонения показателей всхожести, средней длины главного корешка и стебля проростков от контрольного.

$$\text{ИФ} = \frac{(\text{ЭП} + \text{ДК} + \text{ВП})}{300} \quad (2)$$

где:

ЭП — ср. величина энергии прорастания семян, (% отн. контр. опыта);

ДК — ср. величина длины корней, (% отн. контр. опыта);

ВП — ср. величина высоты проростков (% отн. контр. опыта).

Первое научное положение.

Окисленные каменные угли, золошлаковые отходы и вскрышные породы Распадского разреза характеризуются низкой вымываемостью, и низким содержанием как валовых, так и водорастворимых форм потенциально опасных элементов таких как мышьяк, кадмий, кобальт, хром, ртуть, ванадий, молибден. В связи с чем они могут быть использованы в качестве экологически безопасного сырья для целей биологической рекультивации нарушенных земель.

В таблице 3 представлены результаты определения валового содержания макро- и микроэлементов в пробах технозема, окисленного каменного угля и ЗШО местной котельной разреза «Распадский», а также значения соответствующих кларков элементов в верхней части земной коры. В целом, пробы исследованных техноземов характеризуются незначительным содержанием потенциально опасных элементов, таких как мышьяк, кадмий, хром, кобальт, медь, молибден, ванадий. Содержание этих элементов ниже или соответствует значениям этих элементов в верхней части земной коры.

Содержание потенциально опасных элементов в пробах окисленного каменного угля и золошлаковых отходов также значительно ниже, чем их соответствующие кларковые значения. При этом содержание фосфора в ЗШО практически в 5 раз превышает кларковое значение, что является положительным моментом, учитывая важную роль фосфора в развитии и росте растений.

Исследование макро- и микроэлементного состава образцов бурых углей месторождений Канско-Ачинского бассейна и ЗШО ТЭЦ и ГРЭС Красноярского края также показало низкое содержание в них потенциально опасных элементов. Что касается агрохимически важных макро- и микроэлементов, то высокое содержание магния отмечено в бурых углях пластов Бородинский-1 и Бородинский-2, а также марганца – в буром угле разреза «Назаровский».

Таблица 3 – Содержание макро- и микроэлементов в пробах технозема, окисленного каменного угля и ЗШО, мкг/г

Элемент	Технозем	Окисленный каменный уголь	Золошлаковые отходы	Кларки химических элементов в верхней части континентальной земной коры
As	5,9	3,3	9,1	5,6
Ca	3399	16076	35459	38900
Cd	0,20	0,17	0,01	0,64
Co	12,5	8,7	22,0	17
Cr	53,5	14	49	92
Cu	24,5	8,9	42,0	39
Fe	36307	8130	41397	40600
K	23789	7830	9076	22300
Mg	7430	1682	10568	17700
Mn	675	93	201	770
Mo	0,70	0,70	8,70	1,56
Na	5969	2448	2323	20700
Ni	30	23	50	50
P	559	165	4666	690
Ti	3796	1083	2785	3900
V	83	20	83	121
Zn	80	30	54	75
F	682	211	153	510
Hg	0,055	0,028	0,050	0,065
S	н.п.о.	211	153	1400

Примечание. «н.п.о.» - ниже предела определения

На рисунке 1 представлены значения pH водных вытяжек, полученных из пород суглинка, четвертичных отложений, окисленного каменного угля и ЗШО местной котельной разреза «Распадский». Водные вытяжки, полученные из проб пород суглинок, четвертичных отложений и окисленного каменного угля имеют pH близкой к нейтральной среде, и их значения составляют 6,5, 7,3 и 6,4 соответственно. В свою очередь pH водной вытяжки ЗШО имеет щелочную среду, и составляет 11,4, что обуславливает его использование в качестве компонента в почвогрунте с целью обеспечения щелочной среды.

Водные вытяжки, полученные из бурых углей Канско-Ачинского бассейна, также характеризуются pH близкой к нейтральной среде, и их значение находится в пределах 6,5-7,0. Значение pH водных вытяжек, полученных из ЗШО ТЭЦ и ГРЭС Красноярского края, находится на уровне щелочной среды и варьируется от 9,0 до 11,1.

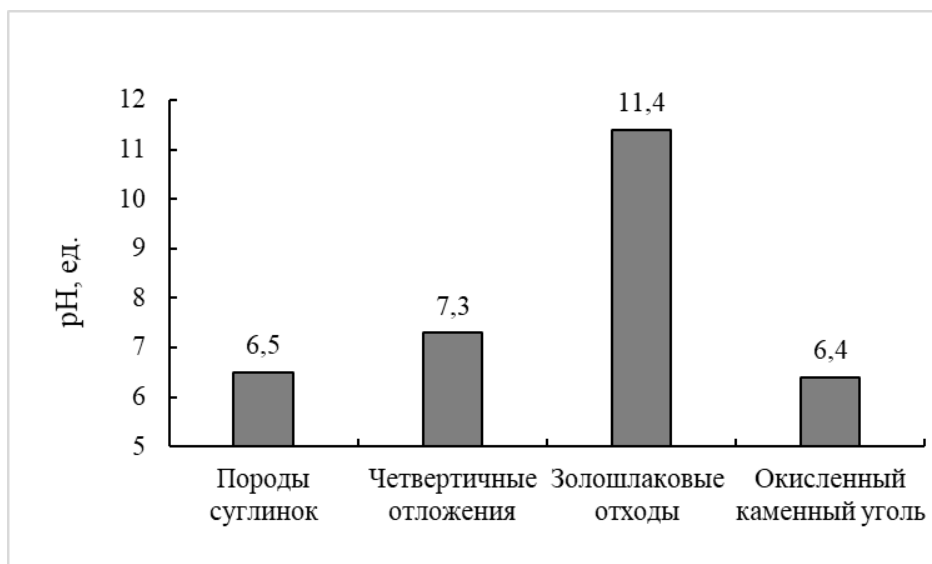


Рисунок 1 – pH водных вытяжек, полученных из проб пород суглинок, четвертичных отложений, окисленного каменного угля и ЗШО

Результаты определения выхода водорастворимых веществ (вымываемости) из проб пород суглинка, четвертичных отложений, окисленного каменного угля и ЗШО местной котельной разреза «Распадский» показаны на рисунке 2. Вымываемость пород суглинок, четвертичных отложений и окисленного каменного угля незначительное и составляет не более 0,1 %. Более высокой вымываемостью характеризуются ЗШО (1,4 %).

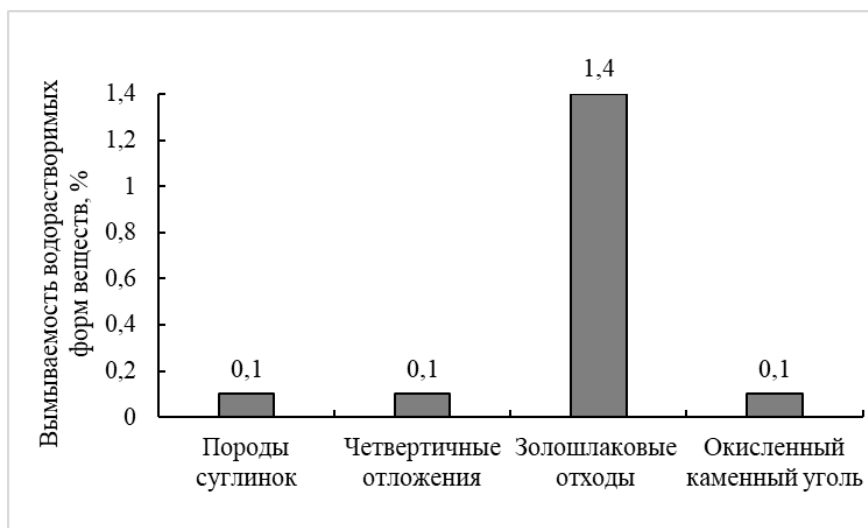


Рисунок 2 – Выход водорастворимых форм веществ из проб пород суглинок, четвертичных отложений, окисленного каменного угля и ЗШО

Бурые угли Канско-Ачинского бассейна характеризуются более высокой вымываемостью, чем окисленные угли разреза «Распадский», и находится в пределах 0,4 % - 0,6 %. В свою очередь, вымываемость ЗШО ТЭЦ и ГРЭС Красноярского края варьируется от 0,5 % до 2,6%. Наименьший выход водорастворимых форм веществ выявлен у образцов ЗШО ГРЭС № 2, а наибольший – у образцов ЗШО Назаровской ГРЭС.

В таблице 4 представлены результаты определения концентрации макро-микроэлементов и анионов в водных вытяжках, выделенных из проб технозема, окисленного каменного угля и ЗШО местной котельной разреза «Распадский». Макро-микроэлементный анализ водных вытяжек показал, что пробы технозема, окисленного каменного угля и ЗШО в целом характеризуются низким содержанием мобильных форм потенциально опасных элементов, таких как мышьяк, бериллий, кадмий, кобальт и хром. При этом содержание меди, железа и цинка в пробах технозема; меди и молибдена в окисленном каменном угле; меди, молибдена и ванадия в ЗШО незначительно превышают нормативы ПДК вредных веществ, установленных для вод рыбохозяйственного назначения.

Согласно СП 2.1.7.1386-03 при $ОВМП_v \leq 10$ содержание элемента в исследуемом объекте считается малоопасным. Как видно из таблицы 4, значения $ОВМП_v$ ранее отмеченных элементов таких как, медь, железо, молибден, ванадий, находятся ниже или на уровне 10, что указывает на то, что использование окисленных каменных углей и отходов их сжигания при рекультивации нарушенных земель в составе модифицированного технозема не представляет угрозы загрязнения водных объектов.

Анализ состава водных вытяжек из бурых углей Канско-Ачинского бассейна, в целом не выявил высокого содержания потенциально опасных элементов. Отмечено незначительное превышение ПДК цинка, молибдена и марганца в водных вытяжках из бурого угля Назаровского разреза, а также марганца в водных вытяжках из бурых углей Березовского разреза.

Водные вытяжки, полученные из ЗШО ТЭЦ и ГРЭС Красноярского края, также характеризуются низким содержанием потенциально опасных элементов таких как, мышьяк, кадмий, кобальт, хром, никель, титан, а также нитрат-, хлорид- и фторид анионов. Однако в некоторых образцах ЗШО выявлено повышенное содержание меди, ванадия, молибдена, железа, цинка и марганца. Поэтому при определении компонентного состава модифицированных техноземов и почвогрунтов учитывалось содержание водорастворимых форм потенциально опасных макро- и микроэлементов в составе ЗШО.

Таблица 4 – Концентрация макро- микроэлементов и анионов в водных вытяжках, полученных из проб технозема, окисленного каменного угля и ЗШО, мг/дм³

Элемент	Технозем		Окисленный каменный уголь		ЗШО		ПДК, мг/дм ³
	С, мг/дм ³	ОВМП _в	С, мг/дм ³	ОВМП _в	С, мг/дм ³	ОВМП _в	
As	0,001	0,02	0,050	1,0	0,001	0,02	0,050
Be	0,00003	0,09	н.п.о.	-	н.п.о.	-	0,0003
Ca	0,8	0,004	1,5	0,008	67	0,4	180
Cd	0,00005	0,01	н.п.о.	-	0,0001	0,02	0,005
Co	0,0002	0,02	0,0070	0,7	0,0002	0,02	0,01
Cr	0,0003	0,02	0,0004	0,02	0,0010	0,05	0,02
Cu	0,0045	4,5	0,0100	10,0	0,0020	2,0	0,001
Fe	0,285	2,9	0,03	0,3	0,04	0,4	0,1
K	0,8	0,02	0,8	0,02	0,003	0,00006	50
Mg	0,22	0,006	0,33	0,008	0,01	0,00025	40
Mn	0,0095	0,95	0,001	0,1	н.п.о.	-	0,01
Mo	0,001	1,0	0,007	7,0	0,002	2,0	0,001
Na	0,7	0,006	1,7	0,01	0,04	0,0003	120
Ni	0,0007	0,07	0,001	0,1	0,0002	0,02	0,01
P	0,006	-	0,02	-	0,002	-	-
Ti	0,004	0,07	0,004	0,07	0,001	0,02	0,06
V	0,0007	0,7	0,001	1,0	0,01	10,0	0,001
Zn	0,025	2,5	0,01	1,0	0,004	0,4	0,01
NO ₃	н.п.о.	-	н.п.о.	-	1,6	0,04	40
SO ₄	0,5	0,005	1,6	0,016	38	0,4	100
Cl ⁻	0,2	0,0007	0,3	0,001	0,8	0,003	300
F ⁻	0,2	0,3	н.п.о.	-	0,3	0,4	0,75

Примечание: С – измеренная концентрация элемента в водной вытяжке; ОВМП_в – ориентировочный водно-миграционный показатель в соответствии с Санитарными правилами СП 2.1.7.1386-03; ПДК – предельно допустимая концентрация элемента в водах рыбохозяйственного назначения; «—» – значение близко к нулю; «н.п.о.» – ниже предела определения

Таким образом, исследование состава и свойств отдельных компонентов техноземов и почвогрунтов показало, что вскрышные породы, окисленные каменные угли и ЗШО местной котельной разреза Распадский, в целом, характеризуются низким содержанием как валовых, так и водорастворимых форм потенциально опасных элементов. Однако анализ образцов ЗШО, отобранных из золоотвалов ТЭЦ и ГРЭС Красноярского края, выявил, что при определении компонентного состава модифицированных техноземов и почвогрунтов необходимо учитывать содержание водорастворимых форм потенциально опасных макро- и микроэлементов в отходах сжигания углей.

Второе научное положение

Почвогрунты на основе окисленного каменного или бурых углей и золошлаковых отходов, полученные с использованием ультразвуковой или механохимической активации, характеризуются высоким содержанием гуминовых веществ и мобильных форм агрохимически важных элементов, таких как калий, натрий, магний, кальций и фосфор, что определяет возможность их применения для получения модифицированных техноземов.

В таблице 5 представлены результаты определения выхода ГК из исходной и активированных проб окисленного каменного угля. В исходной пробе окисленного каменного угля содержание ГК составило 3,4 % на сухое состояние топлива. Использование различных способов активации позволило существенно повысить выход ГК. При механохимической активации в присутствии щелочи выход ГК увеличился в 3,1 раз; под воздействием ультразвука – в 5,1 раз, а в результате деминерализации – в 4,3 раза по сравнению с исходным углем.

Таблица 5 – Влияние методов активации на выход гуминовых кислот из окисленного каменного угля

Метод активации	$(\text{HA})_f^d$, %	$(\text{HA})_f^{\text{daf}}$, %
Без активации	3,4	5,1
Механохимическая	10,7	15,9
Ультразвуковая	17,5	26,0
Деминерализация	14,6	21,0

Примечание: $(\text{HA})_f^d$ - выход гуминовых кислот на сухое состояние; $(\text{HA})_f^{\text{daf}}$ - выход гуминовых кислот на сухое беззольное состояние

На рисунке 3 в виде гистограмм показаны результаты определения выхода ГК после ультразвуковой активации окисленного каменного угля разреза «Распадский» (ОУ1) и бурых углей Канско-Ачинского бассейна (У2-У8). Активация на ультразвуковом диспергаторе показала значимый эффект на всех углях. После ультразвуковой активации выход ГК из бурых углей Назаровского разреза увеличился в 2,4 раза; из углей пласта Бородинский-1 – в 3,2 раза; из углей пласта Бородинский-2 – в 2,5 раза; из углей разрезов Рыбинский-1 и Березовский-1 – в 2,0 раза; из углей разреза Рыбинский-2 – в 2,3 раза; из углей разреза Березовский-2 – в 2,1 раза относительно значений выхода ГК из неактивированных проб. Поэтому на этапе приготовления почвогрунтов был использован метод ультразвуковой активации.

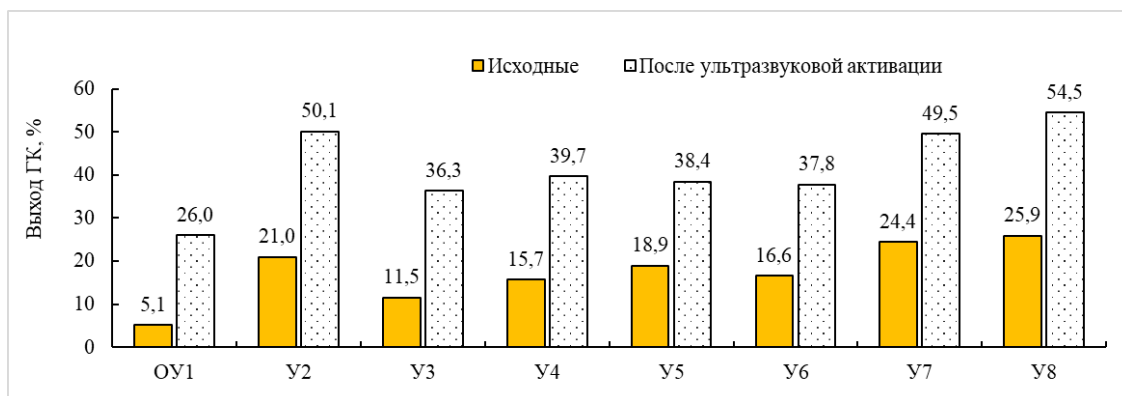


Рисунок 3 – Влияние ультразвуковой обработки на выход гуминовых кислот из окисленного каменного и бурых углей

На рисунке 4 показано, что выход ГК из углей после ультразвуковой активации существенно зависит от содержания ГК в исходных углях. В данном случае выявлено, что применение ультразвуковой активации, в целом, увеличивает выход ГК в 2,0 - 2,5 раза. Исключение составило только для окисленного каменного угля. Это может быть связано с тем, что ГК образовались в составе окисленного каменного угля в результате естественного окисления угля. Поэтому их структура и форма нахождения в окисленном каменном угле значительно отличается от ГК, находящихся в составе бурых углей.

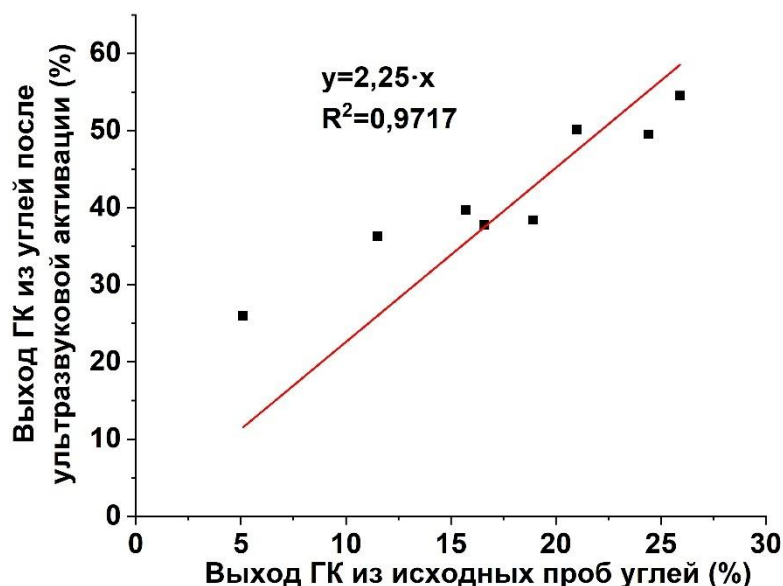


Рисунок 4 – Выход ГК из углей после ультразвуковой активации в зависимости от содержания ГК в исходных углях

В данной работе, как было отмечено ранее, ЗШО в почвогрунтах выполняют роль щелочного компонента для выделения гуминовых веществ из углей. Поэтому на предварительном этапе работы была проведена ориентировочная оценка влияния содержания ЗШО на pH водных вытяжек почвогрунта. Эти данные были использованы для

составления примерного состава опытных образцов почвогрунтов. В качестве расчетных значений использовали результаты, полученные для индивидуальных компонентов (ЗШО и уголь) с учетом их массовой доли в смеси. Расчетное значение рН водных вытяжек рассчитывали по следующей формуле:

$$D_{pH} = A^1 \times \frac{X}{100} + A^2 \times \frac{Y}{100} \quad (3)$$

где, A^1 – значение рН водной вытяжки окисленного каменного угля, %;

A^2 – значение рН водной вытяжки золошлакового отхода, %;

X, Y – содержание каждого компонента в смеси, %.

Расчетные значения рН водных вытяжек почвогрунтов в зависимости от содержания ЗШО представлены на рисунке 5. Из данного рисунка видно, что щелочная среда начинает образовываться при содержании ЗШО в почвогрунте выше 50 %. При содержании ЗШО менее 50% ожидается образование нейтральной или слабощелочной среды. Поэтому в настоящей работе было принято опробовать почвогрунты следующих составов: 50 % уголь и 50 % ЗШО, а также 10 % уголь и 90 % ЗШО.

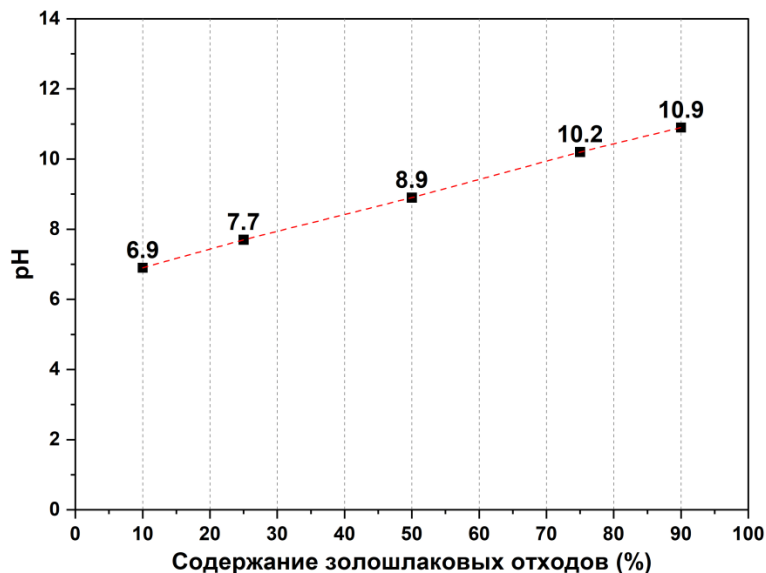


Рисунок 5 – Расчетные значения рН водных вытяжек почвогрунтов в зависимости от содержания ЗШО

На рисунке 6 представлена общая схема получения почвогрунтов на основе угля и ЗШО. С целью повышения выхода ГК из угля, почвогрунты подвергали ультразвуковому воздействию в течение 1 ч в жидкой среде. При этом соотношение твердой фазы к жидкому составляло 2:1. После активации смесь сушили при 80 °С до воздушно-сухого состояния.

Для дальнейших исследований были подготовлены восемь типов почвогрунтов: на основе окисленного каменного угля и ЗШО из угольной котельной разреза «Распадский» (№ 1), а также на основе бурых углей Канско-Ачинского бассейна — Назаровского разреза (№ 2), пластов Бородинский-1 (№ 3), Бородинский-2 (№ 4), Рыбинский-1 (№ 5), Рыбинский-2 (№ 6) и Березовского разреза (уступ 1 - № 7; уступ 2 - № 8). В качестве активирующего компонента в почвогрунтах из бурых углей Канско-Ачинского угольного бассейна использовали ЗШО, отобранные из золоотвалов ТЭЦ и ГРЭС Красноярского края, расположенных вблизи соответствующих угольных разрезов.

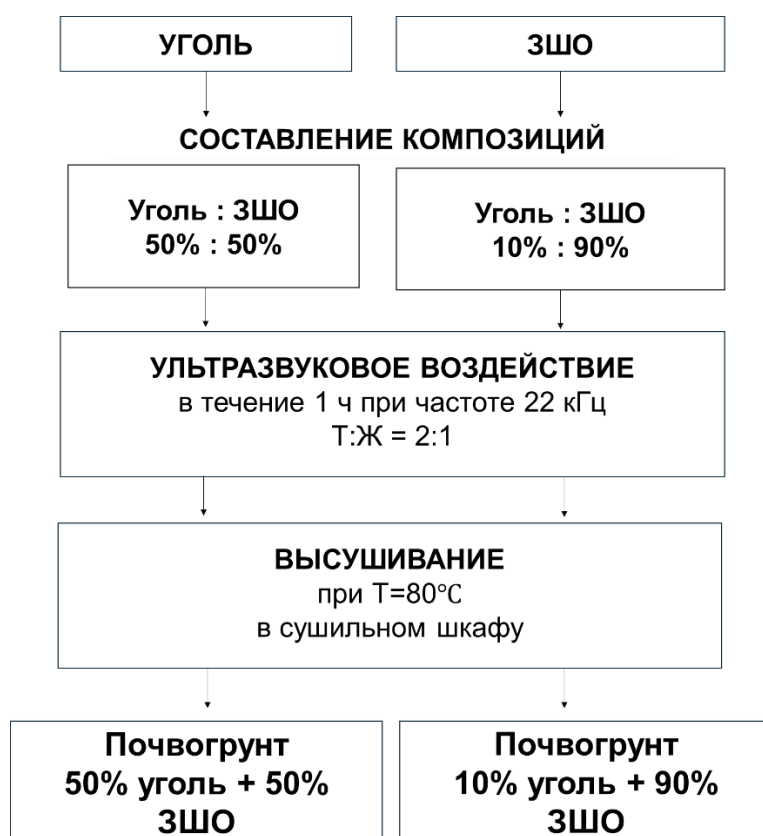
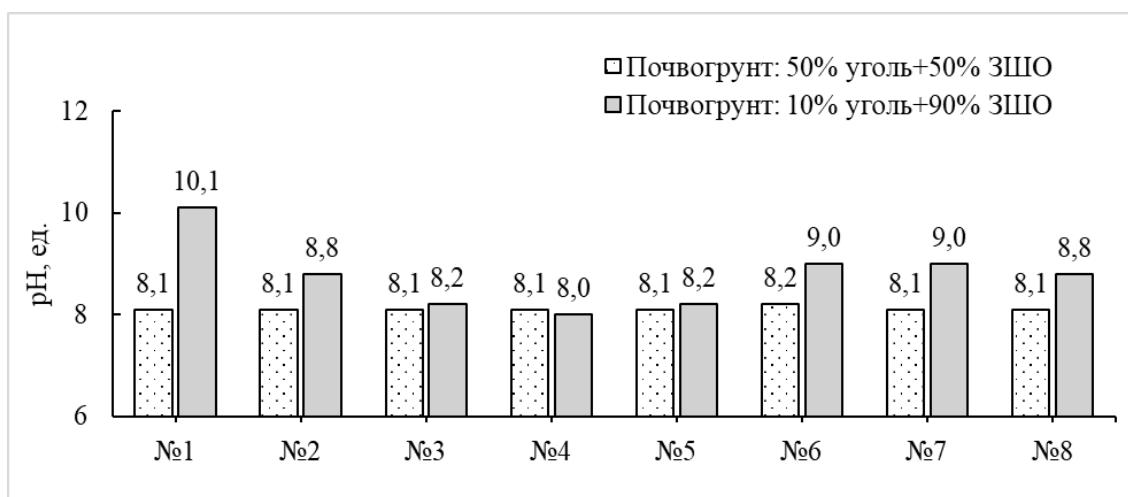


Рисунок 6 – Схема приготовления почвогрунтов в лабораторных условиях

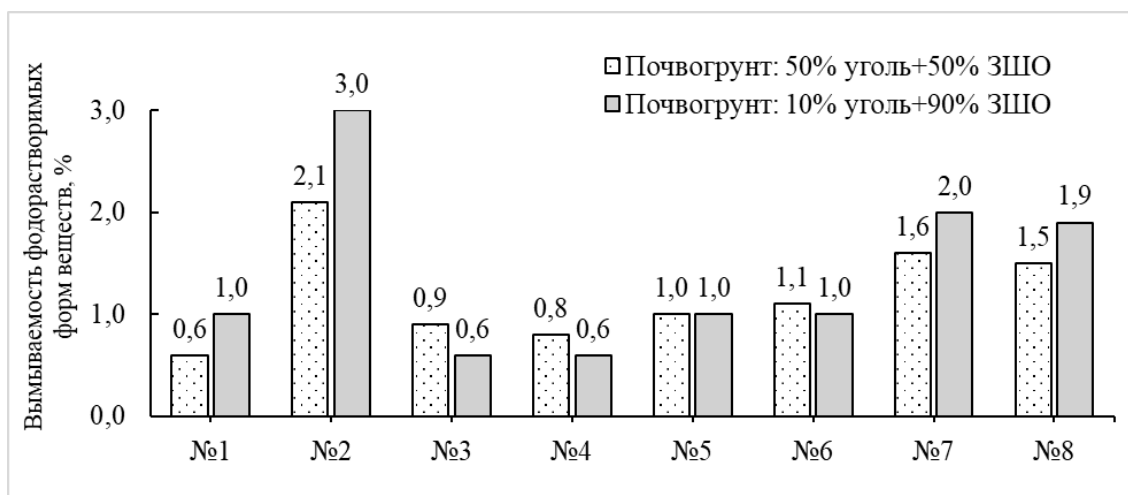
На рисунке 7 показаны результаты определения значения pH водных вытяжек и вымываемость почвогрунтов. Результаты анализа показали, что все водные вытяжки имеют слабощелочную среду. Водные вытяжки почвогрунтов, состоящих из одинаковых долей угля и ЗШО, характеризуются значением pH на уровне 8,1. При увеличении доли ЗШО в составе почвогрунта до 90% значение pH их водных вытяжек закономерно повышается. Так значение pH водных вытяжек почвогрунтов, приготовленных из окисленного каменного угля повысилось до 10,1; из бурых углей Назаровского разреза – до 8,8; из бурых углей пласта Рыбинский-2 – до 9,0; из бурых углей разрезов Березовский-1 – до 9,0 и Березовский-

2 – до 8,8. У остальных водных вытяжек увеличение доли ЗШО в составе почвогрунта существенно не повлияло на значение водородного показателя.

Повышение доли ЗШО от 50 % до 90 % в составе почвогрунтов № 1, № 2, № 7 и № 8 приводит к увеличению выхода водорастворимых веществ, т.е. вымываемости почвогрунтов. Примечательно, что это именно те почвогрунты, которые подготовлены на основе ЗШО с наибольшим содержанием водорастворимых веществ. В свою очередь, увеличение содержания доли ЗШО, характеризующихся наименьшим содержанием водорастворимых веществ, в почвогрунтах № 3 и № 4 наоборот приводит к уменьшению выхода водорастворимых веществ. А изменение содержания ЗШО в почвогрунтах № 5 и № 6 практически не повлияло на выход водорастворимых веществ. Полученные результаты показывают, что на выход водорастворимых веществ влияет не только методика получения почвогрунтов, но и заметное влияние оказывают особенности состава угля и ЗШО.



а)



б)

Рисунок 7 – Значения рН (а) и вымываемость водорастворимых форм веществ (б) почвогрунтов

В таблице 6 представлены результаты определения содержания макро- и микроэлементов в водных вытяжках из почвогрунтов, полученных на основе окисленного каменного угля. Анализ показал, что почвогрунты, полученные на основе окисленного каменного угля, характеризуются более высоким содержанием водорастворимых форм агрохимически важных элементов, таких как кальций, калий, магний, натрий и фосфор, чем водные вытяжки из техноземов. При этом показано, что снижение доли ЗШО от 90 % до 50 % в почвогрунте приводит к существенному снижению концентрации кальция, хрома, меди, железа, титана и цинка, и увеличению содержания фосфора, калия, натрия и магния в водных вытяжках.

Таблица 6 – Концентрация макро- микроэлементов и анионов в водных вытяжках из почвогрунтов, полученных на основе окисленного каменного угля, мг/дм³

Элементы	Почвогрунт		ПДК, мг/дм ³
	50% уголь+50% ЗШО	10% уголь+90% ЗШО	
As	0,07	0,08	0,05
Ca	102	236	180
Cd	н.п.о.	н.п.о.	0,005
Co	н.п.о.	н.п.о.	0,01
Cr	н.п.о.	0,013	0,020
Cu	0,018	0,025	0,010
Fe	0,052	0,065	0,100
K	3,0	2,0	50
Mg	5,0	2,0	40
Mn	0,006	н.п.о.	0,010
Mo	н.п.о.	н.п.о.	0,001
Na	2,0	1,0	120
Ni	н.п.о.	н.п.о.	0,01
P	1,7	0,12	-
Ti	н.п.о.	0,012	0,060
V	0,030	0,072	0,001
Zn	н.п.о.	0,068	0,010
NO ₃ ⁻	н.п.о.	3,0	40
SO ₄ ²⁻	27	39	100
Cl ⁻	0,5	0,5	0,8

Примечание: ПДК — предельно допустимая концентрация элемента в водах рыбохозяйственного назначения, «н.п.о.» - ниже предела определения

В целом, анализ водных вытяжек всех исследуемых почвогрунтов показал, что концентрация водорастворимых форм потенциально опасных элементов таких как мышьяк, бериллий, кадмий, хром, кобальт, молибден, никель и бор, а также хлорид-, фторид- и нитрат-анионов существенно ниже ПДК, установленных для вод рыбохозяйственного назначения. Потенциальными загрязнителями водных объектов в составе почвогрунтов могут быть медь, ванадий и цинк, на что указывает их высокое содержание в полученных

водных вытяжках. При этом выявлено, что уменьшение доли ЗШО в составе почвогрунта от 90 % до 50 % приводит к снижению содержания водорастворимых форм меди, ванадия и цинка, а также к увеличению содержания водорастворимых форм магния и марганца (таблица 6, рисунок 8).

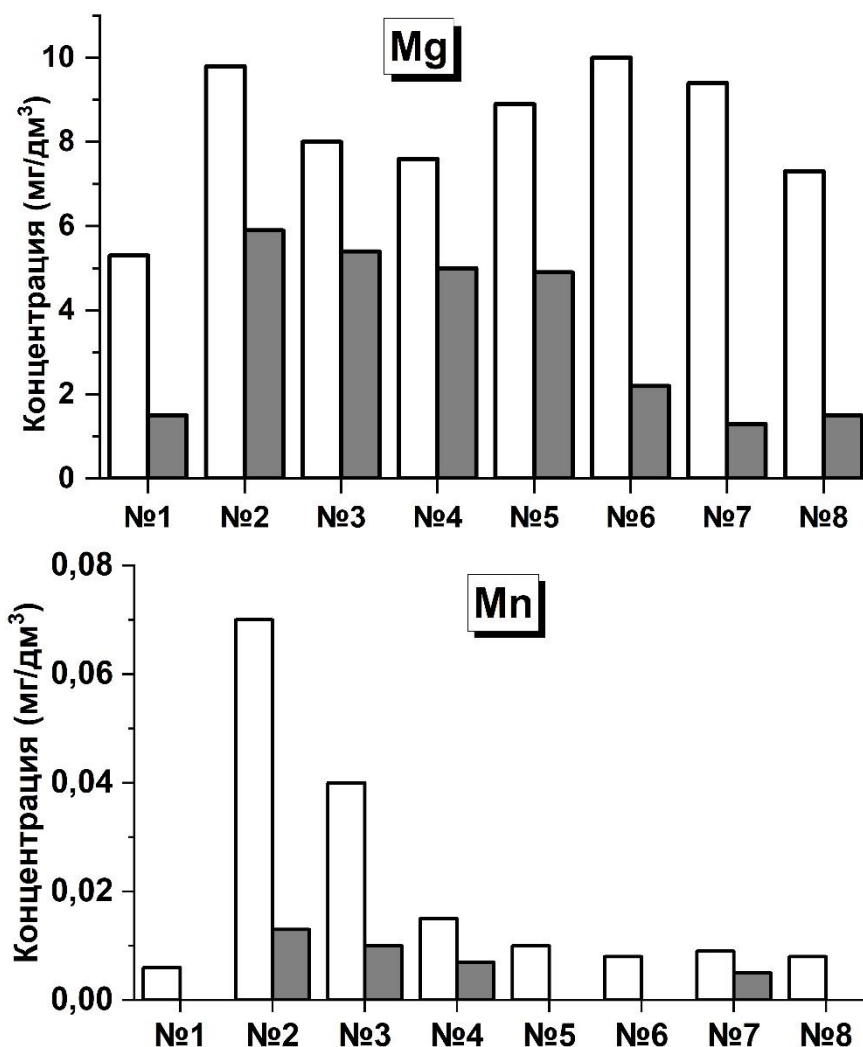


Рисунок 8 – Содержание водорастворимых форм магния и марганца в водных вытяжках исследуемых почвогрунтов

При этом стоит отметить, что почвогрунты в контексте данной работы выступают в качестве добавки к технозему. Поэтому более корректную оценку воздействия состава почвогрунтов на водные объекты следует проводить с учетом их содержания в техноземе. Для этого были определены расчетные концентрации водорастворимых форм макро- и микроэлементов в водных вытяжках модифицированного технозема в зависимости от содержания почвогрунта, а также рассчитаны величины ОВМП_В по ранее приведенной формуле (1). Полученные данные представлены на рисунках 9 и 10.

Из рассчитанных значений ОВМП_В видно, что увеличение доли ЗШО в

почвогрунтах приводит к увеличению величины ОБМП_В для всех представленных элементов. При этом выявлено, что с повышением доли почвогрунта в составе технозема, содержание цинка меняется незначительно, и в зависимости от состава почвогрунта варьируется от 1,9 до 7,2. В свою очередь, с повышением доли почвогрунта в техноземе содержание меди и ванадия возрастает более существенно, чем содержание цинка. В целом добавление почвогрунта, состоящего из одинаковой доли угля и ЗШО, в состав технозема до 30 % не представляет угрозы окружающей среде, на что указывают низкие значения ОБМП_В для цинка, меди и ванадия. Для почвогрунта № 2, состоящего из 10 % угля Назаровского разреза и 90 % ЗШО, безопасное содержание в техноземе составило менее 5 %. А остальные образцы почвогрунтов, состоящих из 10 % угля и 90 % ЗШО, допустимо вводить в состав технозема без риска загрязнения водных объектов в количестве не более 10 %, о чем свидетельствуют низкие значения ОБМП_В (менее 10 ед.) для меди и ванадия.

Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что для получения почвогрунтов на основе углей и ЗШО рекомендуется проводить ультразвуковую или механохимическую активацию для увеличения выхода гуминовых кислот. Также выявлено, что предлагаемые почвогрунты характеризуются более высоким содержанием мобильных форм агрохимически важных элементов таких как фосфор, натрий, калий и магний по сравнению с образцом технозема. Исходя из результатов макро-микроэлементного состава водных вытяжек и расчета величин ОБМП_В отмечено, что внесении почвогрунтов, состоящих из одинаковых долей угля и ЗШО, в состав технозема в количестве менее 30 % не приводит к рискам загрязнения водных объектов. Для почвогрунтов, состоящих из 10 % угля и 90 % ЗШО, безопасное содержание в техноземе составило 5 % (почвогрунт № 2) и 10 % (почвогрунты № 1, № 3 – № 8).

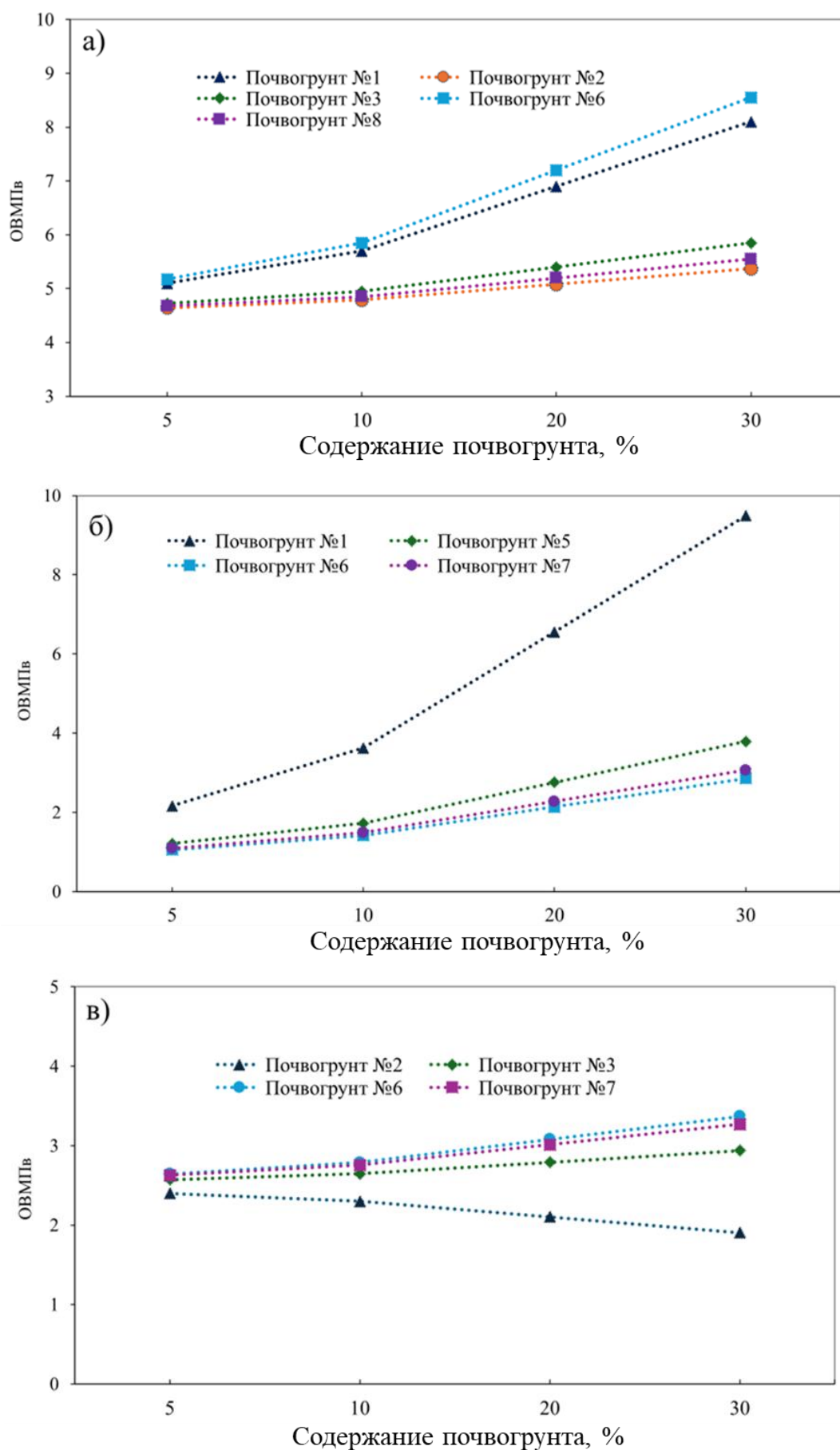


Рисунок 9 – Значение ОВМП_в меди (а), ванадия (б) и цинка (в) в зависимости от содержания почвогрунта в техноземе (почвогрунт, состоящий из 50 % угля + 50% ЗШО)

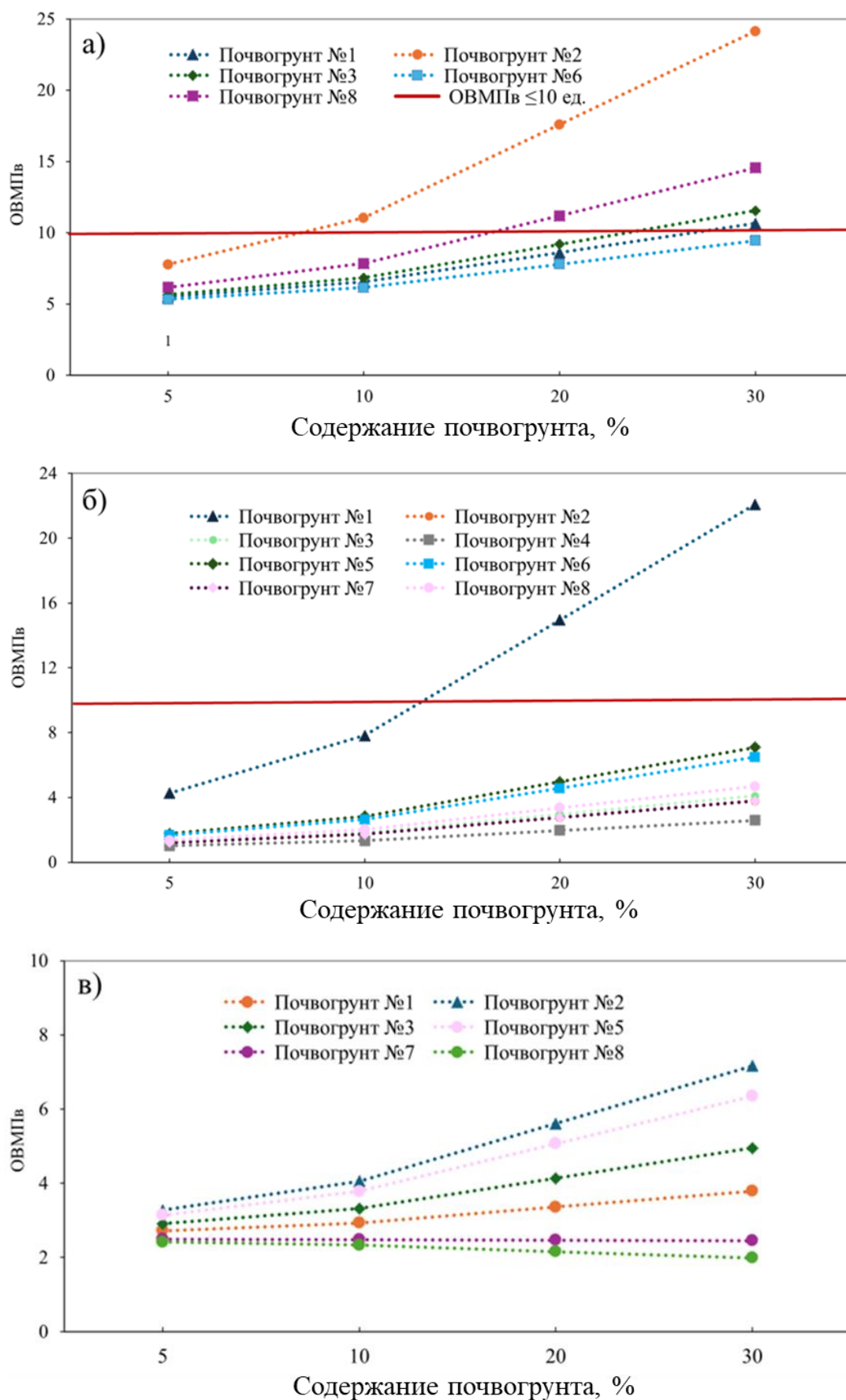


Рисунок 10 – Значение ОВМПв меди (а), ванадия (б) и цинка (в) в зависимости от содержания почвогрунта в техноземе (почвогрунт, состоящий из 10 % угля + 90% ЗШО)

Третье научное положение

Лабораторные и полевые испытания показали, что внесение почвогрунтов, полученных из окисленных каменных углей Распадского разреза и отходов их сжигания в равном массовом соотношении, в техноземы в количестве от 10 % до 30 % обеспечивает повышение энергии прорастания многолетних травяных культур и количества зеленой фитомассы, а также не создает рисков загрязнения водных объектов.

На начальном этапе работы были проведены опыты по проращиванию семян овса на индивидуальных почвогрунтах. Исследование показало, что использовать почвогрунты как отдельный плодородный слой не рекомендуется. Длины корешков и стеблей проростков овса, которые проращивались на почвогрунтах, получились значительно ниже, чем на контрольных образцах, которые проращивались на техноземе (рисунок 11). Скорее всего это связано с избыточным содержанием в них гуматов, а также высокой плотностью и низкой проницаемостью почвогрунтов. Полученные данные указывают на то, что для повышения биологической активности техноземов необходимо их смешивать с почвогрунтами в определенных пропорциях, не создавая отдельный верхний слой на основе почвогрунтов.

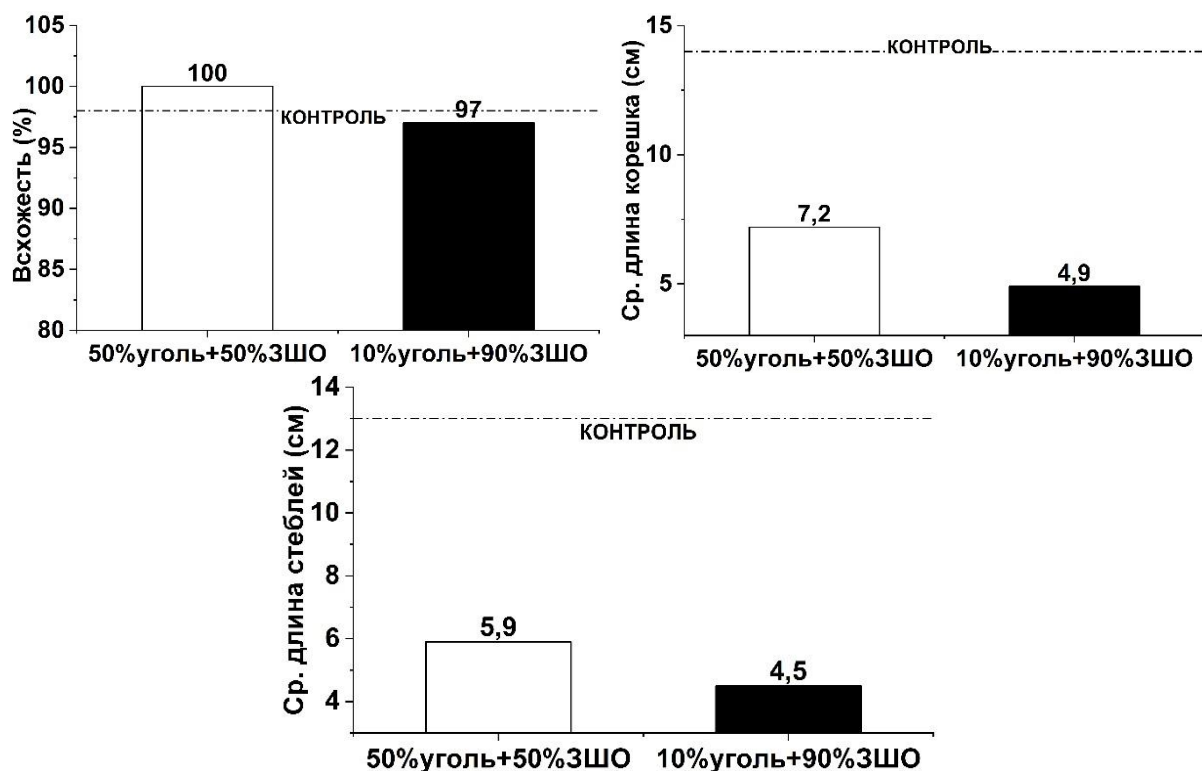


Рисунок 11 – Результаты проращивания семян овса на почвогрунтах, полученных из окисленного каменного угля

На рисунке 12 представлены результаты проращивания семян клевера на техноземах с разным содержанием почвогрунта, полученного на основе бурого угля Назаровского разреза. Как видно из рисунка, внесение почвогрунта в технозем позволяет существенно повысить всхожесть и длину стебля семян клевера. Наибольшее влияние на длину стеблей выявлено при внесении почвогрунта в количестве 5, 10 и 20 %, при котором отмечено увеличение на 13 %, 30 % и 17 %, соответственно, относительно результатов контрольного опыта. Расчет интегрального показателя индекса фитоактивности показал, что наибольшее положительное влияние на биологическую активность технозема оказывает внесение почвогрунта, состоящего из одинаковых частей угля и ЗШО, в количестве 10 %. Поэтому в дальнейших исследованиях применяли модифицированные техноземы с 10 % содержанием почвогрунтов.

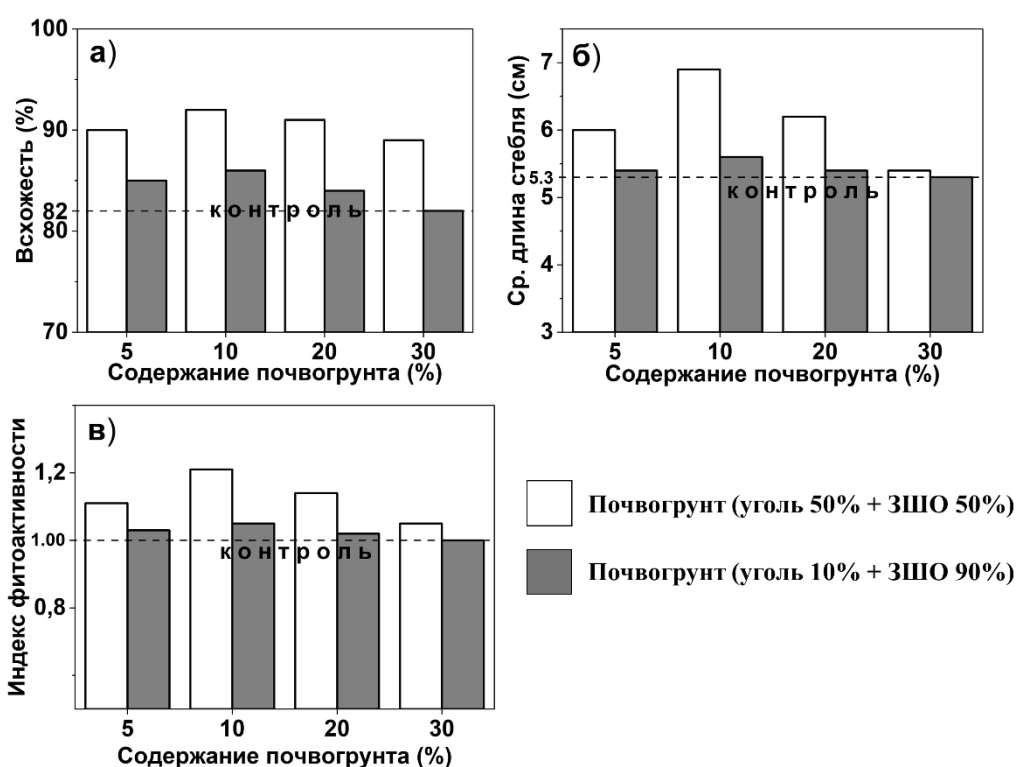


Рисунок 12 – Результаты проращивания семян клевера на техноземах с разным содержанием почвогрунта, полученного на основе бурого угля Назаровского разреза: всхожесть (а); длина стеблей (б); индекс фитоактивности (в)

На рисунке 13 представлены результаты определения биологической активности всех модифицированных техноземов. Выявлено что увеличение в почвогрунтах доли углей до 50 % (как окисленных каменных, так и бурых углей) приводит к повышению биологической активности техноземов.

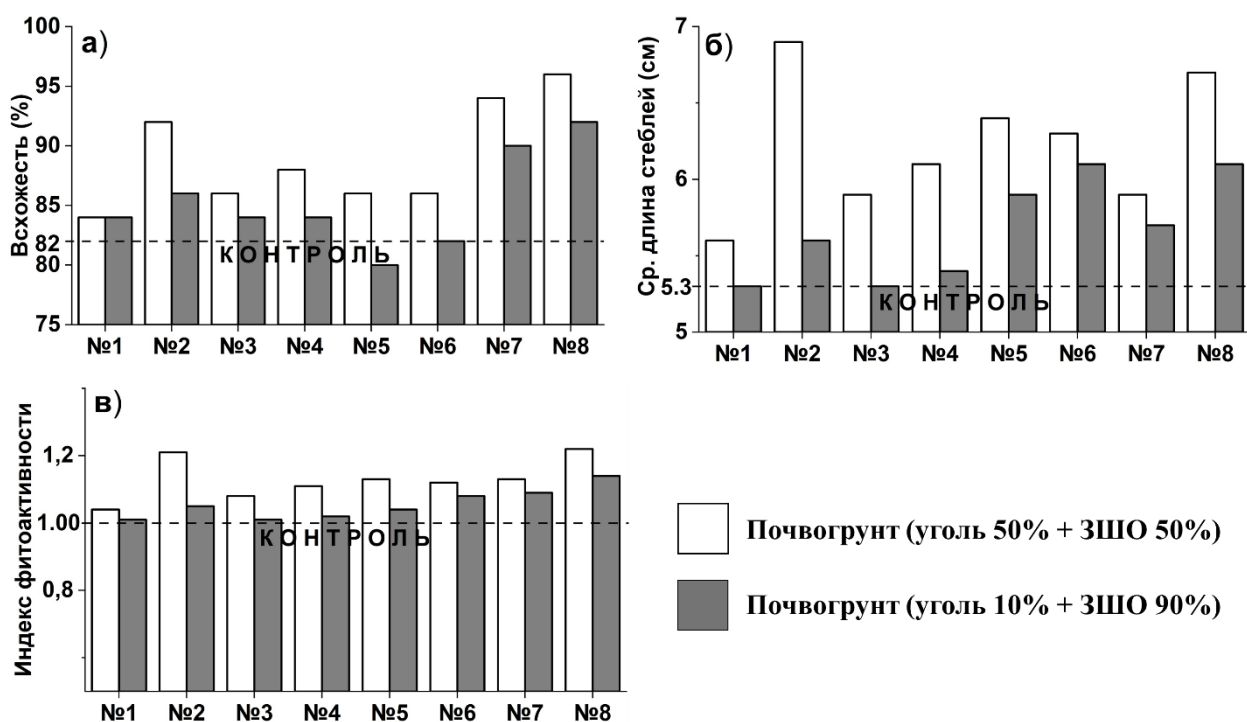


Рисунок 13 – Результаты проращивания семян клевера на модифицированных техноземах: всхожесть (а); длина стеблей (б); индекс фитоактивности (в)

Анализ полученных результатов выявил наличие зависимости между индексом фитоактивности и содержанием ГК в углях. Из рисунка 14 видно, что модифицированные техноземы, полученные на основе углей с высоким содержанием ГК, характеризуются более высоким значением индекса фитоактивности, чем техноземы, полученные из углей с низким содержанием ГК.

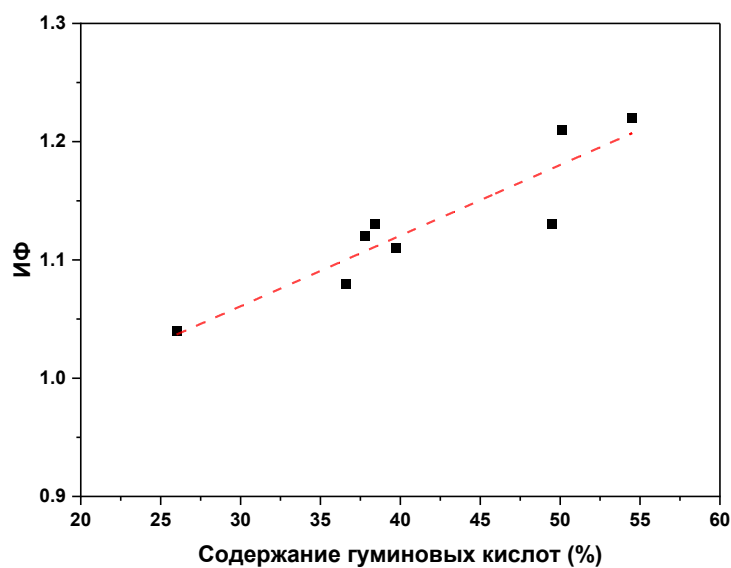


Рисунок 14 – Влияние выхода гуминовых кислот из углей на индекс фитоактивности модифицированных техноземов

Сопоставление результатов определения макро- и микроэлементного состава водных вытяжек, полученных из исследуемых почвогрунтов, с данными, полученными при испытаниях на биологическую активность, позволило предположить, что высокая биологическая активность почвогрунтов обеспечивается не только за счет содержания в них гуминовых кислот, но и вследствие повышенного содержания в них мобильных форм магния и марганца (рисунок 8).

Для промышленной апробации предлагаемых решений были проведены полевые испытания на экополигоне, находящегося на разрезе «Распадский» под Междуреченском. В качестве сырья для приготовления почвогрунтов использованы окисленные каменные угли разреза, а также ЗШО из местной котельной разреза Распадский. Как показали лабораторные испытания, наибольшей биологической активностью характеризуются модифицированные техноземы, полученные из почвогрунтов с равной долей угля и ЗШО. Поэтому при подготовке почвогрунтов для полевых испытаний соотношение окисленный каменный уголь : ЗШО составляло 1:1. При подготовке проводили механохимическую активацию смеси в присутствии воды в соотношении Т:Ж=2:1 с помощью турбинной мешалки (рисунок 15). Частота вращения мешалки составляло 650 об/мин.



Рисунок 15 – Процесс приготовления почвогрунта с помощью турбинной мешалки

При закладке экспериментальных площадок использовали микроделяночный способ по методике В.А. Доспехова. Площадь каждой делянки составляла 2 м² с мощностью 0,5 м. Контрольные делянки представляли собой исходный технозем, состоящий из смеси суглинков и четвертичных отложений. На втором типе делянок техноземы были обработаны 0,01 % раствором гумата калия, выделенного из окисленного каменного угля «Распадского» разреза. На третьем типе делянок техноземы смешивались с приготовленными

почвогрунтами. Содержание почвогрунта в техноземе составляло 10 %. Схема опытов представлена на рисунке 16.

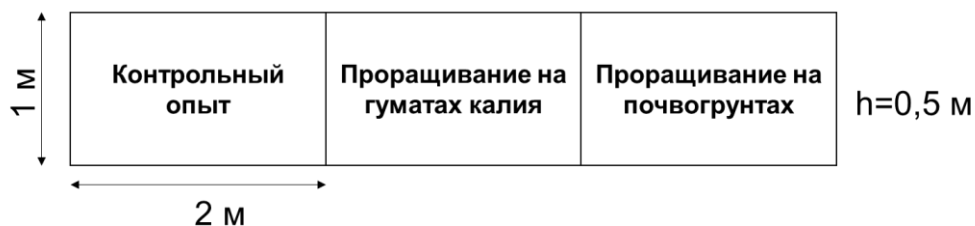


Рисунок 16 – Схема полевых испытаний

На всех опытных делянках были посеяны семена люцерны. Норма высева люцерны составляло 15 кг/га. Для оценки зеленой фитомассы применяли метод укосов. Методика заключалась в выделении живой массы растений путем их срезания на уровне почвы, и определении их массы. Значение зеленой фитомассы представляет усредненное значение массы растений. Для расчета данного показателя выборочно отбирают 5-10 растений из опытного участка. Оценка проращиваний семян проводилась в конце вегетационного периода (в июле 2024 года).

На рисунках 17 и 18 представлены результаты полевых испытаний на экополигоне «Распадский». Полученные результаты подтвердили высокую биологическую активность модифицированных техноземов, установленную при экспериментах в лабораторных условиях. Так, при проращивании люцерны на модифицированном техноземе их зеленая масса увеличилась в 3,0 и 1,7 раза по сравнению с контрольным вариантом и вариантом проращивания люцерны на техноземе, обработанном 0,01 % раствором гумата калия.

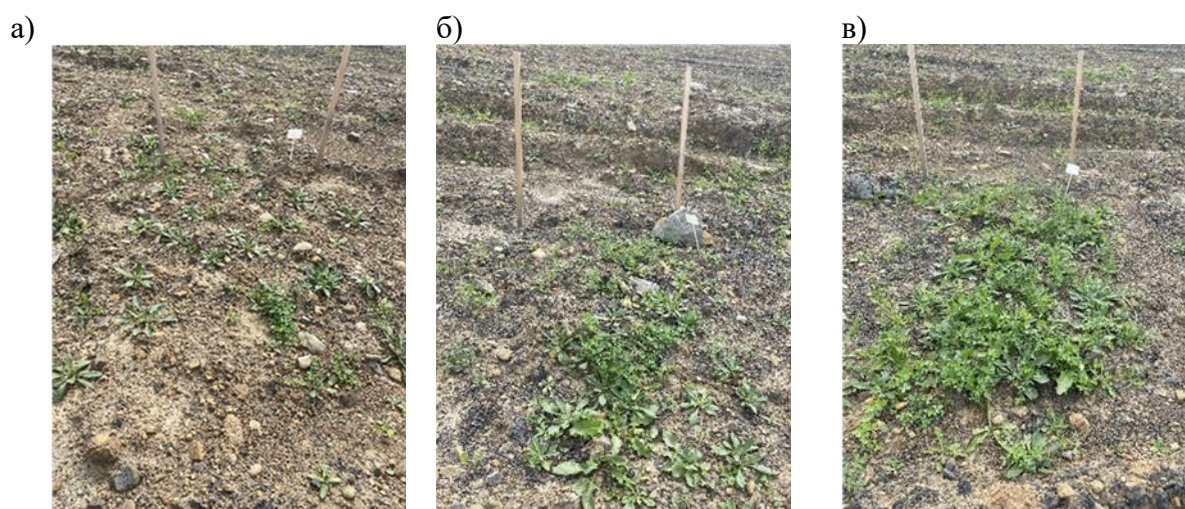


Рисунок 17 – Результаты проращивании люцерны в полевых условиях: а) контрольный опыт; б) гуматы калия (0,01 %); в) почвогрунты



Рисунок 18 – Прирост зеленой массы люцерны при ее проращивании на экспериментальных площадках относительно контрольного опыта, %

Таким образом, результаты как лабораторных, так и полевых испытаний указывают на то, что внесение почвогрунтов, состоящих из равных частей угля и ЗШО, в количестве 10% в состав технозема позволяет существенно повысить его биологическую активность, не оказывая негативного влияния на окружающую среду.

Полученные в рамках диссертационной работы результаты исследований почвогрунтов и модифицированных техноземов на основе ресурсов разреза АО «Разрез Распадский» переданы в СибГИУ для проведения биологической рекультивации нарушенных земель на экологическом полигоне, находящемся на АО «Разрез Распадский» под г. Междуреченском в Кемеровской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, представляющей собой научно-квалификационную работу, в которой на основе выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научная задача повышения эффективности биологической рекультивации нарушенных земель за счет вовлечения некондиционных или низкосортных углей и отходов их сжигания для получения модифицированных техноземов.

Основные научные результаты, выводы и рекомендации, полученные лично автором:

1. Установлено, что техноземы, состоящие из пород суглинок и четвертичных отложений, окисленные каменные угли и ЗШО местной котельной разреза «Распадский» характеризуются низким содержанием потенциально опасных макро- и микроэлементов.

2. При определении компонентного состава модифицированных техноземов и почвогрунтов необходимо учитывать содержание водорастворимых форм потенциально опасных макро- и микроэлементов в отходах сжигания углей.

3. Техноземы и окисленные каменные угли разреза «Распадский», а также бурые угли Канско-Ачинского бассейна характеризуются низкой вымываемостью и нейтральным уровнем рН их водных вытяжек. В свою очередь, золошлаковые отходы, образующиеся при сжигании окисленного каменного угля и бурых углей, отличаются более высокой вымываемостью и более высоким значением рН водной вытяжки. Выявлено, что для обеспечения щелочной среды, которая необходима для выделения гуминовых кислот, необходимо вводить золошлаковые отходы в состав почвогрунта в количестве не менее 50%.

4. Применение ультразвуковой и механохимической активации позволяет существенно повысить выход гуминовых кислот относительно их исходного содержания в углях. В связи с чем при подготовке почвогрунтов рекомендуется использовать ультразвуковую или механохимическую активацию. Наиболее высокий выход ГК выявлен в образцах бурых углей Назаровского и Березовского разрезов.

5. Установлено, что внесение почвогрунта в состав технозема позволяет существенно повысить его биологическую активность. При этом наибольший эффект получен при внесении почвогрунта, состоящего из одинаковых частей угля и ЗШО, в количестве 10%, которое позволяет повысить всхожесть семян более чем на 11%, а длину стеблей более чем на 23%. При этом наиболее высокое значение индекса фитоактивности получено при использовании почвогрунтов, полученных на основе бурых углей Назаровского и Березовского разрезов.

6. Установлено, что снижение доли ЗШО от 90% до 50% в почвогрунте приводит к существенному снижению в водных вытяжках содержания кальция, хрома, меди, железа, титана, цинка, сульфат и нитрат анионов, но в то же время повышает содержания агрохимически важных элементов таких как, фосфор, калий, натрий и магний в его водной вытяжке.

7. Сопоставление результатов испытаний на биологическую активность почвогрунтов с данными о содержании гуминовых кислот в углях выявило, что модифицированные техноземы, полученные на основе углей с высоким содержанием гуминовых кислот, характеризуются более высоким значением индекса фитоактивности, чем техноземы, полученные из углей с низким содержанием гуминовых кислот.

8. Результаты полевых испытаний подтверждают данные лабораторных исследований, и свидетельствуют о высокой биологической активности

модифицированных техноземов. Так, при проращивании люцерны на модифицированном техноземе установлено повышение их зеленой массы в 3,0 раза по сравнению с контрольным вариантом и в 1,7 раза относительно проращивания люцерны на техноземе, обработанным 0,01 % раствором гумата калия.

9. Определение оптимального состава модифицированных техноземов с участием почвогрунтов на основе окисленного каменного или бурых углей с отходами сжигания углей следует проводить с учетом химического состава их водных вытяжек и содержания гуминовых кислот в углях.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В изданиях, входящих в перечень ВАК, Scopus и RSCI:

1. Соловьев Т. М., Шайхислам Г. Б., Эпштейн С. А., Соколова М. Д. Исследование состава и свойств бурых углей Якутии как сырья для получения гуминовых препаратов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 1. – С. 67–79. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_1_0_67.

2. Шайхислам Г., Соловьев Т. М., Эпштейн С. А., Семина И. С. Оценка состава и свойств горных пород, окисленного каменного угля и золошлаковых отходов как материалов для биологической рекультивации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 7. – С. 21–37. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_7_0_21.

3. Шайхислам Г., Соловьев Т. М., Эпштейн С. А., Пестряк И. В., Семина И. С. Получение почвогрунтов на основе окисленного каменного угля для биологической рекультивации нарушенных земель // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 8. – С. 5–18. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_8_0_5.

4. Solovev T.M., Shaikhislam G., Epstein S.A., Kondratev N.N., Sivtsev S.I., Sokolova M.D. Structure Features of Humic Acids Isolated from Oxidized Kuzbass Coal and Yakutia Brown Coal // Solid Fuel Chemistry. – 2025. – Vol. 59, No. 1. – P. 1–9. DOI 10.3103/S0361521924700447.

5. Шайхислам Г., Соловьев Т. М., Измайлов Д. Р. Исследование бурых углей Канско-Ачинского бассейна как материалов для биологической рекультивации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2025. — № 3 (специальный выпуск 5). — С. 81–97. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_3_5_81.

В прочих изданиях:

6. Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А., Соколова М.Д. Биологическая активность гуматов калия, выделенных из бурых углей и окисленного каменного угля. В

сборнике: Новые материалы и технологии в условиях Арктики. Республика Саха (Якутия). 2023. С. 144-146.

7. Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А., Семина И.С. Биологическая активность почвогрунтов на основе окисленного каменного угля и золошлаковых отходов // В сборнике: Защита окружающей среды от экотоксикантов: международный опыт и российская практика. Уфа: УНПЦ «Издательство УГНТУ», 2024. – С.150-152.

8. Цзе Хао, Кочеткова Е.М., Шайхислам Г.Б. Оценка выхода и состава водорастворимых форм макро- и микроэлементов в углях // В сборнике: Геохимия и петрография угля, горючих сланцев и битуминозных пород. Сыктывкар: Коми научный центр УрО РАН, 2023. – С. 118-119.

9. Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А., Семина И.С. Биологическая активность гуматов калия окисленного каменного угля Кузбасса // В сборнике: Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. – Москва: ИПКОН РАН, 2024. – С. 220-222.

10. Шайхислам Г., Кондратьев Н.Н., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А. Получение почвогрунтов для биологической рекультивации // XII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Федеральная территория «Сириус». М.: ООО «Буки Веди», 2024. – Т. №2, – С. 245.

11. Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А. Почвогрунты для биологической рекультивации техногенно нарушенных земель // В сборнике: Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие. Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2024. – С. 150-152.

12. Шайхислам Г., Соловьев Т.М., Эпштейн С.А., Семина И.С. Применение почвогрунтов на основе окисленного каменного угля при биологической рекультивации // В сборнике: Почвоведение: Горизонты будущего. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2024. – С. 138-139.