

## Раздел 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Обзорная статья

 УДК 631.47<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-49-56> <https://elibrary.ru/lqxoор>

## Теория и практика рекультивации нарушенных земель

Владимир Алексеевич Андроханов ✉

Институт почвоведения агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия

✉ [androhanov@issa-siberia.ru](mailto:androhanov@issa-siberia.ru)

**Аннотация.** С проблемами восстановления нарушенных земель сталкиваются практически во всех промышленно развитых регионах в России и зарубежом. Это связано с тем, что антропогенное воздействие на естественные экосистемы, ландшафты достигло такого уровня, что на больших площадях образуются новые, техногенно сформированные ландшафты, которые коренным образом (рельеф, состав пород, режимы функционирования) отличаются от естественных, природных ландшафтов, ранее существовавших на этих территориях. В настоящее время накоплен определенный опыт по рекультивации нарушенных земель. В различных регионах для восстановления нарушенных земель и снижения негативных последствий от разрушения естественных ландшафтов разработаны и применяются на практике достаточно разнообразные методы, способы, технологии рекультивации, которые должны учитывать специфику природно-техногенных условий восстановления нарушенных участков. Поэтому для выявления наиболее успешных и приемлемых направлений рекультивации и расчета ее эффективности необходимо теоретическое обобщение полученного многолетнего опыта и оценка результатов выполненных рекультивационных мероприятий.

**Ключевые слова:** рекультивация, эффективность, ландшафты, почва, растительность, экосистемы

**Для цитирования:** Андроханов В.А. Теория и практика рекультивации нарушенных земель // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2026. Т. 12. № 1. С. 49–56. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-49-56>. EDN LQXOOR.

## Section 2. POLLUTION

Review Paper

## Theory and practice of reclamation of disturbed lands

Vladimir A. Androkhanov ✉

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

Institute of Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

✉ [androhanov@issa-siberia.ru](mailto:androhanov@issa-siberia.ru)

**Abstract.** Problems with the restoration of disturbed lands are encountered in virtually all industrialized regions in Russia and abroad. This is due to the fact that anthropogenic impact on natural ecosystems and landscapes has reached such a level that new, man-made landscapes are forming over large areas, radically different in their topography, rock composition, and functioning modes from the natural landscapes that previously existed in these areas. A considerable amount of experience has now been accumulated in the reclamation of disturbed lands. A wide variety of reclamation methods, techniques, and technologies have been developed and applied in various regions to restore disturbed lands and reduce the negative consequences of the destruction of natural landscapes. These methods must take into account the specific natural and man-made conditions for the restoration of disturbed areas. Therefore, in order to identify the most successful and acceptable directions of reclamation and calculate its effectiveness, it is necessary to theoretically generalize the experience gained over many years and evaluate the results of the reclamation measures carried out.

**Keywords:** reclamation, efficiency, landscapes, soil, vegetation, ecosystems

**For citation:** Androkhanov V.A. Theory and practice of reclamation of disturbed lands. *Anthropogenic Transformation of Nature*. 2026. Vol. 12. Iss. 1. P. 49-56. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2026-1-49-56>. EDN LQXOOR. (in Russian)



### Введение

Человечеству для комфортного существования необходимы природные ресурсы. Добыча многих полезных ископаемых вызывает разрушение естественных ландшафтов и существенное негативное воздействие на все компоненты природной среды. По некоторым данным скорость нарушения естественных земель во всем Мире достигает нескольких миллионов гектаров в год (Чмыхалова и др., 2023; Tang et al., 2021). Нарушенные территории образуются практически на всех континентах и в разных природно-экологических условиях. Эти нарушенные участки Земли исключаются из природных круговоротов веществ и энергии и представлены техногенными ландшафтами (ТЛ) со специфическими свойствами и режимами функционирования и в большинстве случаев, не соответствующих данной природной обстановке (Андроханов, Курачев, 2010). При этом масштабы нарушения природной среды, в основном, определяются площадью, химическим составом техногенно нарушенной поверхности и степенью нарушения природных ландшафтов, от этого также во многом зависит и уровень воздействия на прилегающие территории, и возможность эффективного восстановления, и возвращение нарушенных земель в повторное использование (Boukhari et al., 2025; Dacal et al., 2019; Tang, 2017).

В настоящее время в разных странах, в разных компаниях накоплен большой опыт восстановления нарушенных земель на различных видах нарушений, расположенных в различных природно-климатических условиях, характеризующихся различными техногенными условиями восстановления (Куприянов и др., 2025; Santamarina et al., 2019; Werner et al., 2020). В тоже время, проведенные многолетние исследования на техногенно нарушенных ландшафтах показали большую теоретическую значимость работ по восстановлению различных компонентов экосистем и изучению постепенного формирования природно-техногенных ландшафтов<sup>1</sup> (Tang et al., 2021). Это связано с тем, что изучение процессов восстановления разрушенных ландшафтов и экосистем затрагивает интересы множества наук от горного дела, геологии и химии, до биологии, почвоведения, экологии, экономики и некоторых других наук и позволяет получать новую научную информацию по разным направлениям. Поэтому во многих отраслях науки сформировались направления связанные с исследованием специфики техногенных ландшафтов, а также с разработкой и научным обоснованием технологий рекультивации нарушенных земель (Андроханов и др., 2000; Acosta et al., 2018).

### Теоретическая часть

В общеэкологическом плане нарушенные земли, техногенные ландшафты представляют собой разновидность антропогенных ландшафтов, особенности образования которых, обусловлены производственной деятельностью человека. Если обычные антропогенные ландшафты оказываются чаще всего лишь в той или иной степени преобразованными естественными

ландшафтами (например, агроландшафты, осушенные земли), то техногенные – практически полностью (рельеф, состав пород и т.д.) сформированы техническими средствами. Несмотря на многочисленные работы, посвященные исследованию техногенных ландшафтов, вопросы, связанные с теоретическим обоснованием необходимого уровня восстановления нарушенных земель и оптимизации взаимодействия нарушенных территорий с прилегающими экосистемами, остаются весьма актуальными. Это вызвано и тем, что нарушение почв и ландшафтов происходит постоянно, в разных природно-климатических условиях и в результате различного техногенного воздействия. Поэтому ТЛ характеризуются различными параметрами нарушения и разными природно-техногенными условиями восстановления нарушенных территорий, что формирует индивидуальную специфику каждого ТЛ.

Сегодня, по современным требованиям, принято рекультивационные мероприятия проводить индивидуально и комплексно, то есть по каждому объекту разрабатывается свой проект рекультивации, в котором предусмотрено восстановление отдельных компонентов ландшафта для определенного направления и предлагаются способы рекультивации, позволяющие создавать на нарушенных землях территории, местообитания с различными режимами пользования. Это связано ещё с тем, что сформировалось общее понимание, что проблема оптимизации окружающей среды и, в частности, рекультивации нарушенных земель была и остается чрезвычайно важной и одновременно сложной, особенно для промышленных регионов, так как техногенные ландшафты, образованные в результате промышленной деятельности, оказывают многоплановое, отрицательное экологическое воздействие на все компоненты окружающей среды, и вызывают цепь негативных последствий, необратимых и губительных для естественных экосистем.

Большая разнородность, специфика и индивидуальность ТЛ определяет мультидисциплинарность задач рекультивации, которые должны быть направлены на оценку и снижение последствий нарушения, комплексное восстановление основных компонентов природной среды, мониторинг и постепенное исправление экологического дисбаланса на нарушенных и прилегающих территориях. Основные теоретические задачи рекультивации нарушенных почв можно разделить на три группы (рис. 1 / fig. 1).

1. Обследование и диагностика почвенно-экологического состояния (ПЭС), выявление специфики свойств и режимов функционирования ТЛ. В этом направлении, в начале необходимо определить единый алгоритм обследования ТЛ, который предусматривал бы использование определённых методов для получения основных параметров ТЛ, значимых для обоснования направления рекультивации и разработки эффективной технологии рекультивации. При этом под ПЭС понимается способность техногенного местообитания обеспечивать определенный уровень развития

<sup>1</sup> Андроханов В.А. Сингенез почвенно-генетических и биологических процессов в техногенных ландшафтах Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. 2003. Приложение № 7: статьи по материалам межрегионального экологического семинара «Комплексные экологические исследования ландшафтов Сибири» (Томск, сентябрь, 2003). С. 16–23.

биологических и почвообразовательных процессов. И этого определения становится понятным, что ПЭС – это комплексный показатель, характеризующий уровень восстановления растительности и процессов почвообразования на нарушенных землях и основывается на сингенетическом развитии биоты и почв. Чем лучше показатели растительного покрова и почвенные свойства, тем выше уровень ПЭС, тем успешнее

восстанавливается экосистема на нарушенных участках. Тем не менее большинство ТЛ рекультивированных и нерекультивированных сохраняют свою техногенную специфичность очень длительное время, а их состояние и устойчивость во многом определяется уровнем достигнутого ПЭС и направлением, режимом использования рекультивированных территорий (Андроханов, Курачев, 2010).



**Рис. 1. Основные направления работ при выполнении рекультивации**  
**Fig. 1. The main areas of work during reclamation**

2. Это группа научно-практических задач, связанных с разработкой технологий рекультивации и теорией проектирования рекультивационных мероприятий. Решение этой задачи позволяет разработать спектр технологий рекультивации для различных видов нарушений с разным уровнем почвенно-экологической эффективности. При проектировании рекультивационных работ необходимо учитывать комплекс показателей, характеризующих условия выполнения рекультивационных работ и наличие ресурсов рекультивации. Поэтому перед разработкой проекта выполняется предпроектное обследование природно-техногенной обстановки в районе выполнения рекультивационных мероприятий. На основе анализа полученной информации принимается решение о цели и направлении рекультивации, и определяются контрольные показатели эффективности, которые должны быть достигнуты при выполнении рекультивационных работ. При этом могут быть предложены несколько вариантов восстановления с различной эффективностью, которая во многом определяется уровнем использования ресурсов рекультивации. Основные ресурсы рекультивации подразделяются на 3 группы: а) литогенные – это субстраты и материалы, которые используются для формирования рекультивационного слоя; б) климатические – показатели количества тепла и влаги в районе проведения рекультивации; в) материальные – наличие техники, которую можно задействовать для выполнения рекультивации и объем финансирования необходимый для выполнения работ.

В решении этой группы задач есть некоторые достижения. Разработаны рабочие документы, нормативы для крупных компаний, имеются типовые схемы,

например, для нефтедобывающих компаний по ликвидации нефтезагрязнений, ГОСТы, сборники по НДТ (наилучшие доступные технологии) по рекультивации. В целом решение задач по этому направлению позволяет комплексно оценить перспективы восстановления и предложить наиболее оптимальные варианты рекультивации нарушенных земель.

3. Формирование системы мониторинга почвенно-экологического состояния нарушенных земель, в том числе и с использованием дистанционных методов. Главное в этой задаче определение динамики восстановления основных компонентов экосистем и оценка воздействия ТЛ на прилегающие территории. Современные средства ДЗЗ позволяют достаточно оперативно и подробно получать информацию о площади нарушений, рельефе, растительном покрове и общем состоянии поверхности техногенно нарушенных участков. Получение и обработка данных ДЗЗ дает информацию об увеличении площади нарушений, о воздействии на прилегающую территорию, а после окончания техногенного воздействия о начальных этапах восстановления ТЛ<sup>2</sup> (Tang, 2017; Tang et al., 2021). При этом мониторинг развития растительного покрова на техногенно нарушенных участках дает возможность принимать решение о необходимости выполнения рекультивационных работ. При активном естественном восстановлении зональной растительности на нарушенных землях и совпадении цели рекультивации, можно принимать решение об оставлении таких участков под самовосстановление экосистем. Это бывает редко на слабонарушенных территориях и на участках с благоприятными условиями восстановления. Также необходим мониторинг на участках после выполнения

<sup>2</sup> Соколова Н.А. Оценка почвенно-экологического состояния отвалов угольных разрезов дистанционными методами (на примере Горловского антрацитового месторождения): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2023. 27 с.

рекультивационных мероприятий. Во-первых, это позволяет оценить качество выполненных работ и достижение запрокированных показателей эффективности рекультивации. Во-вторых, по прошествии 3-5 лет необходимо оценить устойчивость достигнутых показателей на рекультивированных участках, так как часто на рекультивированных землях, по разным причинам, могут развиваться деграционные процессы, значительно понижающие эффективность выполненных рекультивационных работ.

В целом, решение этих задач позволяет последовательно и комплексно подходить к восстановлению нарушенных земель и в общем-то показывает тесную взаимосвязь различных научных подходов в решении проблем рекультивации техногенно нарушенных земель.

Несмотря на многочисленные исследования по теме восстановления нарушенных земель, само понятие рекультивации остается недостаточно проработанным. В начале формирования этого научного и практического направления в середине XX в. под рекультивацией, чаще всего было принято понимать *«восстановление плодородия ландшафтов до состояния пригодного для сельского и лесного хозяйства или отдыха. Также в начале считалось возможным восстановление до исходного состояния, то есть по принципу, что нарушил то и верни»* (Knabe, 1959). В настоящее время проведенные исследования показали, что при тотальном разрушении естественных экосистем и формировании ТЛ, восстановление до первоначального состояния практически невозможно, да и не всегда экологически обосновано и экономически целесообразно. С учетом накопленного опыта восстановления нарушенных земель и последующего их использования, а также с учетом современных требований к проведению рекультивационных работ и сохранению биоразнообразия, в ГОСТ Р 57446-2017 было зафиксировано новое определение рекультивации. Рекультивация нарушенных земель и земельных участков: *«Комплекс мероприятий, направленных на восстановление утраченного качественного состояния земель, достаточного для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием»*. Данное определение показывает комплексный подход к рекультивации и необходимость восстановления качественного поверхностного слоя для обеспечения повторного использования рекультивированных земель, но не показывает возможность управления рекультивационными мероприятиями. Также в процессе разработки месторождений или при размещении отходов могут сложиться условия, изменяющие целевое назначение, что в последующем существенно затрудняет выполнение рекультивации под формирование участков с разрешенным назначением использования.

Анализ современного состояния проблемы рекультивации позволяет сформулировать другое определение рекультивации: *«восстановление нарушенных земель или рекультивация представляет собой процесс с набором технологических приемов для формирования устойчивого ландшафта с заданными параметрами поверхностного слоя и уровнем почвенно-экологической эффективности, позволяющий формировать*

*рекультивированные участки согласно цели рекультивации»*. Это определение обращает внимание на то, что рекультивация – это не разовое мероприятие, а комплекс работ по созданию нового ландшафта согласно цели рекультивации, которая предполагает достижение определенных показателей, согласно выбранному направлению. Таким образом это должен быть управляемый, целенаправленный процесс, способствующий формированию устойчивых экосистем и направленный, в первую очередь, на значительное снижение негативных последствий техногенного воздействия на окружающую среду и возвращение рекультивированных земель в повторное использование.

#### **Практическая часть**

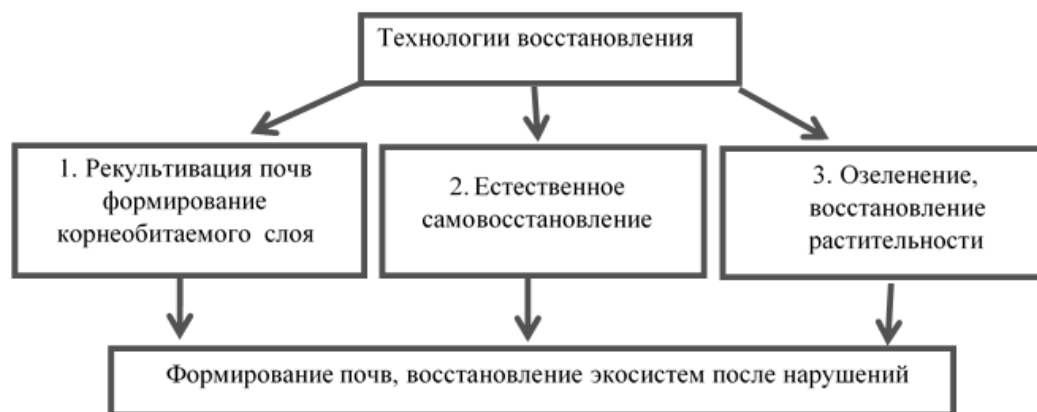
Практические работы по рекультивации нарушенных земель активно начали выполняться в 60-80-е гг. прошлого столетия. К этому времени был собран большой экспериментальный материал о негативном влиянии техногенных ландшафтов на окружающую среду и постоянно наблюдался рост площади нарушенных и загрязненных земель. В эти годы в большинстве промышленно развитых стран были разработаны и приняты законы, государственные программы и проекты, направленные на защиту окружающей среды и содержание разделы по рекультивации земель. Нужно отметить, что в начале работы по рекультивации нарушенных территорий были направлены в основном на создание сельскохозяйственных угодий и лесных насаждений и возвращение этих земель в хозяйственный оборот (Knabe, 1959). В последующие годы большее внимание стали уделять экологической составляющей и снижению экологических рисков от образовавшихся техногенных объектов (Андроханов, Курачев, 2010; Tang, 2017).

Большое разнообразие ТЛ, различное воздействие на прилегающие территории и различные условия выполнения рекультивационных работ требуют разработку разнообразных технологий восстановления нарушенных земель. Поэтому для снижения негативных последствий от разрушения природных ландшафтов и восстановления техногенно нарушенных территорий разработаны и применяются на практике большое разнообразие способов, методов, технологий восстановления нарушенных земель. При этом условно, по основному направлению восстановления того, или иного компонента окружающей среды, все технологии восстановления можно разбить на 3 группы (рис. 2 / fig. 2).

1. Отличительной чертой первой группы технологий восстановления нарушенных земель является формирование искусственных почв с сформированным, поверхностным, корнеобитаемым слоем. Именно эти технологии на наш взгляд нужно относить к рекультивации, так как только выполнение этих работ направлено на формирование новых, продуктивных ландшафтов и позволяет наиболее эффективно и быстро восстанавливать почвы, и разнопланово использовать рекультивированные участки. При формировании рекультивационного поверхностного слоя создаются искусственные почвы, которые по разным классификациям называются: технозёмы (Андроханов и др., 2000), поверхностные почвоподобные образования, реплантозёмы (Шишов и др., 2004), техносоли (Мировая

реферативная база..., 2018). Для создания рекультивационного слоя используются различные материалы, из которых формируется благоприятный для развития растений корнеобитаемый слой согласно цели рекультивации, при этом создается возможность возвращения нарушенных земель в биологический круговорот и повторное хозяйственное использование. Эти технологии наиболее дорогостоящи и, конечно же, требуют

рационального использования ресурсов рекультивации, что иногда затруднительно и экономически обосновано. Поэтому они должны использоваться там, где есть достаточное количество и возможность активного использования ресурсов рекультивации для сокращения дефицита почвенных ресурсов и/или необходимость достижения быстрого и устойчивого эффекта.



**Рис. 2. Группы технологий восстановления нарушенных земель**  
**Fig. 2. Groups of technologies for restoration of disturbed lands**

2. Естественное восстановление. Это направление, к сожалению, в настоящее время применяется очень часто, даже внесено в ГОСТ Р 59057-2020 как санитарно-гигиеническое направление рекультивации, которое предполагает естественное восстановление растительности. Как было показано ранее, это возможно, когда происходят незначительные нарушения или поверхность техногенного ландшафта сложена благоприятными для растений субстратами и есть условия для естественного восстановления зональной растительности. Тем не менее эффективность такой рекультивации, часто, оказывается очень низкой и в целом, не способствует комплексному восстановлению, и не создает условия для повторного использования таких территорий.

3. Эту группу технологий можно разделить на три направления: реставрация – когда выполняются работы, направленные на восстановление ранее существовавшего зонального растительного покрова на нарушенных территориях (Куприянов и др., 2017); реабилитация – это восстановительные мероприятия, выполняемые на загрязненных нарушенных участках и направленные в основном на снижение содержания загрязняющих веществ (например, нефти) до безопасного уровня (Acosta et al., 2018); озеленение или фитомелиорация – это формирование растительного покрова на нарушенных землях (Куприянов и др., 2025). Эти технологии восстановления позволяют сформировать растительный покров и снизить негативное воздействие ТЛ на прилегающие территории. Однако без учета качества поверхностных субстратов и формирования корнеобитаемого слоя они часто бывают малоэффективными, так как высаженные растения часто оказываются неустойчивыми к неблагоприятным условиям, а те немногие виды растений, которые выживают на ТЛ не формируют полноценные экоси-

стемы, и это также ограничивает возможности восстановления биологического разнообразия и возвращения нарушенных земель в повторный оборот.

Таким образом проведенный краткий обзор существующих технологий рекультивации показал, что в настоящее время разработан набор технологий рекультивации, позволяющий восстанавливать нарушенные земли с различной эффективностью. При этом нужно понимать, что оценка эффективности восстановления проводится по различным критериям, в основном по состоянию растительного покрова, площади озеленения, и снижению загрязнения. Однако, как показывает практика выполнения рекультивационных работ эффективность восстановления во многом зависит от свойств субстратов, которые размещены в поверхностном слое и выполняют функции почвообразующих пород. Поэтому в начале XXI в. в лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН был разработан новый метод оценки почвенно-экологической эффективности выполненных рекультивационных мероприятий (Андроханов, Курачев, 2010).

В основе метода оценки лежат принципы бонитировки почв с некоторой модификацией. Данный метод позволяет определить коэффициенты специфичности рекультивированных почв и сравнить их качество, уровень плодородия и свойства с естественными почвами, распространенными на прилегающих территориях. При этом почвенно-экологическая эффективность рассчитывается по формуле:

$$\text{ПЭР (б.б.)} = \text{Бпк} \times \text{Кс}$$

где: ПЭР – почвенно-экологическая эффективность;

Бпк – бонитет естественной почвы;

Кс – коэффициент специфичности.

Такой расчет ПЭР позволяет выразить в почвенно-экологическую эффективность выполненной рекультивации в баллах или %, и рассчитать ее в абсолютном или относительном значении. Если мы берем бонитет лучшей почвы региона, то мы получаем абсолютное значение ПЭР, если берем бонитет той почвы, которая наиболее распространена на прилегающей к ТЛ территории, то получаем относительную ПЭР для данного района, где проводится рекультивация.

Кс почвы техногенного ландшафта является мерилем насколько почвы ТЛ отличаются от естественных почв и определяется по отношению показателя почвы ТЛ к естественной почве (например, содержание гумуса и фракций физической глины в субстрате). Таким образом получается, чем больше показатели рекультивированных почв соответствуют естественным почвам, тем выше значения Кс и, тем выше ПЭР. Также необходимо отметить, что расчёт ПЭР позволяет не только оценить эффективность рекультивации, но и определить перспективы дальнейшего использования рекультивированных участков. Если ПЭР около 30%, то это очень низкие показатели эффективности и восстановление нарушенных участков ограничено, 30-50% низкая, но возможна лесная рекультивация, 50-70% можно формировать сенокосы, травянистые биоценозы, выше 70-90% возможны различные варианты использования, в том числе и возвращение рекультивированных земель сельскохозяйственное использование.

Таким образом, решение этих основных задач способствует комплексному восстановлению техногенно нарушенных территорий по разным направлениям с различным уровнем почвенно-экологической эффективности. На данном этапе развития технологий рекультивации наиболее сложной остается ситуация с внедрением современных технологий рекультивации в практику. Сегодня необходимо разработать механизм внедрения современных технологий, который бы стабильно функционировал. А для этого требуется серьезное изменение подходов и понимание цели выполнения рекультивационных работ. Необходимо, внедрение в практику рекультивации обеспечение снижения негативных последствий и обязательное возвращение рекультивированных земель в повторное использование, а это невозможно без рационального использования ресурсов рекультивации (Сёмина, 2026). Поэтому рекультивация нарушенных земель должна представлять собой технологию замкнутого цикла, которая на всех этапах от нарушения земельных участков, до их

восстановления контролирует необходимые ресурсы и регулирует или создает условия для эффективного восстановления нарушенных ландшафтов.

#### **Заключение**

Таким образом на современном этапе развития и обобщения научно-практической информации о восстановлении нарушенных земель можно считать, что теоретические проблемы и практические задачи рекультивации нарушенных земель во многом решены. В результате многолетних исследований и практического выполнения рекультивационных работ накоплен значительный опыт восстановления нарушенных земель в различных регионах и на разных типах ТЛ. Установлено, что для успешного выполнения рекультивации необходим комплекс исследований техногенно нарушенных территорий, анализ условий выполнения рекультивации и наличие необходимых ресурсов, что позволяет определить наиболее приемлемое направление рекультивации и задать необходимый уровень почвенно-экологической эффективности для возвращения нарушенных земель в повторное использование.

Основными причинами существования долгосрочной проблемы в рекультивации промышленных земель являются недостаточное внедрение научно обоснованных, экологически эффективных и экономически целесообразных технологий, которые бы обеспечивали высокий экологический, хозяйственный и социальный эффект. Как показывает практика, возможности широкомасштабного применения технологий полной рекультивации с высоким экологическим эффектом и диагностикой почвенно-экологического состояния рекультивируемых территорий значительно ограничены дефицитом материальных ресурсов, а также возможностью как-то организационно влиять на оптимизацию рекультивационных работ.

Необходимо понимать, что в процессе рекультивации мы можем только создать благоприятные условия, для развития восстановительных процессов в дальнейшем, растительный покров, свойства почв и биоразнообразие восстанавливаются естественным образом, через восстановление биоценозов и физического, химического и биологического состояния почвенного слоя. Таким образом нужно признать, что основой любой рекультивации является полноценный комплекс работ, в ходе выполнения которых закладывается основа, фундамент будущего ландшафта, который и определяет перспективы развития почвенного покрова и восстановление новых экосистем.

#### **Финансирование**

Исследования проводились в рамках выполнения работ по базовым проектам в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН и Институте водных и экологических проблем СО РАН.

#### **Funding**

The research was carried out as part of work on basic projects at the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS and the Institute of Water and Environmental Problems of the SB RAS.

#### **Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### **Conflicts of interest**

The author declares no conflicts of interest.

**Список источников**

1. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: изд-во Сибирского отделения РАН, 2010. 241 с.
2. Андроханов В.А., Овсянникова С.В., Курачев В.М. Технозёмы: свойства, режимы, функционирование. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. 200 с.
3. Куприянов О.О., Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Уфимцев В.И. Реконструкция лугово-степных фитоценозов на отвалах. Новосибирск: изд-во НГТУ, 2025. 168 с.
4. Куприянов А.Н., Уфимцев В.И., Манаков Ю.А., Стрельникова Т.О., Куприянов О.А. Методические рекомендации по реставрации лугово-степной растительности на отвалах угольной промышленности в Кузбассе. Кемерово: КРЭО «Ирбис», 2017. 28 с.
5. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Исправленная и дополненная версия 2015. / науч. ред. М.И. Герасимова, П.В. Красильников; пер. с англ. И.А. Спиридонова. FAO UN. МГУ им. М.В. Ломоносова. Рим, 2018. 205 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/3c73d691-c4ab-4711-8afb-7b78250ba342/content> (дата обращения: 20.02.2026).
6. Семина И.С. Комплексные исследования минеральных ресурсов в горно-таежной подзоне Кемеровской области – Кузбасса, оценка их пригодности для рекультивации нарушенных земель // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2026. № 1. С. 85-110.
7. Чмыхалова С.В., Гришин В.Ю., Пыталев И.А. Рекультивация нарушенных горным производством земель с учетом особенностей отвода земель под предприятия горной промышленности // *Безопасность труда в промышленности*. 2023. № 4. С. 28-33. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-4-28-33>
8. Шишов Л.Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Сыктывкар: Ойкумена, 2004. 343 с.
9. Acosta J.A., Abbaspour A., Martinez G.R., Martínez-Martínez S., Zornoza R., Gabarron M., Faza A. Phytoremediation of mine tailings with *Atriplex halimus* and organic/inorganic amendments: A five-year field case study // *Chemosphere*. 2018. Vol. 204. P. 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.027>
10. Boukhari S., Khalil A., Zouhri L., Adnani M. Geographic Information System-Based Database for Monitoring and Assessing Mining Impacts on Water Resources and Environmental Systems at National Scale: A Case Study of Morocco (North Africa) // *Water*. 2025. Vol. 17. Iss. 7. 924. <https://doi.org/10.3390/w17070924>
11. Dacal M., Bradford M.A., Plaza C., Maestre F.T., Garcia-Palacios P. Soil microbial respiration adapts to ambient temperature in global drylands // *Nature Ecology & Evolution*. 2019. Vol. 3. Iss. 2. P. 232–238. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0770-5>
12. Knabe W. Zur Wiederurbarmachung im Braunkohlenbergbau. Berlin, 1959. 306 p.
13. Olofsson P., Foody G., Herold M., Stehman S., Woodcock C., Wulder M. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change // *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 148. P. 42-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
14. Tang L. Investigation on the Mineralization of Tailings with CO<sub>2</sub> in the Atmosphere. Sichuan University. China. Chengdu, 2017. 160 p.
15. Tang L., Werner T.W., Heping X., Jingsong Y., Zeming S. A global-scale spatial assessment and geodatabase of mine areas Author links open overlay panel // *Global and Planetary Change*. 2021. Vol. 204. 103578. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103578>
16. Santamarina J.C., Torres-Cruz L.A., Bachus R.C. Why coal ash and tailings dam disasters occur // *Science*. 2019. Vol. 364. Iss. 6440. P. 526-528. <https://doi.org/10.1126/science.aax1927>
17. Werner T., Bach P., Yellishetty M., Amirpoorsaeed F., Walsh S., Miller A., Roach M., Schnapp A., Solly P., Wu X. A Geospatial Database for Effective Mine Rehabilitation in Australia // *Minerals*. 2020. Vol. 10. Iss. 9. 745 <https://doi.org/10.3390/min10090745>

**References**

1. Androkhonov V.A., Kurachev V.M. Soil and ecological state of technogenic landscapes: dynamics and assessment. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences press., 2010. 241 p. (in Russian)
2. Androkhonov V.A., Ovsyannikova S.V., Kurachev V.M. Technozems: properties, regimes, functioning. Novosibirsk: Science. Siberian Publishing Company of the Russian Academy of Sciences, 2000. 200 p. (in Russian)
3. Kupriyanov O.O., Kupriyanov A.N., Manakov Yu.A., Ufimtsev V.I. Reconstruction of meadow-steppe phytocenoses on dumps. Novosibirsk: NSTU press., 2025. 168 p. (in Russian)
4. Kupriyanov A.N., Ufimtsev V.I., Manakov Yu.A., Strelnikova T.O., Kupriyanov O.A. Methodological recommendations for the restoration of meadow-steppe vegetation on coal industry dumps in Kuzbass. Kemerovo: KREO «Ирбис», 2017. 28 p. (in Russian)
5. World Reference Database of Soil Resources 2014. International Soil Classification System for Soil Diagnostics and Creation of Soil Map Legends. Revised and Supplemented Version 2015. / Scientific Ed. M.I. Gerasimova, P.V. Krasilnikov; Transl. from English by I.A. Spiridonov. FAO UN. Lomonosov Moscow State University. Rome, 2018.

- 205 p. Available from: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/3c73d691-c4ab-4711-8afb-7b78250ba342/content> (accessed: 20.02.2026). (in Russian)
6. Semina I.S. Integrated research of mineral resources in the mountain taiga subzone of the Kemerovo Region–Kuzbass, and their applicability in disturbed land reclamation. *Mining informational and analytical bulletin*. 2026. Iss. 1. P. 85-110. (in Russian)
  7. Chmykhalova S.V., Grishin V.Yu., Pytalev I.A. Reclamation of Lands Disturbed by the Mining Production Considering the Peculiarities of Land Allocation for the Mining Enterprises. *Occupational Safety in Industry*. 2023. Iss. 4. P. 28-33. <https://doi.org/10.24000/0409-2961-2023-4-28-33> (in Russian)
  8. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. Classification and diagnostics of soils of Russia. Syktyvkar: Oikumena, 2004. 343 p. (in Russian)
  9. Acosta J.A., Abbaspour A., Martínez G.R., Martínez-Martínez S., Zornoza R., Gabarron M., Faza A. Phytoremediation of mine tailings with *Atriplex halimus* and organic/inorganic amendments: A five-year field case study. *Chemosphere*. 2018. Vol. 204. P. 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.027>
  10. Boukhari S., Khalil A., Zouhri L., Adnani M. Geographic Information System-Based Database for Monitoring and Assessing Mining Impacts on Water Resources and Environmental Systems at National Scale: A Case Study of Morocco (North Africa). *Water*. 2025. Vol. 17. Iss. 7. 924. <https://doi.org/10.3390/w17070924>
  11. Dacal M., Bradford M.A., Plaza C., Maestre F.T., Garcia-Palacios P. Soil microbial respiration adapts to ambient temperature in global drylands. *Nature Ecology & Evolution*. 2019. Vol. 3. Iss. 2. P. 232-238. <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0770-5>
  12. Knabe W. Zur Wiederurbarmachung im Braunkohlenbergbau. Berlin, 1959. 306 p.
  13. Olofsson P., Foody G., Herold M., Stehman S., Woodcock C., Wulder M. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*. 2014. Vol. 148. P. 42-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
  14. Tang L. Investigation on the Mineralization of Tailings with CO<sub>2</sub> in the Atmosphere. China. Chengdu. Sichuan University, 2017. 160 p. (in Chinese)
  15. Tang L., Werner T.W., Heping X., Jingsong Y., Zeming S. A global-scale spatial assessment and geodatabase of mine areas Author links open overlay panel. *Global and Planetary Change*. 2021. Vol. 204. 103578. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103578>
  16. Santamarina J.C., Torres-Cruz L.A., Bachus R.C. Why coal ash and tailings dam disasters occur. *Science*. 2019. Vol. 364. Iss. 6440. P. 526-528. <https://doi.org/10.1126/science.aax1927>
  17. Werner T., Bach P., Yellishetty M., Amirpoorsaeed F., Walsh S., Miller A., Roach M., Schnapp A., Solly P., Wu X. A Geospatial Database for Effective Mine Rehabilitation in Australia. *Minerals*. 2020. Vol. 10. Iss. 9. 745 <https://doi.org/10.3390/min10090745>

Поступила в редакцию / Received: 10.03.2026

Поступила после рецензирования / Revised: 17.04.2026

Принята к публикации / Accepted: 01.06.2026