



ЛЕСОВЕДЕНИЕ, ЛЕСОВОДСТВО, ЛЕСНЫЕ КУЛЬТУРЫ, АГРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИЯ, ОЗЕЛЕНЕНИЕ,
ЛЕСНАЯ ПИРОЛОГИЯ И ТАКСАЦИЯ/FORESTRY, FORESTRY, FOREST CROPS, AGROFORESTRY,
LANDSCAPING, FOREST PYROLOGY AND TAXATION

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.68.5>

EDN: FWCCUP

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭТАПАМ
РЕКУЛЬТИВАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССОЗДАНИЯ ЗАЩИТНЫХ ФУНКЦИЙ ЛЕСНЫХ
УЧАСТКОВ

Научная статья

Крупская Л.Т.^{1,*}, Филатова М.Ю.², Голубев Д.А.³, Сас П.П.⁴¹ ORCID : 0000-0002-4479-4047;² ORCID : 0000-0002-2212-9783;^{1,2,3} Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, Хабаровск, Российская Федерация⁴ ООО «Золото Керби», Хабаровск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ecologiya2010[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье представлены результаты многолетних исследований проблемы обоснования мероприятий по воссозданию защитных и лесохозяйственных функций на лесных участках путем рекультивации земель после выполнения геологического изучения недр и освоения полезных ископаемых.

Объектом исследований явились нарушенные горными работами земли, в том числе загрязненных токсичными твердыми отходами, основная цель которых состояла в проведении их рекультивации с использованием методов биоремедиации (применением потенциала биологических систем). При выполнении исследований использованы различные методы, применяемые в горном деле и эколого-лесоводственных исследованиях. Состояние лесной растительности на рекультивированных землях изучено с использованием ГИС-технологий и дистанционного зондирования Земли, традиционных лесоводственно-таксационных и маршрутно-рекогносцировочных методов. Общепринятыми методами исследованы процессы почвообразования на рекультивированных площадях. С применением детального почвенного картографирования выявлены сформировавшиеся на рекультивированных участках молодые почвы — эмбриоземы.

Выявлено, что почвенно-экологическая эффективность самозарастания нарушенных освоением минерального сырья, оцениваемая по характеру новообразованного почвенного покрова и накоплению педогенного органического вещества, — невысокая, а состояние самозарастающих ландшафтов и воссоздание защитных функций лесных участков — неудовлетворительное. Установлено, что благоприятные биоклиматические факторы при проведении рекультивационных мероприятий способствовали тому, что в исследуемом районе эволюция эмбриоземов развивается от инициальных в органо-аккумулятивные, а затем — в гумусово-аккумулятивные. В сингенезе со стадиями растительных сукцессий протекает почвообразование на рекультивированных участках. Исследовано их почвенное и экологическое состояние. Выявлена возможность восстановления защитных и лесохозяйственных функций лесных насаждений путем ускоренной рекультивации.

Общее почвенно-экологическое состояние участка лесной рекультивации характеризуется как удовлетворительное (30 баллов) на рекультивированном участке ликвидированного Кербинского прииска, и хорошее (49 баллов) — на участке рекультивации Райчихинского угольного разреза. Предложен способ рекультивации, новизна которого подтверждена Патентом РФ.

Ключевые слова: почвенно-экологическая эффективность рекультивации, защитные и лесоводственные функции, нарушенные горными работами земли, эмбриоземы.

DETERMINING THE SOIL-ECOLOGICAL EFFECTIVENESS OF MEASURES AT THE STAGES OF
RECLUTIVATION TO ASSESS THE POTENTIAL FOR RESTORING THE PROTECTIVE FUNCTIONS OF
FOREST AREAS

Research article

Krupskaya L.T.^{1,*}, Filatova M.Y.², Golubev D.A.³, Sas P.P.⁴¹ ORCID : 0000-0002-4479-4047;² ORCID : 0000-0002-2212-9783;^{1,2,3} Far East Forestry Research Institute, Khabarovsk, Russian Federation⁴ LLC "Golden Kerby", Khabarovsk, Russian Federation

* Corresponding author (ecologiya2010[at]yandex.ru)

Abstract

The article presents the results of long-term research into the rationale for measures aimed at restoring the protective and forestry functions of forest areas through land reclamation following geological surveys of the subsoil and mineral extraction.

The research object was land disturbed by mining, including land contaminated with toxic solid waste, with the primary aim being to recultivate it using bioremediation methods (utilising the potential of biological systems). Various methods used in mining and ecological and forestry studies were used in the work. The condition of forest vegetation on the reclaimed land



was studied using GIS technologies and remote sensing, as well as traditional forestry inventory and route reconnaissance methods. Soil-forming processes on the reclaimed areas were surveyed using standard methods. Through detailed soil mapping, young soils — embryozems — that have formed on the reclaimed sites were identified.

It has been established that the soil-ecological effectiveness of natural regrowth in areas disturbed by mineral resource extraction, as assessed by the nature of the newly formed soil cover and the accumulation of pedogenic organic matter, is low, while the condition of self-regenerating landscapes and the restoration of the protective functions of forested areas are unsatisfactory. It has been found that favourable bioclimatic factors during the implementation of recultivation measures have contributed to the evolution of embryozems in the studied area from initial to organo-accumulative, and subsequently to humus-accumulative stages. Soil formation on the reclaimed sites occurs in synergy with the stages of plant succession. Their soil and ecological conditions have been examined. The possibility of restoring the protective and forestry functions of forest stands through accelerated recultivation has been identified.

The overall soil environmental condition of the forest recultivation site is rated as satisfactory (30 points) at the recultivated site of the decommissioned Kerbinsk mine, and good (49 points) at the recultivation site of the Raichikhinsk coal open cut mine. A method of recultivation has been suggested, the novelty of which is confirmed by a Russian Federation patent.

Keywords: soil and environmental effectiveness of recultivation, protective and silvicultural functions, land disturbed by mining, embryozems.

Введение

Деятельность горнодобывающих предприятий, которые играют важную роль в экономике многих регионов России, в том числе Дальневосточного федерального округа, приводит к интенсивному разрушению почв, уничтожению растительного покрова, загрязнению компонентов окружающей среды, деградации природных ландшафтов. В соответствии со Стратегией социально-экономического развития Хабаровского края и другими нормативными документами [1], [2] повышение качества жизни населения, укрепление его здоровья, экологическая устойчивость являются приоритетными факторами развития региона. Они должны обеспечиваться сохранением и восстановлением природных экосистем, поддержанием их целостности, обеспечением снижения негативного воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду. Ключевым показателем качества окружающей среды и уровня экологической безопасности в регионе является состояние главной водной магистрали — реки Амур, биосферного значения, и её притоков, вдоль которых сосредоточено около 87% проживающего здесь населения. В связи с этим восстановление нарушенных земель, воссоздание их защитных и экологических функций путем проведения рекультивационных работ, является необходимым условием сохранения природной среды и устойчивого развития региона. Оно способствует минимизации негативных последствий эксплуатации месторождений и обеспечивает сохранение природных богатств для будущих поколений. Вопросы оценки эффективности рекультивации нарушенных земель с помощью экосистемного подхода в своей работе исследовала М.А. Гавриловская [3]. По ее мнению, на эффективность рекультивации нарушенных земель влияют экологические, социальные, экономические факторы, а также их взаимообусловленность, трансформационность, выражающуюся в формировании экологического эффекта, являющегося необходимым условием появления социального и экономического эффектов. В свою очередь, полученные эффекты от проведения рекультивации определяются как разность между результатами и затратами на осуществление рекультивации.

Также специфику развития методического обеспечения оценки эффективности рекультивационных работ в России исследовала М.Н. Игнатъева с соавторами [4]. Анализ эволюционных тенденций в сфере методического обеспечения оценки эффективности рекультивационных мероприятий показал, что динамика развития соответствующего методического обоснования коррелирует с периодичностью совершенствования методик оценки эффективности капитальных вложений в производственной сфере. Авторы полагают, что будущие направления развития методического инструментария будут сосредоточены на его адаптации к требованиям разработки инвестиционных проектов, а также на детализации методики расчёта экономического ущерба, включающей учёт экологических последствий в рамках экосистемного подхода.

Л.С. Миков и соавторы [5] изучали возможность применения данных дистанционного зондирования Земли при оценке эффективности рекультивации. Одним из наилучших способов контроля состояния рекультивированных земель, нарушенных деятельностью горноперерабатывающих предприятий, является дистанционный (космический) мониторинг с использованием мультиспектральных спутниковых изображений. В результате исследования космических снимков были построены карты индексов (нормализованный относительный индекс растительности, индекс растительности с коррекцией по почве), и, для уточнения результатов, рассчитаны показатели содержания хлорофилла и влаги в листе. Авторами сделан вывод, что применение методов дистанционного зондирования Земли и обработка данных с беспилотных летающих аппаратов позволяет оценить влагообеспеченность и состояние растительности на рекультивированных участках. Проведённые исследования продемонстрировали, что показатели состояния растительного покрова на ранее нарушенных участках практически не отличаются от контрольных значений. Данный факт служит объективным подтверждением восстановления растительности и почвенного покрова на рекультивированном ранее участке.

В.А. Андрохановым и В.М. Курачевым [6] предложены методы диагностики и оценки почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов на различных стадиях их формирования и определения почвенно-экологической эффективности рекультивации. В основу решения этой задачи была положена теория бонитировки почв, в которой сравнение баллов бонитета естественной почвы и породы техногенного ландшафта позволяет оценить степень их различия и определить перспективы самовосстановления экосистемы. Однако для оценки степени влияния последствий техногенеза необходимо применение параметра, лимитирующего почвообразование, которое обусловлено



в первую очередь, малым временем развития процессов почвообразования. Однако уже на начальных этапах восстановления ландшафтов, на основе изучения и анализа ведущих факторов почвообразования, рельефа и почвообразующих пород, возможно оценить перспективы развития растительности и почв на нарушенных территориях, и определить уровень восстановления основных функций лесного покрова, как почвенно-экологических, так и защитных. Сделан вывод, что в техногенных ландшафтах, несмотря на различия условий, в созданных местообитаниях, почвенный покров значительно менее разнообразен, что подтверждается нашими исследованиями [7], [8].

Комплексная оценка рекультивации земель в горнодобывающем районе в провинции Хэнань исследователями из Китая Shidong Wang и др. [9], с использованием ГИС-технологий и дистанционного зондирования Земли, позволила сделать вывод об ее эффективности по трем аспектам: качество почвы (общее содержание азота, эффективная толщина почвы, содержание органических веществ и уровень pH), техническое качество (площадь обрабатываемых земель после рекультивации, доступность и уклон участка) и важность экологических услуг (ценность в производстве продуктов питания, улучшение качества почвы и, особенно, степень эффективности переработки ею питательных веществ). На основе этих характеристик исследуемая территория была разделена на 13 участков, три из которых набрали максимальное количество — 80 баллов. Полученные эффективные показатели проведения рекультивационных мероприятий подтвердились проведенными полевыми исследованиями.

О. Végsőová и соавторы [10] провели оценку рекультивации карьеров на основе разработанного ими индекса качества рекультивации (RQI). Предлагаемый индекс качества рекультивации основан на междисциплинарной основе и использует методологию Delphi, с помощью которой в процесс оценки включаются экспертные знания и взвешенные показатели. Значение RQI рассчитывается как взвешенное среднее арифметическое нормализованных значений отдельных показателей и находится в диапазоне от 0 до 1, где более высокое число указывает на лучшее техническое и экологическое качество проведенных мелиоративных мероприятий. По результатам исследований было установлено пороговое значение индекса — 0,5, показатели ниже которого считаются критическими и требуют применения корректирующих рекультивационных мер.

В работе B.D. Pinno и V.C. Hawkes [11] была проведена комплексная оценка процессов формирования лесов на рекультивируемых территориях, расположенных в границах добычи нефтеносных песков Северной Альберты, Канада. Для сравнения использовались, как искусственно восстановленные леса, так и природные массивы, мониторинг которых проводился уже длительное время. В рамках исследований оценивались структурные характеристики растительных сообществ, состав флоры и доступность ключевых питательных компонентов почвы. Основные итоги исследования заключаются в следующем:

1. Между различными методами рекультивации обнаружено незначительное количество статистически значимых различий в состоянии экосистем;

2. Естественное развитие древесных насаждений привело к появлению множества значимых отличий среди типов исследуемых площадей;

3. За период около двух десятилетий наблюдалось заметное изменение большинства характеристик растительных сообществ, таких как разнообразие видов и распределение покровов отдельных категорий (разнотравье, кустарники, интродуцированные растения);

4. Уровень доступного азота в почве оставался неизменным вне зависимости от метода рекультивации и временного промежутка наблюдения.

Вместе с тем выявлены значительные колебания содержания доступного фосфора, что предполагает его значимость как возможного индикатора состояния формирующейся экосистемы. Авторы делают важный вывод о необходимости продолжения исследований и регулярного мониторинга аналогичных экосистем в течение долгого времени. Подобный подход позволит лучше понять динамику развития и эффективно оценивать качество проводимых рекультивационных мероприятий.

Исследование E. Darko и соавторов [12] посвящено оценке экологической эффективности проекта рекультивации, реализованного крупной горнодобывающей компанией в западном округе Аманси (регион Ашанти, Гана). Учёные проанализировали состояние растительности спустя 20 лет после восстановления земель. Для оценки использовали сравнительный подход: рекультивированный отвал пустой породы сопоставляли с прилегающим природным лесом (выступавшим в роли эталонного участка). На каждом из них заложили по 12 площадок размером 25×25 м для учёта видового состава деревьев и параметров их роста. Результаты показали, что, несмотря на определённый прогресс, за два десятилетия отвал не достиг состояния естественного леса. Так, показатель разнообразия деревьев на восстановленном участке составил 1,08 — значительно ниже, чем на контрольном (2,25). Эталонный лес также отличался более сложным структурным и композиционным разнообразием. Авторы делают вывод о необходимости усовершенствовать подходы к отбору видов растений (с приоритетом местных видов) и разработать адаптивные стратегии управления для повышения эффективности долгосрочного восстановления земель после добычи полезных ископаемых.

Анализ, обобщение и систематизация литературных данных свидетельствует о том, что названная проблема в Дальневосточном федеральном округе слабо изучена, имеется лишь небольшой опыт. В связи с этим цель исследования состояла в проведении рекультивации нарушенных горными работами земель с использованием методов биоремедиации (применением потенциала биологических систем) и определении почвенно-экологической эффективности мероприятий по этапам рекультивации для оценки возможности воссоздания защитных функций лесных участков.



Район работ и методы исследования

Исследования по названной проблеме проведены в течение более чем 30 лет на горных предприятиях Хабаровского и Приморского краев, Амурской и Сахалинской областей Дальневосточного федерального округа.

В качестве методологической основы исследований послужило учение академика В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере [13], а также основные положения, изложенные в Программе и методике изучения техногенных биогеоценозов Б.П. Колесникова и Л.В. Моториной [14]. При реализации программы используются эколого-лесоводственные и лесоводственно-таксационные методы, геоботанические, геоморфологические, ГИС-технологии и методы дистанционного зондирования Земли, а также комплексный ландшафтно-экологический подход и карты растительности. Видовой состав растительности на техногенных объектах изучен маршрутным методом. Нашли применение методы закладки учетных площадок и профилей. Исследования выполнены с учетом методических разработок В.Н. Сукачева, С.В. Зонна, Т.А. Работнова, В.Д. Александровой [15], [16], [17]. В наиболее характерных лесных участках, загрязненных токсичными твердыми отходами горной промышленности и на рекультивированных площадях заложены пробные площади. Высоты измерялись высотомером Suunto, мерной вилкой определен диаметр. Изучены ярусы лесного биогеоценоза: древесный полог, подрост, подлесок, живой напочвенный покров [15]. Заложены ленточные пробные площади, позволяющие учесть групповое расположение деревьев.

На учетных площадках общепринятыми методами исследован видовой состав живого напочвенного покрова. По шкале Друде определено обилие травяной и моховой растительности. Естественное возобновление растительности, как компонента биогеоценоза в техногенных экосистемах, исследовано в соответствии с методическими указаниями В.Н. Сукачева и С.В. Зонна [15]. На модельных пробных площадях проведено изучение естественного зарастания отвалов по известным в геоботанике методам с акцентом на количественные методы учета.

Одновременно с изучением условий естественного возобновления растений на лесных участках, загрязненных токсичными твердыми отходами горной промышленности и продуктивности на различных этапах развития фитоценозов, исследовано формирование техногенных почв, в соответствии с методическими указаниями С.В. Зонна [18], В.А. Андроханова и В.М. Курачева [6].

Анализ образцов почв на содержание соединений тяжелых токсичных металлов и мышьяка проведен в Центре коллективного пользования методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе ICP-MS ELASN DRC II PerkinElmer.

Осуществлен патентный поиск. Поиск охранных документов по всем базам данных для всех стран проведён на глубину не менее 20 лет.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием компьютерных пакетов программ EXCEL 2007.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе разработанных принципов В.А. Андрохановым и В.М. Курачевым [6] и наших собственных исследований [7], [8], [19], [20] и т.д. нами предложено следующее определение понятию почвенно-экологической эффективности рекультивации как оценка успешности воссоздания продуктивности нарушенных горным производством земель, основанная на сравнении свойств почвы (плодородие, структура, водно-физические свойства и др.) и экосистемных функций (самоочищение, биоразнообразие) до и после мероприятий. Она определяет эффективность проведения ее технического и биологического этапов.

В результате многолетних исследований проблемы обоснования мероприятий по воссозданию защитных и лесохозяйственных функций на лесных участках путем рекультивации земель после выполнения геологического изучения недр и освоения полезных ископаемых выявлено, что почвенно-экологическая эффективность самозарастания нарушенных освоением минерального сырья, оцениваемая по характеру новообразованного почвенного покрова и накоплению педогенного органического вещества, — невысокая, а состояние самозарастающих ландшафтов и воссоздание защитных функций лесных участков — неудовлетворительное. Однако известно, что рекультивация нарушенных земель предполагает [21] воссоздание на их месте продуктивных и рационально организованных техногенных ландшафтов. В зависимости от планов дальнейшего их использования они могут преобразоваться в другие близкие к естественным ландшафтам. По мнению И.М. Гаджиева и др. [22], необходимо качественно проводить горнотехнический этап рекультивации и разрабатывать надежные приемы последующего ухода за восстановленными площадями. Рекультивационные мероприятия по воссозданию продуктивности на нарушенных землях в настоящее время проводят, как правило, в три этапа:

Подготовительный этап — обследование нарушенных горными работами земель, определение направления рекультивации, а также составление проекта рекультивации.

Горно-технический этап рекультивации, предусматривающий выполнение мероприятий по подготовке территории к последующему целевому использованию, включающий:

- планировку поверхности (полную и частичную);
- выколачивание и (или) террасирование откосов отвалов и бортов карьерных выемок;
- при необходимости селективное снятие, транспортирование, складирование и нанесение на рекультивируемые земли потенциально плодородных пород (ППП) и плодородного слоя почвы (ПСР);
- ликвидацию последствий геоморфологических изменений рельефа и проведение противоэрозионных мероприятий;
- засыпку породой или заполнение водой остаточных карьерных выемок;
- осуществление комплекса мелиоративных мероприятий, направленных на улучшение химических и физических свойств отвалных грунтов, слагающих поверхностный слой рекультивируемых земель (при необходимости);
- строительство дорог и гидротехнических сооружений и др.



Заключительный — биологический этап рекультивации предполагает мероприятия по освоению рекультивируемых земель и формированию растительного покрова согласно поставленной цели рекультивации.

В настоящее время в России разработано достаточно много разнообразных технологий рекультивации, направленных на воссоздание продуктивности на нарушенных горными работами площадях лесных угодий или сельскохозяйственных.

Отечественный и мировой опыт [2], [6], [10], [12] свидетельствует о том, что только проведением комплекса мероприятий, объединенных в единый процесс рекультивационных работ подготовительного, горнотехнического и биологического этапов, достигается наибольшая эффективность рекультивации. В результате под влиянием развития техногенных и гипергенных процессов на поверхности техногенных образований (например, хвостохранилищ) формируется своеобразный почвенный покров, который значительно отличается от зонального, свойственного естественным ландшафтам. При этом почвенно-экологическое состояние техногенных объектов в посттехногенный период преобразования нарушенных площадей, а также эффективность рекультивационных работ могут быть оценены по уровню развития процессов почвообразования, формирования почвенного покрова и лесовосстановления, что показано ниже, на примере проведенных нами исследований в границах ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск»:

3.1. Характеристика растительного покрова (пробные площади, заложенные на рекультивированных участках отвалов золотодобычи ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск»)

Под освоение золотороссыпных месторождений изъяты земли из лесного фонда «Кербинского лесничества» Хабаровского края.

Исследуемая территория относится к Дальневосточному таежному лесному району, среднетаежной подзоне зоны хвойных лесов, характеризующихся преобладанием лиственничников. В 1988 г. здесь была впервые внедрена технология ускоренной рекультивации в санитарно-гигиеническом направлении с использованием почвенных микроорганизмов и гуминовых препаратов. Горнотехнический этап рекультивации состоял в формировании рельефа местности, грубой и чистовой планировке поверхности отвалов золотодобычи. На биологическом этапе был выполнен посев бобово-злаковой травосмеси, с бактеризацией семян культурой почвенных микроорганизмов и поливом посевов гуминовым препаратом [23], [24], [25].

Обследование рекультивированных участков проведено в 1993, 1998, 2011, 2015, 2020 и 2025 гг. (табл. 1).

Установлено, что возобновление, например, на исследуемой площади (с. Главный Стан) характеризовалось преимущественно лиственными породами, из которых преобладает осина, береза плосколистная. Как правило, ее доля была различной: в верхней части участка доля березы достигает 7 единиц, в нижней части увеличивается присутствие древовидных ив и тополя душистого. Лиственница представлена экзemplярами, высотой от 7 до 15 м. Насаждение здоровое, сухой единичный.

Другая пробная площадь заложена на рекультивированном участке в окрестностях села Веселая Горка (табл. 1). По сравнению с предыдущим участком она занимает повышенное положение, Процесс дифференциации древостоя четко выражен, присутствует значительное количество сухостоя. Лиственница в угнетенном состоянии, видимо, не выдерживает затенения березой. Пробная площадь практически примыкает к дороге через поселок Главный Стан. Установлено, что успешно идет возобновление исключительно подростом березы плосколистной, в подлеске — спирея березолистная.

Следующая пробная площадь находится в районе аэропорта «Бриакан». Она характеризуется различной структурой материнских горных пород, вынесенных на поверхность. Для площади характерны магматические горные породы с большой долей кварца и встречаются осадочные горные породы без каменистых включений. На пробной площади сформировался высокосомкнутый фитоценоз 4ББ3ЛЗОс, в подросте ель аянская. В насаждении встречается сухой осины и ив.

Таблица 1 - Общая характеристика рекультивированных площадей Кербинского прииска

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.68.5.1>

Наименование объекта	Состав	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Количество стволов, шт./га	Полнота	Сомкнутость крон	Запас, м ³	Бонитет
2020 год									
Т. 1. Главный Стан, рекульт.	4Ос3Бб2 Ол1Л	32	9,3	10,9	2256	0,6	0,9	105	I
Т. 2. Веселая Горка, рекульт.	6Ол3Бб1 Ос	32	7,8	6,1	1392	0,5	0,8	25	IV
Т. 3. Бриакан, рекульт.	4ББ3ЛЗО с	32	13,6	5,7	1904	0,7	0,9	113	I
Т. 4. Бриакан, нерекульт.	5Ос3Бб2 Л	28	7	3,5	2736	0,7	0,9	22	IV
2014 год									
Т. 1. Впадение	8Ол1Ос1	26	8,5	8,6	1860	0,6	0,8	30	III



Наименование объекта	Состав	Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Количество стволов, шт./га	Полнота	Сомкнутость крон	Запас, м ³	Бонитет
р. Халок в р. Керби вдоль правого берега	Бб								
Т. 3. Рекульт. площадь, правый берег р. Бриакан	7Ол3Ив	26	6,7	7,1	2180	0,7	0,8	29	IV
Т. 5. Гореловская протока (впадение в р. Керби)	4Ол4Чм1 Бб1Ив	-	7,4	8,2	1840	0,7	0,8	29	III
Т. 6. У моста через р. Гонгрэн	4Ол4Ив1 Бб1Л	-	4,3	3,3	1612	0,8	0,9	19	V
Т. 7. П. Главный Стан, рекульт. участок	8Ол1Т1Ч м	26	9,8	10,5	2160	0,9	0,9	66	III
Т. 8. Веселая горка, биол. рекульт.	8Бб2Ив	26	11	8,2	2560	0,7	0,8	90	II
Т. 9. Бриакан (окраина) у сгоревшей шлихообогатительной установки	5Бб2Л1Т 1Ол1Ив	-	6,9	5,8	2440	0,7	0,8	79	IV
2011 год									
Главный стан, рекультив.	5Ив4Бб1 Ос	21	4,4	2,8	4200	0,8	0,9	19	V
Веселая горка, рекульт.	4Ос3Бб2 Ив1Л	21	7,5	4,1	3420	0,7	0,8	69	III
Нерекульт. район аэропорта	4Бб2Т2Л 1Ос1Ив	-	4,4	2,3	3620	0,8	0,9	45	V

Примечание: Ос – осина, Бб – береза белая, Ол – ольха, Л – лиственница, Ив – ивы, Т – тополь, Чм – чермуха Маака

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о том, что внедрение наиболее прогрессивного ускоренного способа рекультивации площадей, нарушенных в процессе золотодобычи, способствует активизации процесса возобновления лесной растительности и формированию сложных многовидовых сообществ (рис. 1).



Рисунок 1 - Современное состояние рекультивированной территории Кербинского прииска вблизи с. Главный Стан
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.68.5.2>

Преобладающей породой является береза плосколистная. В зависимости от почвенно-грунтовых условий, экспозиции склона, местоположения в составе насаждений участвуют лиственница даурская, осина, ольха, ива, тополь и кустарники. На всех пробных площадях высокая сомкнутость крон лиственных пород способствовала угнетению деревьев лиственницы даурской. В напочвенном покрове учтены — осоки с участием тысячелистника, вейника, одуванчика, клевера ползучего, лютика и гравилата.

По результатам обследования сделан вывод о целесообразности внедрения ускоренного метода рекультивации техногенных образований, образующихся после разработки золотороссыпей. На рекультивированных участках, как Корфовского каменного карьера, так и Кербинского золотодобывающего прииска восстановилась лесная растительность с участием местных древесно-кустарниковых пород и травянистой растительности (рис. 2).

С учетом изменения состояния лесной растительности под влиянием различных факторов, желательно проведение мониторинга на опытных объектах рекультивированных с применением различных инновационных технологий (рис. 2).



Рисунок 2 - Современное состояние рекультивированного участка Кербинского лесничества в 1988 году с использованием почвенных микроорганизмов и гуминовых препаратов
DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.68.5.3>

3.2. Характеристика почвенного покрова на пробных площадях, заложенных на рекультивированных участках ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск» (лесничество Кербинское, Хабаровский край)

Изучение процесса формирования почв на исследуемых рекультивированных участках показало, что роль живых организмов в постепенном развитии почвенного покрова очень велика. Несомненное влияние на его состояние оказывает состав горных пород, влияние рельефа, время почвообразования.

В классификационном отношении здесь выявлена группа эмбриоземов (молодых почв), представленная эмбриоземами инициальными (43%) и эмбриоземами органо-аккумулятивными (57%).

Ниже дано морфологическое описание преобладающих по площади эмбриоземов инициальных.

Эмбриозем инициальный

С1 0–4 см — Светло-серой окраски, сухой, бесструктурный, рыхлый. Преимущественно состоит из обломков пород 0,3–1 см в диаметре. Переход заметный по размеру камней и плотности. Корни растений. Переход постепенный по цвету.

С2 4–23 см — Серо-бурый, влажный, среднесуглинистый, бесструктурный, плотный. Содержание каменистых фракций — более 45%. Переход заметный по размеру камней и плотности. Граница волнистая.

С3 23–40 см — Серой окраски, свежий, бесструктурный, очень плотный. Содержание каменистых фракций — более 80%. Преимущественно состоит из обломков пород от 5 см в диаметре.

В таблице 2 представлены основные физико-химические показатели эмбриозема инициального.

Таблица 2 - Основные физико-химические показатели эмбриозема инициального в границах влияния ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск»

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.68.5.4>

Образец	С, %	Гумус, %	pH водный	ЕКО мг-экв на 100 г
С ₁ 0-4 см	0,37	0,92	4,75	6,4
С ₂ 4-23 см	0,23	0,87	6,33	3,8
С ₃ 23-40 см	0,15	0,65	6,54	3,2

Эмбриоземы инициальные характеризуются отсутствием биогенного горизонта, как эволюционно молодой тип почв, имеющие примитивный профиль, обусловленный недостаточной интенсивностью преобразования субстрата, вследствие отсутствия или слабого развития на его поверхности биоценозов. Здесь, как правило, формируется биогеоценоз, длительность которого зависит от свойств субстрата отвала и его рельефа. При неблагоприятных условиях почвообразования (высокая каменистость, инсоляция поверхности, техногенное загрязнение и др.) этот тип эмбриозема может сохраняться долго.

Следующей стадией развития почв на рекультивированных техногенных образованиях являются эмбриоземы органо-аккумулятивные, в которых профиль еще не дифференцирован, но на поверхности формирующейся почвы уже присутствует типодиагностический горизонт, представляющий собой слой неразложившейся подстилки. Смена сукцессии обуславливает смену биогеоценоза, при которой формируется экосистема с простой растительностью. Выявлено, что в зависимости от природно-климатических и почвенно-экологических условий, смена сукцессии и



переход в более сложную стадию может не произойти, тогда развитие эмбриоземов и биогеоценоза в целом остановится на органо-аккумулятивной стадии.

Эмбриоземы органо-аккумулятивные

A_0 0–3 см — Лесная подстилка представлена неразложившимися и среднеразложившимися растительными остатками темно-коричневой окраски, сухая. Каменность высокая. Много корней. Переход ясный по цвету. Граница слаболопастая.

C_1 3–17 см — Бурой окраски, свежий, среднесуглинистый, слабовыраженной комковатой структуры, рыхлый. Камни — 70%. Пронизан мелкими корнями. Переход постепенный по количеству корней и плотности.

C_2 17–40 см — Светло-бурой окраски, свежий, среднесуглинистый, бесструктурный, уплотнен. Встречаются единично корни.

Таким образом, эмбриозем инициальный характеризуется отсутствием типодиагностического горизонта и его морфологический профиль представлен только горизонтами C , которые отличаются разной степенью преобразованности почвообразующими процессами.

Эмбриозем органо-аккумулятивный, преобладающий по площади, характеризуется наличием в морфологическом профиле горизонта A_0 — лесной подстилки под лесной растительностью, возможно войлока под травянистыми растениями. Формула профиля — A_0-C . Горизонт A_0 характеризуется определенными экологическими функциями, очень важными, а именно: газо- и тепло-регулирующими. Здесь уже идет процесс накопления органического вещества, что способствует дальнейшему развитию этого типа техногенных почв. Некоторому торможению биологического освоения субстрата рекультивированного отвала способствуют неоднородность гранулометрического состава и наличие крупнообломочного материала в корнеобитаемом слое. Однако, как показали наши исследования, уровень функционирования молодых почв на рекультивированных площадях, созданных с использованием биоремедиации (потенциала биологических систем), позволяет воссоздать довольно значительную продукцию фитоценозов, значительно преобразовывать субстрат. Сформированные на рекультивированных площадях эмбриоземы в полной мере реализуют восстановительно-биосферную функцию [26], [27]. Эмбриоземы, например, в 23-летнем возрасте устойчиво выполняют главные экосистемные функции: в сочетании с задержанием, способствуют снижению интенсивности денудационных процессов и усиливают преобразование техногенных субстратов (литосферная функция).

Проведенные исследования показали, что на исследуемом участке инициальный эмбриозем характеризуется минимальным содержанием педогенного углерода. Оценивая его распределение по профилю, можно отметить незначительное увеличение в верхнем 4-сантиметровом слое, в то время как ниже по профилю содержание $C_{\text{пед}}$ практически уменьшается (табл. 3).

Таблица 3 - Основные физико-химические показатели эмбриозема органо-аккумулятивного в границах влияния ликвидированного горного предприятия «Кербинский прииск»

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2026.68.5.5>

Образец, мощность горизонта, см	C , %	Гумус, %	pH водный	ЕКО мг-экв на 100 г
A_0 0-3 см	0,77	1,34	5,25	20,4
C_1 3-17 см	0,43	0,87	5,8 3	19,8
C_2 17-40 см	0,25	0,65	6,14	18,5

В эмбриоземе органо-аккумулятивном в верхнем 3 см слое и ниже по профилю выявлено увеличение органического углерода по сравнению с эмбриоземом инициальным (табл. 2). С глубиной происходит его снижение (табл. 3). Подобная дифференциация свидетельствует о том, что для эмбриоземов исследуемого района свойственно незначительное содержание углерода, способного участвовать в биохимических процессах. Очевидно, что по мере развития фитоценоза происходит увеличение поступления органических веществ в субстрат отвала. В то же время в большей части виды микробоценоза, ответственные за деструкцию в техногенных почвах, развиты слабо. Поэтому значительная часть растительных остатков остается несколько лет в виде подстилки, в слабоизмененном состоянии, формируя органо-аккумулятивный горизонт (A_0) на поверхности субстрата.

Реакция почвенного раствора изученных эмбриоземов в основном кислая до слабокислой и изменяется от 4,75 до 6,54 (табл. 2). Вниз по профилю происходит увеличение значений pH — до 6,54 в инициальном, а в органо-аккумулятивном — до 6,14. Изменение pH, в свою очередь, влияет на жизнедеятельность микроорганизмов, активизируя одни группы и подавляя другие. От концентрации ионов водорода зависит уровень, например, ферментативной активности почвы, связанной с микробиологическими процессами. В результате этих процессов происходит изменение соотношения скоростей минерализации и гумификации растительного материала и, как следствие, темпы гумусонакопления.

Анализируя распределение показателя емкости катионного обмена почв (ЕКО, мг-экв/на 100 г.), необходимо отметить, что он также снижается вниз по профилю.

Таким образом, формула профиля органо-аккумулятивного эмбриозема — A_0-C . В профиле сформировался горизонт A_0 . В почвенно-экологическом понимании горизонт A_0 обладает определенными экологическими и защитными функциями, важными из которых являются противоэрозионные, а также газо- и тепло-регулирующие функции. Здесь отмечается уже накопление органического вещества.



На основе разработанных В.А. Андрохановым и В.М. Курачевым [6] принципов и метода оценки почвенно-экологической эффективности технологии рекультивации (ПЭР), нарушенных освоением россыпной золотодобычи земель, а также наших собственных исследований, выполнен ее расчет. В качестве сравнения использованы материалы исследования по участку рекультивации, проведенной по аналогичной технологии, где получен самый высокий показатель ПЭР — 49 баллов, что свидетельствует о хорошем почвенно-экологическом состоянии участка. В исследуемом районе (в границах влияния «Кербинского прииска») его величина составляет 32 балла, т.е. состояние рекультивированного участка удовлетворительное.

Заключение

Исследования по внедрению ускоренной технологии рекультивации нарушенных освоением золотороссыпных месторождений земель с использованием потенциала биологических систем (микроорганизмов и гуминовых препаратов), направленная на воссоздание их продуктивности, позволяет ускорить детоксикацию, способствует повышению плодородия, при этом микроорганизмы восстанавливают микробиоценоз, что в комплексе значительно сокращает сроки восстановления нарушенных земель, загрязненных соединениями тяжелых металлов. Действующие как сорбенты и стимуляторы гуминовые препараты ускоряют сроки рекультивации по сравнению с традиционными методами. Выявлена возможность восстановления защитных и лесохозяйственных функций лесных насаждений путем ускоренной рекультивации.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Стратегия социально-экономического развития Хабаровского края на период до 2030 года : [утверждена постановлением Правительства Хабаровского края от 13 июня 2018 г. № 215-пр (ред. от 22 декабря 2025 г. № 568-пр)]. — Хабаровск, 2018. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/465353006> (дата обращения: 06.02.2026).
2. Прогноз социально-экономического развития Хабаровского края на 2026 год и на плановый период 2027-2028 годов : [одобрен Правительством Хабаровского края 3 октября 2025 г.]. — Хабаровск, 2025. — URL: https://duma.khv.ru/Monitoring5/файл/3003988/Прогноз_социально_экономического_развития_Хабаровского_края_2026_2028гг-PDF (дата обращения: 06.02.2026).
3. Гавриловская М.А. Оценка эффективности рекультивации нарушенных земель (экосистемный подход) : автореф. дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / М.А. Гавриловская. — Екатеринбург, 2007. — 28 с.
4. Игнатъева М.Н. Методическое обеспечение оценки эффективности рекультивационных работ в России: специфика развития / М.Н. Игнатъева, В.В. Юрак, А.В. Душин [и др.] // ЭКО. — 2023. — № 8 (590). — С. 172–192. — DOI: 10.30680/ЕСО0131-7652-2023-8-172-192.
5. Миков Л.С. Оценка эффективности рекультивации на участках разреза «Назаровский» с помощью данных дистанционного зондирования / Л.С. Миков, Е.Л. Счастливец, В.А. Андроханов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. — № 1. — С. 70–83. — DOI: 10.25018/0236_1493_2023_1_0_70.
6. Андроханов В.А. Принципы оценки почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов / В.А. Андроханов, В.М. Курачев // Сибирский экологический журнал. — 2009. — Т. 16. — № 2. — С. 165–169.
7. Крупская Л.Т. Рекультивация поверхности хвостохранилищ путем внесения биоремедианта для создания лесосырьевых плантаций в Дальневосточном федеральном округе / Л.Т. Крупская, М.Ю. Филатова, А.В. Леоненко // Экология и промышленность России. — 2025. — Т. 29. — № 7. — С. 46–51.
8. Крупская Л.Т. Лесная рекультивация земель и плантационное лесовыращивание в стратегии развития дальневосточного федерального округа / Л.Т. Крупская, М.Ю. Филатова, И.В. Шугалей [и др.] // Экологическая химия. — 2024. — Т. 33. — № 1. — С. 41–47.
9. Shidong Wang. Quality Evaluation of Land Reclamation in Mining Area Based on Remote Sensing / Shidong Wang, Jianhua Guo, Yang Yu [et al.] // International Journal of Coal Science & Technology. — 2023. — Vol. 10. — № 43. — P. 10–43. — DOI: 10.1007/s40789-023-00601-9.
10. Végsová O. Methodological Framework for Evaluating Quarry Reclamation Based on the Reclamation Quality Index / O. Végsová, J. Glova // Land. — 2025. — Vol. 14. — № 8. — P. 15–57. — DOI: 10.3390/land14081557.
11. Pinno B.D. Temporal Trends of Ecosystem Development on Different Site Types in Reclaimed Boreal Forests / B.D. Pinno, V.C. Hawkes // Forests. — 2015. — Vol. 6. — № 6. — P. 2109–2124. — DOI: 10.3390/f6062109.
12. Darko E. Mining Site Reclamation in Ghana: A Comparative Assessment of Vegetation Dynamics / E. Darko, C. Afriyie-Debrah, A.K. Anning [et al.] // Environmental Reports. — 2026. — Vol. 7. — № 2. — P. 276–282. — DOI: 10.51470/ER.2025.7.2.276.
13. Вернадский В.И. Биосфера / В.И. Вернадский. — Москва : Мысль, 1967. — 287 с.
14. Колесников Б.П. Методы изучения биогеоценозов в техногенных ландшафтах / Б.П. Колесников, Л.В. Моторина // Программа и методика изучения техногенных биогеоценозов. — Москва : Наука, 1978. — С. 5–21.



15. Сукачёв В.Н. Общие принципы и программа изучения типов леса / В.Н. Сукачёв, С.В. Зонн // Методические указания к изучению типов леса. — 2-е изд. — Москва : Издательство Академии наук СССР, 1961. — С. 9–75.
16. Работнов Т.А. Фитоценология : учебное пособие для биологических факультетов вузов / Т.А. Работнов. — Москва : Издательство Московского университета, 1978. — 384 с.
17. Александрова В.Д. Изучение смен растительного покрова / В.Д. Александрова. — Москва; Ленинград : Наука, 1964. — С. 300–447.
18. Зонн С.В. Изучение почвы как компонента биогеоценоза / С.В. Зонн // Программа и методика биогеоценологических исследований. — Москва : Наука, 1974. — С. 215–232.
19. Крупская Л.Т. Состав для рекультивации поверхности хвостохранилищ, содержащих токсичные отходы переработки минерального сырья : пат. 2783893 РФ, МПК51 В09С 1/00, С09К 3/22, А62D 3/00 / Л.Т. Крупская, Н.А. Леоненко, А.В. Леоненко [и др.]; заявитель и патентообладатель Тихоокеанский государственный университет, Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства. — № 2021129031; заявл. 2021-10-04; опубл. 2022-11-21. — 9 с.
20. Филатова М.Ю. Ускоренный способ формирования корнеобитаемого слоя на поверхности хвостохранилища с использованием биопрепаратов : пат. 2823782 РФ, МПК51 А01В 79/02, В09С 1/00 / М.Ю. Филатова, Л.Т. Крупская, А.М. Орлов [и др.]; заявитель и патентообладатель Тихоокеанский государственный университет, Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства. — № 2023116253; заявл. 2023-06-20; опубл. 2024-07-30. — 9 с.
21. Глазырина М.А. Восстановление растительности на террикониках Челябинского бурогольного бассейна / М.А. Глазырина, Т.С. Чибрик, Е.И. Филимонова [и др.] // Проблемы экологии Южного Урала : сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. — 2019. — С. 76–80.
22. Гаджиев И.М. Стратегия и перспективы решения проблем рекультивации нарушенных земель / И.М. Гаджиев, В.М. Курачев, В.А. Андроханов. — Новосибирск : ЦЭРИС, 2001. — 37 с.
23. Gul L.P. The restoration of the Far Eastern forests in modern conditions and their effective use / L.P. Gul, L.T. Krupskaya, D.A. Golubev [et al.] // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2019. — Vol. 316. — № 1. — P. 12–20. — DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012008.
24. Крупская Л.Т. К вопросу о биологической рекультивации нарушенных земель на Корфовском каменном карьере / Л.Т. Крупская // Проблемы рекультивации нарушенных земель : материалы V Уральского совещания. — Свердловск, 1988. — С. 87–89.
25. Крупская Л.Т. Временная инструкция по применению технологии ускоренной рекультивации нарушенных земель без нанесения плодородного слоя почвы с использованием препарата гуминовых кислот и активных штаммов микроорганизмов в Приморье и Приамурье / Л.Т. Крупская, Л.П. Красавин, А.Н. Хорошавин [и др.]. — Владивосток, 1990. — 12 с.
26. Крупская Л.Т. О проблемах мониторинга состояния экосистем в районах золотодобычи на юге Дальнего Востока / Л.Т. Крупская, Ю.А. Мамаев, З.И. Никитина [и др.] // Экологические системы и приборы. — 2000. — № 10. — С. 2–5.
27. Крупская Л.Т. Особенности экологического мониторинга изменения экосистем под воздействием отходов золото- и оловодобычи в Дальневосточном федеральном округе / Л.Т. Крупская, В.П. Зверева, М.Б. Бубнова [и др.] // Экологическая химия. — 2014. — Т. 23. — № 3. — С. 125–134.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Strategiya social'no-ehkonomicheskogo razvitiya Khabarovskogo kraja na period do 2030 goda [Strategy for Socio-Economic Development of Khabarovsk Krai for the Period up to 2030] : [approved by Decree of the Government of Khabarovsk Krai of June 13, 2018 № 215-pr (as amended on December 22, 2025 № 568-pr)]. — Khabarovsk, 2018. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/465353006> (accessed: 06.02.2026). [in Russian]
2. Prognoz social'no-ehkonomicheskogo razvitiya Khabarovskogo kraja na 2026 god i na planovyy period 2027-2028 godov [Forecast of Socio-Economic Development of Khabarovsk Krai for 2026 and for the Planning Period 2027-2028] : [approved by the Government of Khabarovsk Krai on October 3, 2025]. — Khabarovsk, 2025. — URL: https://duma.khv.ru/Monitoring5/файл/3003988/Прогноз_социально_экономического_развития_Хабаровского_края_2026_2028гг-PDF (accessed: 06.02.2026). [in Russian]
3. Gavrilovskaya M.A. Ocenka ehffektivnosti rekul'tivacii narushennykh zemel' (ehkosistemnyy podkhod) [Assessment of the Effectiveness of Disturbed Land Reclamation (Ecosystem Approach)] : abst. of the dis. ... of PhD in Economic Sciences : 08.00.05 / M.A. Gavrilovskaya. — Ekaterinburg, 2007. — 28 p. [in Russian]
4. Ignatieva M.N. Metodicheskoe obespechenie ocenki ehffektivnosti rekul'tivacionnykh rabot v Rossii: specifika razvitiya [Guidelines for Evaluating the Effectiveness of Reclamation Work in Russia: Specific Features of Development] / M.N. Ignatieva, V.V. Yurak, A.V. Dushin [et al.] // EKO [ECO]. — 2023. — № 8 (590). — P. 172–192. — DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2023-8-172-192. [in Russian]
5. Mikov L.S. Ocenka ehffektivnosti rekul'tivacii na uchastkakh razreza "Nazarovskij" s pomoshch'yu dannykh distancionnogo zondirovaniya [Reclamation Efficiency Assessment at Nazarovo Open Pit Mine Using Remote Sensing] / L.S. Mikov, E.L. Schastlivcev, V.A. Androkhanov // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' [Mining Informational and Analytical Bulletin]. — 2023. — № 1. — P. 70–83. — DOI: 10.25018/0236_1493_2023_1_0_70. [in Russian]
6. Androkhanov V.A. Principy ocenki pochvenno-ehkologicheskogo sostoyaniya tekhnogennykh landshaftov [Principles of the Evaluation of Soil-Ecological State of Technogenic Landscapes] / V.A. Androkhanov, V.M. Kurachev // Sibirskij ehkologicheskij zhurnal [Siberian Ecological Journal]. — 2009. — Vol. 16. — № 2. — P. 165–169. [in Russian]



7. Krupskaya L.T. Rekul'tivaciya poverkhnosti khvostokhranilishch putem vneseniya bioremedianta dlya sozdaniya lesosyr'evykh plantacij v Dal'nevostochnom federal'nom okruge [Surface Reclamation of Tailing Dumps by Bioremediant Application for Creation of Forest Plantations in the Far Eastern Federal District] / L.T. Krupskaya, M.Yu. Filatova, A.V. Leonenko // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia]. — 2025. — Vol. 29. — № 7. — P. 46–51. [in Russian]
8. Krupskaya L.T. Lesnaya rekul'tivaciya zemel' i plantacionnoe lesovyrashchivanie v strategii razvitiya dal'nevostochnogo federal'nogo okruga [Forest Land Reclamation and Plantation Reforestation in the Development Strategy of the Far Eastern Federal District] / L.T. Krupskaya, M.Yu. Filatova, I.V. Shugaley [et al.] // *Ehkologicheskaya khimiya* [Ecological Chemistry]. — 2024. — Vol. 33. — № 1. — P. 41–47. [in Russian]
9. Shidong Wang. Quality Evaluation of Land Reclamation in Mining Area Based on Remote Sensing / Shidong Wang, Jianhua Guo, Yang Yu [et al.] // *International Journal of Coal Science & Technology*. — 2023. — Vol. 10. — № 43. — P. 10–43. — DOI: 10.1007/s40789-023-00601-9.
10. Végsöová O. Methodological Framework for Evaluating Quarry Reclamation Based on the Reclamation Quality Index / O. Végsöová, J. Glova // *Land*. — 2025. — Vol. 14. — № 8. — P. 15–57. — DOI: 10.3390/land14081557.
11. Pinno B.D. Temporal Trends of Ecosystem Development on Different Site Types in Reclaimed Boreal Forests / B.D. Pinno, V.C. Hawkes // *Forests*. — 2015. — Vol. 6. — № 6. — P. 2109–2124. — DOI: 10.3390/f6062109.
12. Darko E. Mining Site Reclamation in Ghana: A Comparative Assessment of Vegetation Dynamics / E. Darko, C. Afriyie-Debrah, A.K. Anning [et al.] // *Environmental Reports*. — 2026. — Vol. 7. — № 2. — P. 276–282. — DOI: 10.51470/ER.2025.7.2.276.
13. Vernadsky V.I. Biosfera [Biosphere] / V.I. Vernadsky. — Moscow : Mysl', 1967. — 287 p. [in Russian]
14. Kolesnikov B.P. Metody izucheniya biogeocenzov v tekhnogennykh landshaftakh [Methods for Studying Biogeocenoses in Technogenic Landscapes] / B.P. Kolesnikov, L.V. Motorina // *Programma i metodika izucheniya tekhnogennykh biogeocenzov* [Program and Methods for Studying Technogenic Biogeocenoses]. — Moscow : Nauka, 1978. — P. 5–21. [in Russian]
15. Sukachyov V.N. Obshchie principy i programma izucheniya tipov lesa [General Principles and Program for Studying Forest Types] / V.N. Sukachyov, S.V. Zonn // *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Methodological Guidelines for Studying Forest Types]. — 2nd edition. — Moscow : Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1961. — P. 9–75. [in Russian]
16. Rabotnov T.A. Fitocenologiya [Phytocenology] : textbook for biological faculties of universities / T.A. Rabotnov. — Moscow : Moscow University Publishing House, 1978. — 384 p. [in Russian]
17. Aleksandrova V.D. Izuchenie smen rastitel'nogo pokrova [Study of Vegetation Cover Changes] / V.D. Aleksandrova. — Moscow; Leningrad : Nauka, 1964. — P. 300–447. [in Russian]
18. Zonn S.V. Izuchenie pochvy kak komponenta biogeocenoza [Study of Soil as a Component of Biogeocenosis] / S.V. Zonn // *Programma i metodika biogeocenzologicheskikh issledovaniy* [Program and Methods of Biogeocenological Research]. — Moscow : Nauka, 1974. — P. 215–232. [in Russian]
19. Krupskaya L.T. Sostav dlya rekul'tivacii poverkhnosti khvostokhranilishch, sodержashchikh toksichnye otkhody pererabotki mineral'nogo syr'ya [Composition for Recultivation of the Surface of Tailings Dumps Containing Toxic Waste from Processing of Mineral Raw Materials] : pat. 2783893 Russian Federation, IPC51 B09C 1/00, C09K 3/22, A62D 3/00 / L.T. Krupskaya, N.A. Leonenko, A.V. Leonenko [et al.]; the applicant and the patentee Pacific National University, Far Eastern Research Institute of Forestry. — № 2021129031; appl. 2021-10-04; publ. 2022-11-21. — 9 p. [in Russian]
20. Filatova M.Yu. Uskorennyj sposob formirovaniya korneobitaemogo sloya na poverkhnosti khvostokhranilishcha s ispol'zovaniem biopreparatov [Accelerated Method of Forming Root Layer on Surface of Tailing Dump Using Biopreparations] : pat. 2823782 Russian Federation, IPC51 A01B 79/02, B09C 1/00 / M.Yu. Filatova, L.T. Krupskaya, A.M. Orlov [et al.]; the applicant and the patentee Pacific National University, Far Eastern Research Institute of Forestry. — № 2023116253; appl. 2023-06-20; publ. 2024-07-30. — 9 p. [in Russian]
21. Glazyrina M.A. Vosstanovlenie rastitel'nosti na terrikonikakh Chelyabinskogo burougol'nogo bassejna [Vegetation Restoration on the Waste Heaps of the Chelyabinsk Brown Coal Basin] / M.A. Glazyrina, T.S. Chibrik, E.I. Filimonova [et al.] // *Problemy ehkologii Yuzhnogo Urala* [Problems of Ecology of the Southern Urals] : collection of materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. — 2019. — P. 76–80. [in Russian]
22. Gadzhiev I.M. Strategiya i perspektivy resheniya problem rekul'tivacii narushennykh zemel' [Strategy and Prospects for Solving the Problems of Disturbed Land Reclamation] / I.M. Gadzhiev, V.M. Kurachev, V.A. Androkanov. — Novosibirsk : TSARIS, 2001. — 37 p. [in Russian]
23. Gul L.P. The restoration of the Far Eastern forests in modern conditions and their effective use / L.P. Gul, L.T. Krupskaya, D.A. Golubev [et al.] // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. — 2019. — Vol. 316. — № 1. — P. 12–20. — DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012008.
24. Krupskaya L.T. K voprosu o biologicheskoy rekul'tivacii narushennykh zemel' na Korfovskom kamennom kar'ere [On the Issue of Biological Reclamation of Disturbed Lands at the Korfovsky Stone Quarry] / L.T. Krupskaya // *Problemy rekul'tivacii narushennykh zemel'* [Problems of Disturbed Land Reclamation] : materials of the V Ural Meeting. — Sverdlovsk, 1988. — P. 87–89. [in Russian]
25. Krupskaya L.T. Vremennaya instrukciya po primeneniyu tekhnologii uskorennoj rekul'tivacii narushennykh zemel' bez naneseniya plodorodnogo sloya pochvy s ispol'zovaniem preparata guminovykh kislot i aktivnykh shtammov mikroorganizmov v Primor'e i Priamur'e [Temporary Instruction on the Application of Technology for Accelerated Reclamation of Disturbed Lands Without Applying a Fertile Soil Layer Using a Preparation of Humic Acids and Active Strains of Microorganisms in Primorye and Amur Region] / L.T. Krupskaya, L.P. Krasavin, A.N. Khoroshavin [et al.]. — Vladivostok, 1990. — 12 p. [in Russian]



26. Krupskaya L.T. O problemakh monitoringa sostoyaniya ehkosistem v rajonakh zolotodobychi na yuge Dal'nego Vostoka [On the Problems of Monitoring the State of Ecosystems in Gold Mining Areas in the South of the Far East] / L.T. Krupskaya, Yu.A. Mamaev, Z.I. Nikitina [et al.] // Ehkologicheskie sistemy i pribory [Ecological Systems and Devices]. — 2000. — № 10. — P. 2–5. [in Russian]

27. Krupskaya L.T. Osobennosti ehkologicheskogo monitoringa izmeneniya ehkosistem pod vozdeystviem otkhodov zoloto- i olovodobychi v Dal'nevostochnom federal'nom okruge [Features of Environmental Monitoring of Ecosystem Changes under the Influence of Gold and Tin Mining Waste in the Far Eastern Federal District] / L.T. Krupskaya, V.P. Zvereva, M.B. Bubnova [et al.] // Ehkologicheskaya khimiya [Ecological Chemistry]. — 2014. — Vol. 23. — № 3. — P. 125–134. [in Russian]