

DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2019.1.02
УДК 504.064:502.37

Обоснование технологического решения по экологической реабилитации техногенных образований

Л. Т. Крупская

Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, главный научный сотрудник, доктор биологических наук; Тихоокеанский государственный университет, профессор, Хабаровск, Российская Федерация

Д. А. Голубев

Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, научный сотрудник, кандидат технических наук; Тихоокеанский государственный университет, преподаватель, Хабаровск, Российская Федерация

М. Ю. Филатова

Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, младший научный сотрудник; Тихоокеанский государственный университет, аспирант, Хабаровск, Российская Федерация

В статье изложены результаты многолетних исследований по обоснованию технологических решений, направленных на реабилитацию техногенных образований, загрязненных соединениями тяжелых металлов и мышьяка, с использованием потенциала биологических систем.

На основе разработанных биогенных принципов и воспроизводства продуктивности нарушенных горными работами земель предложено технологическое решение с использованием потенциала биологических систем (фототрофных бактерий) по снижению их негативного воздействия на экосферу для перевода после рекультивации в земли лесного фонда.

Ключевые слова: *отходы переработки, оловорудное сырье, рекультивация, экосфера, техногенное загрязнение, объекты окружающей среды*

Введение

Вследствие перестройки экономики многие горнодобывающие объекты Дальневосточного федерального округа обанкротились. Гидротехнические службы были ликвидированы, хвостохранилища (техногенные поверхностные образования) осушены, однако консервация и рекультивация объектов не проведены. В результате шлейф продуктов пылящей поверхности осушенных хвостохранилищ постоянно «накрывает» населенные пункты. На значительной части объектов сложилась кризисная экологическая ситуация, что способствует возникновению экологически обусловленных заболеваний местного населения.

Цель исследований – обоснование технологического решения по реабилитации техногенных образований, загрязненных соединениями тяжелых металлов и мышьяка, с использованием потенциала биологических систем для снижения их негативного влияния на экосферу. Техногенные образования рассматриваются как экологический ущерб хозяйственной деятельности горного предприятия в прошлом.

Исходя из цели исследования, определены следующие задачи:

- ✓ проанализировать, обобщить и систематизировать литературные данные и материалы патентного поиска по исследуемой проблеме;
- ✓ дать характеристику техногенных поверхностных образований как объекта лесной рекультивации;
- ✓ разработать технологическое решение по снижению негативного влияния и экологического ущерба от техногенных образований на экосферу.

Исследования проведены на территории горного предприятия «Дальнегорский ГОК», который является производителем свинцового и цинкового концентратов. Результаты его деятельности оказывают негативное влияние не только на состояние растительного и животного мира, но и на здоровье населения в регионе.

Методологические основы исследований

Методологической основой исследований послужило учение академика В. И. Вернадского о биосфере и ноосфере, а также основные положения, изложенные в Программе и методике изучения техногенных биогеоценозов [1, 2]. Объектом исследования стали природно-горнопромышленные системы, сформировавшиеся при освоении минерального сырья на площадях, изъятых из земель лесного фонда Дальнегорского участкового лесничества (кв. 96). Экспедиционные полевые исследования в границах влияния горных предприятий, проведенные в 2008–2017 гг., выполнены по единой методике. Анализ проб сделан на современном приборе ICP в Хабаровском инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина Дальневосточного отделения Российской академии наук. Изучены процессы почвообразования и естественного зарастания техногенных ландшафтов, отобраны пробы воздуха на определение присутствия диоксида серы, аэрозолей сульфатов и сероводорода. Одновременно измерены метеорологические параметры (скорость и направление ветра, атмосферные явления). Химический анализ проведен по методам, изложенным в Руководстве по контролю загрязнения атмосферы РД.52.04.286–89. Снежный покров изучали по рекомендациям В. В. Василенко [3].

Видовой состав растительности на техногенных объектах определен маршрутным методом, а также путем закладки учетных площадок, профилей и сбора гербария, с использованием карт растительности. Исследования проведены с учетом методических разработок В. Д. Александровой, Т. А. Работнова, П. Д. Ярошенко, А. Г. Воронова, В. Н. Сукачева, Б. А. Быкова и др. [4–8].

Формирование «молодых почв» на разновозрастных отвалах (как компонента биогеоценоза в техногенных экосистемах) исследовано в соответствии с методическими указаниями С. В. Зонна [8, 9]. Поставлены эксперименты в оранжерее ФБУ «ДальНИИЛХ», а также в производственных условиях с использованием

фототрофных бактерий (ФТБ), в частности бактерии *Rhodobacter capsulatus*, которая относится к пурпурным несерным бактериям и является чрезвычайно пластичным видом с широким спектром метаболических путей. С применением данного вида бактерии проведена рекультивация поверхности хвостохранилища горного предприятия «Дальнегорский ГОК» на площади 0,25 га.

Математическая обработка полученных результатов осуществлена с помощью пакетов прикладных программ, в основе которых лежат общепринятые методы вариационной статистики.

Состояние изученности проблемы

Работы по реабилитации территорий, нарушенных в результате добычи полезных ископаемых, начали проводить в 1960-е гг. [10]. В Западной Европе в середине XX в. особое внимание уделялось восстановлению нарушенных земель после освоения месторождений. В Великобритании, например, до 1945 г. нарушенные горными работами земли использовались под строительство, рекреацию, облесение [11]. Стимулом для реализации проектов по рекреации нарушенных земель стали принятые законодательные акты о промышленном развитии, местном самоуправлении в 1966 г.

Страны Европейского Союза пытаются добиться значительного сокращения объемов горнопромышленных отходов за счёт более эффективного использования добываемых ресурсов. Согласно европейской практике [11], в основу достижения этой цели положены 3 принципа:

- предотвращение образования отходов;
- переработка и повторное использование;
- усовершенствование технологий окончательной утилизации и мониторинга.

В России обязательной частью землепользования является восстановление продуктивности нарушенных горными работами лесных земель (рекультивация). Каждое предприятие, осваивающее полезные ископаемые на участках лесных земель, обязано сдать их в состоянии, пригодном для ведения лесного хозяйства (Федеральный

закон «О недрах», постановление Правительства РФ от 10.07.2018 № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель» и др. [12, 13]).

Сложным объектом рекультивации являются вынесенные на дневную поверхность токсичные сульфидосодержащие породы, представленные отходами хвостохранилищ. Они рассматриваются нами как экологический ущерб хозяйственной деятельности горных предприятий в прошлом, в том числе и прекративших деятельность в конце XX в. Такие объекты характеризуются низким плодородием и в естественных условиях не зарастают растительностью.

Анализ опубликованных литературных источников выявил, что в них практически отсутствуют публикации об управлении токсичными отходами и выборе рационального технологического решения для обеспечения экологической и социальной безопасности в районе исследований. Есть лишь незначительный опыт в решении проблемы по организации горно-экологического мониторинга на горных предприятиях Дальневосточного федерального округа [14–19].

Таким образом, нормативно-правовая база в области охраны окружающей среды, существующая в Российской Федерации, недостаточно развита: не разработаны принципы обеспечения экологической безопасности отходов горнопромышленного производства и организации экологического мониторинга в условиях прекративших свою деятельность горных предприятий России.

Характеристика техногенных поверхностных образований как объекта лесной рекультивации

Основным источником загрязнения окружающей среды в районе исследований являются горнопромышленные отходы, складированные в хвостохранилищах. Отходы образуются в процессе добычи и переработки минерального сырья, для освоения которого в Дальневосточном федеральном округе часто изымаются земли лесного фонда. Часть горнопромышленных отходов – это

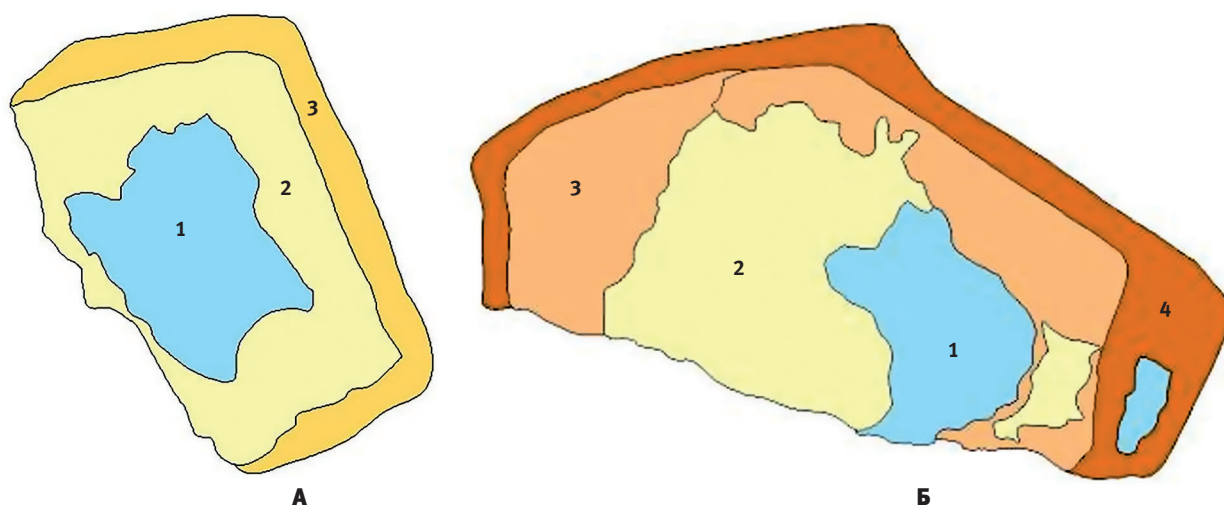
техногенные поверхностные образования; их складируют в конкретные, имеющие пространственное распределение хранилища (отвалы, хвосто- и шламохранилища, отстойники). Данные образования рассматриваются нами как экологический ущерб.

В техногенных поверхностных образованиях (хвостохранилищах и отстойниках) содержится большое количество загрязняющих веществ, в том числе соединений токсичных тяжелых металлов (ТМ) и мышьяка. В старом хвостохранилище Центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) скопилось 10,6 млн т отходов на площади 300 тыс. м², а объем отходов в новом хвостохранилище ЦОФ составляет 40 млн т на площади 525 тыс. м². Ниже приведена схема хвостохранилищ горного предприятия «Дальнегорский ГОК» (Приморский край, Дальнегорский район) (рис. 1).

Необходимо отметить, что под строительство хвостохранилищ были изъяты земли лесного фонда, представленные основным зональным типом почв – бурыми таежными почвами, развивающимися под светлехвойной тайгой на хорошо дренированных древнеаллювиальных и каменисто-суглинистых отложениях. Их характерная черта – слабая гумификация органических остатков и низкая дифференциация профиля на горизонты.

В процессе исследования почвенного покрова, формирующегося на поверхности хвостохранилища (техногенного образования), установлено, что основная причина замедленного почвообразовательного процесса – токсичность субстрата и переувлажнение почвообразующих пород, связанное с их низкой фильтрационной способностью, что обусловлено их тяжелым гранулометрическим составом. Избыток и застой воды приводит к обводнению, а в результате – к вымоканию травянистой и древесно-кустарниковой растительности. В периоды уменьшения увлажнения происходит слитизация горизонтов почв, образование на поверхности земли плотной корки и дальнейшее ее растрескивание, что также пагубно влияет на растительность. В связи с миграцией ТМ и мышьяка от горнопромышленных отходов, в почвах экосистем, прилегающих к хвостохранилищу, выявлено превышение фоновой концентрации от 1,5 до 10–14 раз, а в растительности – в 2–9 раз. Таким образом, почвенно-экологическое состояние данного участка можно охарактеризовать как неудовлетворительное из-за токсичности и слабого развития процессов почвообразования и, как следствие, медленного естественного зарастания растительностью.

Отстойники имеют большую площадь испарения. В период открытого зеркала воды это



Условные обозначения: 1 – озеро, 2 – прудковая зона, 3 – пляж, 4 – дамба

Рис. 1. Почвенные схемы хвостохранилищ горного предприятия Дальнегорский ГОК: А – «Новое» ЦОФ, Б – «Старое» ЦОФ

приводит к попаданию загрязнителей в атмосферу с испарениями и газами, которые образуются при окислении сульфидизированных отходов. В результате ветрового переноса с поверхности техногенных образований (экологического ущерба), воздушный бассейн интенсивно загрязняется твердыми частицами отходов (первичные и вторичные минералы). Перенос газов и твердых частиц вызывает загрязнение не только поверхности земли и водных объектов на значительном удалении от источника (хвостохранилища), но и почв и биоты. Учитывая возможность фильтрации некоторого объема жидкости через подстилающий защитный экран (по мелким трещинам и порам), нельзя исключать также загрязнение грунтовых и поверхностных вод.

Выявлена высокая токсичность отходов, сульфидная составляющая которых подвергается гипергенным и техногенным процессам, что обусловлено реакциями окисления и гидролиза (рН от 2 до 9). Продукты, содержащиеся в разбавленном сернокислом растворе, в результате перехода ионов токсичных элементов в подвижное состояние, выносятся с дренажными водами в природную гидросеть до и после момента выпадения вторичных – гипергенных минералов, которые могут кристаллизоваться только из высококонцентрированных растворов.

По фактическому содержанию соединений химических элементов (As, Zn, Cu, Pb, Cd, Co, Sb и др.) отходы, складываемые в хвостохранилище, относятся к высокотоксичным. Отмечается даже некоторая тенденция увеличения концентрации ряда элементов во времени.

Высокая активность гипергенных процессов в техногенных системах привела к значительному загрязнению экосферы в целом. Предполагаем, что в дальнейшем ее состояние будет изменяться, главным образом, в худшую сторону, так как сульфиды окисляются на протяжении столетий. Следует учесть, что запасы коренных руд в районе исследований полностью не отработаны, а хвостохранилища фактически представляют собой комплексные техногенные месторождения широкого спектра элементов – Sn, Cu, Pb, Zn, Cd, In и др.

Таким образом, характеризуя техногенные поверхностные образования как объект лесной рекультивации, можно сказать, что почвенно-экологическое состояние хвостохранилища неудовлетворительное, в связи со значительной токсичностью субстрата и отсутствием или очень слабым развитием процессов почвообразования и естественного зарастания растительностью. В свете изложенного особую актуальность приобретает разработка мероприятий, направленных на снижение негативного влияния отходов переработки минерального сырья на компоненты биосферы.

Обоснование технологического решения по экологической реабилитации техногенных поверхностных образований

Биоинженерные принципы разработки экологически безопасных технологий реабилитации земель, занятых отходами переработки минерального сырья.

При разработке биоинженерных принципов создания безопасных, с экологической точки зрения, технологий для ликвидации накопленного экологического ущерба мы руководствовались положением о необходимости подражания способностям животных и уникальным возможностям биологических систем. На протяжении многих миллионов лет растения и животные развивались и приспосабливались к разным условиям существования для самосохранения сложных по структуре и характеру взаимодействий биологических сообществ [14–24].

Поиск новых идей в процессе познания законов внутреннего развития биологических систем позволит человеку преодолеть существующее в настоящее время противоречие между постоянно растущими потребностями цивилизации и неспособностью геосферы обеспечить эти потребности.

Развивая эти идеи применительно к особенностям освоения недр нашей планеты и опираясь на гипотезу о том, что уровень безопасности техногенных геосистем по отношению к системам биологическим пропорционален степени

единообразия основополагающих принципов функционирования каждой из них, можно прийти к идее создания геотехнологии, построенной по типу процессов, характерных для природы, т.е. – экогеотехнологии [20, 22].

Естественная биота Земли, как система, развивается по объективным законам. Несмотря на то что эти законы видоизменяются, общая схема и принципы функционирования биосистем, обеспечивающие их экологичность и устойчивость, неизменны [25]:

1) использование ресурсов и избавление от отходов в рамках замкнутого кругооборота вещества;

2) воспроизводство биомассы за счет экологически чистых компонентов абиоты и энергии Солнца;

3) воспроизведение на каждом трофическом уровне только новой биомассы, количество которой обратно пропорционально длине пищевых цепей;

4) определение устойчивости экосистем видами первого трофического уровня;

5) однонаправленная эволюция биосистем в условиях воздействия периодических природных факторов.

Очевидно, что трансформация биосистемных принципов в инженерные должна базироваться на концептуальных положениях гомеостатики о способах поддержания жизненно важных параметров взаимодействующих систем на основе управления противоречиями.

Необходимо иметь в виду, что большинство биогенных принципов функционирования горного производства в той или иной мере уже давно применяются на практике для решения экологических проблем. Однако в биологических системах экологическая чистота (безопасность) их функционирования достигается за счет одновременного действия всех функциональных принципов. Поэтому необходимый для сохранения биоты уровень техногенного изменения ее абиоты может быть достигнут только путем одновременного задействования в создаваемой экотехнологии всех обозначенных выше абсолютно биогенных принципов.

Таким образом, сформулированы биоинженерные принципы безопасной, с экологической точки зрения, технологии экологической реабилитации техногенно загрязненных лесных земель, изъятых в прошлом из земель лесного фонда под освоение минерального сырья. Они определяют такие направления ее развития, реализация которых позволит значительно снизить техногенное воздействие на природную среду – до допустимого уровня неизбежного воздействия, порождаемого самим фактом искусственного изъятия части литосферы в горнопромышленных целях. На основе разработанных биогенных принципов предложены мероприятия по снижению негативного воздействия накопленных горнопромышленных отходов на экосферу.

Принципы лесной рекультивации земель, нарушенных освоением полезных ископаемых.

В связи с изъятием под освоение минерального сырья земель лесного фонда, алгоритм действий в решении проблемы реабилитации нарушенных земель в Дальневосточном федеральном округе путем лесной рекультивации должен быть следующим:

- ✓ разработать комплексную схему реабилитации территорий, предусматривающую решение задач лесной рекультивации, направленных прежде всего на восстановление гидрологии и гидрогеологии района и вовлечение в кругооборот всех видов отходов, в том числе и лесопромышленных;
- ✓ разработать технический регламент выполнения проектных работ по лесной рекультивации;
- ✓ учесть, что комплексная схема и технический регламент должны быть приняты на региональном уровне в качестве нормативных актов (законов);
- ✓ создать методы выбора путей альтернативного использования территории горнопромышленного освоения, например в рекреационных и других целях;
- ✓ научно обосновать выбор растений для выполнения лесной рекультивации, с учетом соответствия местной флоре и

местообитаниям, реакции на неблагоприятные условия (засуху, переувлажнение, техногенное загрязнение), высоких биологических свойств (большой прирост, устойчивость к болезням и вредителям), эффективности природоохранных мероприятий;

- ✓ разработать схему лесной рекультивации (добыча – вскрышные работы – отвалообразование – рекультивация) применительно к лесорастительным условиям в полном соответствии с Законом «О недрах», Лесным кодексом РФ, Земельным кодексом РФ и постановлением Правительства РФ от 10.07.2018 № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель» (вместе с «Правилами проведения рекультивации и консервации земель»);
- ✓ усовершенствовать нормативную базу природопользования.

Экспериментальные исследования.

Основным направлением предотвращения дальнейшей трансформации компонентов биосферы является разработка и применение принципиально новых технологических решений, способствующих снижению или исключению различных токсикантов, содержащихся в отходах.

Наши экспериментальные исследования по реабилитации техногенных образований поверхности хвостохранилища горного предприятия «Дальнегорский ГОК» с использованием потенциала биологических систем (фототрофных бактерий) были начаты в 2015 г.

Новый подход к решению задач по снижению негативного влияния токсичных отходов на экосистемы связан с использованием биоактиватора высокой эффективности и реализуется путем взаимодействия фототрофных бактерий с субстратом (токсичными отходами). Фототрофные бактерии способствуют улучшению водно-физических свойств субстрата и, не обладая способностью к органотрофному питанию, внеклеточно выделяют разнообразные витамины, нуклеотиды, аминокислоты и аденозинтрифосфаты. Тем

самым они привлекают другие микроорганизмы, с помощью которых получают необходимые для питания низкомолекулярные органические соединения [17]. И в этом состоит одна из особенностей фототрофных бактерий в ликвидации токсичных и вредоносных для организмов соединений из субстрата.

В оранжерее был проведен эксперимент с внесением фототрофных бактерий в контейнеры с токсичными отходами и посевом в них семян бобово-злаковой смеси и листовенницы (рис. 2). К контрольному варианту опыта фототрофные бактерии не вносили (рис. 3).



Рис. 2. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА В ОРАНЖЕРЕЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ



Рис. 3. КОНТРОЛЬ (ТОКСИЧНЫЕ ОТХОДЫ БЕЗ ВНЕСЕНИЯ ФОТОТРОФНЫХ БАКТЕРИЙ, ВСХОДЫ ОТСУТСТВУЮТ)

В варианте с внесением фототрофных бактерий в контейнерах содержится достаточное количество органических и питательных веществ благодаря деятельности бактерий, что способствует биологической переработке исследуемого субстрата и появлению всходов. Кроме этого, происходит связывание соединений тяжелых металлов углеродом органического вещества и иммобилизация основного количества соединений тяжелых металлов до неопасных пределов. В контрольном варианте всходы не появились, обнаружена плесень.

Таким образом, предлагаемый способ обеспечивает успешное решение проблемы снижения отрицательного воздействия токсичных отходов переработки оловорудного сырья, складированных в хвостохранилище, на объекты окружающей среды и повышение эффективности рекультивации. В течение одного вегетационного периода выявлено благоприятное влияние фототрофных бактерий на формирование почвенной структуры, а также на рост и развитие растений (бобово-злаковой травосмеси и лиственницы).

Полученные положительные результаты в оранжерее позволили провести осенью 2015 г. эксперимент в производственных условиях. Посев семян бобово-злаковой травосмеси и



Рис. 4. Результаты эксперимента в производственных условиях с использованием фототрофных бактерий (на поверхности старого хвостохранилища Дальнегорский ГОК)

лиственницы осуществлен на площади 0,25 га хвостохранилища закрытого горного предприятия. Результаты эксперимента приведены на рис. 4.

Технология проведения эксперимента состояла в следующем:

рыхление дисковой бороной рекультивируемой поверхности хвостохранилища на глубину 5–10 см;

посев семян бобово-злаковой травосмеси, при нормах высева соответственно 25 и 15 кг/га, а также семян лиственницы (120 кг/га);

внесение раствора с фототрофными бактериями в расчете 1,5 л/м².

В течение одного вегетационного периода сформировалась дернина хорошего качества.

На основании проведенных исследований доказана возможность использования фототрофных бактерий в решении проблемы по ликвидации накопленного экологического ущерба в результате хозяйственной деятельности в прошлом горной промышленности в Дальневосточном федеральном округе. Новизна предложенного способа подтверждена Патентом РФ [26].

Положительные результаты экспериментальных исследований в оранжерее и производственных условиях позволяют говорить о возможности реабилитации техногенных образований и рекультивации поверхности хвостохранилищ с применением фототрофных бактерий с последующим переводом их в земли лесного фонда не только в исследуемом районе, но и в других горнопромышленных регионах.

Выводы

Сбор и анализ информации по проблеме реабилитации нарушенных горными работами земель показал, что в Дальневосточном федеральном округе практически отсутствует опыт по рекультивации хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы.

Сформулированные биоинженерные принципы безопасной с экологической точки зрения технологии по реабилитации техногенных

образований с использованием потенциала биологических систем и восстановления продуктивности нарушенных горным производством земель определяют такие направления ее развития, реализация которых позволит снизить техногенное влияние на природную среду до допустимого уровня неизбежного воздействия, порождаемого самим фактом искусственного изъятия части литосферы в горнопромышленных целях.

Исследования по использованию фототрофных бактерий (потенциала биологических систем) для решения проблемы ликвидации накопленного экологического ущерба показали свою эффективность, подана заявка на изобретение по

способу рекультивации поверхности хвостохранилища и получен Патент РФ (2015).

В дальнейшем предполагается продолжить исследования по использованию потенциала биологических систем для проведения рекультивационных работ.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-17-10016), а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00260.

Список использованных источников

1. Вернадский, В. И. Живое вещество / В. И. Вернадский. – М. : Наука, 1978. – 357 с.
2. Колесников, Б. П. Методы изучения биогеоценозов в техногенных ландшафтах / Б. П. Колесников, Л. В. Моторина // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. – М., 1978. – С. 5–12.
3. Василенко, В. Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова // В. Н. Василенко, И. М. Назаров, Ш. Д. Фридман. – Л. : ГИМИЗ, 1985. – 182 с.
4. Александрова, В. Д. Изучение смен растительного покрова / В. Д. Александрова. – М.-Л. : Наука, 1964. – С. 300–447.
5. Работнов, Т. А. Фитоценология: учебное пособие для биологических факультетов вузов / Т. А. Работнов. – М. : изд-во МГУ, 1978. – 384 с.
6. Ярошенко, П. Д. Геоботаника / П. Д. Ярошенко. – М. : Просвещение, 1969. – 200 с.
7. Воронов, А. Г. Геоботаника : учеб. пособ. для университетов и педагогич. ин-тов ; изд. 2-е / А. Г. Воронов. – М. : Высшая школа, 1973. – 384 с.
8. Сукачев, В. Н. Общие принципы и программа изучения типов леса ; 2-е изд. / В. Н. Сукачев, С. В. Зонн // Методические указания к изучению типов леса. – М. : изд-во АН СССР, 1961. – С. 9–75.
9. Зонн, С. В. Изучение почвы как компонента биогеоценоза / С. В. Зонн // Программа и методика биогеоценологических исследований. – М. : Наука, 1974. – С. 215–232.
10. Колесников Б. П. Растительность / Б. П. Колесников // Южная часть Дальнего Востока. – М. : Наука, 1969. – С. 206–250.
11. Европейская практика обращения с отходами: проблемы, решения, перспективы. – Санкт-Петербург, 2005. – 77 с.
12. Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 г. № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель» (вместе с «Правилами проведения рекультивации и консервации земель»).
13. Закон Российской Федерации от 21.02.1992 № 2395-1 «О недрах» (в ред. от 03.08.2018).
14. Оценка степени опасности для окружающей среды отходов, накопленных в прошлом веке бывшим горнодобывающим предприятием в Дальневосточном федеральном округе / Л. Т. Крупская, А. А. Черенцова, Л. П. Майорова и Д. А. Голубев // Российский журнал общей химии. – 2016. – Вып. 86. – № 13. – С. 2783–2786. – DOI: 10.1134/S1070363216130090.
15. Геоэкологическая оценка состояния окружающей среды и здоровья населения в зоне влияния хвостохранилища (на примере поселка Фабричный) / Л. Т. Крупская, Н. К. Растинина, В. П. Зверева, Д. А. Голубев, Н. Г. Волобуева, А. М. Орлов // Междунар. конф. по границам производства, проектирования, науки и информатики (ICEMD, 2015). – С. 1133–1137. – DOI: 10.1134/S1875372812010076.
16. Обоснование технологии рекультивации поверхности хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы / Д. А. Голубев, Л. Т. Крупская, К. Е. Гула, О. О. Панфилов // Российский журнал общей химии. – 2015. – Вып. 85. – № 13. – С. 2921–2928. – DOI: 10.1134/S1070363215130071.
17. Обоснование технологии рекультивации поверхности хвостохранилища, содержащего токсичные отходы / Д. А. Голубев, Л. Т. Крупская, К. Е. Гула, О. О. Панфилов // Экологическая химия. – 2015. – Т. 24(2). – С. 82–92.
18. Крупская, Л. Т. Проблемы и перспективы развития горной экологии на Дальнем Востоке / Л. Т. Крупская, Ю. А. Мамаев, Б. Г. Саксин // Изв. вузов. Горный журнал. – 2008. – №6. – С. 23–26.
19. Крупская, Л. Т. Проблемы организации горно-экологического мониторинга экосистем зоны влияния хвостохранилищ с токсичными отходами переработки оловорудного сырья / Л. Т. Крупская, М. Б. Бубнова, А. Г. Новороцкая // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2012. – № 1. – С. 192–199.

20. Трубецкой, К. Н. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. / К. Н. Трубецкой, Ю. П. Галченко, Л. И. Бурцев. – М. : Научтехлитиздат, 2003.
21. Моисеев, Н. Н. Человек и ноосфера / Н. Н. Моисеев. – М. : Молодая гвардия, 1990. – 351 с.
22. Галченко, Ю. П. Основные положения концепции экологической безопасности горного производства, в условиях устойчивого развития природы и общества / Ю. П. Галченко // Научные и практические аспекты добычи цветных и благородных металлов : докл. междунар. совещ. – Хабаровск : ИГД ДВО РАН, 2000. – Т. 2. – С. 393-400.
23. Небел, В. Наука об окружающей среде / В. Небел. – М., 1993. – 420 с.
24. Вернадский, В. И. Биосфера и ноосфера / В. И. Вернадский. – М. : Наука, 1989. – 261 с.
25. Горский, Ю. М. Гомеостатика: модели, свойства, патологии / Ю. М. Горский // Гомеостатика живых, технических, социальных и экологических систем. – Новосибирск : Наука Сиб. отд-ние. – 1990. – 350 с.
26. Способ рекультивации поверхности хвостохранилища, содержащего токсичные отходы, с использованием фототрофных бактерий / Л. Т. Крупская, О. А. Кириенко, Л. П. Майорова, Д. А. Голубев, М. С. Онищенко. – Патент РФ № 2569582– 2015.

References

1. Vernadskij, V. I. Zhivoe veshchestvo / V. I. Vernadskij. – М. : Nauka, 1978. – 357 s.
2. Kolesnikov, B. P. Metody izucheniya biogeocenzov v tekhnogennyh landshaftah / B. P. Kolesnikov, L. V. Motorina // Programma i metodika izucheniya tekhnogennyh biogeocenzov. – М., 1978. – S. 5–12.
3. Vasilenko, V. N. Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova // V. N. Vasilenko, I. M. Nazarov, Sh. D. Fridman. – L. : GIMIZ, 1985. – 182 s.
4. Aleksandrova, V. D. Izuchenie smen rastitel'nogo pokrova / V. D. Aleksandrova. – М.-Л. : Nauka, 1964. – S. 300–447.
5. Rabotnov, T. A. Fitocenologiya: uchebnoe posobie dlya biologicheskikh fakul'tetov vuzov / T. A. Rabotnov. – М. : izd-vo MGU, 1978. – 384 s.
6. Yaroshenko, P. D. Geobotanika / P. D. Yaroshenko. – М. : Prosveshchenie, 1969. – 200 s.
7. Voronov, A. G. Geobotanika : ucheb. posob. dlya universitetov i pedagogich. in-tov ; izd. 2-e / A. G. Voronov. – М. : Vysshaya shkola, 1973. – 384 s.
8. Sukachyov, V. N. Obschie principy i programma izucheniya tipov lesa ; 2-e izd. / V. N. Sukachev, S. V. Zonn // Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa. – М. : izd-vo AN SSSR, 1961. – S. 9–75.
9. Zonn, S. V. Izuchenie pochvy kak komponenta biogeocenoza / S. V. Zonn // Programma i metodika biogeocenologicheskikh issledovaniy. – М. : Nauka, 1974. – S. 215–232.
10. Kolesnikov B. P. Rastitel'nost' / B. P. Kolesnikov // YUzhnaya chast' Dal'nego Vostoka. – М. : Nauka, 1969. – S. 206–250.
11. Evropejskaya praktika obrashcheniya s othodami: problemy, resheniya, perspektivy. Sankt-Peterburg. – 2005. – 77 s.
12. Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 10.07.18 g. № 800 «O provedenii rekul'tivacii i konservacii zemel'» (vmeste s «Pravilami provedeniya rekul'tivacii i konservacii zemel'»).
13. Zakon Rossijskoj Federacii ot 21.02.1992 № 2395-1 «O nedrah» (red. ot 03.08.2018).
14. Ocenka stepeni opasnosti dlya okruzhayushchej sredy othodov, nakoplenykh v proshlom veke byvshim gornodobyvayushchim predpriyatiem v Dal'nevostochnom federal'nom okruge / L. T. Krupskaya, A. A. Cherencova, L. P. Majorova i D. A. Golubev // Rossijskij zhurnal obshchej himii. – 2016. – Vyp. 86. – № 13. – S. 2783–2786. – DOI: 10.1134/S1070363216130090.

15. Geoehkologicheskaya ocenka sostoyaniya okruzhayushchej sredy i zdorov'ya naseleniya v zone vliyaniya hvostohranilishcha (na primere poselka Fabrichnyj) / L. T. Krupskaya, N. K. Rastanina, V. P. Zvereva, D. A. Golubev, N. G. Volobueva, A. M. Orlov // Mezhdunar. konf. po granicam proizvodstva, proektirovaniya, nauki i informatiki (ICEMD, 2015). – S. 1133–1137. – DOI: 10.1134/S1875372812010076.
16. Obosnovanie tekhnologii rekul'tivacii poverhnosti hvostohranilishch, sodержashchih toksichnye othody / D. A. Golubev, L. T. Krupskaya, K. E. Gula, O. O. Panfilov // Rossijskij zhurnal obshchej himii. – 2015. – Vyp. 85. – № 13. – S. 2921–2928. – DOI: 10.1134/S1070363215130071.
17. Obosnovanie tekhnologii rekul'tivacii poverhnosti hvostohranilishcha, sodержashchego toksichnye othody / D. A. Golubev, L. T. Krupskaya, K. E. Gula, O. O. Panfilov // Ehkologicheskaya himiya. – 2015. – T. 24(2). – S. 82–92.
18. Krupskaya, L. T. Problemy i perspektivy razvitiya gornoj ehkologii na Dal'nem Vostoke / L. T. Krupskaya, Yu. A. Mamaev, B. G. Saksin // Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal. – 2008. – №6. – S. 23–26.
19. Krupskaya, L. T. Problemy organizacii gorno-ehkologicheskogo monitoringa ehkosistem zony vliyaniya hvostohranilishch s toksichnymi othodami pererabotki olovorudnogo syr'ya / L. T. Krupskaya, M. B. Bubnova, A. G. Novorockaya // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). – 2012. – № 1. – S. 192–199.
20. Trubeckoj, K. N. Ehkologicheskije problemy osvoeniya neдр pri ustojchivom razvitii prirody i obshchestva. / K. N. Trubeckoj, Yu. P. Galchenko, L. I. Burcev. – M. : Nauchtekhlitizdat, 2003.
21. Moiseev, N. N. Chelovek i noosfera / N. N. Moiseev. – M. : Molodaya gvardiya, 1990. – 351 s.
22. Galchenko, Yu. P. Osnovnye polozheniya koncepcii ehkologicheskoy bezopasnosti gornogo proizvodstva, v usloviyah ustojchivogo razvitiya prirody i obshchestva / Yu. P. Galchenko // Nauchnye i prakticheskie aspekty dobychi cvetnyh i blagorodnyh metallov : dokl. mezhdunar. soveshch. – Habarovsk : IGD DVO RAN, 2000. – T. 2. – S. 393–400.
23. Nebel, V. Nauka ob okruzhayushchej srede / V. Nebel. – M., 1993. – 420 s.
24. Vernadskij, V. I. Biosfera i noosfera / V. I. Vernadskij. – M. : Nauka, 1989. – 261 s.
25. Gorskij, Yu. M. Gomeostatika: modeli, svojstva, patologii / YU. M. Gorskij // Gomeostatika zhivyh, tekhnicheskij, social'nyh i ehkologicheskijh sistem. – Novosibirsk : Nauka Sib. ot-d-nie. – 1990. – 350 s.
26. Sposob rekul'tivacii poverhnosti hvostohranilishcha, sodержashchego toksichnye othody, s ispol'zovaniem fototrofnih bakterij / L. T. Krupskaya, O. A. Kirienko, L. P. Majorova, D. A. Golubev, M. S. Onishchenko. – Patent RF № 2569582– 2015.

The Substantiation of the Technological Solution for the Environmental Rehabilitation of Technogenic Formations

L. Krupskaya

Scientific adviser, Far East Forestry Research Institute, Chief Researcher, Doctor of Biological Sciences, Professor, Pacific National University, Professor of the Department, Khabarovsk, Russian Federation

D. Golubev

Far East Forestry Research Institute, Researcher, Candidate of Technical Sciences; Pacific National University, Lecturer of the Department, Khabarovsk, Russian Federation

M. Filatova

Far East Forestry Research Institute Junior Researcher Pacific National University, Postgraduate Student of the Department, Khabarovsk, Russian Federation

Keywords: wastes from tin ore processing, recultivation, ecosphere, industrial pollution, environmental objects

Abstract. In the Far Eastern Federal District (FEFD) of Russia, as a result of the restructuring of the economy, many mining facilities in the past century were bankrupt. Large volumes of toxic waste were uncontrolled. Hydrotechnical services were eliminated and the tailings were drained. Their preservation and recultivation was not carried out. As a result, the plume of products from the dusting surface of drained tailings constantly covers landscapes and settlements, especially in the spring-summer-autumn season. A significant part of the territory of the mining enterprise has a crisis ecological situation, which has led to the emergence of environmentally-related diseases of the local population.

The purpose of the research was to substantiate the technological solution for the rehabilitation of technogenic formations contaminated with heavy metal and arsenic compounds, using the potential of biological systems, to reduce their negative impact on the ecosphere. They are considered by us as environmental damage to the past economic activities of the mining enterprise.

To assess the risk of waste impact on the ecosphere, the following methods and techniques are used: geobotanical, silvicultural, geomorphological, modern instrumental and traditional physicochemical, chemical methods and cartographic modeling, statistical data processing, as well as scientific forecasting and systematization. Expeditionary field studies within the boundaries of the influence of the mining enterprise, conducted during 2008-2017, were carried out according to a single methodology. The samples were prepared for the analysis in the same way and were analyzed at the Khabarovsk Innovation and Analytical Center ITIG FEB RAS on a modern ICP device. The processes of soil formation and natural overgrowing in technogenic landscapes by generally accepted methods have been studied. The chemical analysis was carried out according to the methods described in the «Guidelines for the Control of Atmospheric Pollution RD.52.04.286-89».

On the basis of the conducted research, conclusions were drawn about the insufficient knowledge of the problem of recultivation of the surface of tailings within the influence of «Dalnegorsky GOK» containing toxic waste. The formulated bioengineering principles for creating a safe technology for the ecological rehabilitation of technogenic formations will significantly reduce the anthropogenic impact on the environment to an acceptable level

of inevitable impact generated by the fact of artificial withdrawal of part of the lithosphere for mining purposes.

The efficiency of using phototrophic bacteria for solving the problem of eliminating accumulated environmental damage is shown.

In the future, it is planned to continue research in this area for the transfer of land to the forest fund of the Dalnegorsk district forest area after reclamation work using the potential of biological systems.