

## РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Обзорная статья

УДК 504.75+631.4; 504.4.054

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57>

**Экологические аспекты рекультивации почв на отвалах вскрышных пород  
в районах угледобычи**

**Валентина Сергеевна Артамонова<sup>1</sup>, Светлана Борисовна Бортникова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>1</sup> [artamonovavs@yandex.ru](mailto:artamonovavs@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8606-7975>

<sup>2</sup> [bortnikovasb@ipgg.sbras.ru](mailto:bortnikovasb@ipgg.sbras.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2395-7406>

**Аннотация.** Биологически продуктивные почвы – это невозобновляемый природный ресурс. Он формируется сотни лет под влиянием природных и антропогенных факторов почвообразования. Открытая добыча каменного угля сопровождается разрушением почв, вовлечением техногенных отходов в процессы гипергенеза и педогенеза, в том числе ускоренного почвообразования. В данном обзоре акцентируется внимание на современном состоянии проблемы экологии биологической рекультивации нарушенных земель, создании искусственных педонов на поверхности техногенных тел, в профиле которых гумусовый, или органогенный горизонт располагается на техногенном элювии. Он выполняет на начальных этапах почвообразования функцию подстиляющей породы, а не материнской (почвообразующей). Его характерной особенностью является присутствие тяжёлых, редкоземельных, радиоактивных металлов и металлоидов, поставщиком которых являются минералы основных вскрышных и вмещающих пород угольных отложений (алевролиты, аргиллиты, песчаники). В этой связи, целесообразно включать искусственно созданные почвоподобные образования, в которых присутствует привнесённый извне плодородный слой для улучшения корневого питания растений, в мониторинг их эколого-токсикологического статуса, учитывать валовое содержание тяжёлых металлов вокруг корней, в наземной биомассе и биологическую активность. В обзоре приводятся современные взгляды на биогенность и её роль в образовании плодородия почв. Подчёркивается необходимость разработки стратегии по комплексному изучению экологии рекультивации почв в условиях техногенеза, что важно для формирования качественных рекультивационных услуг.

**Ключевые слова:** вскрышные и вмещающие породы, биологическая рекультивация, почвоподобные образования

**Благодарности:** работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН № 012-031-1700316-9 и ИНГГ СО РАН № 0266-2022-0028 по бюджетному финансированию Министерства науки и образования Российской Федерации.

**Для цитирования:** Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Экологические аспекты рекультивации почв на отвалах вскрышных пород в районах угледобычи // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8. № 1. С. 48–57. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57>

## SECTION 2. POLLUTION

Review Paper

**Ecological aspects of soil reclamation on overburden dumps in coal mining areas**

**Valentina S. Artamonova<sup>1</sup>, Svetlana B. Bortnikova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of the SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>1</sup> [artamonovavs@yandex.ru](mailto:artamonovavs@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8606-7975>

<sup>2</sup> [bortnikovasb@ipgg.sbras.ru](mailto:bortnikovasb@ipgg.sbras.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2395-7406>

**Abstract.** Biologically productive soils are a non-renewable natural resource. It has been formed for hundreds of years under the influence of natural and anthropogenic factors of soil formation. Open-pit coal mining is accompanied by soil destruction, the involvement of man-made waste in the processes of hypergenesis and pedogenesis, including accelerated soil formation. This review focuses on the current state of the problem of ecology of biological reclamation

of disturbed lands, special attention is paid to the creation of artificially created pedons on the surface of technogenic bodies, in the profile of which the humus or organogenic horizon is located on technogenic eluvium. It performs at the initial stages of soil formation the function of the underlying rock, and not the parent (soil-forming). Its characteristic feature is the presence of heavy, rare-earth, radioactive metals and metalloids, the supplier of which are minerals of the main overburden and host rocks of coal deposits (siltstones, mudstones, sandstones). In this regard, it is advisable to include artificially created soil-like formations in which there is a fertile layer introduced from the outside to improve the root nutrition of plants, monitoring their ecological and toxicological status, taking into account the gross content of heavy metals around the roots, in terrestrial biomass and biological activity. The review presents modern views on biogenicity and its role in the formation of soil fertility. The necessity of developing a strategy for a comprehensive study of the ecology of soil reclamation in the conditions of technogenesis is emphasized, which is important for the formation of high-quality reclamation services.

**Key words:** overburden and host rocks, biological reclamation, soil-like formations

**Acknowledgments:** the work was done within the framework of the state task of Institute of Soil Science and Agrochemistry of the SB RAS No. 012-031-1700316-9 and Trofimuk Institute of Petroleum-Gas Geology and Geophysics of the SB RAS No. 0266-2022-0028 on budget financing of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation.

**For citation:** Artamonova, V. and Bortnikova, S., 2022. Ecological aspects of soil reclamation on overburden dumps in coal mining areas. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 8(1), pp. 48–57. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57> (in Russian).

### Введение

В России наибольшее количество отходов производства и потребления сосредоточено на территории Сибири. В 2017 г. в Сибирском федеральном округе их доля достигла 71% общего количества по стране. Такой исход обусловлен добычей каменного угля в Кемеровской области - основном угледобывающем регионе Российской Федерации [13]. В СФО отходы представлены преимущественно вскрышными породами, которым принадлежит 70% общего объёма отходов. Отчуждение земель под складирование «пустых пород» и котлованы, которые остаются после выемки пород и полезных ископаемых – это раны, нанесённые природе людьми, техникой, которые не могут залечиваться сами собой [36]. Антропогенная трансформация природной среды в районах угледобычи довольно разнообразна, её последствия не всегда предсказуемы. Поверхность отвалов может не только пылить, но и «ползти», вследствие чего под минеральными массами оказываются продуктивные почвы. Например, на угольном разрезе «Заречный» в Кемеровской области объём сместившейся массы в результате оползня, наблюдаемого в 2015 г., составил 27,5 млн м<sup>3</sup>, под которым оказались погребёнными около 120 га [22]. По некоторым данным площадь нарушенных земель, судя по космическим снимкам, достигла в Кузбассе 40%. Поэтому проведение рекультивационных работ неизбежно, как и проведение эколого-токсикологического состояния рекультивированных объектов в дополнение к экологической оценке историко-природных особенностей природно-антропогенных экосистем, природно-антропогенных режимов, комфортности среды обитания человека [9]. В настоящее время темпы биологической рекультивации отстают от скорости возникновения техногенных отходов. В ближайшей перспективе соотношение нарушенных и восстановленных земель, вероятно, не изменится, но востребованность в информации о возможностях ускорения достижения в них прежнего уровня плодородия, как и спрос на биорекультивационные услуги, увеличится.

Наиболее распространённым способом возобновления плодородия почв является привнос лессовидных субэкральных суглинков, обогащенных карбонатами, расположенных над угленосными пластами. Они относятся к V-му классу опасности, считаются потенциально-плодородными породами, рассматриваются, как почвоулучшители. Но при выемке угля в суглинках оказываются вмещающие породы (алевролиты, аргеллиты, песчаники и др.), углистые фрагменты, которые могут содержать потенциально токсичные металлы и металлоиды.

Любой техногенный объект рекультивации – это целостный природный территориальный комплекс со сложными внутренними взаимосвязями между образующими его компонентами: горными породами, атмосферой и биотой [11], поэтому сведения о благополучии рекультивационного корнеобитаемого горизонта почвоподобных образований и формировании в нём биогенности, как основы плодородия, представляют большой интерес.

В данном обзоре мы акцентировали внимание на некоторых аспектах современного состояния проблемы повышения продуктивности нарушенных земель, преимущественно на участках «землевания». Уделено внимание роли подстилающей толщи в искусственно созданных почвоподобных образованиях, о которой в литературе информации немного, том числе из-за недостаточной изученности последствий привноса гумусированного слоя. Следует сказать, что создание таких объектов экономически и организационно – дело сложное и затратное, поэтому широко не распространено в отличие от облесения, хотя и при таком исходе существует немало открытых вопросов. Изучение экологии рекультивации нарушенных земель и состояния искусственно созданных педонов в районах интенсивной добычи угля, чрезвычайно актуально. В свою очередь, недостаток обобщённой информации по данному вопросу послужил основанием для аналитического обзора.

### Обсуждение

**История вопроса и терминология.** Исследования экологии рекультивации были продиктованы 45 лет тому назад, когда на государственном уровне перед отечественной наукой была поставлена задача – разработать «экологические стандарты» на комплекс определённых условий природной среды, который должен быть восстановлен или создан заново на нарушенных землях горными работами [28]. Для её решения в разных регионах СССР (Сибири, на Урале, в Донбассе и других) были организованы научные коллективы, которые занимались разработкой методологии и фундаментальных основ рекультивации нарушенных земель в разных природных зонах страны. Теоретические исследования почвообразования в техногенных ландшафтах стали приобретать экологический характер. В центре внимания почвоведов, ботаников, физиологов, микробиологов оказались события, происходящие вокруг корней растений регенерационных биогеоценозов. Термин «регенерационные» биогеоценозы был введён для биоценозов, возникающих при самозаращении послепромышленных земель, так и в итоге биологического этапа рекультивации, находящихся в условиях «открытого общения со смежными природными и культурными ландшафтами» [37]. В свою очередь, выявление признаков почвоподобия в таких биогеоценозах послужило основанием для появления понятий «молодые», «инициальные» почвы, сибирскими почвоведом была разработана классификация биогенно – неразвитых почв, или собственно почв, профили которых находятся на различных начальных стадиях формирования (эмбриозёмы), либо на различных стадиях профилеобразования (технозёмы) [12, 24]. Московские представители научной школы почвоведов относят подобные образования на углеотвалах к петрозёмам, в том числе гумусовым [8], и, по их мнению, обе классификации согласуются с критериями существующей классификации почв России [20].

Почвоподобные тела, которые развиваются после проведения землевания, или привноса гумусированной толщи зрелых почв, нанесения слоя потенциально плодородных лессовидных карбонатных суглинков, либо почвоулучшителей органического происхождения почвоулучшающего действия, В.А. Андроханов и В.М. Курачёв [1] рассматривают, как искусственно созданные образования, или технозёмы. Термин «технозём» в редакции других авторов [15] распространяется только на техногенные почвы с насыпным гумусированным почвенным слоем. По мнению Т.В. Прокофьевой и её коллег [30] технозёмы – это рекультивационные почвоподобные тела, или техногенные поверхностные образования группы натурфабрикатов. Б.Ф. Апарин и Е.Ю. Сухачёва [2] предлагают включить подобные образования с «землеванием» в новый таксон, в отдел «Интродуцированные почвы». В Международной реферативной базе данных (WRB) технозёмы занимают классификационное положение Technosols [45]. Учитывая существующую дискуссионность в классификации техногенных почвоподоб-

ных образований, мы в данной статье придерживаемся трактовки сибирских почвоведов.

**Искусственно созданные почвоподобные образования.** Формирование технозёмов с интродуцированным гумусированным слоем зрелых почв, либо привносом почвоулучшителей преследует цель вовлечения техногенных элювиев вскрышных пород угольных отложений в сельскохозяйственное использование на основе создания рекультивационного корнеобитаемого слоя. Нужно признать, что этот способ предполагает использование лишь почв отчуждаемых земель. Снятый заранее гумусовый слой должен определённым образом сохраняться по мере востребованности, что опять же проблематично. Возникают вопросы: где, как, как долго, что происходит с такими массами на дневной поверхности при длительном хранении и др.

Почвенно-экологическая норма, или доза привнесимого гумусированного насыпного горизонта, для технозёмов нормальной должна составлять не менее 35 см, для технозёмов маломощных – меньше [18, 24]. В случае использования почвоулучшающего материала, например, ОСВ, доза составляет 10–30 см [10]. Соблюдение данных норм на практике сложно.

Априори привнесённый плодородный слой почвы с наследуемыми биогеохимическими свойствами, гумусом и биотой какое-то время сохраняет свои прежние биологические свойства, в том числе активность микробиоценоза, его исходную потенцию к деструкционным процессам. Но продолжительность сохранности биологической активности и биогенности – показателя плодородия, пока неизвестна. Не исключено, что часть жизнедеятельного микробного населения интродуцированного почвенного слоя адаптируется к техногенной среде обитания, но сохранится ли её метаболическая способность накапливать вокруг корней органический углерод, азот, ростстимулирующие соединения и другие компоненты почвенного органического вещества, которые они синтезировали в прежней обстановке, не ясно. Известно, что качественный состав растительных остатков имеет большое значение для гетеротрофных микроорганизмов. Тем не менее, исходный ресурс растительного происхождения меняется, поскольку лидерами освоения техногенных субстратов оказываются чужеродные виды. Доказано, что антропогенная трансформация флоры Кемеровской котловины, выражается как в широком распространении аборигенных гемерофильных видов, так и в произрастании большого числа заносных видов [43]. Отмечаются факты биологического загрязнения, или вселения чужеродных, инвазивных видов растений (около 70) в естественные и близкие к ним сообщества.

Вопрос о биогеохимии почвоподобных образований разработан также слабо. Эколого-токсикологический анализ зрелых почв распространяется пока на сельскохозяйственные угодья ненарушенных территорий [27], входит в требования, предъявляемые к землям, рекультивированным после механического нарушения, нефтяного и солевого загрязнения [38]. По-видимому, он в будущем распространится и на

технозёмы. Мотивация для этого существует. Сведения о химическом составе почвоподобных образований Кузбасса, КАТЭКа, Хакасии, оставленных после отсыпки почвенного слоя (20–30 см) под самозарастание [7], подтверждают присутствие некоторых токсичных элементов в больших концентрациях. Установлено, что за время, прошедшее с момента извлечения пород (30–40 лет назад), на их обломках фиксируются сульфиды: пирит, сфалерит, галенит, смайтит (сульфид железа и никеля). Выявлены минералогические преобразования – растворение сульфидов и разложение карбонатов (сидерита и доломита). При разложении сидерита железо осаждалось *in situ* в виде гетита или гидрогетита. На растворимость этих вторичных минералов влияет реакция среды: в ионную форму железо переходит лишь при pH менее 3. Поэтому в повоподобных образованиях он может сохраняться долгое время в кристаллизованном виде. В технозёмах Кузбасса обнаружены наиболее высокие значения K, Mn, Cu, Ni, V, As по сравнению с другими соседними регионами. Валовые концентрации Mn, Mo, Pb, Ni в эмбриозёмах и технозёмах оказались выше фоновых значений также в Кузбассе Почвоподобные образования КАТЭКа превышали фон по содержанию Sr, Хакасии – по Ca, Cu, Zn, Ni, Ti, Rb. Сообщается [25], что растения Кузнецкой котловины (Кузбасса) аккумулируют металлы. Наибольшие значения коэффициентов концентрации элементов обнаружены у аборигенных видов. По нашим данным [4] в корнеобитаемом слое злаковых и бобовых растений в эмбриозёмах и технозёмах Кузбасса схожего возраста обнаружены Mn, Cr, V, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Pb, Br, As и другие элементы. Кларковые значения превысили Y, Zr, Pb, Br, As. Присутствие Al, Ga, Ge, Bi, Fe, U и других элементов ранее отмечалось и в отвальных массах терриконов Донбасса [16]. Содержание химических элементов в отвальных породах антрацита (Горловское месторождение, Новосибирская обл.) послужило причиной загрязнения почв, прилегающих к водотоку, куда химические элементы мигрировали с дождевыми и снеготальными водами [5]. В отвальных породах антрацитов Донбасса также присутствовало большое содержание водорастворимых форм токсичных элементов, поскольку геохимическое окисление пирита происходило с выделением свободной кислоты. Поэтому после выветривания породы достигли II и III-го класса опасности в отличие от исходных, которые были отнесены к IV-V – му классу. Выветрелые породы в районе добычи антрацита в Сибири (Горловское месторождение, Новосибирская область) [3] содержали высокие концентрации (больше кларковых значений) Rb, Y, Zr, Sn, Cd, As, превышающие таковые в лессовидном карбонатном суглинке и эмбриозёмах. Учитывая вышеизложенное, мы считаем, что мониторинг содержания потенциально токсичных металлов и металлоидов в почвоподобных образованиях, исключать не следует, особенно при формировании их на отходах метаморфизированных углей.

В тоже время использование отвальных пород со средним содержанием  $C_{орг}$  (не менее 20%), в состав которых входят необходимые растениям микроэле-

менты (B, Zn, Ni, Mo, Mn, Cu, Co) предлагается включать во вторичное использование, когда по тем или иным причинам невозможно использовать плодородный слой зрелых почв. Обычно такой вариант создания технозёмов ориентирован на вторичное сельскохозяйственное лугово-пастбищное освоение. В Сибири испытаны различные субстраты в качестве органоминерального компонента технозёмов: лессовидные карбонатные суглинки, торф, циалиты, сапропели, окисленные угли и другие. Добавки окисленного угля в карбонатные породы, углистый аргиллит, алевролит, песчаник способствуют прибавке фитомассы и веса семян ячменя [26]. Без окисленных углей рост растений снижался, что возможно, связано с присутствием в них пирита, содержание которого в минерале в некоторых пробах достигало 70 % [32]. Другой причиной этому могло быть присутствие токсичных металлов вмещающих пород. Сообщается, что в аргиллитах содержание Cu, Zn, Pb превышает предельно-допустимые концентрации (ПДК) в среднем 1.14–5.1 раза; в алевролитах содержание Cr, Zn, As, Pb, Ni увеличивается – в 1.3–9.4 раза; в песчаниках – пул Zn, Pb, Cr – 2–9.6 раза [16].

Для улучшения повышения плодородия на практике используются окисленные бурые угли Канско-Ачинского угольного бассейна и окисленные в пластах каменные угли Кузбасса. Они содержат высокие запасы органического вещества (до 70%), CaO и MgO – до 40% минеральной части, гуминовых кислот, близких по составу к почвенным [23, 31]. Существуют предложения по использованию дроблёных углеотходов в комплексе с органическими веществами (сухой остаток хозяйственных сточных вод) в разных пропорциях [34]. Перспективными считаются посевы сидеральных растений, семена которых предварительно должны быть обработаны гидрогелями и глиной [44]. Удобрительная ценность таких углеотходов и сидератов заключается в повышении биологической активности технозёмов и техногенно загрязнённых почв, содержания фракции гуминовых кислот [40].

Следует сказать, что поиск новых подходов повышения плодородия технозёмов не случаен. Широко распространённое использование потенциально плодородной породы – лессовидного карбонатного суглинка не всегда даёт положительный эффект, несмотря на то, что в них присутствуют элементы-биогены (C, N, P, S), происхождение которых обязано вовлечению суглинков в былые времена в почвообразование. Установлено [38], что в присутствии нанесённого слоя потенциально плодородной породы отсутствовала локализации корней сосны сибирской в верхней части профиля горизонтов на отвалах Кузбасса. Привнос потенциально плодородной породы (Кедровский разрез, Кемеровская обл.) не оказал положительного действия на сохранность живых ветвей в кроне сосны обыкновенной и устойчивость хвои против некрозов [21]. Поэтому для начального этапа лесосодействия отвалов шахты «Увальная» (Кемеровская обл.) было рекомендовано использование плодородного слоя почв в качестве этапа, предшествующего освоению быстрорастущими породами, тополем и

ивой [22]. Не исключено, что в присутствии потенциально плодородной породы – лессовидного суглинка проявилась остаточная фитотоксичность и, возможно, дефицит корневых микосимбионтов в корнеобитаемом слое.

**Фито-микробный ресурс образования биогенности почвоподобных образований.** Развитие эмерджентного свойства – биологической продуктивности, или плодородия, [6] обязано растительности и педобиоте, в том числе микробному населению. Растительность – главный «инструмент» [19], с помощью которого достигается эффект рекультивации, особенно с участием видов – эдификаторов растительных сообществ, а также видов и сортов растений с высокой почвообразующей способностью [17]. Особый интерес представляют дернообразующие злаки (в целях сельскохозяйственной рекультивации), среди которых присутствуют устойчивые интродуцируемые виды и формы. Им присуща высокая жизнеспособность, формирование плотного травостоя и дернины в техногенных условиях. В списке присутствуют овсяница красная, овсяница луговая, овсяница альпийская, местные и интродуцированные формы мятлика лугового, мятлика альпийского, житняка гребенчатого, костра безостого, которые долгое время не рассматривались, как перспективные, для использования в биорекультивации угольных отвалов. Нужно отметить, что посев костра безостого в варианте с гумусогенным технозёмом, размещённом на угольном отвале Кузбасса, проявляет повышенную биологическую продуктивность травостоя [42]. Заслуживает также внимания поведение рыхлокустового злака – житняка гребенчатого в техногенных условиях: он сохраняется в посевах значительно дольше, чем в сообществах на зональных почвах, обеспечивая долговременную защиту техногенной поверхности от эрозии [41]. Предпочтение злаковым растениям отдаётся ещё и потому, что под ними достигается относительная зрелость гуминовой кислоты [35]. Тем не менее, качественный состав органического вещества, свойства гумуса, его устойчивость к окислительно-гидролитическим воздействиям, степень «зрелости» гуминовых кислот под разными растениями, произрастающими в технозёмах, изучены пока недостаточно.

Важную роль в гумификации и новообразовании органического углерода играют микроорганизмы [29, 33]. Первичные и вторичные метаболиты микроорганизмов являются неотъемлемой частью валового Сорг, которое наряду с органическим азотом и микробной биомассой являются «китами» потенциально плодородия [14]. Высказывается мнение [46], что система показателей гумусового статуса почв должна быть дополнена характеристиками, связанными с биогенностью и биоактивностью почвы. Биогенность – это заселённость почв жизнедеятельными микроорганизмами различного таксономического состава и различной метаболической активности. Биогенность присуща не только почвам, но и горным породам, минералам, льду, частицам пыли, в которых присутствуют остатки прошлых или современных организмов [48]. Почвоподобные образования – не

исключение. Для их характеристики может оказаться информативным в этих целях содержание органического углерода и углерода твёрдых частиц органического вещества [46]. Биогенность характеризует биологическое происхождение веществ, которые образуются в процессе роста, смерти и разложения организмов в прошлом или в настоящее время. Эти вещества обладают свойствами, которые не образуются абиотическими процессами [47]. В настоящее время показатели биогенности чаще всего включают количество разных микроорганизмов, содержание общей и активной микробной биомассы, количество ферментов и других метаболитов. Исследования формирования биогенности и биологической активности чрезвычайно перспективны в отношении понимания функционирования почвоподобных образований в техногенной обстановке, их становления от слаборазвитых аналогов до более зрелых биогенно развитых вариантов, а также в разработке доступных биотехнологий поддержания плодородия в техногенных условиях.

### Заключение

Сибирский регион сохраняет лидирующие позиции среди угледобывающих регионов по объёму большого количества вскрышных пород, в составе которых присутствуют вмещающие породы. Их минералы содержат тяжёлые металлы и полуметаллы, концентрации которых могут превышать кларковые значения в технозёмах по прошествии 30–40 лет после рекультивации.

Следует отметить, что проблема восстановления территорий, нарушенных открытой добычей угля, сохранит свою остроту в будущем из-за высокого спроса на бурый, каменный уголь и антрацит. Проблема экологии рекультивации, несмотря на её 45-летний возраст, остаётся до конца не решённой. Мониторинг эколого-токсикологического состояния корнеобитаемого слоя, как и биогенности, на участках биологической рекультивации не проводится. Необходима разработка долгосрочной стратегии исследований экологии рекультивации, что позволит приблизиться к решению ускоренного восстановления продуктивности слаборазвитых почв в условиях техногенеза. Вероятно, сложившееся за многие десятилетия отношение к нарушенным землям, как экономически чрезвычайно затратным, необходимо менять на самых разных уровнях. Это, позволит активизировать комплексные фундаментальные исследования в направлении развития инновационных биотехнологий рекультивации и обеспечить выбор биорекультивационных услуг, повысит заинтересованность инвесторов и руководителей добывающих компаний в осуществлении восстановительных мероприятий на территориях с накопленным экологическим ущербом. Следует также решить вопрос о разработке единой субстантивно-генетической классификации почвоподобных образований, в том числе искусственно созданных, в техногенных ландшафтах, а также включении их в классификационную схему почв РФ, что обеспечит создание единого реестра биогенно неразвитых почв в районах недропользования с учётом генетической, географической,

экологической сущности новообразования почв в современных техногенных ландшафтах.

#### Сведения об авторском вкладе

В.С. Артамонова – концепция исследования, написание исходного текста; итоговые выводы.

С.Б. Бортникова – систематизация сведений о химических элементах, вычитка финального варианта статьи.

#### Contribution of the authors

V.S. Artamonova – research concept, writing of the source text; final conclusions.

S.B. Bortnikova – systematization of information about chemical elements, proofreading of the final version of the article.

#### Список источников

1. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.

2. Анарин Б.Ф., Сухачёва Е.Ю. Классификация городских почв в системе Российской и Международной классификации почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 79. С.53–72.

3. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. О развитии *Azotobacter chroococcum* Weiyünck в старовозрастных отвалах антрацита // Теоретическая и прикладная экология. 2018. №1. С. 60–72.

4. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Биогеохимическая характеристика корнеобитаемого слоя травянистых растений на рекультивированных участках техногенных отходов // Вестник Пермского ун-та. Серия Биология. 2022. (в печати).

5. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Оплеухин А.А. Техногенное загрязнение почв подотвальными водами в районе угледобычи // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2016. №4 (26). С. 38–45.

6. Богатырев Л.Г. Основные концепции, законы и принципы современного почвоведения. М.: МАКС Пресс, 2015. 196 с.

7. Богуславский А.Е., Андроханов В.А., Колмагорова Ю.О., Ужогова А.А., Госсен И.Н., Саева О.П. Геохимический фон тяжёлых металлов в почвах и растениях на участках отвалов угольных месторождений // Известия АО РГО. 2021. № 2 (61). С. 40–50.

8. Брагина П.С., Герасимова М.И. Почвообразовательные процессы на отвалах горнодобывающих предприятий (на примере юга Кемеровской области) // География и природные ресурсы. 2014. № 1. С. 45–51.

9. Бузмаков С.А. Введение в трансформацию природной среды // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. Вып. 4. С. 5–9.

10. Водолеев А.С., Андроханов В.А., Клековкин С.Ю. Почвоулучшители: рекультивационный аспект. Новосибирск: Наука, 2007. 148 с.

11. Ворончихина Е.А. Рекультивация нарушенных ландшафтов: теория, технологии, региональные аспекты. Пермь: ЕНИ ПГУ, 2010. 165 с.

12. Гаджиев И.М., Курачев В.М. Генетические и экологические аспекты исследования и классификации почв техногенных ландшафтов // Экология и ре-

культивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1992. С. 6–15.

13. Гильмундинов В.М., Тагаева Т.О., Бокслер А.И. Анализ и прогнозирование процессов обращения с отходами в РФ // Проблемы прогнозирования. 2020. №1. С.126–134.

14. Евдокимова Г.А. Почвенная микробиота как фактор устойчивости почв к загрязнению // Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 2. С. 17–24.

15. Етеревская Л.В., Донченко М.Т., Лехциер Л.В. Систематика и классификация техногенных почв // Растения и промышленная среда. Сб. науч. тр. Свердловск: УрГУ. 1984. 136. С. 14–21.

16. Зубова Л.Г., Зубов А.Р., Верех-Белоусова К.И., Олейник Н.В. Получение металлов из терриконов угольных шахт Донбасса. Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. 144 с.

17. Зуева Г.А. Дернообразующие злаки в условиях Сибири: биологические особенности и практическое применение. Новосибирск: Наука, 2001. 150 с.

18. Кандрашин Е.Р. Проведение сельскохозяйственной рекультивации земель, нарушенной при открытой добыче каменных углей в зонах степи, лесостепи и подтайги Сибири // Биологическая рекультивация земель в Сибири и на Урале. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1991. С. 5–28.

19. Кандрашин Е.Р., Баранник Л.П., Андроханов В.А. Биологический этап рекультивации, его хозяйственная и экологическая оценка, проблемы освоения // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1992. С. 98–149.

20. Классификация и диагностика почв России / под ред. Л.Л. Шишова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 235с.

21. Колмогорова Е.Ю. Оценка устойчивости сосны обыкновенной, произрастающей в условиях породного отвала угольного разреза по индексу флуктуирующей асимметрии // Природно-техногенные комплексы. Рекультивация и устойчивое развитие: материалы Международной научной конференции. Новосибирск, 10-15 июня 2013г. / отв. ред. В.А. Андроханов. Новосибирск: Окраина, 2013. С. 127–129.

22. Коломоец С.Ю. Совершенствование технологии проектных работ по восстановлению русел малых рек, нарушенных горными выработками (на примере Кемеровской области): Автореф. ...дис. канд. с.-х. наук: 06.01.02. Барнаул, 2018. 18 с.

23. Колосова М.М., Котова Г.Г., Просянников В.И. Органоминеральные удобрения на основе бурого угля // Агрехимический вестник. 1999. №4. С. 13–14.

24. Курачёв В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2002. №3. С. 255–261.

25. Ламанова Т.Г., Шеремет Н.В. Агрофитоценозы на отвалах в южной части Кузнецкой котловины. Новосибирск: ЗАО ИПП «ОФСЕТ», 2010. 226 с.

26. Левская Л.А., Рагим-заде Ф.К. Итоги вегетационных опытов по оценке плодородия вскрывшихся пород Кузбасса // Проблемы рекультивации земель в СССР. 1974. С. 145–148.

27. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Л.М. Державиной, Д.С. Булгаковой. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 240 с.
28. Научно-технические проблемы рекультивации земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых в СССР. М.: АН СССР, 1977. 74 с.
29. Попов А.И., Коноплина Л.Ю., Комолкина Н.А., Прилепа, С.В., Сазанова Е.В., Холостов Г.Д. Компонентный состав почвенного органического вещества // *The scientific heritage*. 2021. № 65. С. 11–19.
30. Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жаринова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // *Почвоведение*. 2014. №10. С.1155–1164.
31. Просянкин В.И. Эффективность применения окисленных углей в качестве удобрения сельскохозяйственных культур в лесостепной зоне Кемеровской области: Автореф. ...дис. канд. с-х наук: 06.01.04. Барнаул, 2007. 19 с.
32. Рагим-заде Ф.Ф. Техногенные элювии вскрышных пород угольных месторождений Сибири, оценка их потенциального плодородия и пригодности для восстановления почвенного покрова: Дисс. канд. биол. Наук: 06.01.03. Новосибирск, 1977. 199 с.
33. Семёнов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.:ГЕОС, 2015. 233 с.
34. Спиридонова П.С. Кемеровские ученые определили растения, которые лучше всего подходят для рекультивации (28 марта 2017 г.). URL: <https://kuzbass85.ru/2017/03/28/kemerovskie-uchenyie-opredelili-rasteniya-kotoryie-luchshe-voosstanavlivayut-zemlyu-na-ugolnyih-otvalah/> (дата обращения: 11.03.2022).
35. Таранов С.А., Клевенская И.Л., Щербатенко В.И., Баранник Л.П., Юдина К.В. О первичном почвообразовании на естественно зарастающих отвалах Байдаевского угольного разреза // *Проблемы рекультивации земель в СССР*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. 1974. С. 195–204.
36. Трофимов С.С., Рагим-заде Ф.Ф. Проблемы оптимизации техногенных экосистем Сибири // *Техногенные экосистемы. Организация и функционирование*. Новосибирск: Наука. 1985. С. 3–12.
37. Трофимов С.С., Титлянова А.А., Клевенская И.Л. Системный подход к изучению процессов почвообразования в техногенных ландшафтах Сибири // *Почвообразование в техногенных ландшафтах*. Новосибирск: Наука. 1979. С. 3–19.
38. Уфимцев В.И. Формирование корневых систем сосны обыкновенной в условиях отвалов Кузбасса // *Природно-техногенные комплексы: Рекультивация и устойчивое развитие: материалы Международной научной конференции*. Новосибирск, 10–15 июня 2013. / отв. ред. В.А. Андроханов. Новосибирск: Оккраина, 2013. С. 203–205.
39. Чижов Б.Е., Кулясова О.А. Рекультивация и ремедиация в лесах Западной Сибири. Пушкино: ВНИИЛМ, 2018. 222 с.
40. Шардаков А.Н., Горохова Н.Г., Мишиланов Н.П., Гончарова А.Н. Агрофизические свойства углистых пород и их проявление при внесении в почву // *Ускоренная рекультивация земель с использованием высокоэффективной биотехнологии*. Сб. научн. трудов. Пермь: ВНИИОС уголь. 1988. С. 29–36.
41. Шеремет Н.В. Состояние агропопуляций *Agropyron cristatum* (Poaceae) на спланированных вскрышных отвалах в лесостепи Кузнецкой котловины // *Природно-техногенные комплексы: Рекультивация и устойчивое развитие: материалы Международной научной конференции*. Новосибирск, 10–15 июня 2013 / отв. ред. В.А. Андроханов. Новосибирск: Оккраина, 2013. С. 217–220.
42. Шипилова А.М., Беланов И.П., Андроханов В.А. Техногенез и экогенез почвенного покрова промышленно развитого региона. Новосибирск: СО РАН, 2011. 220 с.
43. Эбель А.Л. Флора северо-западной части Алтае-Саянской провинции: состав, структура, происхождение, антропогенная трансформация: Автореф. ...дис. док. биол. Наук: 03.02.01. Томск, 2011. 40 с.
44. Яковченко М.А., Ермолаев В.А., Косолапова А.А., Дремова. М.С. Изучение биометрических характеристик сидеральных культур при проведении биологической рекультивации на территории угледобывающего предприятия ОАО «Шахта № 12» Кемеровской области // *Вестник КрасГАУ*. 2017. №3. С. 120–129.
45. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources, 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // *World Soil Resources Reports*. 2015. No 106. FAO. Rome. 203 p. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/World-reference-base-for-soil-resources-soil-system-Lúcia-Cruz/eaf02d68d72d5a34ab8f74abab0f23062937238c> (дата обращения: 28.11.2021).
46. Kovaleva I.V., Semenov V.M., Kovaleva N.O., Lebedeva T.N., Yakovleva V.M., Pautova N.B. Estimation of the Biogenicity and Bioactivity of Gleyed Agrogray Nondrained and Drained Soils // *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54(7). P. 1059–1067. <https://doi.org/10.1134/S106422932107007>
47. McLoughlin N. Biogenicity. *Encyclopedia of Astrobiology*. Berlin: Springer-Verlag. 2011. URL: <https://link.springer.com/referencework/10.1007/978-3-642-11274-4> (дата обращения: 11.03.2022).
48. McLoughlin N. Biogenicity. *Encyclopedia of Astrobiology*. Berlin: Springer-Verlag. 2015. P. 278–279. URL: [https://www.researchgate.net/publication/316987446\\_Biogenicity](https://www.researchgate.net/publication/316987446_Biogenicity) (дата обращения: 11.03.2022).

## References

1. Androkhanov, V. and Kurachev, V., 2010. *Pochvenno-ekologicheskoe sostoyanie tekhnogennyh landshaftov: dinamika i oценка* [Soil-ecological state of tech-

- nogenic landscapes: dynamics and assessment]. Novosibirsk, Publishing SB RAS. 224 p. (in Russian)
2. Aparin, B. and Suhacheva, E., 2015. Klassifikatsiya gorodskih pochv v sisteme Rossijskoj i Mezhdunarodnoj klassifikatsii pochv [Classification of urban soils in the system of Russian and International Soil Classification]. *Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute*. 79, pp. 53–72. (in Russian)
  3. Artamonova, V. and Bortnikova, S., 2018. O razvitii Azotobacter chroococcum Beiryinck v starovozrastnyh otvalah antracita [On the development of Azotobacter chroococcum Beiryinck in old-age anthracite dumps]. *Theoretical and applied ecology*. 1, pp. 60–72. (in Russian)
  4. Artamonova, V. and Bortnikova, S., 2022. Biogeochemical characteristics of the root layer of herbaceous plants in recultivated areas of technogenic waste. *Bulletin of the Perm University. Biology series*, 2, pp. (in print). (in Russian)
  5. Artamonova, V., Bortnikova, S. and Opleuchin A., 2016. Tekhnogennoe zagryaznenie pochv podotval'nymi vodami v rajone ugledobychi [Technogenic pollution of soils by subsurface waters in the coal mining area]. *Izvestiya Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*, 26, pp. 38–45 (in Russian).
  6. Bogatyrev, L., 2015. *Osnovnye koncepcii, zakony i principy sovremennogo pochvovedeniya* [Basic concepts, laws and principles of modern soil. Management]. Moscow, MAKS Press. 196 p. (in Russian)
  7. Boguslavsky, A., Androkhonov, V., Kolmagorova, Yu., Uzhogova, A., Gossen, I. and Saeva, O., 2021. Geohimicheskij fon tyazhyolyh metallov v pochvah i rasteniyah na uchastkah otvalov ugol'nyh mestorozhdenij [Geochemical background of heavy metals in soils and plants in the areas of coal deposits dumps]. *Izvestiya AO RGO*, 2 (61), pp. 40–50. (in Russian)
  8. Bragina, P., and Gerasimova, M., 2014. Soil-forming processes on the dumps of mining enterprises (on the example of the south of the Kemerovo region). *Geography and natural resources*, 1, pp. 45–51. (in Russian)
  9. Buzmakov, S., 2018. Introduction to the transformation of the natural environment. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 4, pp. 5–9. (in Russian)
  10. Vodoleev, A., Androkhonov, V. and Klekovkin, S., 2007. Pochvouluchshiteli: rekul'tivacionnyj aspekt. [Soil improvers: recultivation aspect]. Novosibirsk, Nauka publ. 148 p. (in Russian)
  11. Voronchikhina, E., 2010. *Rekul'tivatsiya narushennyh landshaftov: teoriya, tekhnologii, regional'nye aspekty* [Recultivation of disturbed landscapes: theory, technologies, regional aspects]. Perm, ENI PSU. 165 p. (in Russian)
  12. Gadzhiev, I., and Kurachev, V., 1992. Geneticheskie i ekologicheskie aspekty issledovaniya i klassifikatsii pochv tekhnogenykh landshaftov [Genetic and ecological aspects of research and classification of soils of technogenic landscapes]. *Ecology and recultivation of technogenic landscapes*. Novosibirsk, Science. SB RAS. pp. 6–15. (in Russian)
  13. Gilmundinov, V., Tagaeva, T., and Boxler, A., 2020. Analysis and forecasting of waste management processes in the Russian Federation. *Problems of forecasting*, 1, pp. 126–134. (in Russian)
  14. Evdokimova, G., 2014. Pochvennaya mikrobiota kak faktor ustojchivosti pochv k zagryazneniyu [Soil microbiota as a factor of soil resistance to pollution]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2, pp. 17–24. (in Russian)
  15. Eterevsckaya, L., Donchenko, M. and Lekhtsier, L., 1984. Sistematika i klassifikatsiya tekhnogenykh pochv [Systematics and classification of technogenic soils]. *Rasteniyi i promyshlennaya sreda*. Sverdlovsk, USU. 136, pp. 14–21. (in Russian)
  16. Zubova, L., Zubov, A., Verekh-Belousova, K. and Oleinik, N. 2012. *Poluchenie metallov iz terrikonov ugol'nyh shaht Donbassa* [Obtaining metals from the waste heaps of Donbass coal mines]. Lugansk, Publishing house of VNU named after V. Dahl. 144 p. (in Russian)
  17. Zueva, G., 2001. *Dernoobrazuyushchie zlaki v usloviyah Sibiri: biologicheskie osobennosti i prakticheskoe primenenie* [Sod-forming cereals in Siberia: Biological features and practical application]. Novosibirsk, Nauka. 150 p. (in Russian)
  18. Kandrashin, E., 1991. Provedenie sel'sko-hozyajstvennoj rekul'tivatsii zemel', narushennoj pri otkrytoj dobyche kamennyh uglej v zonah stepi, lesostepi i podtajgi Sibiri [Carrying out agricultural recultivation of lands disturbed during open mining of coal in the steppe, forest-steppe and subtaiga zones of Siberia]. *Biologicheskaya rekul'tivatsiya zemel' v Sibiri i na Urale*. Novosibirsk, Science. Siberian Branch. pp. 5–28. (in Russian)
  19. Kandrashin, E., Barannik, L. and Androkhonov, V., 1992. Biologicheskij etap rekul'tivatsii, ego hozyajstvennaya i ekologicheskaya ocenka, problemy osvoeniya [Biological stage of reclamation, its economic and environmental assessment, problems of development]. *Ekologiya i rekul'tivatsiya tekhnogenykh landshaftov*. Novosibirsk, Science. Siberian Branch. pp. 98–149. (in Russian)
  20. SHishov L. (ed.), 2004. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk, Oikumena. 235 p. (in Russian)
  21. Kolmogorova, E. 2013. *Assessment of the stability of the common pine growing in the conditions of the coal mine rock dump by the index of fluctuating asymmetry. Natural-technogenic complexes: Recultivation and sustainable development*. In: Androhanov, V. (ed.) Collection of materials of the International Scientific Conference 10–15 June 2013, Novosibirsk. Novosibirsk, SB RAS, pp. 127–129. (in Russian)
  22. Kolomoets, S. 2018. *Sovershenstvovanie tekhnologii projektnyh rabot po vosstanovleniyu rusel malyh rek, narushennyh gornymi vyrabotkami (na primere Kemerovskoj oblasti)* [Improving the technology of design work on the restoration of small riverbeds disturbed by mining (on the example of the Kemerovo region)]. Ph. D. (Agriculture) Abstract. Barnaul, 18 p.
  23. Kolosova, M., Kotova, G. and Prosyannikov, V., 1999. Organomineral'nye udobreniya na osnove burogo



uglya [Organo-mineral fertilizers based on brown coal]. *Agrohimicheskij vestnik*. 4, pp. 13–14. (in Russian)

24. Kurachev, V. and Androkanov, V., 2002. Klassifikaciya pochv tekhnogennyh landshaftov [Classification of soils of technogenic landscapes]. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 3, pp. 255–261. (in Russian)

25. Lamanova, T. and Sheremet, N., 2010. *Agrofitocenozy na otvalah v yuzhnoj chasti Kuzneckoj kotloviny* [Agrophytocenoses on dumps in the southern part of the Kuznetsk basin]. Novosibirsk, Publishing house "Offset". 226 p. (in Russian)

26. Laevskaya, L. and Ragim-zadeh, F., 1974. Itogi vegetacionnyh opytov po ocenke plodorodiya vskryshnyh porod Kuzbassa [The results of vegetation experiments to assess the fertility of overburden rocks of Kuzbass]. *Problemy rekul'tivacii zemel' v SSSR*. pp. 145–148. (in Russian)

27. Derzhavina, L. and Bulgakova, D., (2003). *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya* [Methodological guidelines for conducting comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands]. Moscow, FGUN «Rosinformagrotech». 240 p. (in Russian)

28. *Nauchno-tekhnicheskie problemy rekul'tivacii zemel', narushennyh pri dobyche poleznyh iskopaemyh v SSSR* [Scientific and technical problems of recultivation of lands disturbed during mining in the USSR]. 1977. Moscow, AN SSSR. 74 p. (in Russian)

29. Popov, A., Konoplina, L., Komolkina, N., Prilepa, S., Sazonova, E. and Kholostov, G., 2021. Component composition of soil organic matter. *The scientific heritage*, 65, pp. 11–19.

30. Prokofieva, T., Gerasimova, M., Bezuglova, O., Bakhmatova, K., Goleva, A., Gorbov, S., Zharikova, E., Matinyan, N., Nakvasina, E. and Sivtseva, N., 2014. Vvedenie pochv i pochvopodobnyh obrazovanij gorodskih territorij v klassifikaciyu pochv Rossii [Introduction of soils and soil-like formations of urban territories into the classification of soils of Russia]. *Pochvovedenie*. 10, pp. 1155–1164. (in Russian)

31. Prosyannikov, V., 2007. *Effektivnost' primeneniya oksislennyh uglej v kachestve udobreniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur v lesostepnoj zone Kemerovskoj oblasti* [Efficiency of application of oxidized coals as fertilizer of agricultural crops in the forest-steppe zone of the Kemerovo region]. Ph. D. (Agriculture) Abstract. Barnaul, 19 p.

32. Ragim-zadeh, F., 1977. *Tekhnogennye elyuvii vskryshnyh porod ugol'nyh mestorozhdenij Sibiri, ocenka ih potencial'nogo plodorodiya i prigodnosti dlya vostanovleniya pochvennogo pokrova* [Technogenic eluvium of overburden rocks of coal deposits of Siberia, assessment of their potential fertility and suitability for restoration of soil cover]. Ph. D. Dissertation Abstract of Sciences in Biology. Novosibirsk, 199 p.

33. Semenov, V. and Kogut, B., 2015. *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* [Soil organic matter]. Moscow, GEOS. 233 p. (in Russian)

34. Spiridonova, P., 2017. Kemerovo scientists have identified plants that are best suited for reclamation.

Available from: <https://kuzbass85.ru/2017/03/28/kemerovskie-ucheniye-opredelili-rasteniya-kotorye-luchshe-vosstanavlivayut-zemlyu-na-ugolnyih-otvalah/> [Accessed: 11<sup>th</sup> Marth 2022].

35. Taranov, S., Klevenskaya, I., Shcherbatenko, V., Barannik, L., and Yudina, K., 1974. O pervichnom pochvoobrazovanii na estestvenno zarastayushchih otvalah Bajdaevskogo ugol'nogo razreza [On primary soil formation on naturally overgrown dumps of the Baydaevsky coal mine]. *Problemy rekul'tivacii zemel' v SSSR*. Novosibirsk, Nauka. pp. 195–204. (in Russian)

36. Trofimov, S. and Ragim-zadeh, F., 1985. Problemy optimizacii tekhnogennyh ekosistem Sibiri [Problems of optimization of technogenic ecosystems of Siberia]. *Tekhnogennye ekosistemy. Organizaciya i funkcionirovanie*. Novosibirsk, Nauka. pp. 3–12. (in Russian)

37. Trofimov, S., Titlyanova, A. and Klevenskaya, I., 1979. Sistemnyj podhod k izucheniyu processov pochvoobrazovaniya v tekhnogennyh landshaftah Sibiri [A systematic approach to the study of soil formation processes in technogenic landscapes of Siberia]. *Pochvoobrazovanie v tekhnogennyh landshaftah*. Novosibirsk, Nauka. pp. 3–19. (in Russian)

38. Ufimtsev, V., 2013. *Formation of root systems of scots pine in the conditions of dumps of Kuzbass. Natural-technogenic complexes: Recultivation and sustainable development*: In: Androkanov, V. (ed.) Collection of materials of the International Scientific Conference 10–15 June 2013, Novosibirsk, SB RAS, pp. 203–205.

39. Chizhov, B. and Kulyasova, O., 2018. *Rekul'tivaciya i remediaciya v lesah Zapadnoj Sibiri* [Recultivation and remediation in the forests of Western Siberia]. Pushkino, VNIILM. 222 p. (in Russian)

40. Shardakov, A., Gorokhova, N., Mishlanov, N. and Goncharova, A., 1988. Agrofizicheskie svoystva uglistyh porod i ih proyavlenie pri vnesenii v pochvu [Agrophysical properties of carbonaceous rocks and their manifestation when applied to soil]. *Uskorennaya rekul'tivaciya zemel's ispol'zovaniem vysokoeffektivnoj biotekhnologii*. Perm, VNIOS ugol'. pp. 29–36. (in Russian)

41. Sheremet, N., 2013. *The state of agropopulations of Agropyron cristatum (Poaceae) on planned overburden dumps in the forest-steppe of the Kuznetsk basin. Natural-technogenic complexes: Recultivation and sustainable development*: In: Androkanov, V. (ed.) Collection of materials of the International Scientific Conference 10–15 June 2013, Novosibirsk, SB RAS, pp. 217–220.

42. Shipilova, A., Belanov, I. and Androkanov, V., 2011. *Tekhnogenez i ekogenez pochvennogo pokrova promyshlennno razvitoogo regiona* [Technogenesis and ecogenesis of the soil cover of an industrially developed region]. Novosibirsk, SO RAN. 220 p. (in Russian)

43. Ebel, A., 2011. *Flora severo-zapadnoj chasti Altae-Sayanskoj provincii: sostav, struktura, proiskhozhdenie, antropogennaya transformaciya* [Flora of the north-western part of the Altai-Sayan province: composition, structure, origin, anthropogenic transformation]. Doctor's Dissertation Abstract of Sciences in Biology. Tomsk, 40 p.

44. Yakovchenko, M., Ermolaev, V., Kosolapova, A. and Dremova, M., 2017. Izuchenie biometricheskikh harakteristik sideral'nyh kul'tur pri provedenii biologicheskoy rekul'tivacii na territorii ugledobyvayushchego predpriyatiya OAO «SHahta № 12» Kemerovskoj oblasti [Study of biometric characteristics of sideral crops during biological recultivation on the territory of the coal mining enterprise of JSC "Mine No. 12" of the Kemerovo region]. *Vestnik KrasGAU*. 3, pp. 120–129. (in Russian)
45. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources, 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. 2015. Vol. 106. FAO. Rome. 203 p. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/World-reference-base-for-soil-resources-soil-system-Lúcia-Cruz/eaf02d68d72d5a34ab8f74abab0f23062937238c> [Accessed 28th November 2021].
46. Kovaleva, I., Semenov, V., Kovaleva, N., Lebedeva, T., Yakovleva, V. and Pautova, N., 2021. Estimation of the Biogenicity and Bioactivity of Gleyed Agrogray Nondrained and Drained Soils. *Eurasian Soil Science*. 54(7). pp. 1059–1067. <https://doi.org/10.1134/S106422932107007> (in Russian)
47. McLoughlin, N., 2011. Biogenicity. Encyclopedia of Astrobiology. Berlin: Springer-Verlag. Available from: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11274-4> [Accessed 28<sup>th</sup> November 2022].
48. McLoughlin, N., 2015. Biogenicity. Encyclopedia of Astrobiology. Berlin: Springer-Verlag. P. 278–279. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/316987446\\_Biogenicity](https://www.researchgate.net/publication/316987446_Biogenicity) [Accessed 28.11. 2022].

Статья поступила в редакцию 15.03.2022; одобрена после рецензирования 30.03.2022; принята к публикации 12.04.2022.

The article was submitted 15.03.2022; approved after reviewing 30.03.2022; accepted for publication 12.04.2022.