ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(5—1):21—34
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 553.4 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_21

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ЗОЛОТО-МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

И. В. Абатурова[1], И. Г. Петрова[1], Ю. В. Клокова[1]

[1] ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, Россия, office@ursmu.ru

Аннотация: Одной из проблем при выполнении инженерно-экологических изысканий является проведение почвенных исследований в границах месторождений и перспективных рудопроявлений, для определения плодородия почв, оценки их санитарно-эпидемиологического состояния. Актуальность проблемы определяется требованиями природоохранного законодательства к рациональному освоению природных ресурсов и необходимостью сохранения плодородного слоя почвы. Проведение почвенных исследований, является обязательным и закреплено в ряде нормативных документов, регламентирующих проведение инженерно-экологических изысканий. При проведении исследования состояния почв применялись стандартные методы получения информации: полевое обследование, лабораторные испытания и камеральная обработка полученных данных. Получены результаты агрохимического и геохимического опробования почв изучаемой территории, определена глубина гумусированного слоя почв, составлена схематическая почвенная карта, которая стала основой для подготовки рекомендаций по снятию почвенного покрова. Рекомендовано при проведении земляных работ предусмотреть для всех типов почв норму снятия до глубины 0,4 м и использовать без ограничения при рекультивации, а для участков развития дерново-таежных почв дальнейшее использование возможно после смешения на участках складирования для улучшения химических свойств пород. Определены фоновые концентрации тяжелых элементов в почвах территории, для которых характерны превышения содержания элементов мышьяка, меди и цинка, что объясняется приуроченностью исследуемой территории к площади с наличием зон рудной минерализации, которые формируют региональный природный фон.

Ключевые слова: инженерно-экологические изыскания, рекультивация ландшафтов, плодородность почв, геохимическое опробование, рекомендации по снятию почв, золото-медно-порфировое месторождение, горнопромышленный комплекс, экологическое состояние, почвенные исследования.

Для цитирования: *Абатурова И. В., Петрова И. Г., Клокова Ю. В.* Оценка состояния почвенного покрова на территории золото-медно-порфирового месторождения для проектирования горнопромышленного комплекса // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5—1. — С. 21—34. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_21.

© И. В. Абатурова, И. Г. Петрова, Ю. В. Клокова. 2022

Assessment of the state of the soil cover on the territory of the gold-copper-porphyry deposit for the design of the mining complex

I.V. Abaturova[1], I.G. Petrova[1], Ju.V. Klokova[1]

[1] Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia, office@ursmu.ru

Abstract: One of the problems in performing engineering and environmental surveys is conducting soil studies within the boundaries of deposits and promising ore occurrences to determine soil fertility, assess their sanitary and epidemiological condition. The urgency of the problem is determined by the requirements of environmental legislation for the rational development of natural resources and the need to preserve the fertile soil layer. Conducting soil research is mandatory and is fixed in a number of regulatory documents regulating the conduct of engineering and environmental surveys. Standard methods of obtaining information were used during the study of the soil condition: field examination, laboratory tests and in-house processing of the data obtained. The results of agrochemical and geochemical testing of the soils of the studied territory were obtained, the depth of the humus layer of soils was determined, a schematic soil map was compiled, which became the basis for making recommendations for removing the soil cover. It was recommended that when carrying out earthworks, a removal rate up to a depth of 0.4 m should be provided for all types of soils, and used without restriction during reclamation, and for areas of development of sod-taiga soils, further use is possible after mixing in storage areas to improve the chemical properties of rocks. Background concentrations of heavy elements in the soils of the territory were also determined, which are characterized by excess content of arsenic, copper and zinc elements, which is explained by the fact that the studied territory is confined to an area with the presence of ore mineralized zones that form a regional natural background.

Key words: engineering and environmental surveys, landscape reclamation, soil fertility, geochemical testing, recommendations for soil removal, gold-copper-porphyry deposit, mining complex, ecological condition, soil research

For citation: Abaturova I. V., Petrova I. G., Klokova Ju. V. Assessment of the state of the soil cover on the territory of the gold-copper-porphyry deposit for the design of the mining complex. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–1):21–34. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_21.

Введение

Одной из проблем при выполнении инженерно-экологических изысканий является проведение почвенных исследований в границах месторождений и перспективных рудопроявлений, для определения плодородия почв, оценки их санитарно-эпидемиологического состояния и возможности использования для целей рекультивации, а также для размещения объектов инфраструктуры горно-обогатительного предприятия [1].

Актуальность проблемы определяется требованиями природоохранного законодательства к рациональному освоению природных ресурсов и необходимостью сохранения плодородного слоя почвы, имеющего важное значение для восстановления растительного покрова, гидрологических условий нарушенных ландшафтов и экосистем в целом после завершения добычи полезного ископаемого [2]. Проведение почвенных исследований, является обязательным и закреплено в ряде нормативных документов, регламентирующих проведение инженерно-экологических изысканий:

• СП 11 — 102 — 97. «Инженерно-экологические изыскания для строительства»;

• СП 47.13330.2016 Актуализированная редакция СНиП 11–02–96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения».

Выполнение почвенных исследований на территории месторождения осуществлялось для оценки плодородия, возможности изъятия и сохранения, и оценки загрязненности почв.

Задачи:

1. Определить структуру почвенного покрова
2. Оконтурить площади развития различных типов почв
3. Провести анализ результатов агрохимических, агрофизических и санитарно-гигиенических испытаний почв;
4. Выделить типы почв и оценить степень их плодородия;
5. Сформировать представление о фоновом содержании химических элементов в различных типах почв.

Методы

Почвенные исследования включали визуальную регистрацию, закладку и описание почвенных разрезов с отбором проб основных типов почв и грунтов потенциально плодородного слоя, картирование почвенного покрова. Основой для выбора мест заложения почвенных разрезов, прикопов (шурфов) послужил анализ ландшафтной основы [3] и геоботанических признаков, базирующийся на общих методических принципах проведения инженерно-экологических изысканий.

Лабораторные испытания проб почв и грунтов были выполнены по перечню показателей, установленных в нормативных документах. Для оценки физических и химических свойств исследованных почв использованы общепринятые показатели: сумма гранулометрических фракций менее 0,01 мм, pH солевой вытяжки, содержание гумуса, сумма поглощенных оснований и содержание поглощенного натрия, содержание обменного Al, обеспеченность почв подвижными формами азота, фосфора, калия.

Оценка полученных агрохимических показателей проводилась согласно методическим рекомендациям Почвенного института им В. В. Докучаева (1987) и региональным агропроизводственным шкалам и градациям (Ознобихин, и др., 1994).

Площадки опробования почв для оценки экологического состояния выбирались с учетом характера проектируемых объектов, площади распространения природных и техногенных ландшафтов в границах площадок размещения сооружений, условий миграции и накопления элементов. Принадлежность к группе пригодности почв, грунтов и пород, в зависимости от показателей химического и гранулометрического состава и инженерно-геологической характеристики, определяется в соответствии с «Классификацией вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель», который предназначен для исследования свойств вскрышных и вмещающих пород и их смесей при разведке месторождений полезных ископаемых, проектирования и выполнения рекультивационных работ на землях, нарушаемых в процессе горного производства и строительства.

Для санитарно-химической оценки почв и грунтов, как компонента окружающей среды способного накапливать значительные количества загрязняющих веществ и оказывать непосредственное влияние на состояние здоровья людей, было проведено

их опробование из почвенных выработок методом «конверта». Суть метода заключается в том, что из углов и центра квадрата размером 5х5 м с глубины 10—20 см отбираются приблизительно равные по весу пробы почвы; затем они смешиваются в единую пробу. Также пробы отбирались из скважин на участках карьеров и котлованов сооружений, до глубины потенциальной выемки.

Качество почв и грунтов оценивалось в соответствии с российскими гигиеническими требованиями, применяемыми в отношении качества почв на селитебной территории и сельскохозяйственных угодий, так как для территорий горнодобывающих предприятий, рудных месторождений и природных геохимических аномалий иные нормативы не установлены. Данные требования предусматривают соблюдение гигиенических стандартов при проектировании и строительстве любых промышленных объектов, включая горнорудные. Согласно табл. 4.3 СанПиН 1.2.3685—21 степень загрязнения почв неорганическими веществами оценивалась по отдельным элементам с учетом класса опасности элемента, его ПДК (ОДК) и максимального значения допустимого уровня содержания элемента (Kmax) по показателям вредности.

Для целей оценки за величину фоновой концентрации на территории участка приняты кларковые значения для литосферы по А. П. Виноградову. В качестве нормативной для всех показателей, согласно табл. 4.1 СанПиН 1.2.3685—21 и условиям района, принята величина ПДК/ОДК для глинистых и суглинистых почв с учетом водородного показателя.

По результатам лабораторных испытаний была составлена таблица, в которой приведены коэффициенты концентрации металлов (Cd, Hg, Pb, Zn, Ni, Cu) и мышьяка по отношению к нормативным значениям, а также значения рассчитанных комплексных показателей загрязнения почв Zc. Показатель Zc является количественной мерой, представляющей собой аддитивную сумму превышений коэффициентов концентрации (рассеяния) над единичным (фоновым) уровнем.

Затем было проведено обобщение результатов исследований химического состава почв и грунтов и получены фоновые концентраций загрязняющих веществ для всех типов почв месторождения.

Результаты

Исследование почвенных условий и установление степени плодородия почвенного покрова проводились в границах золото-медно-порфирового месторождения в Хабаровском крае [4]. По почвенному районированию, согласно Национальному атласу почв РФ, территория относится к Сихотэ-Алинско-Сахалинской горной почвенной провинции Дальневосточной таежно-лесной почвенно-биоклиматической области с развитием бурых лесных слабонасыщенных (буроземов слабонасыщенных), торфяно-болотных и пойменно-луговых почв (рис. 1) [5].

Особенности почвообразования на изучаемой территории определяются:

- литологическим составом почвообразующих пород;
- мощностью рыхлых отложений;
- гидротермическими факторами — количеством тепла и влаги.

Закономерность формирования почв и структуры почвенного покрова (СПП) определяет своеобразие природных условий территории. Резко неравномерное распределение количества осадков и тепла, различная мощность и механического состава рыхлых

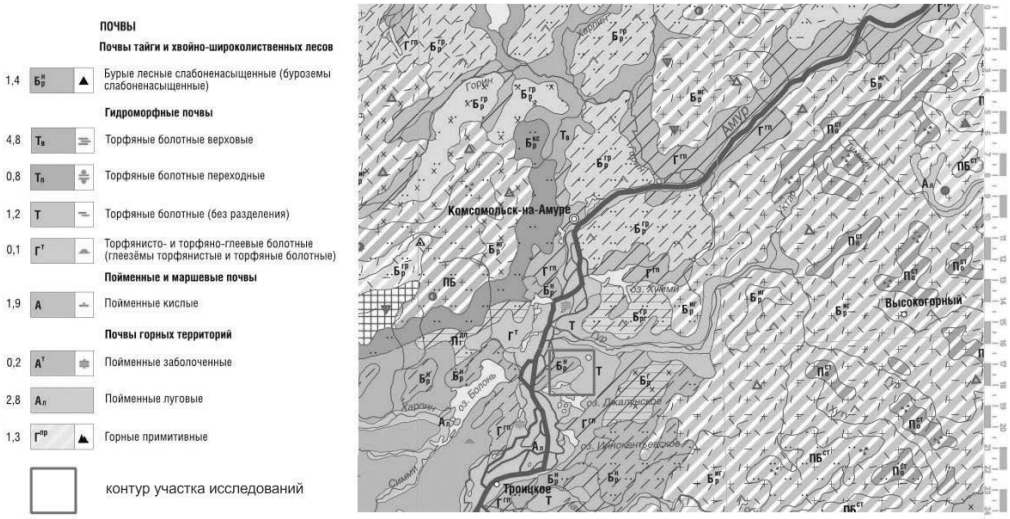

Рис. 1. Фрагмент почвенной карты РФ масштаба 1: 2 500 000 [5]
Fig. 1. Fragment of a soil map of the Russian Federation scale 1: 2 500 000 [5]

отложений и, как следствие, наличие длительно-сезонной мерзлоты в профиле почв, определяют интенсивность процессов метаморфического оглинивания — в горах, заболачивание и оглеение в условиях выравненных территорий и (или) подгорных равнинах [6].

Почвенному покрову исследованной территории присущи два типа структур: высотно-дифференцированный и экспозиционно-дифференцированный, которые на данной территории не ярко выражены и проявляются не всегда.

Высотно-дифференцированная структура почвенного покрова проявляется на относительно больших высотах, при абсолютных отметках свыше 200 м и образует простые контуры и сочетания из дерново-таежных почв и буроземов грубогумусовых. Наиболее часто встречаются однородные контуры дерново-таежных почв. Ареалы дерново-таежных почв различной степени оподзоленности занимают небольшие площади, встречаются фрагментарно только на крутых склонах и более высоких абсолютных отметках в мезо- и микропонижениях. Формирование сочетаний и их эволюция обуславливает развитие здесь парагенетической группы из дерново-таежных почв и буроземов грубогумусовых. Чаще всего их развитие обусловлено микрорельефом и, связанным с ним мощностью рыхлых отложений [7].

Изучаемое месторождение принадлежит к золото-медно-порфировому промышленному типу, что обуславливает наличие природных геохимических аномалий по содержанию меди, цинка и мышьяка [8].

Структура и состав почвенного покрова изучаемой территории простые, представлены группой буроземных почв — от типичных до грубогумусовых с различной степенью проявления процессов оподзоливания и оглеения. На основании обобщения материалов исследований согласно классификации почв, принятой в России в 2004 году и «Полевого определителя почв», на участке изысканий были выделены следующие типы:

1) в пределах горной территории — дерново-таежные почвы, буроземы (типичные и грубогумусовые);

2) в пределах равнинной территории — подзолисто-буроземные почвы (различной степени оглеенности), болотные (перегнойно-торфянисто-глеевые) и аллювиальные почвы пойм. Кроме того, на выровненных участках возвышенностей с малой мощностью рыхлого покрова фрагментарно отмечается развитие литоземов.

Основной тип почв развитый в границах участка — буроземы, подвиды которых формируются в зависимости от склонов (крутизны и экспозиции) и рыхлых отложений. Процессы оподзоливания связаны, в том числе и степенью увлажнения толщи при перераспределении осадков. При недостаточном увлажнении формируются дерновые грубогумусовые почвы. На южных склонах грубый гумус под влиянием интенсивного увлажнения активно преобразуется в буроземы типичные.

В целом, на коренных породах фон образуют буроземные почвы (два подтипа: буроземы типичные и грубогумусовые, различной степени оглеенности и оподзоленности). Направленность буроземного почвообразовательного процесса определяется мощностью рыхлых склоновых отложений, интенсивностью формирования органогенно-аккумулятивных горизонтов (O)AYao. Дерново-таежные почвы формируются чаще всего на крутых склонах, с уклоном не менее 20° и близким залеганием щебенистого элювия.

Совокупность условий формирования почвенного покрова района, определяют значительную скорость процессов химического разрушения минеральной толщи почв и иллювиально-гумусового выноса продуктов разрушения [8]. Разложение опада происходит по северо-таежному типу с формированием органогенно-торфянистых или органогенно-дерновых горизонтов. Распределение гумуса по профилю аккумулятивное. В верхних органогенных горизонтах в составе гумуса преобладают агрессивные фракции типа фульвокислот, ниже по профилю их содержание снижается (табл. 1).

Результаты агрохимического опробования почв

Установлено, что литоземы грубогумусовые и дерново-таежные почвы, развитые в границах горных ландшафтов, характеризуются pH водного раствора значениями ниже 5,5 и отно-

Таблица 1
Основные типы почв территории месторождения
The main types of soils of the deposit territory

Тип почвы	Почвенный профиль	Подтип почв (разновидность)
Литоземы	AO — (C).	Литоземы грубогумусовые
Дерново-таежные	(A)D-BMh -G-CG	Собственно дерново- таежные
	D-BMh оп-G-CG	Дерново-таежные оподзоленные
Буроземы	AYao-BM-C	Буроземы грубогумусовые
	AYe-BM-C	Буроземы типичные и оподзоленные
	AY- BMg-Cg	Буроземы глееватые
Подзолисто-буроземные	AY-ELMg-BTg-Cg	Подзолисто-буроземные поверхностно-глеевые
	AY-ELMg-Tg-Cg	Подзолисто-буроземные глееватые
Болотные почвы	TE-ПТ	Перегнойно-торфянисто-глееватые торфяные
Аллювиальные почвы	AY-C--	Аллювиальные дерновые типичные

сятся к кислым, по pHсол исследованные почвы относятся к сильнокислым и очень сильнокислым (pH<4.0). Кроме того, по показателю каменистости эти типы почв относятся к сильнокаменистым. Учитывая малую мощность (0,05 — 0,1 м) и выявленные несоответствия показателей свойств, согласно п. 6 ГОСТ 17.5.3.06 — 85 не устанавливают норму снятия плодородного слоя почвы для данных типов почв.

Наиболее широко развитые в границах территории месторождения буроземы по значениям pH солевой вытяжки преимущественно сильнокислые и очень кислые, особенно в горизонтах AYe. Несмотря на это, поверхностные горизонты характеризуются высокой суммой поглощенных оснований. Обменная кислотность существенно увеличивается в подгумусовых горизонтах, иногда на порядок. В верхних горизонтах обменная кислотность в основном представлена поглощенными ионами H+, а с глубиной возрастает роль ионов Al. Обеспеченность азотом общим в большинстве буроземов слабая. В единичных пробах буроземов глеевых и типичных с глубины до 0,1 — 0,2 м обеспеченность азотом средняя. Обеспеченность подвижным фосфором слабая, иногда средняя. Обеспеченность калием равномерно снижается с глубиной.

Исследование показателей, определяющих плодородные свойства в пробах, отобранных из почвенных профилей до глубины 0,3 — 0,4 м показало, что содержании гумуса в большинстве проб буроземов от 1,1% до 4,5%. С глубины 0,4 — 0,5 м содержание гумуса резко падает. Реакция pHвод от кислых до нейтральных по всему профилю (pHвод. 4,9 — 6,7). Сумма токсичных солей в пробах составляет <0,05%.

Глеевые и оподзоленные буроземы и подзолисто-буроземные почвы, по показателям агрохимических свойств и гранулометрическому составу также относятся к плодородным и в верхней части разреза до глубины 0,2 — 0,3м, и фрагментарно до 0,5 м, при высоком содержании гумуса и нейтральной реакции среды отнесены к плодородным. С глубиной величина pH солевой вытяжки изменяется преимущественно к сильнокислой.

Аллювиальные почвы имеют локальное распространение в поймах водотоков, характеризуются значениями pH водного раствора 5,5 — 6,4 и относятся к кислым и слабокислым. По значениям pH солевой вытяжки исследованные почвы относятся к сильнокислым и очень сильнокислым (pH < 4.0). Сумма поглощенных оснований от 1,7 до 6,5 ммоль/100 г с максимальными значениями в верхней дерновой толще. Содержание гумуса с поверхности в дерновой толще до глубины 0,2–0,5 м составляет 1,4 — 3,3%, ниже по разрезу содержание гумуса снижается и с глубины 0,5 м менее 1%. По нормируемым показателям данный тип почв не относится к плодородным.

Почвообразующие породы, представленные элювиально-делювиальными и элювиальными суглинками с включениями обломков дресвы и щебня (менее 15%, залегающие на территории размещения проектируемых сооружений мощностью от 0,1 до 9,0–12,0 м, а на отдельных участках и до 22 м, по совокупности химических свойств и физических показателей относятся к связным несцементированным осадочным породам — группе потенциально плодородных пород (табл. ГОСТ 17.5.1.03 — 86).

Площадное распространение различных типов почв, развитых в границах месторождения, установлено на основе комплексного анализа результатов полевых исследований, сопостав-

Таблица 2
Основные используемые индикаторы выделения типов почв
The main indicators used for the allocation of soil types

Тип почвы	Используемые индикаторы выделения типов почв		
	Рельеф	Растительность	Каналы выделения типов растительности landsat 8
Литоземы	Водоразделы	Угнетенная травянистая растительность с малым биологическим разнообразием	(7 — 5-3) — коротковолновый инфракрасный. Выделяется оттенками розовыми, оранжевыми и коричневыми.
Дерново-таежные	Водоразделы и склоны с уклоном более 20 градусов	Хвойно-широколиственные леса	(5 — 4-3) — коротковолновый инфракрасный. Выделяется по ярко красным тонам.
Буроземы	Водоразделы, склоны, конуса выноса	Лиственничники, хвойно- мелколиственные леса	(7 — 5-3) — коротковолновый инфракрасный. Выделяется по зеленым тонам.
Подзолисто-буроземные	Равнинные территории с затрудненным внутренним дренажом	Осиново-широколиственные леса и луговая растительность	(7 — 5-3) — коротковолновый инфракрасный. Проявляется по светло-зеленым тонам.
Болотные почвы	Равнинные не дренированные поверхности	Редкостойные лиственничники	(7 — 6-4) — коротковолновый инфракрасный. На снимке проявляются очень темно-синими и почти черными цветами.
Аллювиальные почвы	Поймы рек, на аллювии и речных наносах	Ивняки, луговая растительность	(7 — 5-3) — коротковолновый инфракрасный. Проявляется по светло-зеленым тонам вдоль водотоков.

ления материалов топографической съемки, результатов дешифрирования космоснимков landsat 8 [9] и карт растительности (табл. 2).

На картографическом материале было отражено площадное распространение почв на изучаемой территории (рис. 2), а также установлены мощности плодородного и потенциально плодородного слоя [10] для разных типов почв, что позволило установить объемы земляных работ и предусмотреть в проекте объекты временного складирования плодородного слоя почвы и потенциально-плодородных пород.

Кроме исследования плодородных свойств, почвы территории месторождения были изучены по содержанию в них загрязняющих веществ.

Для исследуемого золото-медно-порфирового месторождения характерна мощная зона окисления, прослеживающаяся на глубину в первые десятки метров. Специфика минерального состава зоны окисления, заключающаяся в ассоциации самородных металлов, полуметаллов и неметаллов, сульфидов, сульфосолей, галогенидов, окислов и гидроокислов, силикатов, фосфатов, карбонатов, отражает сложные условия гипергенеза на площади и проявляется в наличии минералов — лимонит, гётит, магнетит, пирит, реже — арсенопирит, галенит, сфалерит, халькопирит, и, развитые по суль-

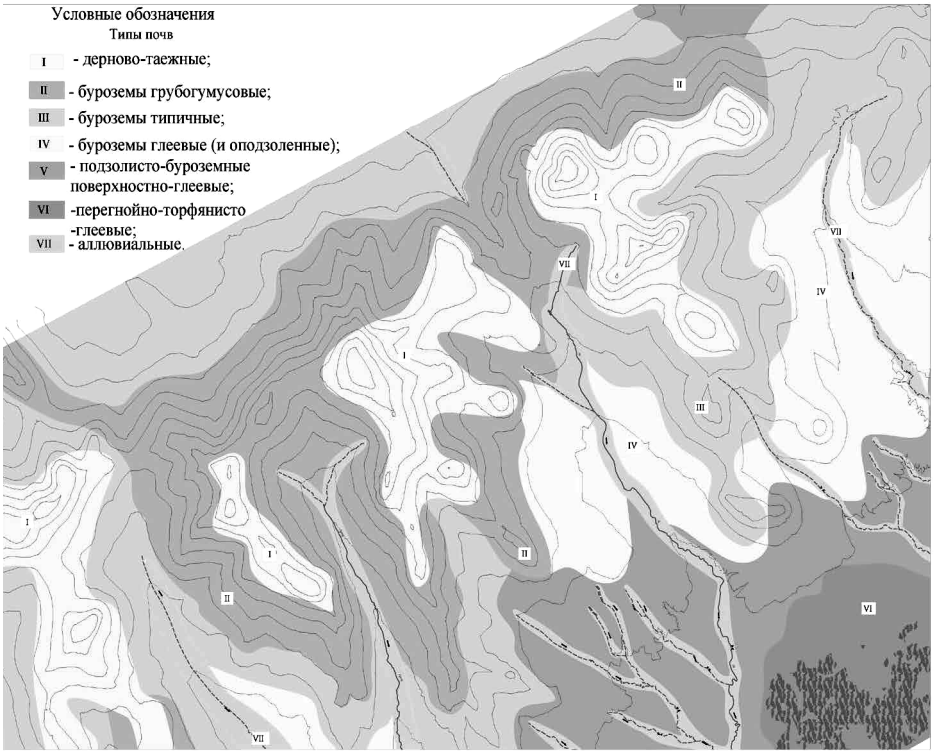

Рис. 2. Почвенная карта изучаемого участка месторождения масштаба 1:10 000
Fig. 2. Soil map of the studied area of the deposit scale 1:10 000

фидам меди и железа, ковеллин, борнит, азурит и малахит [2].

Наличие вышеперечисленных минералов в верхней части почвенного разреза обуславливает повышенные содержания ряда элементов: меди, мышьяка, цинка.

Результаты химического опробования почв

В результате лабораторных испытаний проб почв и грунтов, отобранных как с поверхности, так и на глубину потенциальной выемки, установлены геохимические аномалии в распределении мышьяка и меди, как с поверхности почв в дерново-гумусовом горизонте до глубины 0,1 — 0,3 м, так и на глубине, в разрезе почвообразующих пород [9].

Мышьяк. Кратность превышения нормативных значений по содержанию мышьяка в 30% всех исследуемых проб составляет 1,0 — 1,9 ПДК, что соответствует диапазону фактических значений от 0,3 до 9,4 мг/г, при средних на всю территорию 4,3 мг/кг, при установленных значениях ПДК = 5 мг/кг. В 70% исследуемых проб содержание мышьяка не превышает нормативного [11].

Цинк. Содержание цинка, установленное в исследуемых пробах, варьируется в пределах от 18 до 464 мг/кг, при среднем 74 мг/кг. Для 10% проб буроземов и почвообразующих грунтов, место отбора которых пространственно приурочено к участкам расположения рудных зон, установлены превышения нормативных значений по содержанию цинка в 1,1 — 4,2 ПДК [12].

Свинец. Фактически установленные значения содержания свинца изменяются в диапазоне от <20 мг/кг до 219 мг/кг и соответствуют низкому уровню загрязнения, только в 2,5% проб содержание превышает ПДК в 1,2 -3,4 раза, в остальных пробах содержание этого элемента ниже пределов обнаружения.

Никель. Содержание никеля варьируется в пределах от <10 до 54 мг/кг и только в 5% проб превышает ПДК 1,1–1,4, причем аномалия имеет локальное распространение и приурочена к буроземам грубогумусовым, закартированным на участке размещения проектируемых отвалов. В целом уровень загрязнения никелем низкий [10].

Медь. Содержание меди в пробах, отобранных из всех типов почв и почвообразующих грунтов, варьируется в широких пределах и зависит от участка отбора, максимальные значения фиксируются на площадках расположения проектируемых карьеров и отвалов. Фактические значения в диапазоне от 6 до 681 мг/кг, при средних 60 мг/кг. В 22% проб значения превышают предельно-допустимые концентрации в 1,1–10,3 раза. На большей части территории опробования уровень загрязнения почв и грунтов никелем низкий, на локальных участках средний, а в единичных пробах высокий.

Ртуть. Фактически установленные значения содержания ртути от 0,011 до 0,77 мг/кг при средних 0,055 мг/кг, содержания кадмия от <0,8 до 1 мг/кг, при средних 0,89 мг/кг. Содержание кадмия и ртути не превышает значения предельно-допустимых концентраций во всех пробах.

Величина показателя комплексного загрязнения Zc для всех исследуемых почв, грунтов и пород <16 ед. (6,5–15) рассчитанные относительно фонового содержания (Сф) по СанПиН 2.1.7.1287 — 03 соответствуют категориям с допустимым загрязнением [13].

Кадмий. Содержание кадмия в отобранных пробах изменялось от 0 до 1,10 мг/кг при средних 0,89 мг/кг. Содержание кадмия не превышает значений предельно-допустимых концентраций во всех пробах.

Самое высокое содержание цинка (464 мг/кг), имеющего высокий коэффициент миграции в кислой среде, обнаружено в верхнем горизонте дерново-таежной почвы. Относительно невысокое накопление тяжелых металлов в буроземных почвах обусловлено повышенным содержанием их в породе и обнажением породы, а в нижней части склонов — в буроземах грубогумусовых — относительно повышенное содержание тяжелых металлов обусловлено биологическим накоплением в грубогумусовых горизонтах [14].

Анализ полученных результатов позволил рассчитать фоновые концентрации загрязняющих элементов в почвах участка (табл. 3).

Обсуждение результатов

В целом по почвенным условиям участка можно сделать следующие выводы: согласно ГОСТ 17.5 1.03 — 86 «Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель» и ГОСТ 17.5.3.06 — 85 «Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ» слой почв, включающий гумусированные горизонты почв до глубины 0,2 — 0,5 м (в среднем 0,4 м), характерный для всех типов исследуемых почв, за исключением дерново-таежных, относятся к пригодным и относится к плодородному слою почвы (ПСП).

Следовательно, рекомендуется при освоении месторождения, прове-

Таблица 3
Фоновые концентрации загрязняющих веществ в почвах участка
Background concentrations of pollutants in the soils of the site

Тип почв	Химический элемент (мг/кг)						
	As	Cd	Hg	Pb	Zn	Ni	Cu
Литоземы грубогумусовые	1,9	0,060	0,029	1,1	56,0	10,0	41,0
Дерново-таежные	4,0	0,280	0,039	2,6	0,0	11,0	45,0
Буроземы грубогумусовые	4,5	0,420	0,041	1,8	65,0	10,0	52,0
Буроземы типичные	4,3	0,440	0,042	1.6	55,0	10,0	58,0
Буроземы глеевые (и оподзоленные)	3,9	0,450	0,043	2,0	59,0	11,0	52,0
Подзолисто-буроземные поверхностно-глеевые	4,9	0,185	0,185	12,3	67,5	12,0	18,0
Перегнойно-торфянисто-глеевые	4,1	0,230	0,031	2,2	72,0	13,0	15,0
Аллювиальные	4,2	0,170	0,051	20,0	101,0	12,0	40,5

дении земляных работ предусмотреть для всех типов почв норму снятия ПСП до глубины 0,4 м, и использовать без ограничения при рекультивации (что согласуется с рекомендациями прил. 1 ГОСТ 17.5.3.06—85), а для участков развития дерново-таежных почв дальнейшее использование возможно после улучшения химических свойств пород. Кроме того, возможно улучшение свойств при смешении на участках складирования.

При проектировании рекультивационных мероприятий нужно учитывать, что почвы района в сложившихся природных условиях медленно восстанавливаются и легко подвергаются нарушению при антропогенном влиянии. Механическое повреждение почв, изменяет их физические свойства, приводит к нарушению обменных процессов, что в довольно суровых климатических условиях препятствует развитию почвообразовательного процесса [15].

По геохимическому опробованию результаты свидетельствуют о значительных различиях микроэлементного состава почв, что в первую очередь обусловлено высоким содержанием тяжелых металлов в органогенных горизонтах, что обусловлено хорошей их миграционной способностью, биологическим накоплением в растениях и закреплением на геохимическом барьере. Наличие почв и грунтов, в которых установлены повышенные концентрации мышьяка, меди и цинка, объясняется приуроченностью исследуемой территории к площади с наличием зон рудной минерализации, которые формируют региональный природный фон [16].

Вклад авторов

Абатурова И. В. — генерация идеи исследования, постановка задач исследования, научное сопровождение и рецензирование.

Петрова И. Г. — рецензирование текста статьи, получение данных для анализа, выполнение работы по систематизации материала.

Клокова Ю. В. — анализ результатов исследования и подготовка данных, написание текста статьи.

Конфликт интересов отсутствует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Стороженко Л. А.*, *Петрова И. Г.*, *Клокова Ю. В.*, *Лымарь И. О.* Влияние разработки месторождений открытым способом на геологическую среду //Инженерная и рудная геофизика 2020. — 2020. — С. 106. DOI: 10.3997/2214—4609.202051132.
2. *Ушакова Е. С.*, *Караваева Т. И.*, *Белкин П. А.* Экологическое состояние почв промышленных территорий (на примере г. Березники, Пермский край): сравнение отечественных и зарубежных методов оценки // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2020. — Т. 331. — №. 10. — С. 58—70. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2850.
3. *Lim J. S.* et al. UAV-Based Remote Sensing for Managing Alaskan Native Heritage Landscapes in the Yukon-Kuskokwim Delta // Remote Sensing. — 2022. — Т. 14. — №. 3. — С. 728. DOI: 10.3390/RS14030728.
4. *Рязанова Е. И.* Пространственное распределение природных типов руд на месторождении Малмыж // Геология в развивающемся мире. — 2017. — С. 37—39.
5. *Абатуров Б. Д.* Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: АСТРЕЛЬ. 2011. 632 с.//Зоологический журнал. — 2012. — Т. 91. — №. 9. — С. 1144—1144.
6. *Бобина Т. С.* Инженерно-геологическая зональность кор выветривания малмыжского месторождения (участок Свобода) // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2021. — №. 2. — С. 53—63. DOI: 10.21440/0536—1028—2021—2-53—63.
7. *Буханова Д. С.* Вторичные изменения вмещающих пород медно-порфирового месторождения Малмыж, Дальний Восток России//Материалы XII региональной молодежной научной конференции «Природная среда Камчатки». — 2013. — С. 15—28.
8. *Крюков В. Г.*, *Лаврик Н. А.*, *Литвинова Н. М.*, *Степанова В. Ф.* Типоморфные минералы зоны окисления золото-медно-порфировых руд Малмыжского месторождения (участок Свобода) // Георесурсы. — 2019. — Т. 21. — №. 3. DOI: 10.18599/grs.2019.3.91—98.
9. *Mzid N.* et al. Evaluation of Agricultural Bare Soil Properties Retrieval from Landsat 8, Sentinel-2 and PRISMA Satellite Data // Remote Sensing. — 2022. — Т. 14. — №. 3. — С. 714. DOI: 10.3390/RS14030714.
10. *Saleem J.*, *Ahmad S. S.*, *Shabbir R.* Evaluating land suitability analysis for urban services planning in coal clusters of Punjab using AHP, WOM, and TOPSIS method // Arabian Journal of Geosciences. — 2022. — Т. 15. — №. 4. — С. 1—20. DOI: 10.1007/S12517—022—09510—8.
11. *Feizi M.*, *Hossaini S. M.* T. Arsenic immobilization in calcareous soils amended with native and chemically modified sewage sludge biochar: kinetics and equilibrium studies // Arabian Journal of Geosciences. — 2022. — Т. 15. — №. 4. — С. 1—16. DOI: 10.1007/s12517—021—08203-y.
12. *Читалин А. Ф.*, *Ефимов А. А.*, *Воскресенский К. И.*, *Игнатьев Е. К.*, *Колесников А. Г.* Малмыж — новая крупная золотомедно-порфировая система мирового класса на Сихотэ-Алине //Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2013. — №. 3. — С. 65—69.
13. *Секисов А. Г.*, *Иванов В. В.*, *Рассказова А. В.*, *Игнатьев Е. К.* Геохимические особенности руд зоны окисления медно-золоторудного месторождения Малмыж и резуль-

таты их геотехнологического тестирования //Горный журнал. — 2018. — №. 10. — С. 30—35. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.05

14. *Буханова Д. С.* Минералого-геохимические особенности Малмыжского золото-медно-порфирового месторождения. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Петропавловск-Камчатский. ДВГИ ДВО РАН. — 2020. — 26 с.

15. *Кунаков К. О.* Принципиальные разногласия в законодательстве при оценке категорий загрязнения почв тяжелыми металлами на стадии инженерно-экологических изысканий для разработки проектной документации //Инженерно–экологические изыскания–нормативно–правовая база, современные методы и оборудование. — 2017. — С. 16—19.

16. *Петров О. В.*, *Ханчук А. И.*, *Иванов В. В.*, *Киселёв Е. А.*, и др. U-Pb SIMS геохронология рудоносных магматических пород золото-медно-порфировых проявлений Малмыжского и Понийского рудных полей (Нижнее Приамурье) //Региональная геология и металлогения. — 2020. — №. 83. — С. 41—56. ГИАБ

REFERENCES

1. Storozhenko L. A. et al. The impact of open-pit mining on the geological environment. *Engineering and ore geophysics*. 2020. pp. 106—106. DOI: 10.3997/2214-4609.202051132 [In Russ].

2. Ushakova E. S., Karavaeva T. I., Belkin P. A. Ecological state of soils of industrial territories (on the example of Berezniki, Perm Krai): comparison of domestic and foreign assessment methods. *Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource engineering*. 2020. Vol. 331. no. 10. pp. 58—70. DOI: 10.18799/24131830/2020/10/2850 [In Russ].

3. Lim J. S. et al. UAV-Based Remote Sensing for Managing Alaskan Native Heritage Landscapes in the Yukon-Kuskokwim Delta. Remote Sensing. 2022. Vol. 14. no. 3. p. 728. DOI: 10.3390/RS14030728.

4. Ryazanova E. I. Spatial distribution of natural types of ores at the Malmyzh deposit. *Geology in the developing world*. 2017. PP. 37—39. [In Russ].

5. Abaturov B. D. NATIONAL ATLAS OF SOILS OF THE RUSSIAN FEDERATION. Moscow: ASTREL. 2011. 632 c. Zoological Journal. 2012. Vol. 91. no. 9. pp. 1144—1144. [In Russ].

6. Bobina T. S. Engineering-geological zonality of the weathering crust of the Malmyzhskoye deposit (Svoboda site). *Izvestiya vyshchikh uchebnykh uchebni. Mining Magazine*. 2021. no. 2. pp. 53—63. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-2-53-63 [In Russ].

7. Bukhanova D. S. Secondary changes in the host rocks of the copper-porphyry deposit of Malmyzh, Far East of Russia. Materials of the XII regional youth scientific conference “Natural environment of Kamchatka. 2013. pp. 15—28.

8. Kryukov V. G. et al. Typomorphic minerals of the oxidation zone of gold-copper-porphyry ores of the Malmyzhskoye deposit (Svoboda site). *Georesources*. 2019. Vol. 21. no. 3. DOI: 10.18599/grs.2019.3.91—98 [In Russ].

9. Mzid N. et al. Evaluation of Agricultural Bare Soil Properties Retrieval from Landsat 8, Sentinel-2 and PRISMA Satellite Data. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. no. 3. p. 714. DOI: 10.3390/RS14030714.

10. Saleem J., Ahmad S. S., Shabbir R. Evaluating land suitability analysis for urban services planning in coal clusters of Punjab using AHP, WOM, and TOPSIS method. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022. vol. 15. no. 4. pp. 1—20. DOI: 10.1007/S12517-022-09510-8.

11. Feizi M., Hossaini S. M. T. Arsenic immobilization in calcareous soils amended with native and chemically modified sewage sludge biochar: kinetics and equilibrium studies. *Arabian Journal of Geosciences*. 2022. Vol. 15. no. 4. pp. 1—16. DOI: 10.1007/s12517—021—08203-y.

12. Chitalin A. F. et al. Malmyzh is a new large world-class gold-copper-porphyry system on Sikhote-Alin. Mineral resources of Russia. *Economics and management*. 2013. no. 3. pp. 65—69. [In Russ].

13. Sekisov A. G. et al. Geochemical features of ores of the oxidation zone of the copper-gold deposit of Malmyzh and the results of their geotechnological testing. *Mining Magazine*. 2018. no. 10. pp. 30—35. DOI: 10.17580/gzh.2018.10.05 [In Russ].

14. Bukhanova D. S. Mineralogical and geochemical features of the Malmyzh gold-copper-porphyry deposit, Khabarovsk Krai. 2020. [In Russ].

15. Kunakov K. O. Fundamental differences in legislation when assessing categories of soil pollution with heavy metals at the stage of engineering and environmental surveys for the development of project documentation. Engineering and environmental surveys–regulatory framework, modern methods and equipment. 2017. pp. 16—19 [In Russ].

16. Petrov O. V. et al. U-Pb SIMS geochronology of ore-bearing igneous rocks of gold-copper-porphyry manifestations of the Malmyzhsky and Poniysky ore fields (Lower Amur region). *Regional geology and metallogeny*. 2020. no. 83. pp. 41—56. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Абатурова Ирина Валерьевна[1] — докт. геол.-минерал. наук, профессор, https://orcid.org/0000-0003-4829-3204, gingeo@mail.ru;
Петрова Ирина Геннадьевна[1] — канд. геол.-минерал. наук, доцент, https://orcid.org/0000-0003-0021-0051, igp@mail.ru;
Клокова Юлия Валерьевна[1] — ассистент, https://orcid.org/0000-0002-1871-420X, klokova.julia@mail.ru;
[1] Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, 620144, Россия.
Для контактов*: Клокова Юлия Валерьевна*, e-mail: klokova.julia@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Abaturova I. V.[1], Dr. Sci. (Geol. Mineral.), professor, https://orcid.org/0000-0003-4829-3204, gingeo@mail.ru;
Petrova I. G.[1], Cand. Sci. (Geol. Mineral.), docent, https://orcid.org/0000-0003-0021-0051, igp@mail.ru;
Klokova J. V.[1], assistant, https://orcid.org/0000-0002-1871-420X, klokova.julia@mail.ru;
[1] Ural State Mining University, Yekaterinburg, 620144, Russia.

Получена редакцией 08.11.2021; получена после рецензии 17.02.2022; принята к печати 10.04.2022.
Received by the editors 08.11.2021; received after the review 17.02.2022; accepted for printing 10.04.2022.