

Оригинальная статья

Биологическая рекультивация посттехногенных ландшафтов Якутии: проблемы и перспективы

С. И. Миронова, А. А. Петров✉, А. Н. Николаев

Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

✉Petrov_Alexey@mail.ru

Аннотация

В условиях интенсивного промышленного освоения территории Республики Саха (Якутия) проблема восстановления техногенно-нарушенных территорий становится актуальной. Техногенные ландшафты, сформированные при разработке месторождений полезных ископаемых, негативно влияют на окружающую среду. Суровые природные условия региона препятствуют восстановлению техногенных экосистем. В статье обобщены результаты многолетних исследований сотрудников НИИ прикладной экологии Севера им. профессора Д.Д. Саввинова СВФУ по изучению сукцессионных и почвовосстановительных процессов в посттехногенных ландшафтах россыпных месторождений бассейнов рек Анабар и Алдан, а также на коренных месторождениях алмазов и каменного угля республики. Исследования показали, что в природно-климатических условиях Якутии эффективное восстановление техногенно нарушенных ландшафтов рационально с применением на биологическом этапе рекультивации семян и посадочных материалов из местной флоры. На отвалах рудных месторождений, сложенных из пород, медленно подверженных выветриванию в условиях гипергенеза, эффективного восстановления можно добиться только с формированием техноземов. Дефицит потенциально плодородных пород региона приводит к необходимости создания технологии биологической рекультивации нарушенных земель с использованием альтернативных материалов.

Ключевые слова: криолитозона, посттехногенные ландшафты, первичные сукцессии растительности, биологическая рекультивация, почвообразование

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки РФ «Биота и абиотические компоненты экосистем Северо-Востока России и рациональное освоение природных ресурсов криолитозоны в условиях изменения климата и техногенного воздействия» (№ FSRG-2023-0027) и НОЦ «Север: Территория устойчивого развития».

Для цитирования: Миронова С.И., Петров А.А., Николаев А.Н. Биологическая рекультивация посттехногенных ландшафтов Якутии: проблемы и перспективы. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2023;28(4): 606–611. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-4-606-611>

Original article

Biological reclamation of post-technogenic landscapes of Yakutia: problems and prospects

S. I. Mironova, A. A. Petrov✉, A. N. Nikolaev

Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

✉Petrov_Alexey@mail.ru

Abstract

In the context of intensive industrial development in the Republic of Sakha (Yakutia), the issue of restoring technogenically disturbed areas is becoming increasingly relevant. Technogenic landscapes formed during the extraction of mineral deposits often have negative effects on the environment, and severe environmental conditions hinder the restoration of ecosystems affected by industrial activities. This study synthesized the long-term research results of scientists from the Research Institute of Applied Ecology of the North named after Prof., Dr. Savvinov (NEFU) on the study of succession and soil restoration processes in post-technogenic landscapes of placer deposits in the basins of the

Anabar River and the Aldan River, as well as at the diamond and coal ore deposits in the Mirninsky, Aldansky and Neryungrinsky regions of Yakutia. Our study demonstrated that the effective restoration of technogenically disturbed landscapes is relevant to the use of seeds and planting materials from local flora in the biological stage of reclamation. On the dumps of ore deposits composed of rocks that are slowly weathered under hypergenesis conditions, effective restoration can be achieved only with the formation of technogenic soil. Due to the deficit of (decipher) PPP and (decipher) PSP, it is necessary to create a technology for the biological reclamation of disturbed lands with the use of alternative materials.

Keywords: permafrost zone, post-technogenic landscapes, primary vegetation succession, biological reclamation, soil formation

Funding. This study was conducted within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation “Biotic and abiotic components of ecosystems of the North-Eastern Russia and the rational development of natural resources of the permafrost zone under conditions of climate change and technogenic impact” (number FSRG-2023-0027) and partially funded by the Scientific and Educational Center “North: territory of sustainable development”.

For citation: Mironova S.I., Petrov A.A., Nikolaev A.N. Biological reclamation of post-technogenic landscapes in Yakutia: problems and prospects. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2023;28(4):606–611. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-4-606-611>

Введение

Якутия богата месторождениями полезных ископаемых. При их разведке и разработке неизбежно нарушается природная среда, естественная поверхность преобразуется в техногенные ландшафты. Они же в свою очередь являются эоклимом, внедренным в экосистему, и, находясь на дневной поверхности, являются источником загрязнений для близлежащих территорий. Поэтому в целях минимизации негативного воздействия на окружающую среду проводятся рекультивационные мероприятия. По официальным данным, на конец 2020 г. общая площадь нарушенных земель составляла 15,5 тыс. га [1].

В настоящее время научные исследования биологической рекультивации в условиях Якутии находятся на начальной опытной стадии. Самовосстановление техногенно нарушенных ландшафтов на Севере протекает крайне медленными темпами, а практически любое воздействие техники отражается на функционировании естественных экосистем. Выявлено, что после технической рекультивации без проведения биологического этапа первичные (начальная стадия) сукцессионные процессы длятся около 40–50 лет, а восстановление почвенного покрова достигает органо-аккумулятивной стадии восстановления.

В этой связи главной задачей становится ускорение процесса восстановления техногенно нарушенных ландшафтов путем рекультивации.

Основная цель наших исследований – провести анализ проведенных в последние годы рекультивационных работ и определить перспективы восстановления нарушенных земель.

Биологическая рекультивация посттехногенных ландшафтов Якутии

В 1980-х г. на территории Якутии были предприняты попытки рекультивации техногенно нарушенных земель сельскохозяйственного направления. Институтом биологии ЯФ СО АН СССР совместно с ВНИИ-1 были проведены опытные работы по биологической рекультивации дражных отвалов золотодобычи. Эти исследования показали реальные возможности использования рекультивированных земель в сельскохозяйственном производстве в качестве кормовых угодий [2, 3].

В Мирнинском районе также были проведены опытно-экспериментальные работы по биологической рекультивации отвалов трубки «Мир», результаты которых указывают на перспективность создания кормовых угодий на промышленных отвалах при внесении плодородного слоя до 20–40 см и определенных доз минеральных удобрений [4].

Позднее из-за изменения нормативно-правовых актов и законов в области землепользования и недропользования в России хозяйствующие субъекты стали обращать внимание на биологический этап рекультивации с целью ускорения восстановления техногенных экосистем. В это время исследования по биологическому этапу рекультивации нарушенных земель, проводимые НИИ прикладной экологии Севера СВФУ, стали востребованы как основа рекультивационных работ в условиях Севера. С 1990-х годов сотрудниками института изучаются сукцессионные и почвовосстановительные процессы, протекающие в посттехногенных ландшафтах [5, 6].



Рис. 1. Всходы бекмании восточной на опытном участке
Fig. 1. Seedlings of Eastern beckmania at the experimental plot

Исследования растительных сообществ техногенных ландшафтов начались с отвалов вскрышных пород, сформированных разработками коренных месторождений алмазов. Геоботаниками проведена классификация техногенной растительности и ординация видов вдоль сукцессионного времени, что позволило установить стадии зарастания отвалов пустых пород [5, 6]. Позднее на этих же отвалах были изучены почвовосстановительные процессы, где были выделены таксоны в соответствии с профилно-генетической классификацией почв техногенных ландшафтов [7, 8].

Первые опытно-экспериментальные исследования по разработке методов биологической рекультивации в условиях лесотундровой природной подзоны были проведены на отвалах россыпных месторождений алмазов в среднем течении р. Анабар. В результате опытных работ проективное покрытие бекмании восточной достигло 70 % при средней высоте 50–60 см (рис. 1) [9].

Отвалы вскрышных пород сформированы из потенциально плодородных пород, извлеченных с небольших глубин по долинам рек и ручьев. В основном это супеси и суглинки с небольшим содержанием камней. Здесь формируются почвы из класса биогенно-неразвитых почв. Восстановление почвенного покрова происходит быстрее, чем на отвалах вскрышных пород коренных месторождений, что подтверждается выделением эмбриоземов дерновых. Здесь почвовосстановительные процессы могут достигать стадии «дернообразования» [10].

Опытно-экспериментальные исследования по рекультивации отвалов вскрышных пород, сформированных при разработке коренных месторождений алмазов открытым способом, начались в 2000-х гг. В 2003–2004 гг. были проведены исследования по биологической рекультивации отвалов вскрышных пород карьера «Мир». Поверхность отвала вскрышных пород № 6 карьера «Мир» с высотой 60 м и крутизной откоса до 45 % была отсыпана суглинками (рис. 2). На отсыпанных участках были высажены семена местных видов травянистой растительности и внесены минеральные удобрения. В результате проведенных исследований установлено, что рекультивационными мероприятиями с отсыпкой отвалов суглинками можно добиться формирования относительно устойчивого растительного покрова за 5–10 лет [9]. Дефицит потенциально плодородных пород в северных районах стимулировал поиск альтернативных путей восстановления отвалов вскрышных пород. В 2010–2012 гг. на отвалах карьера «Айхал» было показано, что от-



Рис. 2. Рекультивированный отвал № 6 карьера «Мир»
Fig. 2. Reclaimed dump No. 6, Mir quarry





Рис. 3. Всходы трав с внесением минеральных удобрений

Fig. 3. Grass seedlings with the application of mineral fertilizers

носителю устойчивый растительный покров можно сформировать при применении старики (растительные остатки) и осадков канализационных отходов (КОС) [11].

В районе каменноугольного месторождения «Нерюнгринский» открытая добыча привела к существенному и обширному нарушению природных ландшафтов, образованию техногенных отвально-карьерных территориальных комплексов, лишенных почвенно-растительного покрова, формированию эрозионно-опасного техногенного рельефа, источников загрязнения окружающей природной среды и ухудшения санитарно-гигиенических и эстетических условий жизни людей. Здесь рекультивация посттехногенных ландшафтов становится социально важной и неотложной проблемой.

Опыты биологической рекультивации начались с 2005 г. Задачей опытных работ является ускорение процессов самозарастания отвалов путем посева однолетних и многолетних трав и травосмесей с внесением минеральных удобрений (рис. 3) [9]. В результате проведенных исследований было обосновано эффективность применения травянистых, кустарниковых и древесных видов растений местной флоры с отсыпкой и без отсыпки потенциально плодородными породами.

Следует отметить, что для отвалов вскрышных пород добычи каменного угля в Южной Якутии характерно содержание в грунтах частиц и пыли каменного угля, что положительно сказывается в восстановлении почвенного покрова.



Рис. 4. Опытные участки на дражных отвалах

Fig. 4. Experimental plots on dredge dumps

Грунты отвалов в основном состоят из песчанников, которые быстро разрушаются в условиях гипергенеза, поэтому в основном здесь развиваются молодые почвы из класса биогенно-неразвитых почв. Эти молодые почвы довольно быстро зарастают рудеральной растительностью и переходят в органо-аккумулятивную стадию развития.

В Алданском районе Республики Саха (Якутия) более 100 лет ведется разработка рудных и россыпных месторождений золота. В бассейне р. Селигдар с 1994 г. на разновозрастных дражных отвалах ведутся исследования почвовосстановительных и сукцессионных процессов (рис. 4). Кроме этого, здесь ведутся опытные работы по ускорению процесса самовосстановления. Полученные результаты позволили разработать научно-практические рекомендации по отводу нарушенных земель под самозарастание.

На отвалах вскрышных пород, сформированных при разработке рудных месторождений золота (Куранахское рудное поле), были получены положительные результаты в опытах с применением видов растений местной флоры [5].

Заклучение

Обзор результатов многолетних работ по биологической рекультивации показал, что рассматриваемые методы значительно ускоряют сукцессионные и почвовосстановительные процессы на отвалах вскрышных пород месторождений золота и каменного угля в Южной Якутии. Отвалы вскрышных пород россыпных месторождений алмазов среднего течения р. Анабар обладают

высоким потенциалом к самовосстановлению. Но существующие здесь из-за неустойчивости грунтов проблемы можно частично решить путем снижения активности криогенных процессов задержанием грунтов и созданием устойчивых растительных сообществ. Естественное восстановление отвалов вскрышных пород, сформированных при разработке коренных месторождений алмазов Западной Якутии, осложнено непростыми почвенными условиями, поэтому в целях ускорения восстановительных процессов были разработаны эффективные методы рекультивации с применением потенциально плодородных почв (ППП) и (или) плодородных слоев почв (ПСП). Следует отметить, что в данном районе существует дефицит PPP и ПСП, поэтому были предприняты попытки разработки способов биологической рекультивации с применением альтернативных материалов – актуальная задача в восстановлении техногенно нарушенных территорий.

Список литературы / References

1. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды. Якутск: Министерство экологии, природопользования и лесного хозяйства Правительства Республики Саха (Якутия); 2021. 677 с.
State report on the state and protection of the environment. Yakutsk: Ministry of Ecology, Nature Management and Forestry of the Government of the Republic of Sakha (Yakutia); 2021. 677 p. (In Russ.)
2. Кузьмин Ю.И. Биологическая рекультивация техногенных отвалов в условиях Крайнего Севера. *Экология.* 1985;(2):21–24.
Kuzmin Yu.I. Biological reclamation of man-made dumps in the Far North. *Ecology.* 1985;(2):21–24. (In Russ.)
3. Петрова А.Н. Выращивание многолетних злаковых трав на дражных полигонах в Южной Якутии. В кн.: Дегтева С.В. (ред.). *Освоение Севера и проблема рекультивации: Доклады II международной конференции, г. Сыктывкар, 25–28 апреля 1994 г.* Сыктывкар: СГУ; 1994. С. 273–281.
Petrova A.N. Growing perennial cereal grasses at dredge sites in Southern Yakutia. In: Degteva S.V. (ed.). *The 2nd international conference "The development of the north and problems of recultivation"*. Syktyvkar: Syktyvkar State University; 1994:273–281. (In Russ.)
4. Лебедева Н.А., Лонкунова А.Я. Биологическая рекультивация земель, нарушенных при добыче алмазов в Якутии. *Растения и промышленная среда.* 1990;(13):71–76. URL: <https://hdl.handle.net/10995/32598>
Lebedeva N.A., Lonkunova A.Ya. Biological reclamation of lands disturbed during diamond mining in Yakutia. *Plants and industry. Sreda.* 1990;(13):71–76. (In Russ.) URL: <https://hdl.handle.net/10995/32598>
5. Миронова С.И. *Техногенные сукцессионные системы растительности в условиях криолитозоны.* Новосибирск: Наука; 2000. 105 с.
Mironova S.I. *Technogenic successional systems of vegetation in the permafrost zone.* Novosibirsk: Nauka; 2000; 105 p. (In Russ.)
6. Тарабукина В.Г. Свойства пород отвалов и особенности почвообразования в техногенных ландшафтах. *Наука и образование.* 1996;(4):153–160.
Tarabukina V.G. Properties of dump rocks and features of soil formation in technogenic landscapes. *Nauka i obrazovaniye.* 1996;(4):153–160. (In Russ.)
7. Курачев В.М., Андроханов В.А. Классификация почв техногенных ландшафтов. *Сибирский экологический журнал.* 2002;(3):255–261.
Kurachev V.M., Androkhonov V.A. Classification of soils of technogenous landscapes. *Sibirskiy Ekologicheskii Zhurnal=Contemporary Problems of Ecology.* 2002;(3):255–261. (In Russ.)
8. Данилова А.А., Саввинов Г.Н., Петров А.А., Данилов П.П. Биологическая характеристика почвогрунтов многолетних отвалов алмазодобывающей промышленности Якутии. *Сибирский экологический журнал.* 2012;(5):749–756.
Danilova A.A., Savvinov G.N., Petrov A.A., Danilov P.P. Biological characterisation of soil dumps in diamond-mining industry of Yakutia. *Sibirskiy Ekologicheskii Zhurnal=Contemporary Problems of Ecology.* 2012;(5):749–756 (In Russ.)
9. Миронова С.И., Гаврильева Л.Д., Петров А.А., Никифоров А.А. *Биологическая рекультивация промышленных земель Якутии.* М.: Издательский дом Академии Естествознания; 2021. 166 с. <https://doi.org/10/17513/np.446>.
Mironova S.I., Gavril'eva L.D., Petrov A.A., Nikiforov A.A. *Biological reclamation of industrial lands in Yakutia.* Moscow: Publishing House of the Academy of Natural Sciences. 2021. 166 p. (In Russ.) <https://doi.org/10/17513/np.446>.
10. Петров А.А., Миронова С.И. Инициальное почвообразование в посттехногенных ландшафтах Северной Якутии. *Проблемы региональной экологии.* 2023;(2): 58–62. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2023-2-58-62>
Petrov A.A., Mironova S.I. Initial soil formation in post-technogenic landscapes of Northern Yakutia. *Regional environmental issues.* 2023;(2):58–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2023-2-58-62>
11. Миронова С.И., Иванов В.В., Гаврильева Л.Д. и др. Научные основы выбора способов биологической рекультивации отвалов карьера «Айхал». *Успехи современного естествознания.* 2012;(11-1): 125–127. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=31049>
Mironova S.I., Ivanov V.V., Gavril'yeva L.D., et al. Scientific basis for choosing methods for biological reclamation of dumps from the Aikhal quarry. *Advances in Current Natural Sciences.* 2012;(11-1):125–127. (In Russ.) URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=31049>

Об авторах

МИРОНОВА Светлана Ивановна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-4837-9040>, Scopus Author ID: 6603917233, РИНЦ AuthorID: 138128, e-mail: mironova47@mail.ru

ПЕТРОВ Алексей Анатольевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-8536-4078>, ResearcherID: A-9853-2014, Scopus Author ID: 57072487900, РИНЦ AuthorID: 155715, e-mail: Petrov_Alexey@mail.ru

НИКОЛАЕВ Анатолий Николаевич, доктор биологических наук, ректор, <https://orcid.org/0000-0003-2270-2049>, Scopus Author ID: 24074502400, РИНЦ AuthorID: 155715, e-mail: rector@s-vfu.ru

About the authors

MIRONOVA, Svetlana Ivanovna, Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-4837-9040>, Scopus Author ID: 6603917233, RISC Author ID: 138128, e-mail: mironova47@mail.ru

PETROV, Alexey Anatol'evich, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-8536-4078>, ResearcherID: A-9853-2014, Scopus Author ID: 57072487900, RISC AuthorID: 155715, e-mail: Petrov_Alexey@mail.ru

NIKOLAEV, Anatoly Nikolaevich, Dr. Sci. (Biol.), Rector, <https://orcid.org/0000-0003-2270-2049>, Scopus Author ID: 24074502400, RISC AuthorID: 155715, e-mail: rector@s-vfu.ru

Поступила в редакцию / Submitted 25.10.2023

Поступила после рецензирования / Revised 02.11.2023

Принята к публикации / Accepted 16.11.2023