

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ

Ю.А. Озарян¹, Т.В. Кожевникова²

¹ Институт горного дела Дальневосточного отделения РАН,
Хабаровск, Россия, e-mail: ozaryanigd@gmail.com

² Вычислительный центр Дальневосточного отделения РАН, Хабаровск, Россия

Аннотация: Представлены результаты исследований, направленных на оценку реабилитации растительности в зоне воздействия горных предприятий Хабаровского края на основе данных дистанционного зондирования Земли с использованием математического анализа временных рядов исследуемых показателей прогнозирования состояния и скорости восстановления биоты. Объектом исследования являются природно-технические системы, образованные в процессе открытой и подземной добычи, а также переработки минерального сырья. Для проведения исследования определены естественные показатели среды обитания (температура воздуха, количество осадков, влажность почвы и ее температура на разных горизонтах) и рассчитан нормализованный вегетационный индекс растительности. Исследуемые участки классифицированы на кластеры методом k-means clustering, в результате чего установлены схожие по параметрам полигоны. Выявлена общая динамика значений исследуемых показателей в каждом кластере. Сопряженный анализ имеющихся данных позволил определить различные зоны по состоянию растительного покрова. Для комплексной оценки состояния природных систем необходимо интегрировать данные по содержанию поллютантов в атмосфере, воде, почве, растительности. Решение перечисленных задач имеет важное значение для разработки региональных научно обоснованных природоохранных мероприятий по восстановлению нарушенных земель с использованием естественного потенциала биоты к восстановлению.

Ключевые слова: геоэкология, устойчивое развитие, геоинформационная система, естественное восстановление растительности, дистанционное зондирование Земли, мониторинг, нарушенные земли, кластеризация.

Для цитирования: Озарян Ю. А., Кожевникова Т. В. К вопросу исследования постэксплуатационного развития природно-технических систем в зоне воздействия горных предприятий Хабаровского края // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 12. – С. 50–61. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_12_0_50.

Studying post-mining development of natural–technical systems in influence zones of mines in the Khabarovsk Krai

Yu.A. Ozaryan¹, T.V. Kozhevnikova²

¹ Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia, e-mail: ozaryanigd@gmail.com

² Computer Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russia

Abstract: The article describes the studies aimed to assess revegetation in influence zone of mines in the Khabarovsk Krai using remote sensing data and mathematical analysis of time series of test indicators involved in biota state and recovery rate forecasting. The subject of research are the natural–technical systems formed during open pit and underground mineral mining and processing. For the purpose of the research, the natural environmental indicators (air temperature, rainfall amount, soil humidity and soil temperature on different soil layers) are determined, and the normalized difference vegetation index is calculated. The test areas are classified into clusters using the k-means clustering method, and the sites with the similar parameters are identified as a result. The common dynamics of the test indicators is revealed in each cluster. The conjugate analysis of the available data determined different vegetation status zones. The integrated evaluation of natural systems requires incorporating data on concentration of pollutants in air, water, soil and in vegetation. Solving the listed problems is important now as this helps develop science-based regional environmental measures aimed at disturbed land restoration using natural regeneration potential of biota.

Key words: geoecology, sustainable development, geoinformation system, natural revegetation, remote sensing, monitoring, disturbed land, clustering.

For citation: Ozaryan Yu. A., Kozhevnikova T. V. Studying post-mining development of natural–technical systems in influence zones of mines in the Khabarovsk Krai. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(12):50–61. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_12_0_50.

Введение

Добыча полезных ископаемых благоприятно влияет на экономическую и социальную сферы. Но, как и любое технологическое вмешательство, недропользование оказывает отрицательное воздействие на компоненты лито-, атмо- и биосферы. Добыча сопровождается вырубкой первичного леса, а отсутствие экотона провоцирует миграцию животных и, соответственно, снижение биоразнообразия на прилегающих территориях.

Согласно данным государственного доклада «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году», на тер-

ритории Хабаровского края сосредоточены месторождения различных видов минерального сырья, объемы добычи некоторых из них имеют положительную динамику (см. табл. 1).

Увеличение объемов добычи является причиной роста количества отходов и площади земель, отчуждаемых под их размещение (см. рис. 1). Большая часть площади земельного отвода предприятия занята отвалами вскрышных пород. Закон РФ «О недрах» определяет обязанность недропользователя проводить рекультивацию, а также осуществлять ряд природоохранных мероприятий, в том

Таблица 1

Минерально-сырьевая база Хабаровского края
Mineral resource base of the Khabarovsk Territory

Минерально-сырьевой ресурс	Объем запаса, млн т	Добыча, млн т
Уголь	2000	5,7
Цементное сырье	1000	–
Уран	0,0039	0
Медь	0,0055	0,0032
Свинец	0,02	0
Цинк	0,0003	0
Олово	0,3154	0,0048
Вольфрам	0,0217	0,0006
Золото	0,000768	0,0000294
Серебро	0,0023	0,0000602000
Металлы платиновой группы	0,0000288	0,0000003

числе превентивного характера. Наблюдения, проведенные на рекультивированных отвалах, свидетельствуют о том, что даже качественный посадочный материал и подготовленный плодородный слой не обеспечивают высоких темпов восстановления растительности.

В Хабаровском крае горнодобывающие предприятия расположены в зоне хвойных и смешанных лесов, а отвалы

вскрышных пород, размещенные по периметру территории, находятся на границе естественных природных комплексов, что способствует интенсификации процессов естественного зарастания.

Отходы горных предприятий являются потенциальными техногенными месторождениями и представляют ценность для недропользователей. Учеными Института горного дела установлено,

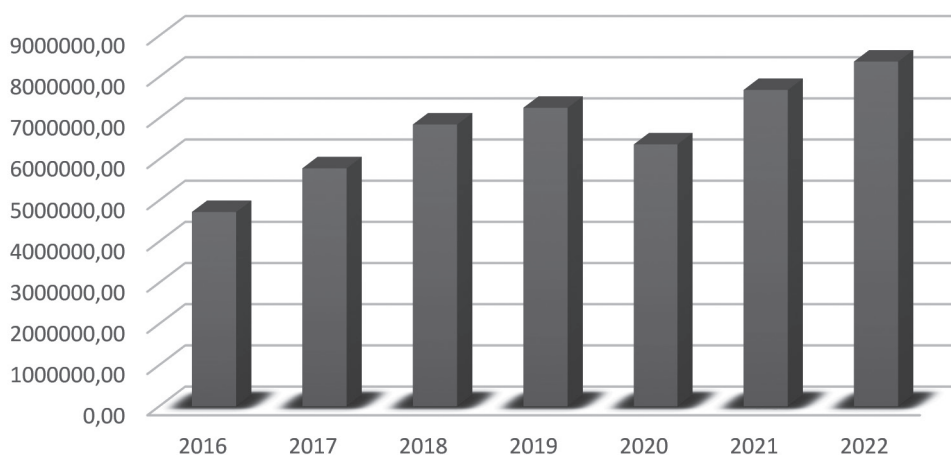


Рис. 1. Объем образования отходов добычи полезных ископаемых в 2016–2022 гг., тыс. т

Fig. 1. Volume of mining waste generation in 2016–2022, thousand tons

что на отвалах золотодобычи Хабаровского края происходит естественное самовосстановление фитоценозов: полное самозарастание происходит за 7–16 лет, поэтому специальные рекультивационные мероприятия с целью восстановления именно растительности должны учитывать особенности естественного восстановления [1]. Исходя из этого, особо актуальны мониторинговые исследования для изучения участков самозарастания как на поверхности объектов размещения отходов, так и в зоне их воздействия. Таким образом, целью работы стало исследование естественного восстановления компонентов биоты в зоне воздействия горнопромышленного комплекса Хабаровского края.

Для этих целей рационально применение дистанционных методов мониторинга, использование которых позволяет не только анализировать архивные данные, но и проводить экспрессную оценку состояния биоты в настоящий момент времени. Доступность и высокое качество данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) определяет их активное использование в различных отраслях производства. Ученые решают самые разнообразные задачи с помощью спутниковых снимков и материалов радиолокационной съемки. В работах [2, 3] представлены результаты реконструкции почвенно-растительного слоя на поверхности отвалов и экологического мониторинга угольного разреза на основе спутниковых данных (Landsat 4-5, 7, 8) и снимков с беспилотного летательного аппарата. Для мониторинга использовались спектрально-динамические признаки, извлекаемые из серий значений вегетационного индекса NDVI за определенный временной период. Авторы подтвердили, что увеличение площади земель, нарушенных открытыми горными работами, отрицательно влияет на изменение вегетационного индекса NDVI.

В работе Л.С. Рыбниковой и др. [4] приведена оценка процессов саморегуляции и районирования водосборной площади медно-колчеданного месторождения с использованием мультиспектральных снимков со спутников Landsat-5 и Landsat-8 за период с 1986 по 2020 гг., а также значений вегетационного индекса NDVI. По результатам исследования, негативное влияние объектов отработанного рудника на подземные, поверхностные воды и общее экологическое состояние территории неоспоримо.

Естественное восстановление растительности являлось объектом исследования широкого круга ученых как в России, так и за рубежом, и считалось эффективным методом реабилитации растительности [5–11]. Ревитализация, основанная на теории самопроектирования, заключалась в создании физических и химических условий, благоприятствующих росту желаемых видов и подходящих конкретному местообитанию [12]. По сравнению с культивируемыми растительными сообществами в результате усилий человека по восстановлению, растительность после естественного восстановления с большей вероятностью приближалась к местным растительным сообществам [13, 14], с более высоким видовым разнообразием и численностью. Более того, естественное восстановление растительности обычно приводило к обогащению почвы органическим веществом [15]. Ряд исследователей детально изучали влияние времени восстановления и типов растительности на свойства почвы и взаимодействие между растительностью и почвой [16]. Установлено, что различные типы растительности и годы восстановления по-разному влияют на улучшение свойств почвы [17]. Экстремальные условия природно-технических систем оказывают влияние на естественное вос-

становление. Малая часть исследований касается структуры растительных сообществ [18], что важно для выявления механизмов восстановления растительности.

Материалы и методы

Объектами исследования являются природно-технические системы Хабаровского края. Выбраны снимки исследуемых территорий со спутников Sentinel 2, Landsat 5-8. Работы с данными выполнены в Earth Engine. Для решения поставленных задач разрабатывается методика и алгоритм анализа спутниковых снимков для мониторинга состояния поверхности отвалов по данным ДЗЗ.

Для оценки качества вторичных растительных сообществ создавался композит изображения за период с 15 июня по 10 августа (с 1 июня по 30 августа на спутнике Landsat из-за маленького количества снимков) за каждый исследуемый год: 2019–2022 — Sentinel 2; 2013–2018 — Landsat 8; для 2011–2012 гг. — Landsat 7; 2003–2010 — Landsat 5. Набор снимков указанной территории за названный промежуток времени проходит атмосферную коррекцию с помощью нейронных сетей и масок облаков. Фактически создавался композит из набора снимков, где значением канала в каждом пикселе являлась медиана этого пикселя среди всех снимков. После чего сохраняется полученное изображение для дальнейшей работы. В каждом пикселе изображения рассчитывается NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) по формуле

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED), \quad (1)$$

где *NIR* — отражение в ближней инфракрасной области спектра, *RED* — отражение в красной области спектра.

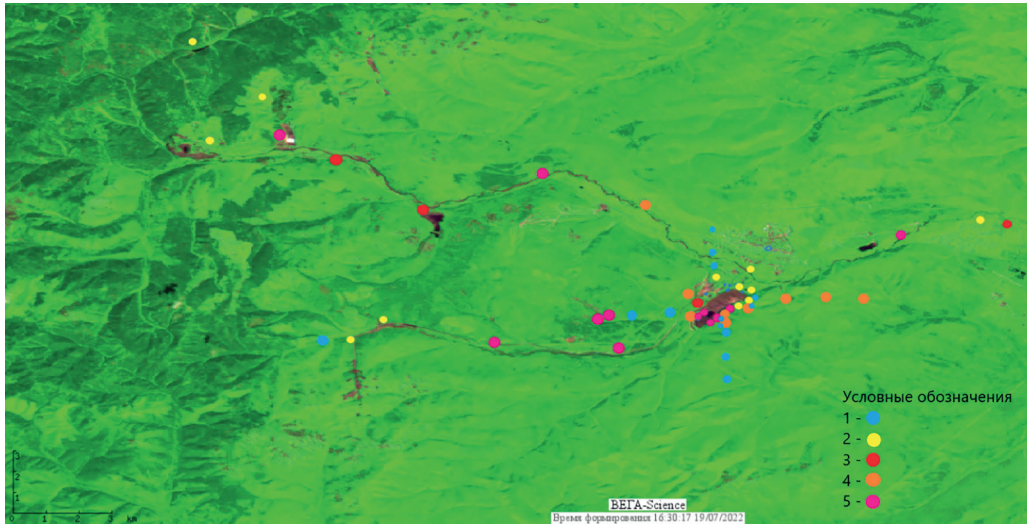
Отметим, что для разных спутников выбирались разные каналы. С помощью

полученного изображения рассчитывалось значение NDVI для каждого пикселя с помощью функции нормализованной разности Earth Engine. Далее создавалась исследуемая область с помощью стандартного инструмента Earth Engine, код этой фигуры использовали во всех программах для расчета изменения площади зарастания на протяжении заданного временного интервала. Для преобразования пикселей в площадь использован метод reduce. Разведочный анализ данных выполнялся в пакете STATISTICA.

Результаты исследования и их обсуждение

Для ускорения процессов естественного восстановления биоты необходимо выявить закономерности формирования вторичных фитоценозов — в какой степени внешние биотические факторы влияют на процессы, ускоряют их и обеспечивают ли положительную динамику. Будучи искусственным безразмерным показателем, NDVI предназначен для измерения эколого-климатических характеристик растительности, но в то же время может показывать значительную корреляцию с некоторыми параметрами совсем другой области: продуктивностью (временные изменения); биомассой; влажностью и минеральной (органической) насыщенностью почвы; испаряемостью; объемом выпадаемых осадков; мощностью и характеристиками снежного покрова [19].

Для исследования естественного восстановления выбрана территория, прилегающая к хвостохранилищу, в котором на момент начала исследования было сосредоточено 15,93 млн м³ высокосульфидных отходов обогащения с промышленно интенсивными содержаниями Su, W, Cu, значительные количества Jn, Cd, Bi, Au, Sc, а также As, Pb, Zu, Ag, Hg, S (в сульфидной форме). С 2020 г.



1 — точки кластера № 1; 2 — точки кластера № 2; 3 — точки кластера № 3;
4 — точки кластера № 4; 5 — точки кластера № 5

Рис. 2. Графическое изображение распределения точек в кластере
Fig. 2. Graphic representation of the distribution of points in a cluster

запущен процесс переработки накопленных отходов.

Определены естественные показатели среды обитания (температура воздуха, количество осадков, влажность почвы и ее температура на разных гори-

зонтах) и рассчитанный вегетационный индекс растительности NDVI. Участок исследования находится в пределах Комсомольского рудного поля. Климат района соответствует умеренному климатическому поясу, ярко выражены сезоны

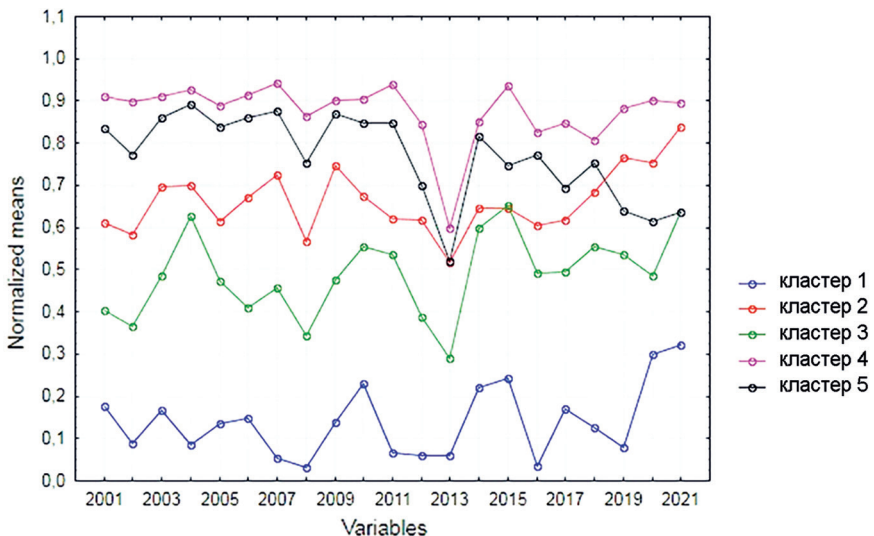


Рис. 3. Средние значения NDVI для каждого кластера
Fig. 3. Average NDVI values for each cluster

года с суровой продолжительной зимой и коротким знойным летом.

В районе исследования расположено два населенных пункта: рабочий поселок Солнечный и поселок Горный. Главным горным образованием в районе хвостохранилища является хребет Мяо-Чан и его восточные отроги, основная речная система р. Силенка, которая образуется при слиянии рек Л. Силенка и Холдоми. В процессе анализа исследованы данные многолетних наблюдений (в сервисе BEGA-Science) по 47 объектам (см. рис. 2), распределенным на кластеры в результате анализа методом Box and Whisker Plot.

Данный тип диаграммы использовался для сравнения порядковых статистик (квартиль, медиана, наблюдаемые минимальные и максимальные значения, выбросы) между наборами данных (показателя NDVI) по каждому объекту. С целью определения количества классов, на которые требуется разбить объекты исследуемой территории, произведена предварительная оценка данных показателя NDVI по каждому объекту.

В каждом кластере схожи параметры объектов. На рис. 3 показан линейный график средних значений NDVI для каждого кластера. При расчетах значимость различий между классами выражалась соотношением $p \leq 0,05$, что говорит о значимом различии между классами.

Установлены общая динамика значений в кластерах от года к году и ярко выраженный спад тренда показателя в 2013 г. после острой паводковой ситуации в Хабаровском крае и подъема уровня воды в р. Амур до критических отметок.

Значения показателя в первом кластере лишь в нескольких случаях повторяют значения других кластеров, очевидна схожесть трендов для 1, 2, 3. Учитывая ярко выраженную реакцию растительности на климатическую аномалию 2013 г., предполагаем высокую

зависимость индекса от количества осадков, а также влияние гидрологического режима и расстояния от водного объекта. Каждый кластер обозначен цветом для анализа территориальной привязки кластеров.

При визуальном анализе распределения точек каждого кластера относительно источников загрязнения, речной сети и ландшафта зависимости не прослеживается. Полигоны первого кластера четко распределились на равном удалении от хвостохранилища.

Выявлено, что точки, распределенные во второй кластер, пространственно тяготеют к техногенным объектам, часть из них расположена по периметру хвостохранилища центральной обогатительной фабрики, три точки — вблизи пос. Горный, и еще две — у месторождения Фестивальное и отстойников.

В целом по району после 2013 г. отмечен рост вегетационного индекса, кроме 5-го кластера, часть точек которого сосредоточена в месте возобновления горных работ. Невысокая концентрация хлорофилла, а главное, снижение его содержания (отрицательный тренд NDVI) может быть косвенным показателем ухудшения состояния растительного покрова. Однако следует учитывать, что снижение содержания хлорофилла обуславливается и естественными факторами [20].

Для выявления факторов и критериев успешного восстановления растительности проведен анализ зависимости NDVI от климатических параметров (количество осадков) (табл. 2).

Зависимость между этими параметрами и NDVI, как правило, не прямая и связана с особенностями исследуемой территории, ее климатическими и экологическими характеристиками, кроме этого, часто необходимо учитывать временные различия параметра и ответной реакции NDVI [7].

Таблица 2

Корреляционная таблица зависимости NDVI от климатических параметров
 Correlation table of NDVI dependence on climatic parameters

Показатель	NDVI	Кол-во осадков, мм	Влажность, г/м ³			t воздуха, °C	t почвы, 0–10 °C	t почвы, 40–100 °C	t почвы, 10–100 °C
			--	0–10	40–100				
NDVI	1								
Количество осадков, мм	-0,043	1							
Влажность, г/м ³	-0,052	0,709	1						
Влажность, 0–10 г/м ³	0,225	0,43	0,461	1					
Влажность, 40–100 г/м ³	0,226	0,369	0,404	0,990	1				
Влажность, 10–40 г/м ³	0,319	0,385	0,393	0,917	0,912	1			
Температура воздуха, °C	0,025	-0,238	-0,249	-0,090	-0,048	-0,085	1		
Температура почвы, 0–10 °C	0,263	0,279	0,277	0,937	0,951	0,864	0,157	1	
Температура почвы, 40–100 °C	0,212	0,364	0,373	0,824	0,816	0,789	0,028	0,826	1
Температура почвы, 10–100 °C	0,250	0,333	0,359	0,932	0,931	0,875	0,063	0,955	0,951

Таблица 3

Изменение площади исследуемой природно-технической системы, покрытой растительностью
Changing the area of overgrowth

Год	Спутник	Площадь с растительностью, м ²	Площадь без растительности, м ²
2001	Landsat 5	788 350	730 005
2008	Landsat 5	801 844	716 512
2011	Landsat 5	835 391	682 964
2018	Landsat 8	832 727	685 628
2023	Sentinel-2	189 957	1 328 398

Анализ результатов расчета корреляции NDVI с климатическими параметрами показал, что зависимости не существенны, и по этим данным можно сделать вывод, что климатические параметры не оказывают определяющего влияния на динамику индекса, кроме того, следует отметить, что растительные сообщества характеризуются запаздыванием ответных реакций на климатические факторы. Возможно, не учитываются дополнительные факторы, связанные с гидрологическим режимом расположенных рядом водных объектов.

Изучение значений коэффициентов корреляции указывает на отрицательную зависимость между количеством осадков и NDVI, хотя с высокой степенью достоверности мы можем утверждать, что резкое падение показателя в 2013 г. не только на указанных здесь полигонах, но и в других частях Хабаровского края, связано именно с аномально высоким уровнем осадков летом 2013 г.

Полученные данные позволили сделать следующий вывод: площадь земель, прилегающих к объекту размеще-

ния отходов, покрытая растительностью, постоянно увеличивалась на протяжении 20 лет (табл. 3). Увеличение площади нарушенных земель на 642 770 м² связано с началом переработки отходов хвостохранилища и запуском второго хвостохранилища, примыкающего к исследуемому объекту. По нашим данным, рекультивационные мероприятия в этом районе не проводились, поэтому причины увеличения площади земель, покрытых растительностью, связаны с естественными природными процессами.

Выводы

Сопряженный анализ имеющихся данных позволил выявить различные зоны по состоянию растительного покрова. Для комплексной оценки состояния природных систем необходимо интегрировать данные по содержанию поллютантов в атмосфере, воде, почве, растительности. Оптимизация количества объектов исследования на основе кластерного анализа позволит уменьшить затраты на проведение численных расчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвинцев В. С., Усиков В. И., Озарян Ю. А., Алексеев В. С. Метод дистанционного зондирования Земли в составе работ по оценке объемов техногенного сырья и экологической обстановки при эксплуатации россыпей // Георесурсы. — 2021. — № 23(4). — С. 116—123. DOI: 10.18599/grs.2021.4.13.

2. Куприянов А. Н., Манаков Ю. А., Куприянов О. А., Шатилов Д. А. Реконструкция почвенно-растительного слоя на поверхности отвалов в Кузбассе // Уголь. – 2021. – № 2 (1139). – С. 46–52.
3. Мусина Г. А., Ожигин Д. С., Ожигина С. Б. Экологический мониторинг на основе снимков, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Т. 4. – № 2. – С. 196–204.
4. Рыбникова Л. С., Рыбников П. А., Бузина Д. А., Смирнов А. Ю. Оценка самореабилитации территории Дегтярского медно-колчеданного месторождения (Средний Урал) с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 4. – С. 93–105.
5. Озарян Ю. А. Оценка естественного восстановления биоты в зоне воздействия горнодобывающих предприятий Хабаровского края по данным спутникового мониторинга // Горный журнал. – 2018. – № 10. – С. 84–88. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.16.
6. Данилов Д. А., Шестаков В. А., Шестакова Т. А., Эндерс О. О. Сукцессионные стадии восстановления древесной растительности на постарогенных землях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2020. – № 233. – С. 60–80.
7. Братков В. В., Кравченко И. В., Туаев Г. А., Атаев З. В., Абдулжалимов А. А. Применение вегетационных индексов для картографирования ландшафтов Большого Кавказа // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. – 2016. – № 4. – С. 99–111.
8. Бурдуковский М. Л., Перепелкина П. А. Агроэкологическое состояние почв и восстановление растительности в залежных экосистемах // Биота и среда природных территорий. – 2022. – Т. 10. – № 2. – С. 28–36.
9. Дёгтева С. В. Особенности восстановления растительности на отвалах отработанных россыпей Приполярного Урала // Теоретическая и прикладная экология. – 2021. – № 3. – С. 80–89.
10. Чадаева В. А., Цепкова Н. Л., Жашуев А. Ж. Многолетняя динамика восстановления растительности техногенных ландшафтов Былымской аридной котловины (Центральный Кавказ) // Аридные экосистемы. – 2020. – Т. 26. – № 4 (85). – С. 127–135.
11. Тихменев П. Е., Смирнов А. А., Тихменев Е. А., Станченко Г. В. Особенности естественного восстановления и рекультивации почвенно-растительных комплексов в районе Усть-Среднеканской ГЭС на р. Колыма / Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Т. 2. – М., 2021. – С. 122–126.
12. Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П. Экологические аспекты технологической парадигмы минерально-сырьевого комплекса при устойчивом развитии природы и общества // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 1. – С. 18–38.
13. Miguel Ballesteros, Klára Řehouňková, Lenka Šebelíková, Anna Müllerová, Kamila Vítovcová, Karel Prach Participation of grassland species in various successional series in a temperate European region and implications for habitat management // Global Ecology and Conservation. 2024, vol. 49, article e02761. DOI: 10.1016/j.gecco.2023.e02761.
14. Feng L., Guo M., Wang W., Shi Q., Guo W., Lou Y. Evaluation of the effects of long-term natural and artificial restoration on vegetation characteristics, soil properties and their coupling coordinations // Science of the Total Environment. 2023, vol. 884, article 163828. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163828.
15. Giweta M. Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review // Journal of Ecology and Environment. 2020, vol. 44, no. 2, pp. 81–89. DOI: 10.1186/s41610-020-0151-2.
16. Qiu D. X., Xu R. R., Wu C. X., Mu X. M., Zhao G. J., Gao P. Vegetation restoration improves soil hydrological properties by regulating soil physicochemical properties in the Loess Plateau, China // Journal of Hydrology. 2022, vol. 609, article 127730. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.127730.
17. Guo C. Y., Zhang F., Wang X., Lu N. Effects of meteorology and soil on the herb species diversity in plantations in a reclamation area of coal mine after 6 years // Environmental Science and Pollution Research. 2020, no. 27, pp. 24231–24241. DOI: 10.1007/s11356-020-08402-2.
18. Xu X., Zhang D. Comparing the long-term effects of artificial and natural vegetation restoration strategies. A case-study of Wuqi and its adjacent counties in northern China // Land Degradation & Development. 2021, vol. 32, no. 14, pp. 3930–3945. DOI: 10.1002/ldr.4018.

19. John J., Jaganathan R., Dharshan Shylesh D. S. Mapping of Soil moisture index using optical and thermal remote sensing // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022, vol. 171, pp. 759 – 767. DOI: 10.1007/978-3-030-80312-4_65.

20. Рыжкова В. А., Корец М. А. Мониторинг состояния растительного покрова в зонах промышленных выбросов на основе сопряженного анализа наземных и дистанционных данных с использованием ГИС // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. — 2006. — № 2-2. **ГИАС**

REFERENCES

1. Litvintsev V. S., Usikov V. I., Ozaryan Yu. A., Alekseev V. S. Method of remote sensing of the Earth as part of work to assess the volume of technogenic raw materials and the environmental situation during the exploitation of placers. *Georesursy*. 2021, no. 23(4), pp. 116 – 123. [In Russ]. DOI: 10.18599/grs.2021.4.13.

2. Kupriyanov A. N., Manakov Yu. A., Kupriyanov O. A., Shatilov D. A. Reconstruction of the soil-vegetative layer on the surface of dumps in Kuzbass. *Ugol'*. 2021, no. 2 (1139), pp. 46 – 52. [In Russ].

3. Musina G. A., Ozhigin D. S., Ozhigina S. B. Environmental monitoring based on images obtained using unmanned aerial vehicles. *Interexpo Geo-Siberia*. 2019, vol. 4, no. 2, pp. 196 – 204. [In Russ].

4. Rybnikova L. S., Rybnikov P. A., Buzina D. A., Smirnov A. Yu. Assessment of self-rehabilitation of the territory of the Degtyar copper-pyrite deposit (Middle Urals) using remote sensing data of the EARTH. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2022, no. 4, pp. 93 – 105. [In Russ].

5. Ozaryan Yu. A. Assessment of natural restoration of biota in the zone of influence of mining enterprises of the Khabarovsk Territory according to satellite monitoring data. *Gornyi Zhurnal*. 2018, no. 10, pp. 84 – 88. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.16.

6. Danilov D. A., Shestakov V. A., Shestakova T. A., Enders O. O. Successional stages of restoration of woody vegetation on post-agrogenic lands of the Leningrad region. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*. 2020, no. 233, pp. 60 – 80. [In Russ].

7. Bratkov V. V., Kravchenko I. V., Tuaeov G. A., Ataev Z. V., Abdulzhalimov A. A. Application of vegetation indices for mapping landscapes of the Greater Caucasus. *Dagestan State Pedagogical University Journal. Natural and Exact Sciences*. 2016, no. 4, pp. 99 – 111. [In Russ].

8. Burdukovsky M. L., Perepelkina P. A. Agroecological state of soils and restoration of vegetation in fallow ecosystems. *Biota and Environment of Natural Areas*. 2022, vol. 10, no. 2, pp. 28 – 36. [In Russ].

9. Degteva S. V. Features of vegetation restoration on waste dumps of the Subpolar Urals. *Theoretical and Applied Ecology*. 2021, no. 3, pp. 80 – 89. [In Russ].

10. Chadaeva V. A., Tsepikova N. L., Zhashuev A. Zh. Long-term dynamics of vegetation restoration in technogenic landscapes of the Bylym arid basin (Central Caucasus). *Arid Ecosystems*. 2020, vol. 26, no. 4 (85), pp. 127 – 135. [In Russ].

11. Tikhmenev P. E., Smirnov A. A., Tikhmenev E. A., Stanchenko G. V. Features of natural restoration and reclamation of soil and plant complexes in the area of the Ust-Srednekanskaya hydroelectric station on the river Kolyma. *Sbornik trudov XXII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya»* [Current problems of ecology and environmental management], vol. 2, Moscow, 2021, pp. 122 – 126. [In Russ].

12. Trubetskoy K. N., Galchenko Yu. P. Ecological aspects of the technological paradigm of the mineral resource complex with the sustainable development of nature and society. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2022, no. 1, pp. 18 – 38. [In Russ].

13. Miguel Ballesteros, Klára Řehounková, Lenka Šebelíková, Anna Müllerová, Kamila Vítovcová, Karel Prach Participation of grassland species in various successional series in a temperate European region and implications for habitat management. *Global Ecology and Conservation*. 2024, vol. 49, article e02761. DOI: 10.1016/j.gecco.2023.e02761.

14. Feng L. Guo M., Wang W., Shi Q., Guo W., Lou Y. Evaluation of the effects of long-term natural and artificial restoration on vegetation characteristics, soil properties and their coupling coordinations. *Science of the Total Environment*. 2023, vol. 884, article 163828. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163828.

15. Giweta M. Role of litter production and its decomposition, and factors affecting the processes in a tropical forest ecosystem: a review. *Journal of Ecology and Environment*. 2020, vol. 44, no. 2, pp. 81 – 89. DOI: 10.1186/s41610-020-0151-2.

16. Qiu D. X., Xu R. R., Wu C. X., Mu X. M., Zhao G. J., Gao P. Vegetation restoration improves soil hydrological properties by regulating soil physicochemical properties in the Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*. 2022, vol. 609, article 127730. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.127730.

17. Guo C. Y., Zhang F., Wang X., Lu N. Effects of meteorology and soil on the herb species diversity in plantations in a reclamation area of coal mine after 6 years. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020, no. 27, pp. 24231 – 24241. DOI: 10.1007/s11356-020-08402-2.

18. Xu X., Zhang D. Comparing the long-term effects of artificial and natural vegetation restoration strategies. A case-study of Wuqi and its adjacent counties in northern China. *Land Degradation & Development*. 2021, vol. 32, no. 14, pp. 3930 – 3945. DOI: 10.1002/ldr.4018.

19. John J., Jaganathan R., Dharshan Shylesh D. S. Mapping of Soil moisture index using optical and thermal remote sensing. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2022, vol. 171, pp. 759 – 767. DOI: 10.1007/978-3-030-80312-4_65.

20. Ryzhkova V. A., Korets M. A. Monitoring the state of vegetation in zones of industrial emissions based on coupled analysis of ground-based and remote data using GIS. *Interexpo Geo-Siberia*. 2006, no. 2-2. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Озарян Юлия Александровна — канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела

Дальневосточного отделения РАН (ИГД ДВО РАН),
e-mail: ozaryanigd@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-8892-4595,

Кожевникова Татьяна Владимировна — научный сотрудник,
Вычислительный центр Дальневосточного отделения РАН
(ВЦ ДВО РАН), e-mail: ktvsl@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2660-3104.

Для контактов: Озарян Ю.А., e-mail: ozaryanigd@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yu.A. Ozaryan, Cand. Sci. (Eng.),
Leading Researcher,
Institute of Mining of the Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences,
680000, Khabarovsk, Russia,
e-mail: ozaryanigd@gmail.com,
ORCID ID: 0000-0002-8892-4595,

T.V. Kozhevnikova, Researcher,
Computer Center of the Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences,
680000, Khabarovsk, Russia,
e-mail: ktvsl@mail.ru,
ORCID ID: 0000-0002-2660-3104.

Corresponding author: Yu.A. Ozaryan, e-mail: ozaryanigd@gmail.com.

Получена редакцией 06.03.2024; получена после рецензии 26.06.2024; принята к печати 10.11.2024.
Received by the editors 06.03.2024; received after the review 26.06.2024; accepted for printing 10.11.2024.

