

ОЦЕНКА ФОНОВОГО СОСТОЯНИЯ СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ АРКТИКИ

А. П. Пестерев

Горный институт Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова (ГИ СВФУ)
Якутск, Россия, pesterev.a@mail.ru

Аннотация: Расширение горнодобывающей отрасли в северные регионы сопровождается усилением техногенного воздействия на хрупкие Арктические регионы России, и при этом особо уязвимы экосистемы криолитозоны. Добыча россыпных алмазов открытым способом осуществляется в бассейнах малых рек Севера, где меняются русла рек, происходит загрязнение прилегающей территории, уничтожается почвенно-растительный слой, образуются карьеры и отвалы. Эти процессы должны изучаться экологами для разработки мер, снижающих негативные последствия для мерзлотных экосистем. В данном аспекте предлагаются результаты исследований особенностей северных почв в их естественном состоянии, до трансформации и загрязнения тяжелыми металлами при горно-добычных работах, для экологического мониторинга происходящих изменений. Впервые здесь указаны типы и подтипы северных мерзлотных почв – криоземов, которые недостаточно изучены до настоящего времени и могут исчезнуть при освоении месторождений. Эти данные могут служить базовым материалом для сравнительного анализа техногенного воздействия на арктические экосистемы при мониторинговых исследованиях. Знание свойств и особенностей зональных почв северных территорий и их экологических составляющих, мерзлотных условий позволит в будущем восстановить нарушенные земли и эффективно проводить рекультивационные мероприятия в Арктических регионах.

Ключевые слова: Северотаежные ландшафты, Арктика, криоземы, микроэлементы, малые реки, многолетняя мерзлота, горнодобычные работы, техногенное воздействие, трансформация экосистем, экологический мониторинг.

Для цитирования: Пестерев А. П. Оценка фонового состояния северотаежных ландшафтов Арктики // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5–2. – С. 187–197. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_187.

Assessment of the impact of mining activities on the environment of arctic north taiga landscapes

A. P. Pesterev

Mining Institute of Northeastern Federal University named after M. K. Ammosova, Yakutsk, Russia

Abstract: The expansion of the mining industry in the northern regions is accompanied by an increase in the technological impact on the fragile Arctic regions of Russia, and cryolithozone ecosystems are especially vulnerable. Open mining is carried out in the basins of small rivers of the North, where river beds change, the adjacent territory is polluted, the soil and vegetation layer is destroyed, quarries and dumps are formed. Environmentalists to develop measures that

reduce the negative effects on frozen ecosystems should study these processes. In this aspect, the results of studies on the characteristics of northern soils in their natural state, before transformation and contamination with heavy metals in mining operations for environmental monitoring of changes are proposed. For the first time, the types and subtypes of northern permafrost soils are indicated here – cryozems that have not been sufficiently studied to date, and which may disappear during mining operations. These data can serve as a basis for comparative analysis of the anthropogenic effects on Arctic ecosystems in monitoring studies. Knowledge of the properties and features of the zonal soils of the northern territories and their ecological permafrost conditions will allow in the future restoring disturbed lands and effectively carrying out reclamation activities in the Arctic regions.

Key words: North taiga landscapes, Arctic, cryozems, trace elements, small rivers, long-term permafrost and mining, technological impact, ecosystem transformation, environmental monitoring

For citation: Pesterev A. P. Assessment of the impact of mining activities on the environment of arctic north taiga landscapes. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–2):187–197. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_187.

Введение

Состояние окружающей среды — это одна из значимых социально-экономических проблем общества, относящихся к жизненно важным вопросам. По мере развития производственного потенциала, ускорения потребления природных ресурсов неизбежно происходят техногенные воздействия на естественные экосистемы, сопровождаемые разрушением баланса и деградацией регенеративных возможностей природного комплекса территорий. Особенно актуальна данная проблема в зоне распространения многолетней мерзлоты, где уязвимость биотических составляющих экосистем намного выше, а их возобновляемость гораздо ниже, чем в других, немерзлотных областях РФ.

Северная Якутия является одним из ведущих и перспективных районов в экономическом развитии Республики Саха (Якутия). Здесь в настоящее время высокими темпами развивается алмазодобыча, формируется нефтепромышленный комплекс, расширяется сеть транспортной схемы, энергетики и различной инфраструктуры. В сложившихся условиях для внедрения

эффективных, современных методов охраны природных комплексов и рационального природопользования необходимы мониторинговые исследования за изменениями экосистем, выявление допустимых техногенных нагрузок и разработка научных основ восстановления и рекультивации нарушенных земель при функционировании и производственной деятельности промышленных и добывающих предприятий.

Объекты и методы

Нами были проведены мониторинговые исследования в бассейне среднего течения р. Анабар, в частности на р. Талахтах, до широкомасштабных добычных работ россыпных месторождений алмазов открытым карьерным способом. По административному делению бассейн р. Талахтах входит в Оленекский улус Республики Саха. Улус расположен в Северо-Западной части территории Якутии. В геолого-географическом отношении рассматриваемый район находится в Северо-Восточной части Сибирской платформы и занимает обширную площадь, ограниченную на западе Анабарским, а на востоке — Оленекским сводовыми

поднятиями. Эти две крупные положительные структуры разделены Средне-Оленекской остаточной синеклизой, в составе которой выделяются глубокая Суханская впадина и ряд мелких впадин и поперечных поднятий.

Бассейн среднего течения р. Анабар в ландшафтном отношении охватывает задровую (водно-ледниковую) равнину. В «физико-географическом отношении рассматриваемый район относится к Анабаро-Оленекской задровой провинции сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП) страны Средней Сибири» [1]. Аналогичные исследования по оценке трансформаций мерзлотных экосистем при различных технологиях недропользования были проведены рядом специалистов [2–7]. Тип растительности исследованных притоков р. Большая Куонамка (р. Талахта,) относится к северотаежным редкостойным листовициным лесам с листовицицей Гмелина (*Larix gmelinii*). Основная растительность представлена бруснично-багульниковыми моховыми и лишайниково-моховыми листовициками.

В ходе экспедиционных работ были отобраны пробы почв для определения физико-химических свойств почвогрунтов. Пробы прошли пробоподготовку (просушка, очистка, размалывание, просеивание, подготовка средней пробы, затаривание, упаковка, индексирование и систематизация) и включены в реестр проб; в дальнейшем прошли соответствующие анализы в лабораторных условиях. При выполнении работы использовались общепринятые методики сбора и обработки материалов натуральных исследований, а также метод пространственно-временных аналогий, основанный на анализе соответствующих данных литературных источников и фондовых материалов.

Результаты

По своим климатическим показателям исследуемый регион относится к резко-континентальному, арктическому климату с продолжительной (7–8 мес.) холодной зимой и коротким (2–2,5 мес.) прохладным летом. Ближайшими гидрометеорологическими станциями, характеризующими климат района исследований, являются: ст. Саскылах, расположенная к северу от объекта исследований, и ст. Джилинда, находящаяся в среднем течении бассейна р. Анабар, географически восточнее, на реке Малая Куонамка.

Самые низкие температуры отмечаются в январе. Средняя температура января равна в Саскылахе $-35,5^{\circ}$, а в Джилинде $-39,9^{\circ}$ абсолютный минимум достигает соответственно -58° и -62°C (табл. 1).

Годовая сумма осадков в Саскылахе — 194 мм, Джилинде — 252 мм. Большая часть годовой суммы осадков приходится на летний период при усилении циклонической деятельности климата. Максимальное количество осадков приходится на июль-август, когда выпадает в Саскылахе 72 мм, в Джилинде — 99 мм (табл. 2).

Река Талахта впадает в реку Большая Куонамка (приток р. Анабар) в 464 км от ее устья, с правой стороны. Длина ручья составляет 59 км, при этом общая площадь водосбора достигает $F=292\text{ км}^2$. Долина р. Талахта сформировалась в лесотундровой зоне и проходит через карбонатно-терригенные породы верхнего протерозоя и нижнего кембрия. Рельеф долины имеет асимметричный профиль: левый склон относительно крутой, с небольшими выходами коренных пород, правый — более ровный, со слабо оформленными заросшими террасами. Для среднего и верхнего участка долины р. Талахта характерен выположенный про-

Таблица 1

Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С
Average monthly and annual air temperature, °C

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Джилинда	-39,9	-35,5	-27,6	-14,1	-2,7	9,4	14,2	9,2	1,9	-12,1	-30,6	-35,5	-13,6
Саскылах	-35,5	-33,2	-28,8	-18,5	-6,9	6,1	11,7	8,0	1,3	-11,7	-27,6	-32,1	-14,0

Таблица 2

Среднее количество осадков, мм
Average precipitation, mm

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Джилинда	7	6	7	10	19	36	53	46	31	18	10	9	252
Саскылах	7	7	6	8	11	29	33	39	24	14	8	8	194

дольный профиль пойменного участка. А для нижнего и устьевоего отрезка продольного профиля ручья характерна ступенчатая форма, которая обусловлена неотектоническими подвижками и процессами геологического выветривания. Особенно четко неотектонические движения проявлены в устьевой части, где значительные участки русла не имеют аллювия и в долине ступенями расположены карбонатно-терригенные твердые породы, иногда с обнажениями галечника.

В долине р. Талахтах развит террасовый комплекс. Третья, наиболее древняя терраса развита в устье реки. Морфологически терраса не выражена. Относительная высота ее поверхности над урезом воды составляет 40–42 м. Вторая надпойменная терраса непрерывной полосой расположена по правому склону реки от устья руч. Короткий до впадения в р. Большая Куонамка. Её высота над уровнем воды варьирует от 8 до 12 м, с шириной, достигающей 1,5 км. Первая терраса ручья в устьевой части геоморфологически четко не проявляется. Высота над уровнем воды данной террасы достигает около 5–8 м.

Долина р. Талахтах имеет высокие и низкие поймы. Они формируются широкой полосой по обоим склонам корытообразной долины ручья от вер-

ховьев до устья. Наиболее широкие пойменные участки развиты в бассейне среднего течения реки, где их протяженность составляет до 600 м. Поверхность пойм бугристо-западинная, заболоченная, заросшая осоко-пушицевыми сообществами в сочетании с кустарниковыми ассоциациями. Высокая пойма по высоте над урезом воды достигает отметок 2,5–3,0 м, а низкая пойма — всего 0,5–1,5 м. Ширина русла р. Талахтах на всем протяжении варьирует от 10 до 30 м. Русло имеет извилистую форму, песчано-галечные косы встречаются лишь в нижнем течении реки.

В геологическом строении россыпи р. Талахтах принимают участие карбонатно-терригенные породы верхнего протерозоя и нижнего кембрия, четвертичные аллювиальные отложения третьей, второй и первой надпойменных террас, осадки пойм и русла. На различных склонах долины местами развиты щебнисто-глинистые делювиально-солифлюкционные образования, связанные с мерзлотными процессами.

Породы протерозоя представлены верхней подсвитой билляхской свиты. Они сложены массивными пестроцветными доломитами, водорослевыми доломитами и известняками. В основании подсвиты определены прослои кварцевых песчаников. На породах биллях-

ской свиты залегают осадки чабурского горизонта нижнего кембрия. Породы горизонта представлены известняками, глинистыми известняками, доломитами и песчаниками. Основание горизонта полностью сложено базальными песчаниками. Граница пород между верхним протерозоем и кембрием расположена на участке среднего течения р. Талахта.

Мощность аллювиальных отложений в высокой пойме составляет 4,5 м, из них мощность продуктивного горизонта достигает 2,1 м. Разрез профиля высокой поймы представлен двучленной структурой. В верхней части разреза, мощностью 2,5–3,0 м, имеются сильно льдистые илы, а в нижней продуктивной толще состав представлен щебнисто-галечными и глиняными образованиями с малым количеством доломитов (3–5%).

По данным разведочных горных выработок, мощность руслового аллювия колеблется от 0,2 до 5,2 м, в среднем составляя значение 2,1 м. Русловой аллювий складывается из отложений щебня и гальки, чаще всего из пород местного состава. В небольшом количестве встречаются хорошо окатанные галька и гравий экзотических пород.

По гидрологическому режиму р. Талахта, как Большая Куонамка и Анабар, относится к группе рек с весенним половодьем Восточно-Сибирского типа. Основной источник питания Талахта и ее притоков — воды, образующиеся за счет таяния снега и летне-осенних дождей (сопровождающихся оттаиванием многолетнемерзлых пород), и в конечном итоге создающим бурное весеннее половодье с летним паводком и очень низкий межень зимой. Для реки Талахта на исследованных участках характерен полугорный тип русла с нестабильным течением, состоящим из плесовых и перекатных участков с различными глубинами и скоростями.

Почвенный покров южной части бассейна реки Анабар относится к зоне северной тайги. В междуречье Большой и Малой Куонамок он в основном состоит из мерзлотных северотаежных типичных и деструктивных карбонатных тяжелосуглинистых щебнистых почв на элюво-делювии известняков и доломитов под изреженными лиственничными лесами низкого бонитета. По долинам рек и в депрессиях рельефа развиты мерзлотные торфянисто- и торфяно-глеевые болотные почвы под кустарничково-болотной растительностью, представленной кустарничковыми березами (ерниками), осоками и гипновыми мхами.

От слияния Большой и Малой Куонамок до р. Уджа развиты мерзлотные северотаежные перегнойно-глеевые почвы на элюво-делювии песчаников и сланцев, под лиственничным редколесьем с чахлым редким древостоем и кустарничковым покровом из березы тощей, голубики и брусники. Эти почвы в основном развиты на увалах и склонах увалов с хорошо выраженным мерзлотным бугристо-трещиноватым микрорельефом.

Обсуждение результатов

В почвообразовании принимают участие материнские материалы, как указывалось выше, карбонатно-терригенные породы протерозоя, представленные пестроцветными доломитами, водорослевыми доломитами и известняками. Сочетание природно-климатических факторов обусловило формирование разнообразия почвенного покрова данной территории. В частности, здесь отмечены азональные карбонатные почвы, представленные деструктивным подвигом [8]. Данные почвы характеризуются сильной криогенной перемешанностью (деструкцией). По гранулометрическому составу они

относятся к среднеглинистым разновидностям [9]. Содержание крупной пыли достигает 48% (табл. 3). Северотаежные деструктивные карбонатные почвы имеют нейтральную реакцию в верхних горизонтах, и щелочную в нижних. Содержание гумуса небольшое с высокой обогащенностью азотом, относительно высокое содержание фосфора в рассматриваемом бассейне, то есть данные почвы обладают наиболее высоким потенциальным плодородием из северотаежных почв региона, лимитируемыми низкими температурами (табл. 4).

Зональными почвами здесь являются криоземы. Они формируются в жестких климатических условиях — с длительной, холодной зимой, коротким летом и с высоким атмосферным увлажнением. В частности, на вершинах увалов развиты криоземы гомогенные (мерзлотные северотаежные типичные), на склонах формируется криоземы глеевые (мерзлотные северотаежные глееватые почвы). В пойменных участках образуются интразональные болотные почвы [10]. Криоземы четко дифференцируются по рельефу, и на водоразделах криоземы гомогенные сочетаются с криоземами тиксотропными. Последний тип почвы является недостаточно изученным. Он характеризуется отсутствием оглеения в условиях высокого гидроморфизма. Вероятно, отсутствие глееобразования связано с низкими температурами, снижающими микробиологическую активность.

Криозем тиксотропный имеет кислую реакцию в верхних горизонтах (4,7–5,1), переходящую с глубиной в слабокислую. Содержание гумуса значительное в тяжелых и низкое в легких разновидностях почв, в их составе преобладают фульвокислоты. Гумус почв очень подвижен и пропитывает про-

филь до мерзлоты. В составе обменных катионов преобладает кальций (50–60%), за ним следует магний. Среди анионов доминирует хлор. В северотаежных типичных почвах очень низкое содержание фосфора и азота (отношение C: N достигает 20). По гранулометрическому составу варьируют от тяжелосуглинистых до легкогоглинистых разновидностей. В профиле отмечается небольшая дифференциация по крупной пыли и илу — с глубиной прослеживается некоторое облегчение механического состава. Поверхностные горизонты характеризуются кислой реакцией, с глубиной переходящей в слабокислую. Содержание гумуса колеблется от 2,95 до 3,10%, и оно постепенно снижается с глубиной, при этом обогащенность азотом очень низкая, также очень низко содержание фосфора в профиле почвы.

Криоземы гомогенные имеют подтипы глеевые и неглеевые и расположены на относительно небольших расстояниях друг от друга и в идентичных условиях. По гранулометрическому составу глеевый подтип не отличается от почв окружающей территории, то есть он варьирует от тяжелосуглинистой до легкогоглинистой разновидности. По фракциям преобладают крупная пыль и физическая глина. Реакция среды в органогенных горизонтах кислая, с глубиной нейтрализуется, иногда переходит в щелочную. Содержание гумуса среднее, но обогащенность азотом очень низкая, отношение углерода к азоту больше 14. Также низко и содержание фосфора. Неглеевый подтип относится к тяжелым почвам. В них основная масса приходится на крупную пыль и илистую фракцию. Преобладание крупной пыли характерно для всех мерзлотных почв, что связано с периодическими процессами замерзания и протаивания почв, сопровождаемыми

Таблица 3

Гранулометрический состав криоземов
Granulometric composition of cryozems

Подтип почвы	Горизонт, глубина, см	Гигроскопическая влага, %	Потеря от HCl, %	Размеры фракций мм, содержание в %					Физические		
				1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	глина	песок
										<0,01	> 0,01
деструктивный карбонатный	1–20	1,5	4,1	2,3	59,3	17,9	3,2	3,3	9,9	16,4	79,5
	20–39	2,3	4,8	0,4	39,6	29,8	5,0	4,9	15,5	25,4	69,8
тиксотропный	4–8	10,8	1,8	5,8	17,9	43,2	5,6	5,3	20,4	31,3	66,9
	8–32	2,8	12,2	10,3	13,0	25,0	6,6	8,9	24,0	39,5	48,3
гомогенный негелевый	0–4(5)	4,6	10,7	29,0	12,1	22,4	7,6	4,8	13,4	25,8	63,5
	4(5)–24	2,0	30,0	12,5	10,9	15,2	5,6	6,2	19,6	31,4	38,6

Таблица 4

Химические свойства криоземов
Chemical properties of cryozems

Подтип почвы	глубина	гумус, %	С общий, %	N общий, %	Водный pH (H ₂ O)	Фосфор (по Кирсанову) мг P ₂ O ₅ /100 г	Калий, (по Масловой) мг K ₂ O/100 г	Обменные основания по Пфефферу мг-экв/100 г почвы				Обменный водород H ⁺ , мг-экв/100г
								K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	
деструктивный карбонатный	1–20	1,49	0,86	0,10	7,04	3,31	8,68	0,08	0,18	6,58	3,29	0,04
	20–39	3,58	2,08	0,20	7,15	1,92	8,19	0,09	0,43	8,22	4,19	0,04
гомогенный негелевый	0–4(5)	14,75	8,56	0,65	6,94	0,15	33,98	0,55	0,36	11,84	5,99	0,07
	4(5)–24	0,97	0,56	0,10	7,21	0,09	16,39	0,11	0,18	8,22	3,59	0,02
тиксотропный	4–8	32,78	19,01	1,04	6,05	0,68	84,11	1,01	0,22	14,80	7,68	0,57
	8–32	2,92	1,69	0,18	7,16	0,03	30,37	0,14	0,14	10,69	5,39	0,04

физико-химическими и биологическими реакциями. Профиль минеральной части мерзлотной северотаежной

типичной почвы не дифференцирован на генетические горизонты, что связано с криотурбированностью данных почв.

Часто в нижней части профиля наблюдается тиксотропность и плавунность, иногда отмечается оглеение.

Аллювиальные почвы в пойме р. Анабар слабо развиты, содержат мало питательных веществ, они характеризуются относительно высоким содержанием органических веществ, обусловленным подтоком с вышележащих по склону редколесных участков [11]. Отмечается в них возрастание гумуса, увеличивается содержание азота в химическом составе. Почвы не засолены.

По результатам исследований бассейна р. Талахтах максимальное количество «тяжелых металлов» отмечается на вершинах водоразделов левого берега ручья [12–14]. Анализ геохимии аллювиальных почв бассейна р. Анабар свидетельствует о наличии региональной природной геохимической аномалии микроэлементов на изученной территории рек Большая и Малая Куонамка и Уджа [15,16]. При этом возникают опасения наличия высоких концентраций токсичных элементов в пойменных почвах региона, в частности, свинца и цинка, являющихся загрязнителями 1 класса опасности.

Заключение

В пространственном распределении северотаежных почв прослеживается их определенная горизонтальная и вертикальная зональность. Указанные факторы обуславливают региональную специфику и разнообразие почвенного покрова. Все криоземы (мерзлотные северотаежные почвы) не засолены. Для них характерна небольшая глубина протаивания до 50–70 см, грубогумусность и кислая реакция среды, высокая увлажненность, заболачивание и тяжелый гранулометрический состав, криотурбированность (перемешанность)

генетических горизонтов, вследствие чего при морфологическом описании наблюдаются, в большинстве случаев, только два горизонта — органогенный и минеральный. Для всех почв характерно преобладание крупной пыли и ила в профиле. Это свидетельствует об интенсивности и преобладании физического выветривания над процессами почвообразования, с одной стороны, а с другой — агрегировании глинистых частиц в органо-минеральные коллоиды.

Повсеместно развит бугорковато-трещиноватый микрорельеф, определяющий языковатость органогенного горизонта, часто отмечаются тиксотропность и оглеение. Характерной особенностью исследуемого региона является слабое развитие и распространение озер, связанное с отсутствием протаивания мерзлоты и подпирания ложа твердыми кристаллическими породами. В то же время широко развиты процессы болотообразования — под лесом и под тундрой, на водоразделах и в низинах и даже на склоновых участках.

По результатам исследований бассейна Талахтах максимальное количество тяжелых металлов выявлено по левому берегу ручья на вершинах водоразделов. Водорастворимый свинец и его соединения хорошо мигрируют по рельефу и накапливаются в нижних слоях профиля почвы в долинной части и в пойме ручья по левому берегу. Хром равномерно распределен на исследованной территории. Медь постепенно уменьшается от верховьев к устью. Такое же распределение характерно для марганца и кадмия, их содержание в почве снижается от водоразделов к долине и от истока к устьевой части. Из рассматриваемых микроэлементов в мерзлотных пойменных торфяно-болотных почвах депо-

нируется только свинец. Проведенный анализ химического состава аллювиальных почв бассейна р. Анабар свидетельствует о наличии региональной природной геохимической аномалии в бассейне рек Талахта и Большая Куонамка. Вместе с этим серьезные опасения в пойменных почвах региона вызывают большие концентрации микроэлементов, в частности, свинца и цинка, относящиеся к 1 классу опасности по токсичности.

Факторами, являющимися причиной формирования региональной геохимической аномальности данной территории, являются геологические процессы магматизма и интрузии основного и щелочно-ультраосновного составов, имевших изначально в своем материале комплекс микроэлементов. Выявленный

повышенный естественный геохимический фон в мерзлотных аллювиальных почвах при техногенном воздействии, связанном с активной деятельностью горнодобывающих предприятий, может значительно ухудшить экологическую ситуацию в природных компонентах бассейна р. Талахта и Анабар.

При этом необходимо учитывать кислую реакцию почвенной среды региона, способствующую высокой миграционной подвижности тяжелых металлов и маломощности деятельного слоя криоземов, обладающих низкой емкостью к загрязнителям. Все эти факторы требуют разумного научного подхода к добычным работам и создания экологичной технологии освоения, учитывающей региональные особенности Арктики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров А. Н., Ботулу Т. А., Варламов С. П. и др. Мерзлотные ландшафты Якутии (Пояснительная записка к Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР масштаба 1:2 500 000). — Новосибирск: ГУГК, 1989. — 170 с.
2. Пестерев А. П., Чемезов Е. Н. Оценка состояния окружающей среды ручья Моргогор // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2015. — №12 — С. 313–317.
3. Иванов В. В. Трансформация природных комплексов при недропользовании в условиях Якутии. — Новосибирск: Наука, 2015. — 248 с.
4. Пестерев А. П. Трансформация экосистем криолитозоны при разработке россыпного месторождения алмазов // Горный журнал. — 2016. — № 9 — С.104–107. DOI: 10.17580/гж.2019.02.18.
5. Pesterev A. P., Yakovlev V. A., Kirillina, A. A., Solovov, D. B. Environmental Problems Mining Industry in the Arctic // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 21 June 2019. 2019, С, vol. 272, is. 2, Номер статьи 022055. DOI: 10.1088/1755–1315/272/2/022055.
6. Петров А. Н., Алексеев А. М., Колесников С. Г., Петров Д. Н. Технологические решения по отработке подмерзлотных горизонтов месторождения Бадран // Горный журнал. — 2016. — № 9 — С. 48–50. DOI: 10.17580/gzh.2016.09.09.
7. Бокий И. Б., Зотеев О. В., Пуль В. В. Анализ процесса оседаний породной подушки при отработке запасов западного рудного тела трубки «Удачная» по системе с обрушением // Горный журнал. — 2019. — №2 — С. 43–48. DOI: 10.17580/gzh.2019.02.08
8. Еловская Л. Г., Петрова Е. И., Тетерина Л. В. Почвы Северной Якутии. — Новосибирск: Наука, 1979. — 304 с.
9. Мичманова А. И., Долгов С. И., Модина С. А. и др. Агрофизические методы исследования почв / Отв. ред. С. И. Долгов. — М.: Наука, 1966. — 259 с.

10. Еловская Л. Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. — Якутск: Кн. изд-во, 1987. — 172 с.
11. Shojaeezadeh S. A., Nikoo M. R., McNamara J. P., AghaKouchak A., Sadegh M. Stochastic modeling of suspended sediment load in alluvial rivers // *Advances in Water Resources*. 2018, vol. 119, pp. 188–196. DOI.org/10.1016/j.advwatres.2018.06.006.
12. Suzhen Cao, Xiaoli Duan, Yingqun Ma, Xiuge Zhao, Yanwen Qin et al. Health benefit from decreasing exposure to heavy metals and metalloid after strict pollution control measures near a typical river basin area in China // *Chemosphere*. 2017, vol. 184, pp. 866–878. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.06.052.
13. Aebischer S., Cloquet C., Carignan J., Maurice C., Pienitz R. Disruption of the geochemical metal cycle during mining: Multiple isotope studies of lake sediments from Schefferville, subarctic Québec // *Chemical Geology*. 2015, vol. 412, pp. 167–178. DOI. org/10.1016/j.chemgeo.2015.07.028.
14. Junfeng Wu, Langrun Song, Qian Feng, Jingyang Luo, Zhaoxia Xue. The Effect of Different Artificial Soil on Urban Non-Point Source Pollution Reduction in the Artificial Rapid Infiltration System // *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2018, vol. 6, no.11, p. 67–76. DOI: 10.4236/gep.2018.611005.
15. Glinskiy Serga L., Zaykov K. Identification Method of the Russian Federation Arctic Zone Regions Statistical Aggregate as the Object of Strategy Development and a Source of Sustainable Growth // *Procedia Manufacturing*. 2017, vol. 8, pp. 308–314. DOI:10.1016/j.promfg.2017.02.039.
16. Kinhal V. How Does Mining Affect the Environment. URL: [https:// greenliving.lovetoknow.com/How_Does_Mining_Affect_the_Environment](https://greenliving.lovetoknow.com/How_Does_Mining_Affect_the_Environment) (дата обращения: 19.09.2021). **MIAB**

REFERENCES

1. Fedorov A. N., Botulu T. A., Varlamov S. P., et al. Frozen landscapes of Yakutia (Explanatory note to the Merzlotno-landscape map of the Yakut Autonomous Soviet Socialist Republic on the scale of 1:2 500 000 , Novosibirsk, 1989, 170 p. [In Russ].
2. Pesterev A. P., Chemezov E. N. Assessment of the environment of the Morgogor stream. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no 12, pp. 313–317. [In Russ].
3. Ivanov V. V. Transformation of natural complexes during subsoil use in Yakutia, Novosibirsk, 2015, 248 p.
4. Pesterev A. P. Transformation of cryolithozone ecosystems during the development of a placer diamond deposit. *Mining journal*. 2016, no. 9, pp.104–107. [In Russ].
5. Pesterev A. P. Yakovlev V. A., Kirillina A. A., Solovov D. B. Environmental Problems Mining Industry in the Arctic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019. 2019, vol. 272, is.2, 022055. DOI:10.1088/1755–1315/272/2/022055.
6. Petrov A. N., Alekseev A. M., Kolesnikov S. G., Petrov D. N. Technological solutions for the development of freezing horizons of the Badran field. *Mining Journal*. 2016, no. 9, pp. 48– 50.
7. Bokiy I. B., Zoteev O. V., Pul V. V. Analysis of the process of sedimentation of the rock pillow when working out the reserves of the western ore body of the “Successful” tube according to the system with collapse. *Mining journal*. 2019, no. 2, pp. 43– 48.
8. Elovskaya L. G., Petrova E. I., Teterina L. V. Soils of Northern Yakutia, Novosibirsk, 1979, 304 p. [In Russ].
9. Michmanova A. I., Dolgov S. I., Modina S. A., et al. Agrophysical soil research methods, Moscow, 1966, 259 p. [In Russ].
10. Elovskaya L. G. Classification and diagnosis of frozen soils of Yakutia, Yakutsk, 1987, 172 p. [In Russ].

11. Shojaezadeh S. A., Nikoo M. R., McNamara J. P., AghaKouchak A., Sadegh M. Stochastic modeling of suspended sediment load in alluvial rivers. *Advances in Water Resources*. 2018, vol. 119, pp. 188–196.

12. Suzhen Cao, Xiaoli Duan, Yingqun Ma, Xiuge Zhao, Yanwen Qin et al. Health benefit from decreasing exposure to heavy metals and metalloid after strict pollution control measures near a typical river basin area in China. *Chemosphere*. 2017, vol. 184, pp. 866–878.

13. Aebischer S., Cloquet C., Carignan J., Maurice C., Pienitz R. Disruption of the geochemical metal cycle during mining: Multiple isotope studies of lake sediments from Schefferville, subarctic Québec. *Chemical Geology*. 2015, vol. 412, pp. 167–178.

14. Junfeng Wu, Langrun Song, Qian Feng, Jingyang Luo, Zhaoxia Xue. The Effect of Different Artificial Soil on Urban Non-Point Source Pollution Reduction in the Artificial Rapid Infiltration System. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2018, vol. 6, no. 11, pp. 67–76.

15. Glinskiy Serga, L., Zaykov K. Identification Method of the Russian Federation Arctic Zone Regions Statistical Aggregate as the Object of Strategy Development and a Source of Sustainable Growth. *Procedia Manufacturing*. 2017, vol. 8, pp. 308–314.

16. Kinhal V. How Does Mining Affect the Environment. URL: https://greenliving.lovetoknow.com/How_Does_Mining_Affect_the_Environment (дата обращения: 19.09.2021).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пестерев Афанасий Прокопьевич — канд. биол. наук, доцент геоэкологии, <https://orcid.org/0000-0002-9162-0090>, доцент кафедры Техносферная безопасность Горного института Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова, (ГИ СВФУ) 677000, г. Якутск, ул. Кулаковского 50. Россия, e-mail: pesterev.a@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pesterev A. P., Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of Geoecology, <https://orcid.org/0000-0002-9162-0090>, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety of the Mining Institute of Northeastern Federal University named after M. K. Ammosova, (NEFU), 50 Kulakovskys st. Yakutsk, Sakha Republic (Yakutia) 677000, Russia, e-mail: pesterev.a@mail.ru.

Получена редакцией 01.10.2021; получена после рецензии 16.03.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 01.10.2021; received after the review 16.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.

