

На правах рукописи

Мухина Александра Сергеевна



**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
РЕКУЛЬТИВАЦИИ ВНЕШНИХ ОТВАЛОВ
ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КУЗБАССА**

*Специальность 25.00.16 – Горнопромышленная
и нефтегазопромысловая геология, геофизика,
маркшейдерское дело и геометрия недр*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2022

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Кутепов Юрий Иванович

Официальные оппоненты:

Бахаева Светлана Петровна

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», кафедра маркшейдерского дела и геологии, профессор;

Ческидов Василий Владимирович

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Горный институт, заместитель директора.

Ведущая организация – открытое акционерное общество «Всероссийский научно-исследовательский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, защите инженерных сооружений от обводнения, специальным горным работам, геомеханике, геофизике, гидротехнике, геологии и маркшейдерскому делу», г. Белгород.

Защита диссертации состоится **28 сентября 2022 г. в 13:00** на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.08 Горного университета по адресу 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, ауд. 1163.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 28 июля 2022 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КУЗИН
Антон Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Кузнецкий угольный бассейн является крупнейшим в мире и России по запасам высококачественного каменного угля и по объему его извлечению из недр. По состоянию на 2021 г. добыча в регионе достигла 221 млн. т угля, а по прогнозу развития угольной промышленности РФ данный показатель к 2030 г может возрасти до 330 млн. т. Необходимо подчеркнуть, что 2/3 добытого твердого топлива приходится на открытые горные работы, характеризующиеся перемещением в отвалы и гидроотвалы больших объемов вскрышных пород. Длительная эксплуатация разрезов в регионе, начатая в 1948 году, в совокупности с планомерным ростом их производственной мощности привели к формированию значительных по геометрическим параметрам внешних отвальных сооружений, высоты которых превышают 100 м, площади достигли 1000 га, а емкости – 1,5 млрд. м³. Также в проектной документации рассматриваются предложения по их увеличению до 250 м и даже 500 м.

Важнейшей проблемой дальнейшей интенсификации открытого способа добычи как в регионе, так и в целом для угольной отрасли страны, в свете требований рационального землепользования является снижение экологического ущерба и затрат на отвалообразование. Частичное ее решение заключается в увеличении емкости существующих отвальных горнотехнических сооружений за счет формирования высоких и сверхвысоких объектов размещения вскрышных пород, использовании законсервированных гидроотвалов и их рекультивации как завершающей стадии отвальных работ.

Данные предложения при отсутствии должного научно-технического обоснования могут спровоцировать развитие негативных процессов, сопровождающихся большими экономическими и социальными издержками. Обеспечение промышленной и экологической безопасности формируемых при этом новых природно-технических систем предопределяет необходимость выполнения специальных геоэкологических и инженерно-геологических исследований. Поэтому диссертационная

работа, посвященная геоэкологическому обоснованию рекультивации внешних угольных отвалов Кузбасса, является актуальной и имеет важное народнохозяйственное значение.

Степень разработанности темы исследования

Вопросами инженерно-геологического и геомеханического изучения формирования намывных и насыпных отвальных техногенных массивов занимались многие ученые, как в нашей стране (С.П. Бахаева, Р.Э. Дашко, А.М. Гальперин, А.В. Жабко, В.Г. Зотеев, О.В. Зотеев, И.П. Иванов, Ю.В. Кириченко, А.В. Киянец, О.Ю. Крячко, Ю.И. Кутепов, Н.А. Кутепова, В.В. Мосейкин, Г.Л. Фисенко, В.В. Ческидов, А.Д. Васильева, П.С. Шпаков и др.), так и за рубежом (например, исследования E. Spenser, R. Philipps, S. Sarma, W. Beer, D., N. Tamashkovich и др.). Большое внимание изучению экологических условий формирования отвалов, а также способов их рекультивации, уделялось такими учеными как: В. А. Андроханов, И.С. Семина, В.П. Жариков, С.С. Трофимов, В.А. Овчинников, В.М. Курачев и др. Оценка пригодности растений для высадки на спланированную поверхность рекультивируемых отвалов проводились В.А. Андрохановым, И.М. Гаджиевым, Л.П. Баранник, И.С. Семиной, Ф.К. Рагим-заде, Л.В. Моториной, Т.Г. Ламановой, Л.Н. Кузнецовым и др.

Несмотря на достаточно хорошую изученность вопроса инженерно-геологических условий формирования техногенных массивов, опыт комплексной оценки их рекультивации, включающий также геоэкологическую оценку формирования новой устойчивой экосистемы, практически отсутствует.

Объект исследования – внешние отвалы угольной промышленности, а также углевмещающие вскрышные породы, преобразующиеся в техногенный элювий и почвы.

Предмет исследования – горнотехническая и биологическая рекультивация отвалов.

Цель работы – геоэкологическое обоснование рекультивации внешних отвалов при разработке угольных месторождений Кузбасса.

Идея работы: Выбор направления, параметров и технологии рекультивации внешних отвалов и гидроотвалов угольных

месторождений должен базироваться на основе выявленных закономерностей изменения инженерно-геологических и геоэкологических условий их формирования для обеспечения устойчивости дальнейшего функционирования новых природно-технических систем.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения следующих **задач**:

1. Выполнить анализ геоэкологических условий формирования внешних отвалов на открытых горных работах при разработке угольных месторождений;

2. Разработать типизацию отвальных ПТС внешних отвалов угледобычи в Кузбассе для обоснования способов их рекультивации;

3. Разработать систему обеспечения рекультивации отвалов с учетом геоэкологических и инженерно-геологических условий внешнего отвалообразования;

4. Произвести оценку инженерно-геологических и агрофизических свойств, а также плодородия пород отвалов и разработать рекомендации по выполнению этапов горнотехнической и биологической рекультивации объектов размещения вскрышных пород.

5. Разработать рекомендации по инженерно-геологическому и геоэкологическому обеспечению рекультивации гидроотвалов способом нанесения на их поверхности «сухих» отвальных насыпей.

Научная новизна работы:

1. Разработана типизация отвальных природно-технических систем (ОПТС), базирующаяся на геоэкологических и инженерно-геологических условиях объектов и выполнено обоснование сценариев развития негативных последствий для выделенных типов при выполнении рекультивации.

2. Установлена зависимость условий формирования техногенного элювия на поверхности отвалов, преобразующегося в дальнейшем в почвенный субстрат и обеспечивающий эффективность биологической рекультивации, от времени отсыпки пород в отвалы, содержания в них угля и степени его метаморфизма.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Установлены основные факторы геоэкологических и инженерно-геологических условий внешних отвалов Кузбасса, обеспечивающие эффективную и безопасную их рекультивацию.

2. Разработана методология геоэкологического обеспечения рекультивации ОПТС, формируемых при разработке угольных месторождений.

3. Выполнено определение показателей агрофизических свойств техногенного элювия и дана оценка его пригодности в качестве плодородного субстрата для рекультивации внешних отвалов Кузбасса.

4. Разработаны рекомендации по рекультивации отвалов и гидроотвалов, обеспечивающих создание безопасных, устойчивых ОПТС, а также улучшение экологической ситуации в районах их размещения.

Результаты исследования использованы для обоснования рекультивации гидроотвалов отсыпкой на их поверхностях сухих пород на угольных разрезах «Галдинский», «Краснобродский» и «Бачатский» (акт внедрения от 14.04.2022г. от АО «УК «Кузбассразрезуголь»).

Методология и методы исследования. Проведение исследований осуществлялось в соответствии с комплексным подходом, включающем анализ и обобщение результатов ранее выполненных исследований; системно-структурный анализ воздействия внешних отвалов угольной промышленности на компоненты окружающей среды; лабораторные и натурные методы инженерно-геологических и геоэкологических исследований.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Обоснование направления и способов рекультивации отвалов и гидроотвалов необходимо производить с учетом разработанной методологии, базирующейся на типизации геоэкологических условий и включающей комплекс необходимых работ и исследований в рамках единой системы обеспечения рекультивационных работ (СОПР).

2. В процессе выветривания отвальных пород образуется слой техногенного элювия, преобразующийся со временем в плодородный

почвенный субстрат за счет окисления содержащихся в нем частиц угля, что позволяет исключить нанесение на поверхность почвенно-растительного материала при биологической рекультивации отвалов вскрышных пород угольных месторождений.

3. Рекультивацию гидроотвалов из-за низкой несущей способности намывных отложений следует осуществлять нанесением насыпи из вскрышных углесодержащих пород в режиме управляемого деформирования откосов, высота которой зависит от наличия вскрышного материала, устойчивости откосов ОПТС, морфологии и динамики геодинамических процессов и применяемой технологии отвалообразования.

Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций обусловлены проведением значительного объема полевых и лабораторных исследований с применением высокотехнологичного оборудования и современных технологий обработки информации; подтверждаются сходимостью результатов определения агрохимических свойств вскрышных пород, отобранных на отвальных сооружениях Кузбасса, с теоретическими данными и исследованиями.

Апробация результатов. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих семинарах, симпозиумах и конференциях: XVII Всероссийской конференции- конкурсе студентов и аспирантов (СПГУ, Санкт-Петербург, 2019г.); XII и XIV Международных научно-практических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире» («ПГНИУ», Пермь, 2019, 2021гг.); XXVI, XXVII и XXVIII Международных научных конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (МГУ, Москва, 2019, 2020, 2021гг.); Международной конференции «14. Freiberg – St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler» (Freiberg, 2019 г.); IX Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Наука о Земле» (МГРИ, Москва, 2020г.); 3-й Международной научно-практической конференции «Efficient waste treatment EWT-2021»; XXVIII, XXIX и XXX Международных научных симпозиумах «Неделя Горняка» (НИТУ «МИСиС», Москва, 2020, 2021, 2022 гг.), а также заседаниях научного совета Научного центра

геомеханики и проблем горного производства Санкт-Петербургского горного университета.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы; выполнении натурных, полевых и лабораторных исследований, отобранных проб и обработке полученных результатов, установлении новых закономерностей изменения плодородных свойств пород от содержания угля, степени его метаморфизма и возраста отвальных сооружений.

Публикации по работе. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 8 печатных работах, в том числе в 1 статье - в издании из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено свидетельство о регистрации базы данных.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 124 наименования, и четырех приложений. Диссертация изложена на 174 страницах машинописного текста, содержит 79 рисунков и 17 таблиц.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю, д.т.н., профессору Ю.И. Кутепову, а также искреннюю признательность д.т.н. Н.А. Кутеповой, коллективу Научного центра геомеханики и проблем горного производства, специалистам АО «УК «Кузбассразрезуголь» за помощь в проведении исследований и ценные советы, а также руководителю Научного центра Экосистема М.А. Пашкевич и коллективу ЦКП Санкт-Петербургского горного университета за предоставленные возможность, оборудование и помощь в проведении исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель, задачи работы и научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимости исследования и изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «**Анализ изученности проблемы рекультивации техногенных массивов**» представлен обзор и анализ литературных и фондовых источники различного уровня, нормативно-методической базы по вопросам безопасности отвальных сооружений, этапов рекультивации отвалов, оценке влияния горнотехнических сооружений на окружающую природную среду. Проведен анализ изученности вопроса восстановления нарушенных отвалами территорий при открытой разработке месторождений, на основании чего сделаны выводы и сформулированы цели и задачи исследования.

Вторая глава «**Геоэкологические условия формирования внешних отвалов при разработке угольных месторождений Кузбасса открытым способом**» посвящена обоснованию типизации условий формирования отвалов угольных месторождений Кузбасса и разработке системы обеспечения рекультивационных работ. Представлены горно-геологические, инженерно-геологические и геоэкологические условия отвалообразования, геологическое строение, гидрогеологические условия, охарактеризованы почвы и выделены ландшафты характерные для Кузнецкого угольного бассейна. Проанализированы технологии отвалообразования и техногенез пород в отвальных массивах. Рассмотрены основные факторы, определяющие современное состояние поверхности техногенных массивов.

В третьей главе «**Научно-методическое обеспечение рекультивации высоких отвалов на разрезах Кузбасса**» представлена характеристика объектов исследования. Проанализирована параметры отвалов, обеспечивающие устойчивость ГТС. Выявлены закономерности изменения физико-механических и агрохимических свойств вскрышных пород. Доказана пригодность техногенного элювия в качестве плодородного субстрата для биологической рекультивации, на основании чего разработаны рекомендации по рекультивации внешних отвалов.

В четвертой главе «**Инженерно-геологическое и геоэкологическое обоснование рекультивации гидроотвалов вскрышных пород**» на основании проведенных исследований применения гидромеханизации, изучения особенностей инженерно-геологических и гидрогеологических условий гидроотвалов при-

ведено обоснование максимальных параметров ОПТС и минимальной мощности рекультивационной насыпи.

В **заключении** диссертации приводятся выводы и рекомендации.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Обоснование направления и способов рекультивации отвалов и гидроотвалов следует производить с использованием разработанной методологии, базирующейся на типизации геэкологических условий и включающей комплекс необходимых работ и исследований в рамках единой системы обеспечения (СОПР).

Отвалы вскрышных пород при открытой разработки угля в Кузбассе начали отсыпаться с 1948 г. прошлого столетия с использованием бестранспортной и транспортной (автомобильной, железнодорожной и гидравлической) технологий. Доминирующая роль при этом принадлежала автомобильно-бульдозерным комплексам.

Отвальные работы в регионе привели к формированию на земной поверхности двух типов горнотехнических сооружений – внешних сухих отвалов и гидроотвалов, характеризующихся различными геометрическими параметрами. В частности, первые занимают площади от первых десятков до тысячи гектар, имеют высоты от 15 до 160 м при результирующих углах откосов 12 - 35°. Проектами реконструкции крупнейших разрезов («Бачатский» и «Талдинский») обосновано формирование отвалов площадью 1000-1500 га, высотой 300 м и емкостью более 2,5 млрд м³. Гидроотвалы по площади изменяются от 4 до 800 га, высоте – от 4 до 76 м, емкости – от 1 до 300 млн м³.

Важнейшей проблемой при обеспечении промышленной и экологической безопасности отвальных работ при открытой разработке является оценка устойчивости объектов размещения, естественно, не только в геомеханическом отношении, но и в экологическом плане. Их функционирование в природной среде следует рассматривать в рамках отвальных природно-технической систем (ОПТС), находящихся достаточно длительное время в неуравновешенном состоянии, изменяющемся во времени. В соответствии с

требованиями рационального землепользования необходимо выполнение специальных исследований и разработки мероприятий, направленных на возврат занятых территорий посредством производства рекультивационных работ.

Предлагаемая типизация (таблица 1) включает в себя основные факторы, определяющие геоэкологическое состояние ОПТС для условий Кузбасса. В первую очередь данное состояние определяется исходным литологическим составом пород вскрышной толщи. Известно, что в отвалы региона перемещаются углевмещающие отложения балахонской (C₂₋₃-P₁bl) и кольчугинской (P₂kl) серий, а также покровные неоген-четвертичные (N-Q) образования. При этом первые по литологическому составу представлены в большинстве своем песчаниками и алевролитами с небольшим количеством угля и аргиллита, а вторые – дисперсными глинистыми, в основном пылеватыми суглинками и глинами, отложениями различного генезиса (эолового, делювиально-пролювиального, аллювиального и элювиального).

Балахонские песчаники и алевролиты характеризуются более высокой степенью метаморфизма, повышенной прочностью и стойкостью к процессам выветривания, имея в большинстве случаев карбонатный и карбонатно-сидеритовый цемент пленочного типа. Кольчугинские отложения как более молодые образования при наличии глинистого цемента обладают меньшей прочностью и сопротивлением к выветриванию.

Ретроспективный анализ изменения топографии территорий размещения отвальных сооружений в регионе свидетельствует о кардинальной эволюции рельефа на достаточно больших территориях. Приведенные выше параметры объектов подтверждают данный вывод для двух существующих типов – отвалов и гидроотвалов, первые из которых могут формироваться из всех типов пород вскрышной толщи, а вторые – только из глинистых отложений. Важнейшим параметром данных объектов является их высота, так как с ее увеличением происходит не только изменение общего рельефа местности от равнинного к холмистому и даже горному, но и создается жесткий ветровой режим, увеличиваются градиенты поверхностных стоков, что негативно влияет на формирование и со-

хранение почво-растительного слоя. По высоте отвалы рекомендуются разделять на низкие (до 50 м), средней высоты (50-100 м) и высокие (более 100 м).

В районах открытой добычи углей фиксируются значительные сокращения природного пространства и ландшафта за счет развития различных геодинамических и экологических процессов. К последним относятся загрязнение вредными компонентами атмосферы, почв, подземных и поверхностных вод. Современная ландшафтная структура территории исследования по площадным соотношениям ландшафтных единиц объединяет в своем составе ареалы разной степени нарушенности: 1. Слабоизмененные; 2. Сильноизмененные; 3. Восстановленные. Характер нарушений ландшафтной структуры свидетельствует о промышленном типе деструктивного воздействия. По особенностям миграции элементов промышленные ландшафты резко отличаются от всех биогенных ландшафтов их можно также классифицировать в зависимости от нагрузки: i. Выход ЗВ приводит к значительной продолжительной нагрузке; ii. Выход ЗВ приводит к умеренной, среднесрочной нагрузке; iii. Выход ЗВ приводит к небольшой кратковременной нагрузке.

В качестве примера приведены отвальные ПТС Краснобродского и Талдинского угольных разрезов, а именно: - Краснобродский УР: отвал «Ускацкий» (II/III-A/Б-в-1-iii); отвал «Северный» (I-A-б-3-iii); -Талдинский УР: отвал «Южный» (II/III-A/Б-в-1-ii); отвал «Восточный» (II-B-в-1-ii).

Основной целью предлагаемой типизации (таблица 1) является идентификация геоэкологических условий формирования отвальных сооружений различного типа для обоснования выбора направления и способа восстановления нарушенных территорий, а также является начальным этапом методики в рамках единой системы обеспечения (СОПР) (рисунок 1), на основании которой разрабатываются рекомендации по технологии ведения высотного складирования вскрышных пород и возможности совмещения рекультивации и отсыпки отвалов.

2. В процессе выветривания отвальных пород образуется слой техногенного элювия, преобразующийся со временем в плодородный почвенный субстрат за счет окисления

содержащихся в них частиц угля, что позволяет исключить нанесение на поверхность плодородного почвенно-растительного материала при биологической рекультивации отвалов вскрышных пород угольных месторождений.

В современных реалиях развития горнодобывающих отраслей народного хозяйства, когда интенсификация угледобычи открытым способом ежегодно растет, а площади плодородных земель значительно сокращаются, существует острая необходимость восстановления нарушенных территорий. Достижение утраченных ими сельскохозяйственных и лесных кондиций происходит при выполнении рекультивации, целью которой является стимулирование процессов самовосстановления экосистем промышленных нарушенных территорий путем создания условий для развития естественных процессов формирования почв. Исследования в этом направлении является весьма важным для условий открытой разработки угля в Кузбассе, характеризующихся наличием значительных по площади внешних отвалов и дефицитом почвенно-растительного материала. Кроме того, в породах вскрышной толщи в значительном количестве присутствует органическое вещество - уголь. Данные обстоятельства предопределили необходимость изучения процессов преобразования отвальных пород под воздействием выветривания в плодородный почвенный субстрат.

Объектами исследования являлись техногенные массивы отвалов и гидроотвалов разрезов АО «УК» Кузбассразрезуголь», разрабатывающих угли балахонской и кольчугинской серий, различающиеся между собой по степени метаморфизма. Так, первые из них характеризуются степенью, соответствующей углям марок К, СС и Т, а вторые - Д и Г. Выбранные для изучения объекты различались по времени завершения формирования – от свежееотсыпанных до 50-летнего стояния. На каждом из них проведено полевое обследование способом проходок прикопок по экспериментальным разрезам (рисунок 2) с отбором образцов почвообразующего субстрата (по генетическим горизонтам) и пород для исследования на агрохимические, физико-химические, физические показатели.

На основании анализа выполненных исследований сделан вывод, что вскрышные породы под воздействием атмосферных

агентов постепенно преобразуются в верхней части разреза крупно-обломочного материала в щебнисто-глинисто-супесчаный техногенный элювий. Мощность данного слоя увеличивается от 0 до 36 см при времени стояния отвалов от нескольких месяцев до 50 лет (рисунок 3). Более того, свежееотсыпанные отвалы характеризуются массивными структурами, в то время как на «старых» объектах выделяются почвоподобные горизонты, структурные единицы и унаследованные от материнских свойства вскрышных пород с увеличением возраста отвальных сооружений при этом нивелируются. Изучение растительности на поверхности показало, что с ее появлением начинает формироваться гумус, который по мере накопления смешивается с техногенным элювием, превращаясь органично-аккумулятивный горизонт.

Исследования плотности сложения техногенного элювия показывает наличие зависимости от вещественного состава вскрышных пород и, в большей степени, от содержания органических компонентов. Естественно, чем больше в слое техногенного элювия органических веществ, тем ниже их плотность, и, чем больше минералов окислов железа, тем выше плотность твердой фазы.

Установлено, что окисление угля является основным фактором, определяющим агрохимические свойства и плодородие техногенного элювия, что в дальнейшем будет свидетельствовать о его пригодности для биологической рекультивации. В ходе анализа отобранных образцов из отвалов выявлена характерная зависимость процентного содержания углерода в органической массе углей от их возраста. Наиболее интенсивно увеличение концентрации углерода от 0,9 до 8,2% происходят в отвалах, сложенных обломочным материалом углевещающих пород кольчугинской серии с глинистым цементом, которые приурочены к угольным месторождениям, добывающих угли длиннопламенной и газовой марок (Талдинскому и Моховскому) (рисунок 4 а). Изменение содержания углерода во вскрышных породах, образующихся при добыче улей балахонской серии (К и СС) происходит менее интенсивно, однако % С достигает почти 18% (Бачатское и Краснобродское месторождения) (рисунок 4 б).

Содержание органического вещества в анализируемых на агрохимические показатели образцах варьирует от 1,43% до 6,74% (рисунки 5 а и 5 б), такое повышенное его содержание связано с обогащением грунтовой толщи углистыми частицами и угольной пылью. Кроме того, при изучении динамики содержания органических веществ в техногенном элювии в отвалах различного времени стояния обнаружена линейная корреляция. Накопление органического вещества в менее литифицированных и менее прочных породах кольчугинской серии происходит быстрее, чем в породах балахонской серии.

Определение характеризующих плодородие показателей выполнялось методами рентгенофлуоресцентной спектрометрии (элементный состав), термогравиметрии (органика и Нобш) и спектрофотометрии (подвижного фосфора, калия и тяжелых металлов).

Результаты лабораторного исследования отобранных образцов на агрохимические показатели представлены на рисунке 6. Распределение концентраций анализируемых веществ в пробах отображает рост содержания питательных веществ с увеличением возраста отвальных сооружений и мощности техногенного элювия. Обеспеченность подвижным фосфором и калием изменяется от очень низкой до очень высокой (3,53-255 и 57-474 мг/кг соответственно). Содержание общего азота в пределах 0,01-1,09%. Стоит отметить, на отвалах Талдинского угольного разреза отмечается противоположная ситуация, где содержание обменного калия в отобранных пробах снижается по истечению нескольких лет. Данный факт объясняется низкой степенью выветрелости пород и отсутствием растительности, которая нуждается в питательных элементах, как на отвалах других разрезов.

3. Рекультивацию гидроотвалов из-за низкой несущей способности намывных отложений следует осуществлять нанесением насыпи из вскрышных углесодержащих пород в режиме управляемого деформирования откосов, высота которой зависит от наличия вскрышного материала, устойчивости откосов ОПТС, морфологии и динамики геодинамических процессов и применяемой технологии отвалообразования.

В гидроотвалы Кузбасса в общей сложности было перемещено более 1,5 млрд м³ вскрышных пород неоген-четвертичного возраста, слагающих верхние части разрезов разрабатываемых месторождений. По гранулометрическому составу данные отложения представлены, в основном, пылеватыми суглинками, реже - супесями и глинами. При их гидравлическом складировании на поверхности земли формируются значительные по высоте и площади намывные техногенные массивы, характеризующиеся распространением слабопроницаемых глинистых пород, неоднородных по составу, состоянию и физико-механическим свойствам, как в плане, так и в разрезе. Характерная для намывных объектов неоднородность определяется процессами фракционирования – разделения материала по крупности на пляже намыва – и фильтрационной консолидации (образованием и рассеиванием в намывных породах избыточного порового давления). Первый приводит к формированию зон различного состава пород: песчано-супесчаного, суглинистого и глинистого. В разрезе суглинистые и глинистые зоны разделяется по состоянию на подзоны текучих, мягкопластичных и тугопластичных пород, при этом наиболее слабые текучие осадки слагают верхние части разрезов (до 20-25 м). Несущая способность их крайне мала и не обеспечивает проходимость не только оборудования, но иногда и человека.

Обычно намывные объекты располагаются на близком расстоянии от горных выработок разрезов, поэтому практический интерес к ним в качестве оснований отвалов достаточно высок. Сдерживающим фактором при этом, кроме рассмотренного выше отсутствия транспортной проходимости, является значительное водонасыщение пород, которое ограничивает возможность произрастания полезной растительности. Однако на фоне существующего дефицита земель для размещения отвалов гидроотвалы являются потенциальным резервом. Установленные особенности инженерно-геологических условий намывных объектов определяют необходимость разработки специального научно-методического обоснования их использования для отвалообразования и оригинальных технологических схем.

В общем виде отсыпку отвальных насыпей на гидроотвале следует рассматривать как горнотехнический этап рекультивации, обеспечивающий нанесение на недоступную ранее поверхность слоя более прочных пород. В зависимости от наличия на предприятиях необходимых объемов вскрыши данное мероприятие следует рассматривать в двух аспектах: - отсыпки минимальной по высоте рекультивационной насыпи, обеспечивающей достижение поставленной цели; - создания сложной ОПТС «отвал+гидроотвал» при максимально возможных по условиям устойчивости параметрах. Для каждого из рассматриваемых вариантов начальный этап включает отсыпку рекультивационной насыпи непосредственно на слабое основание в режиме управляемого деформирования откосов отвального яруса. Важнейшими вопросами при этом является обоснование параметров и порядка его формирования, а также выбор технологического оборудования. Современная тенденция развития механизации открытых горных работ в Кузбассе предполагает преимущественное использование на вскрышных работах автомобильного транспорта, что, собственно, определяет применение для отвалообразования на гидроотвалах автомобильно-бульдозерных комплексов. Данное оборудование характеризуется достаточной мобильностью, позволяя ему кратковременно находиться в зоне развития на отвале оползней подпошвенного типа. Знание закономерностей их развития – залог безопасности отвальных работ.

Изучение морфологии и динамики подпошвенных оползней откосов отвалов выполняется на гидроотвалах региона на протяжении нескольких десятилетий. За этот период накоплен значительный материал, анализ которого позволяет отметить следующие основные закономерности оползней при отсыпке первого яруса высотой от 7 до 50 м: - протяженность оползающего блока по фронту совпадает с шириной участка интенсивного отвалообразования; - ширина призмы оползания изменяется в зависимости от высоты отвального яруса $0,7 - 1 H$ (где H - высота отвала); - глубина внедрения насыпных пород в намывной массив варьирует от 0,5 до $1H$; - скорость деформаций в период активной стадии достигала в отдельных $0,015H$ м/сут, а при затухании процесса – $0,0015H$ м/сут.

На основании выполненных исследований предложен способ рекультивации гидроотвалов, включающий отсыпку на их поверхности с применением автомобильно-бульдозерных комплексов рекультивационной отвальной насыпи при ее развитии от внешних границ к центру, используя блоковую отсыпку заходками шириной 60-100 м и последовательную их смену по фронту в режиме контролируемого деформирования откосов; условием для переноса отвальных работ с рабочей заходки на резервную является оконтуривание тела оползня трещиной отрыва и увеличение скоростей смещения, а возврат и возобновление отвальных работ на ней осуществляется после завершения активной стадии оползневого процесса. Нанесение слоя вскрышных пород, содержащих частицы угля, обеспечит в будущем формирование на поверхности плодородного почвенного субстрата и позволит завершить биологический этап рекультивации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи - геозкологическое обоснование рекультивации внешних отвалов угольных месторождений Кузбасса.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. Выполненный анализ геозкологических условий формирования внешних отвалов при открытой добыче угля в Кузбассе позволил установить основные факторы, определяющие современное состояние ОПТС: физико-географическое положение, исходный литологический состав и свойства пород, технология добычи и отвалообразования, параметры отвальных сооружений, процессы техногенеза пород в отвальных массивах и почвообразования на их поверхности.

2. Разработанная система научно-методического обеспечения рекультивации отвалов с учетом геозкологических и инженерно-геологических условий их формирования базируется на предложенной типизации ОПТС. В ее основу заложены принципы комплексности, последовательности и полноты исследований, направленных на изучение, обоснование и управление состоянием техногенного массива для обеспечения эффективного и безопасного ведения рекультивационных работ.

3. Произведена оценка агрофизических свойств и плодородия пород на поверхности отвалов. Определена зависимость мощности образующегося при их выветривании техногенного элювия – почвенного субстрата, от времени после размещения в сооружение. Установлено, что наличие частиц угля в составе техногенных образований и его окисление во времени, является основным фактором, обеспечивающим биологическую рекультивацию отвалов. При этом, выявлено, что увеличение концентрации углерода (от 0,9 до 8,2%) и органики (от 1,43 до 6,74%) наиболее интенсивное в отвалах, сложенных из углевещающих пород кольчугинской серии.

4. Разработаны рекомендации по инженерно-геологическому и геоэкологическому обеспечению рекультивации гидроотвалов способом нанесения на их поверхности «сухих» отвальных насыпей определенной мощности в зависимости от наличия объемов вскрыши. Рекультивационные работы при этом предлагается осуществлять нанесением насыпей из вскрышных углесодержащих пород в режиме управляемого деформирования откосов, высота которых зависит от морфологии и динамики геодинамических процессов и применяемой технологии отвалообразования.

5. Результаты диссертационной работы могут быть использованы горными предприятиями и научно-исследовательскими организациями при обосновании проектов и выполнении рекультивации отвальных сооружений угольных месторождений.

6. Перспективы дальнейшего исследования темы заключаются в комплексном изучении геоэкологических условий формирования отвальных массивов применительно к месторождениям не только угля, но и других ископаемых для обоснования их рекультивации.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикация в издании из Перечня ВАК:

1. Кутепов, Ю.И. Оценка влияния гидрогеомеханических процессов в техногенных массивах высоких отвалов на геоэкологические условия территорий их размещения / Ю.И. Кутепов, **А.С. Мухина** // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 1-2(103). – С. 56-59. – DOI 10.23670/IRJ.2021.103.1.034.

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

2. Kutepov, Yu.I. Engineering-geological and ecological concerns in operation and reclamation of high slope dumps at open-pit mines in Kuzbass. / Yu.I. Kutepov, N.A. Kutepova, A.D. Vasileva, **A.S. Mukhina** // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. – 2021. – №8. – P. 164-178. – DOI: 10.25018/0236_1493_2021_8_0_164.

3. Kutepov, Yu.I. Geological, geotechnical and geoecological problems of reclamation of land disturbed by dumping in open pit coal mining in Kuzbass / Yu.I. Kutepov, N.A. Kutepova, **A.S. Mukhina**, V.V. Moseykin // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. – 2022. – №5. – P. 5- 24. – DOI: 10.25018/0236_1493_2022_5_0_5.

Публикации в прочих изданиях:

4. **Мухина, А.С.** Геоэкологическое обоснование рекультивации внешних отвалов угольных месторождений Кузбасса / А.С. Мухина // Геология в развивающемся мире: Сборник научных трудов по материалам XII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Пермь, 02–05 апреля 2019 года. – Пермь: ПГНИУ. – 2019. – С. 475-477.

5. **Mukhina, A.S.** Geoökologische Ansätze von Rekultivierung der externen Halden der Kohlenlagerstätten / A. S. Mukhina // Сборник научных статей по итогам конференции 14. Freiberg – St. Petersburger Kolloquium junger Wissenschaftler «Scientific reports on resource issues, volume 1» - Germany. – 2019. – P. 227-231.

6. **Мухина, А.С.** Перспективы использования растительных маркеров для превентивной оценки инженерно- геологического состояния отвалов / А.С. Мухина // Молодые - Научкам о Земле: Материалы IX Международной научной конференции – Москва: РГГРУ ИМ. СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ. – 2020. – С. 173-176.

Свидетельство:

7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022621351 Российская Федерация. База данных физико-механических свойств техногенных грунтов отвалов Кузбасса: № 2022621114 : заявл. 23.05.2022 : опубл. 08.06.2022 / А.С. Мухина, Н.В. Васильева, А.Д. Васильева; правообладатель : СПГУ. – 1 с.

Таблица 1 – Типизация геоэкологических условий внешних отвалов угольных месторождений Кузбасса

Тип отвальной массы	I. Балахонская серия, преимущественно карбонатный цемент	II. Кольчугинская серия, преимущественно глинистый цемент	III. Неоген-четвертичные отложения
Тип отвальных сооружений	A. Насыпные		B. Намывные (Гидроотвалы)
Параметры ГТС	a. до 50 м	б. 50-100 м	в. более 100 м
Тип техногенного ландшафта	1. Сильноизмененный	2. Слабоизмененный	3 Восстановленный
Геохимическое загрязнение	i. Сильное, выход ЗВ приводит к значительной продолжительной нагрузке	ii. Умеренное, выход ЗВ приводит к умеренной, среднесрочной нагрузке	iii. Слабое, выход ЗВ приводит к небольшой кратковременной нагрузке

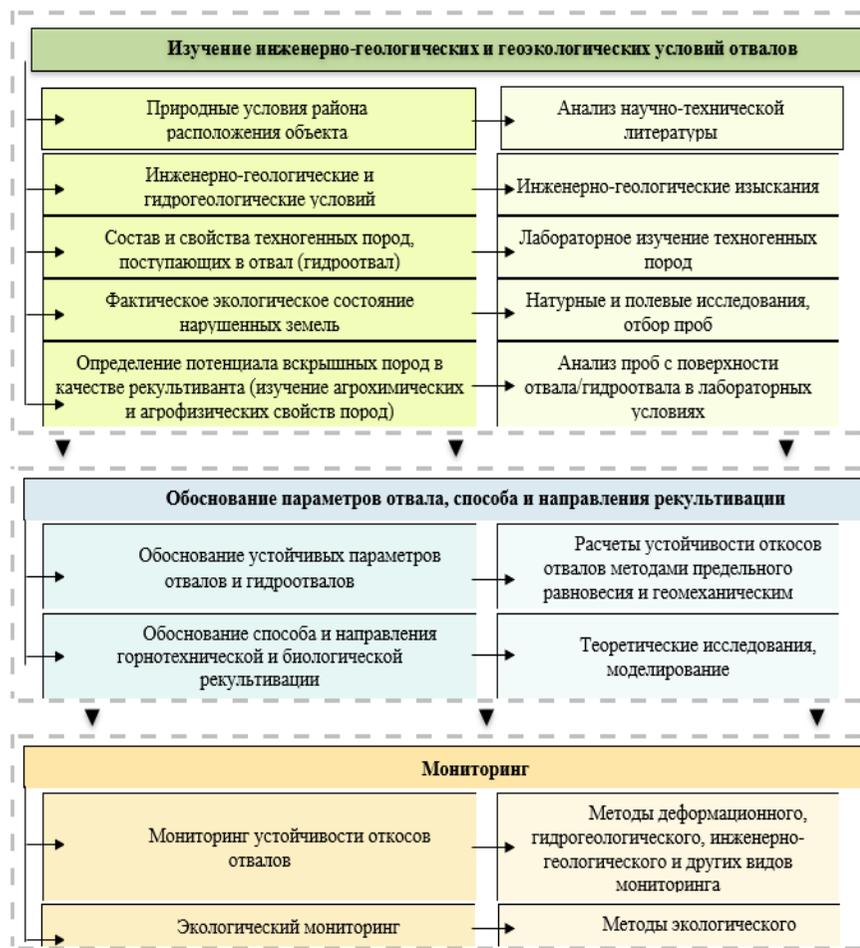


Рисунок – 1 Система обеспечения рекультивационных работ (СОПР)

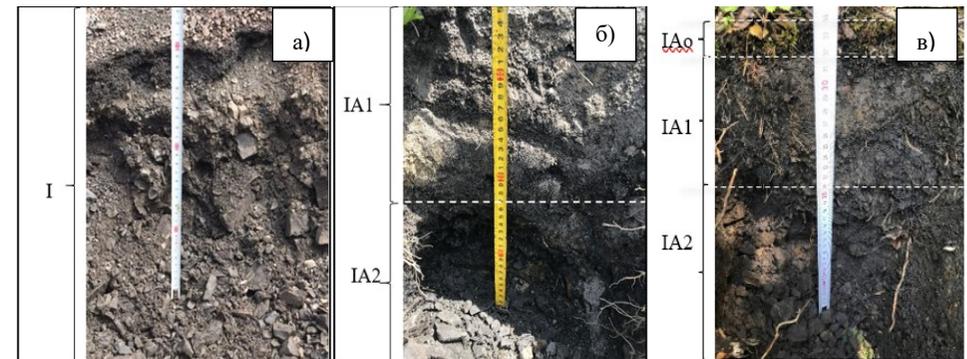


Рисунок 2 – Пример прикопок на поверхности ОПТС:
 IA0 – Подстилка; IA1 – Гумусово-аккумулятивная зона;
 IA2 – Аккумулятивно-элювиальная зона; I – Техногенный горизонт;
 а) Минимальная мощность ТЭ; б, в) Максимальная мощность ТЭ



Рисунок 3 – Изменение мощности техногенного элювия во времени

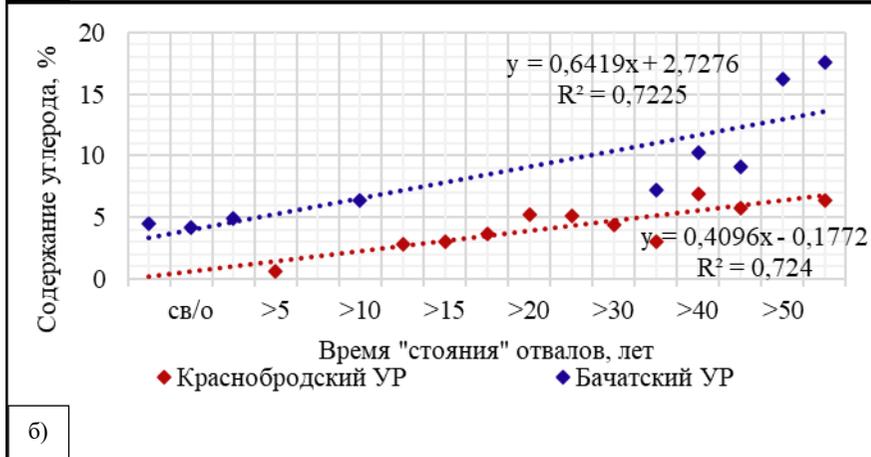
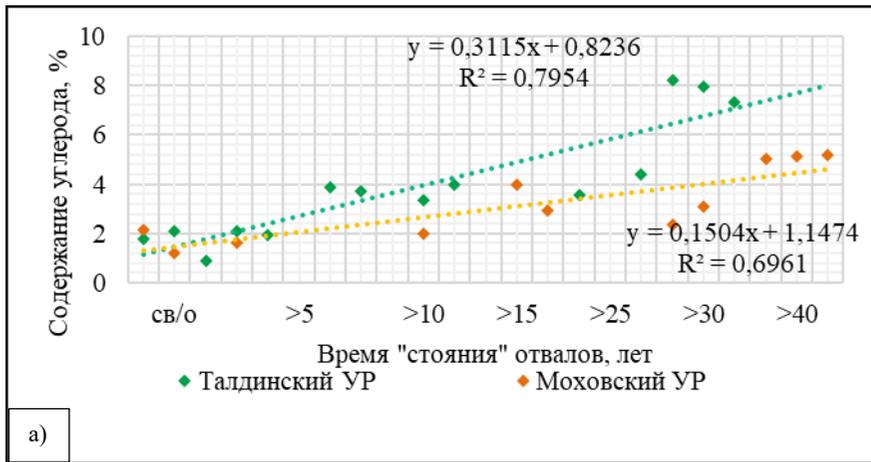


Рисунок 4 – Содержание углерода в органической массе углей вскрышных пород: а – кольчугинская серия; б – балахонская серия

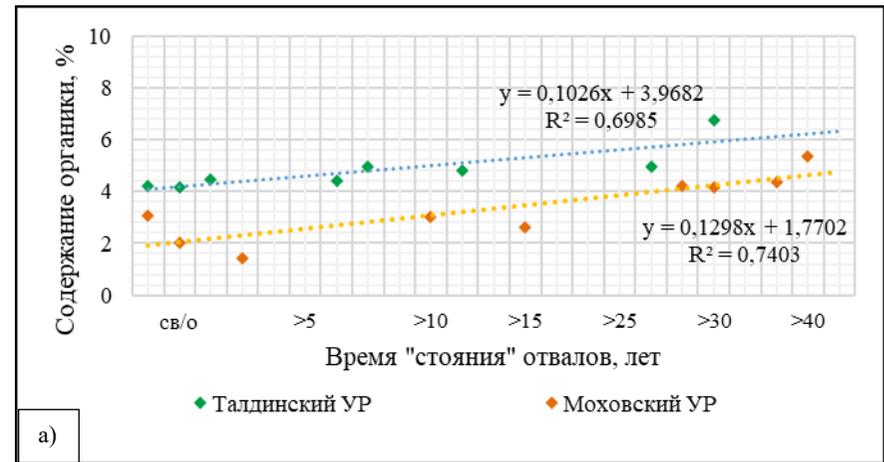


Рисунок 5 – Содержание органики в техногенном элювии вскрышных пород: а – кольчугинская серия; б – балахонская серия

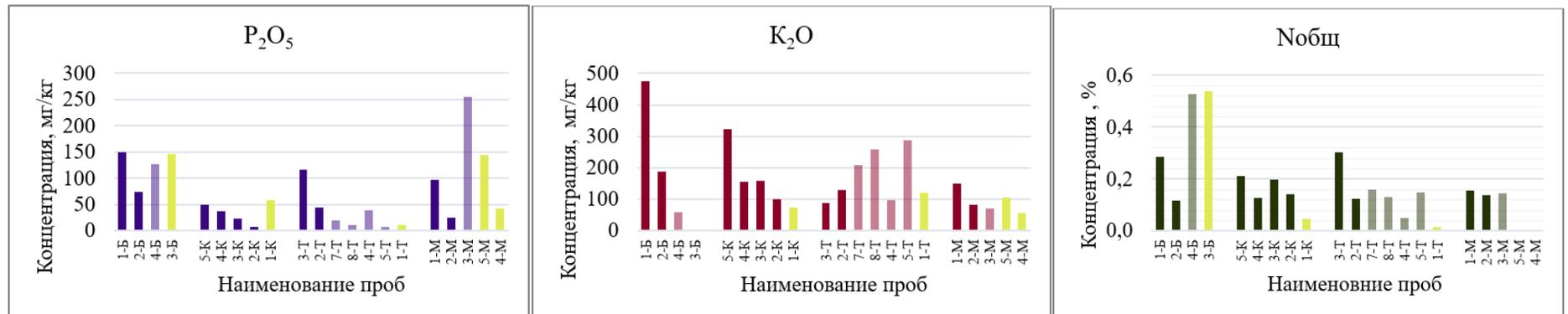


Рисунок 6 – Результаты лабораторного анализа агрохимических показателей проб

