ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(11-1):146–161
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 551.3.053+553.068.36 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_146

ОСОБЕННОСТИ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ МЕДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

И. В. Абатурова[1], **Т. С. Бобина**[1]

[1] Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Аннотация: месторождения и проявления меди чрезвычайно распространены в земной коре, имеют различное происхождение и образованы в разнообразных геолого-тектонических обстановках. Поиск и разведка таких месторождений, создание на базе их (МПИ) долгосрочных, крупных горных предприятий является одной из самых перспективных и приоритетных задач для добывающей промышленности страны. Вблизи поверхности данных месторождений характерно формирование кор выветривания, различных по своим свойствам. Это достигается за счет того, что на территории России развиты самые разнообразные породы (осадочные, магматические, метаморфические), служащие материнским субстратом для выветривания, а также различий геоморфологических условий на территориях, где сформированы месторождения полезных ископаемых. Именно поэтому в настоящее время Россия начинает становиться одним из наиболее интересных полигонов для изучения кор выветривания разных типов. Изучение процесса выветривания является сложным этапом, поэтому важно на момент проведения геологоразведочных работ правильно определить тип и профиль коры выветривания, установить возможности изменения инженерно-геологических условий при вскрытии массива пород горными выработками для дальнейшего прогноза устойчивости стенок и бортов проектируемых горнорудных сооружений.

Ключевые слова: выветривание, кора выветривания, материнская порода, инженерно-геологическая зональность коры выветривания, мощность коры выветривания, профиль выветривания, физико-механические свойства горных пород.

Благодарности: исследование подготовлено в соответствии с государственным заданием на выполнение НИР для ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет» № 075–03–2021–303 от 29.12.2020.

Для цитирования: *Абатурова И. В., Бобина Т. С.* Особенности кор выветривания медных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 11-1. – С. 146–161. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_146.

Features of weathered layers at copper deposits

I. V. Abaturova[1], **T. S. Bobina**[1]

[1] Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

Abstract: Copper deposits and mineralization zones are widely spread in the crust, have various origin and occur in different geological and tectonic environments. Prospecting and exploration of such deposits and their long-term and extensive mining are one of the top-priority objectives of the national mining industry. It is a typical feature of such deposit that

© И. В. Абатурова, Т. С. Бобина. 2021

there are overlaid with shallow weathered layers. The latter possess different properties as their mother substrates are represented by various rocks (sedimentary, magmatic, metamorphic) in Russia, and because the areas of the mineral deposits feature different geomorphology. For this reason, Russia is currently one of the most interesting test ground for studying weathered layers of different types. Examination of the weathering process is a challenging problem. Therefore, it is important to correctly determine the type and profile of the weathered layer at the stage of geological exploration, as well as to find changeability of geotechnical conditions during accessing mineral reserves with a view to predicting stability of sidewalls or pitwall in underground and surface mines later on.

Acknowledgments: The study was prepared in accordance with the state assignment for the implementation of research work for the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural State Mining University» No. 075-03-2021-303 dated December 29, 2020.

Key words: weathering, weathered layer, mother rock, geotechnical zonality, weathered layer thickness, weathering profile, physical and mechanical properties of rocks.

For citation: Abaturova I. V., Bobina T. S. Features of weathered layers at copper deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(11-1):146–161. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_146.

Введение

В настоящее время медь занимает третье место в мире по объему добычи (после железа и алюминия). Рынок диктует свои условия по масштабам добычи и потребности меди, которые требуют больших капиталовложений и организационных усилий. Данные аспекты указывают на важность освоения и разработки медных месторождений. Наиболее перспективными и приоритетными в промышленном значении являются медно-колчеданные и медно-порфировые месторождения из-за большого процентного содержания меди в руде, а также других ценных полезных ископаемых [1].

Согласно теории о массиве горных пород, все месторождения имеют двухэтажное строение. Нижний этаж сложен первичными рудами в скальных породах, верхний представлен окисленными рудами в корах выветривания, о которых и пойдет речь.

Методы

Современные тенденции и скорость накопления геологической информации диктуют условия, в которых все важнее становится вопрос о причинах и механизмах процессов и явлений. Исследователя уже не удовлетворяют знания о том, как протекают те или иные геологические процессы, ему требуется раскрыть их внутреннюю сущность, ответить на вопрос, почему происходит это явление, а не другое.

Изучение кор выветривания приобретает в настоящее время все большее значение, так как наличие ее во многом определяет гипергенную металлогению различных регионов [2]. С корами выветривания непосредственно и косвенно связаны многочисленные залежи различных полезных ископаемых, в частности остаточные руды железа, никеля, кобальта, боксита и другого минерального сырья [3]. Можно без преувеличения сказать, что месторождения полезных ископаемых в значительной мере генетически связаны с корой выветривания. Исходя из этого, все первоначальные исследования были направлены на выявление взаимосвязи формирования древних кор выветривания и, как следствие,

образования в них залежей полезных ископаемых (медь, золото, цинк и т.д.). Поэтому составленные классификации и схемы расчленения кор выветривания [4] отражают лишь изменение геохимии пород, происходящие во время процесса выветривания [5].

С ростом нужды в освоении нового пространства и степенью сложности строительства на данных территориях инженерных сооружений возникла потребность изучения кор выветривания более детально и точно [6], поскольку той информации, которую давали предшествующие исследования, уже не хватало. Решение этой задачи лежало в области инженерной геологии.

Большой вклад внес труд Л. А. Ярг. Результаты изучения прошлых лет легли в основу создания совершенно новой классификации расчленения коры выветривания для инженерно-геологических целей [7]. В данной классификации были выделены следующие зоны: I — трещинная, II — обломочная, III — литомаржа, IV — дисперсная, V — вторичной цементации, которые различны по своему минеральному составу и физическому состоянию.

Процесс выветривания меняет минеральный состав исходной материнской породы с образованием вторичных минералов и новых физико-механических свойств.

Таким образом, очевидно, что тип коры выветривания, зональность, минеральный состав элювиальных образований и их физико-механические свойства зависят от состава коренных пород, климатических условий и стадии выветривания.

Исходя из сказанного выше, следует сделать вывод о важности анализа пространственно-временных изменений физико-механических свойств пород внутри выделенных зон кор выветривания для более достоверного понимания происходящих в них процессов и обеспечения возможности прогнозирования свойств элювиальных грунтов. От этого зависит безопасность ведения работ при разработке месторождений.

Результаты работ

В истории геологического развития земной коры неоднократно возникали благоприятные условия для образования мощных кор выветривания. К их числу относятся: совокупность высоких температур и влажности, относительно выровненный рельеф, обилие растительности и продолжительность периода выветривания. При сочетании достаточно длительного времени выветривания и соответствующих условий образуются хорошо выраженные зоны к.в., имеющие свои структурно-текстурные особенности и сложенные минералами, которые в полной мере отражают последовательность стадий их формирования и развития [8]. Особенно широко развиты коры выветривания мезозойского и кайнозойского времени, отличительными характеристиками которых являются большая мощность и относительно хорошая изученность.

Проведем сравнительный анализ инженерно-геологического строения кор выветривания и их физико-механических свойств на примере медно-колчеданного месторождения полезных ископаемых «Кабан-I» и медно-порфирового месторождения «Малмыжское», выделив их особенности.

Особенности типа месторождения

При изучении МПИ определение типа месторождения в некоторой степени дает первоначальную картину характерных особенностей, которые ему будут присущи.

Так, медно-колчеданные месторождения связаны в основном с формациями базальтоидного магматизма

натровой серии. Вблизи поверхности для медно-колчеданных месторождений характерно наличие зоны окисления, которая в классическом виде (сверху-вниз) имеет три этажа:

– «железная шляпа», представляющая собой скопления бурого железняка, где главными минералами являются гидроксиды и оксиды железа с незначительными количествами малахита; как правило, обогащены золотом и серебром;

– окисленные руды, где более 50% минералов представлены оксидными соединениями — малахитом, азуритом, хризоколлой и др.;

– зона вторичного сульфидного обогащения, представленная халькозином, купритом и др. Это, как правило, богатые, легкообогатимые руды.

Медно-порфировые же месторождения пространственно и генетически связаны с малыми интрузиями порфировых пород умеренно кислого состава (диориты, гранодиориты и их субвулканические аналоги).

Месторождения этого типа представляют собой крупные, измеряемые сотнями метров и первыми километрами, штокверки с весьма значительными запасами металла; обычно они не имеют резких геологических границ, постепенно переходя в слабо минерализованные породы. Форма их зависит в основном от конфигурации рудоносного интрузива, свойств вмещающих пород, характера дорудной и послерудной трещиноватости.

Весьма характерной общей чертой меднопорфировых месторождений является вторичная вертикальная зональность; обычно выделяется до пяти зон (сверху — вниз): выщелачивания, окисленных руд, смешанных руд, вторичного сульфидного обогащения и первичных руд; мощность зон колеблется в широких пределах — от первых метров до первых сотен метров.

Особенности геологического строения

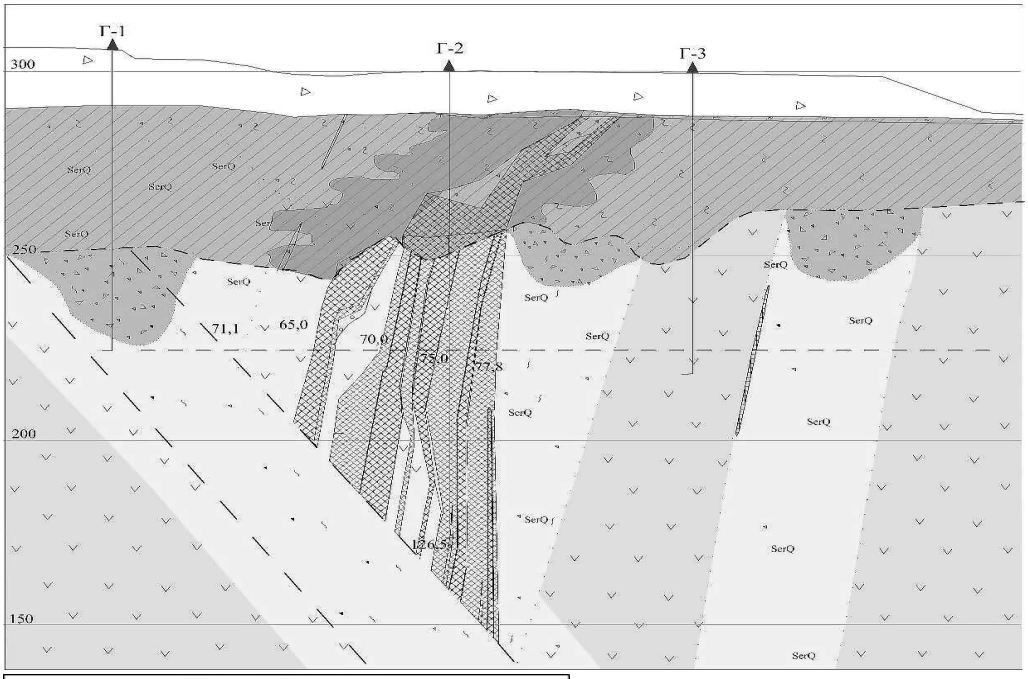
Медно-колчеданное месторождение «Кабан-I» в геологическом отношении расположено в пределах широкой полосы эффузивных пород зеленокаменной толщи восточного склона Уральского хребта [9].

Месторождение «Малмыжское» располагается в пределах Западного Сихоте-Алиньского вулкано-плутанического пояса, который представляет собой полосу непрерывного развития магматических пород (кварц-диоритовых порфиритов, а также плагиогранит-порфиритов, кварцевых порфиритов). Стратифицированные образования на площади рудного поля представлены меловыми морскими терригенными отложениями трёх пачек ларгасинской свиты ($K_{1-2}\,lg$) и рыхлыми четвертичными образованиями различного состава и генезиса (алевролиты, алевропесчаники) [10].

Особенности петрографического состава материнских пород и тектоники

Поскольку разрез месторождений представлен разными породами, то процесс формирования кор выветривания, в первую очередь, зависит от прочности и степени выветрелости породообразующих минералов. А совокупность воздействия тектонических процессов в районах расположения месторождений дает представление о том, что дроблению были подвержены практически все породы, слагающие разрез месторождения. В связи с этим над разными петрографическими типами пород формируются профили коры выветривания, различные между собой. Эти профили имеют разную мощность, минеральный и гранулометрический состав [11].

Разберем, какие особенности строения коры выветривания присущи месторождению «Кабан-I».



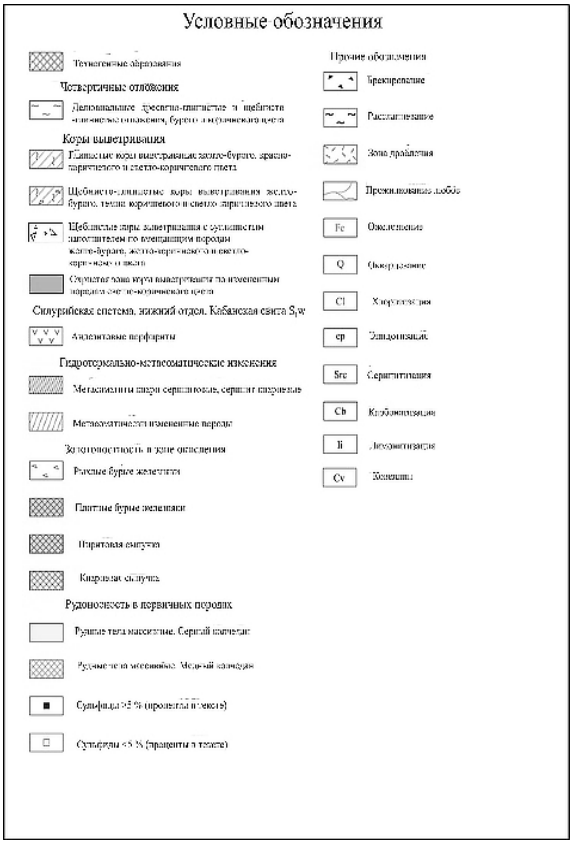


Рис. 1. Геологический разрез месторождения Кабан-I
Fig. 1. Geological section of Kaban I deposit

Над породами, которые сохранили свой облик и текстурные особенности (андезитовые порфириты либо породы серицит-кварцевого состава), в процессе выветривания сформировалась геохимическая зона выщелачивания. В этой зоне были выделены 3 подзоны (снизу-вверх): 1 подзона сложена гидрохлоритом → 2 подзона гидрослюдистых глин → 3 подзона каолинитовых глин.

Над первичными рудами, которые слагают рудную зону, сформировался профиль коры выветривания, который завершается образованием зоны окисления и формированием так называемой «железной шляпы». Здесь выделяется следующая геохимическая зональность: зона окисления (формирует «железную шляпу»), которая представлена рыхлыми бурыми железняками красно-бурого, темно-бурого и светло-бурого цвета и плотными кавернозными железняками, более темными по цвету и массивной структуры, и зона выщелачивания, представленная подзонами кварцевой и пиритовой сыпучки [12].

Инженерно-геологический разрез месторождения «Кабан-I» с выделенными зонами кор выветривания представлен на рис. 1.

На медно-порфировом месторождении «Малмыжское», там, где проявлены тектонические нарушения и зоны контактов пород, процесс выветривания проник на значительную глубину.

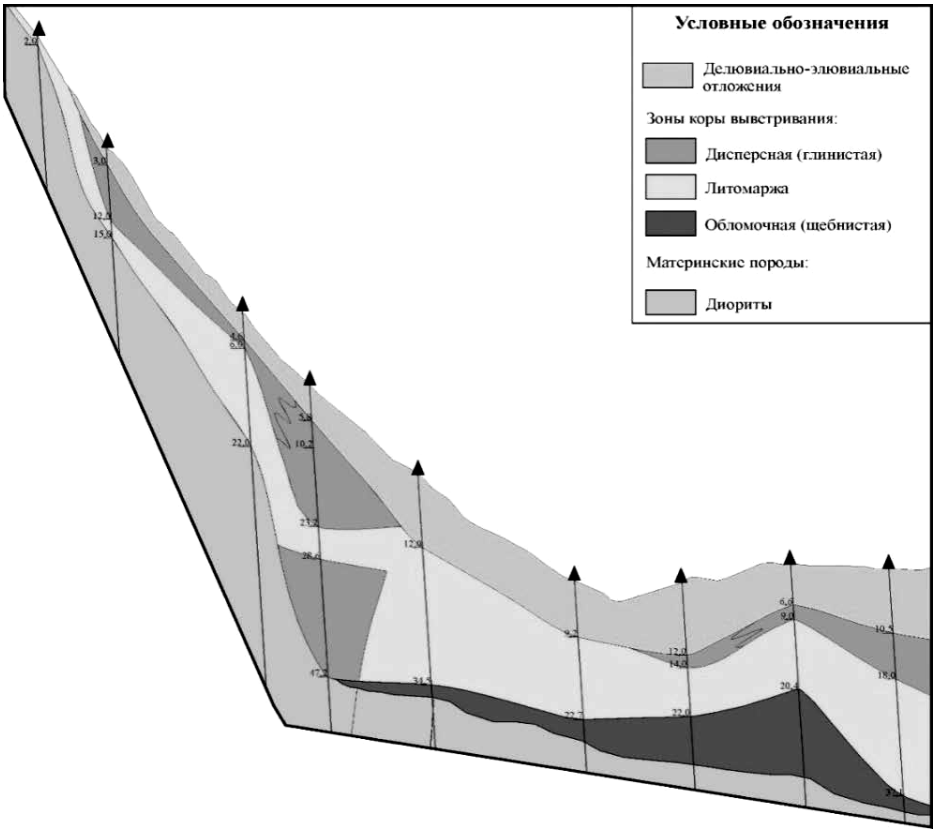


Рис. 2. Профиль коры выветривания участка Долина (масштаба 1:2000)
Fig. 2. Weathered layer profile in Dolina site (scale 1:2000)

Таблица 1

Профиль коры выветривания по разным типам материнских пород
Weathered layer profile by various types of mother rocks

Зона к.в.	Месторождение полезных ископаемых			
	Кабан-I		Малмыжское	
Вторичной цементации				
Дисперсная				
Литомаржа				
Обломочная				
Трещинная				
Материнская порода (невыветрелая)	Андезитовые порфириты	Медный / Сернистый колчедан	Кварцевые порфириты	Алевропесчаники

Именно поэтому коры выветривания относятся как к площадным остаточного типа (≈30 м), так и линейным (до 50 метров). Поскольку разрез месторождения представлен терригенными породами, прорванными кварцевыми диоритами, профили коры выветривания будут также различны между собой.

Всего две подзоны, соответствующие зонам гидролиза (глинистая) и дезинтеграции (обломочная), сформировались над кварцевыми порфиритами, которые устойчивы к процессу выветривания [13].

Над алевропесчаниками и алевролитами прослеживается практически полный профиль выветривания, однако, отличающийся неоднородностью литологического строения (рис. 2).

Данная информация позволяет выделить инженерно-геологический профиль кор выветривания по разным типам материнских пород на рассматриваемых месторождениях. Сведем результаты в единую табл. 1.

Исходя из приведенной выше табл. 1, проведем сравнительный анализ полученных зон кор выветривания и их физико-механических свойств.

Особенности зон кор выветривания и их физико-механических свойств.

Подтвердим приведенную выше информацию сравнительным анализом физико-механических свойств грунтов в каждой из зон коры выветривания (снизу-вверх).

Трещинная зона была выделена только на месторождении «Малмыжкское». Данная зона представляет собой скальный грунт (алевропесчанники). По поверхности трещин наблюдаются корочки и пленочки окислов железа и марганца (рис. 3). В результате работы кварц-карбонатного состава замечены каверны выщелачивания (гнезда до 3 мм).

Обломочная зона проявила себя на обоих месторождениях. Обломочная зона представляется щебнистой и глыбовой подзонами, которые мало чем отличаются от неизмененных выветрелых пород. С точки зрения инженерно-геологических особенностей, обломочная зона — это щебенистый грунт с содержанием фракций: щебенистой — 77,4%, дресвяной — 8,4%, крупного песка — 6,4%, мелкого песка, пыли и глины — 7,8% (рис. 4).

На медно-колчеданных месторождениях плагиоклаз и кварц, как основные составляющие материнских пород в ней, остаются практически неизменными, что нельзя сказать о роговой обманке, которая начинает гидратироваться, переходя в гидрохлориты. За счет увеличения гидрохлоритов

Рис. 3. Трещинная зона коры выветривания месторождения «Малмыжское»
Fig. 3. Jointed weathered layer at Malmyzh deposit

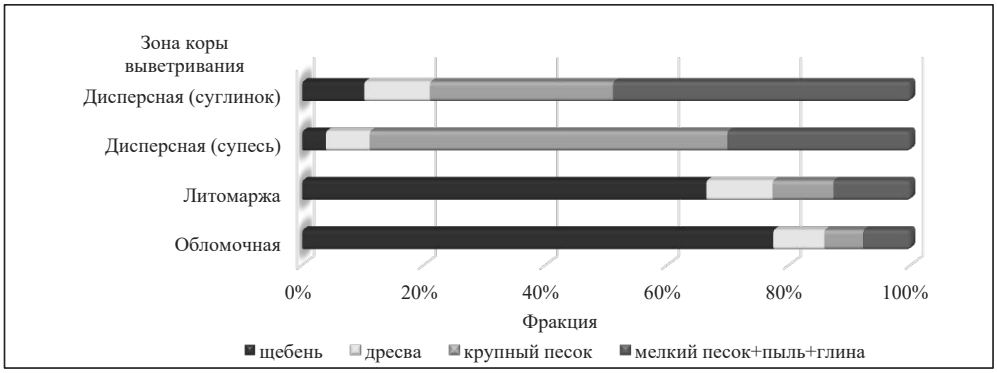


Рис. 4. Гранулометрический состав породы по зонам коры выветривания
Fig. 4. Grain size composition of rocks by zones of weathered layer

Рис. 5. Обломочная зона коры выветривания месторождения «Кабан-I»
Fig. 5. Fragmental zone in weathered layer at Kaban I deposit

происходит дезинтеграция и разрыхление породы (рис. 5). Продуктами выветривания обломочной зоны являются дресвяно-щебнистые, щебнистые, развитые по всем типам пород. Плотность обломков составляет 2,46 г/м^3, прочность обломков равняется величине средней прочности.

Значения физико-механических свойств щебнистого грунта месторождений «Кабан-I»:

• среднее значение природной влажности *W* равняется 0,067 д.е.;

• среднее значение удельного сцепления составило *C* = 0,004 МПа;

• угол внутреннего трения $\varphi^0 = 24$.

Вскрытая мощность зоны незначительна и варьируется в пределах 5—7 метров.

Отличительной же особенностью обломочной зоны месторождения «Малмыжское» является уже присутствие в ней гидроокислов железа, что связано с высоким содержанием в материнской породе легкоокисляемых минералов (рис. 6).

Плотность обломков составляет 2,42 г/м^3, прочность обломков равняется величине средней прочности.

Данной зоне соответствуют следующие значения физико-механических свойств щебнистого грунта:

- природная влажность *W* варьируется от 0,006 до 0,391 д.е. при среднем значении 0,141;
- модуль деформации *E* находится в границах 48,5 — 55,3 МПа;
- среднее значение удельного сцепления составило *C* = 0,006 МПа;
- угол внутреннего трения φ^0 = 34.

Вскрытая мощность зоны составляет 100 метров.

Выше по разрезу начинает формироваться зона Литомаржа, которая еще может сохранять некоторые особенности материнских пород. Данная зона является самой сложной в изучении и опасной с точки зрения устой-

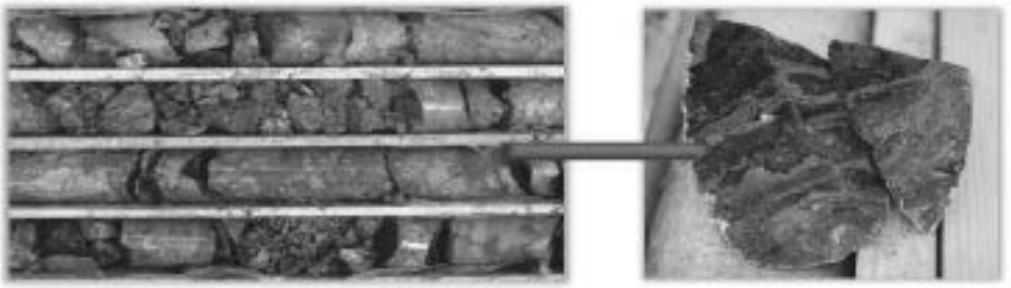
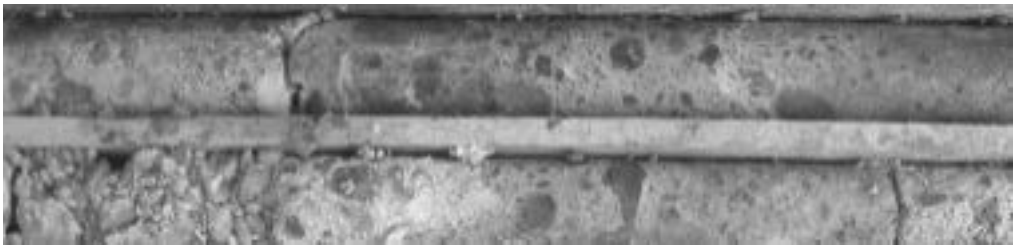


Рис. 6. Щебнистая зона коры выветривания месторождения «Малмыжское»
Fig. 6. Rubble zone in weathered layer at Malmyzh deposit

а



б

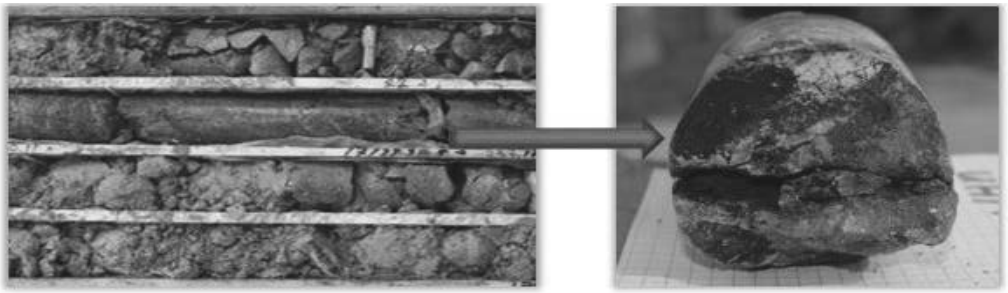


Рис. 7. Зона Литомаржа: а) дресвяный грунт с обломками материнских пород (месторождение «Кабан-I»); в) щебень с супесчаным заполнителем (месторождение «Малмыжское»)
Fig. 7. Lithomarge zone: (a) granitic subsoil with fragments of mother rocks (Kaban I deposit); (b) rubble with loamy filler (Malmyzh deposit)

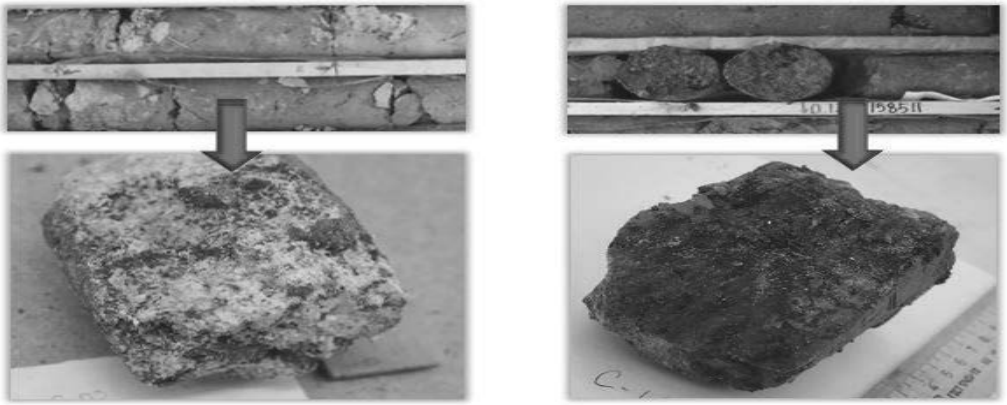


Рис. 8. Дисперсная зона коры выветривания с сохранением структуры и реликтовыми трещинами: а — супесчаная; *б* — суглинистая
Fig. 8. Dispersive weathered layer with preserved structure and relict joints: (a) loamy; (b) clayey

чивости массива горных пород. Это достигается за счет ощутимых изменений структуры, текстуры и характера структурных связей. Здесь происходит дальнейшая гидратация хлоритов и каолинизация плагиоклазов, выщелачивания Ca, Na и кремнеземов, входящих в состав плагиоклазов. Идут активные процессы окисления, которые образуют беспорядочно расположенные пятна разной интенсивности окраски [14].

С точки зрения инженерно-геологической особенности, зона Литомаржа сложена щебнем или дресвой с суглинистым заполнителем, а на участках повышенного окварцевания — с супесчаным заполнителем. По гранулометрическому составу заполнитель — легкий пылеватый (рис. 4).

Как видно из табл. 1, зона Литомаржа присутствует на всех рассматриваемых месторождениях (рис. 7).

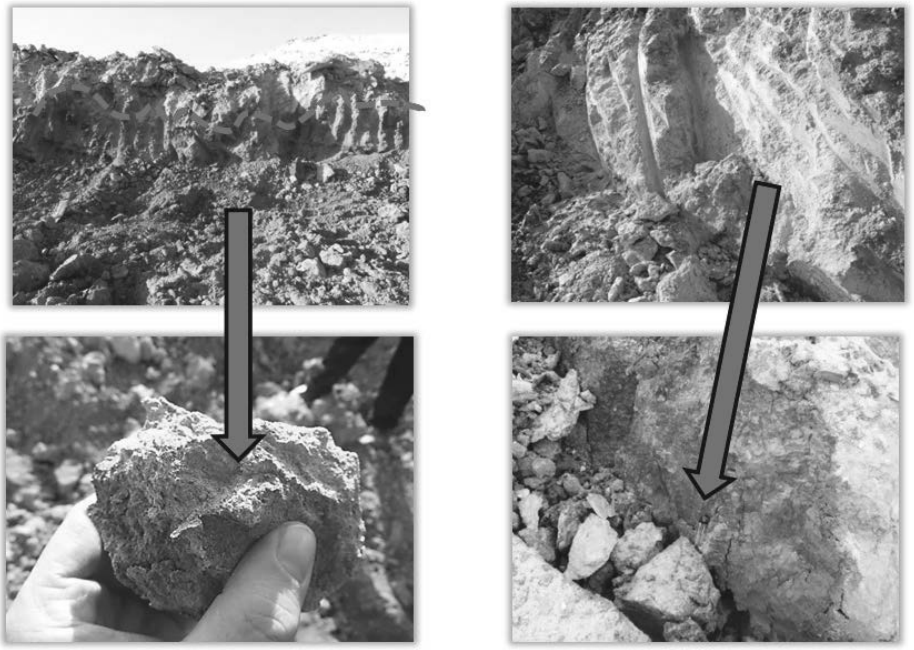
Конечно, физико-механические свойства будут изменяться в зависимости от материнских пород месторождений, но в основном значения по некоторым показателям сводятся к следующим:

• обломки в виде щебня, дресвы, а иногда глыб имеют разную прочность от низкой до малой с $R_{сж}$ = 1 — 5 МПа.

• заполнитель: суглинок с числом пластичности I_p = 0,07 — 0,15 д.е. при среднем значении 0,10 д.е.; супесь с Ip 0,03 — 0,07 д.е., при среднем значении 0,05 д.е.

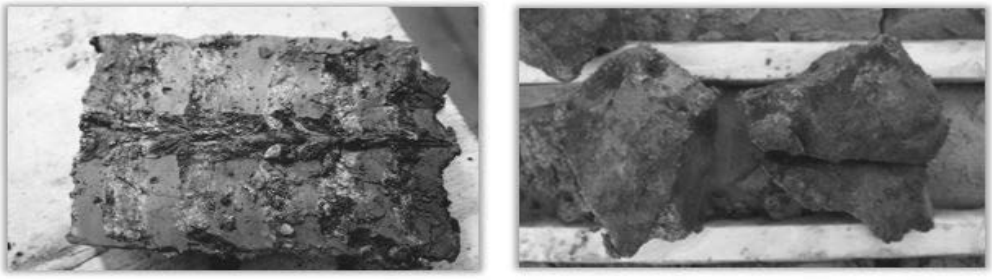
По изменению некоторых свойств грунта можно определить переходную границу между данной зоной и обломочной: при переходе резко возрастает природная влажность W — с 0,141 до 0,186 д.е. и удельное сцепление C достигает 0,013 Мпа. Уменьшается угол внутреннего трения до значений 30°. Это указывает на присутствие глинистых минералов.

Мощность зоны на месторождении «Кабан-I» варьируется от 1,0 до 27,9 метров. На месторождении «Малмыжское» за счет неоднократно проявляющихся тектонических процессов, а также геоморфологических условий — в пониженных участках рельефа и в местах, где развиты магматические брекчии и алевропесчанники, отмечаются коры выветривания с наибольшими мощностями ~ до 72 метров.



а *б*

Рис. 9. Дисперсная зона коры выветривания месторождения «Кабан-I»: а — каолинитовые глины с пятнами гидроокислов Fe; *б* — каолиниты с гидроокислами железа
Fig. 9. Dispersive weathered layer at Kaban I deposit: (a) China clay with Fe hydroxide spots; (b) kaolinite with iron hydroxides



а) б)

Рис. 10. Образец дисперсной зоны коры выветривания с пленочками марганца (а) и гидроокислов железа (б)
Fig. 10. Sample of dispersive weathered layer with manganese films (a) and iron hydroxides (b)

Особое внимание заслуживает пограничная зона рудной части, которая присуща медно-колчеданным месторождениям — зона выщелачивания, представленная кварцевой и пиритовой сыпучкой (песок пылеватый), мощностью 2,2—17,8 м. Основную массу породы составляет тонкозернистый пирит и кварц в количестве 70—80%, халькопирит, сфалерит тёмно-серого цвета.

Дисперсная зона. Выше по профилю появляется дисперсная зона —

глинистая подзона коры выветривания. В этой зоне заканчиваются процессы окисления и преобразования исходных пород, начинается формирование глинистых минералов, таких как каолинит, монтмориллонит и т.д. (рис. 8). В породе достаточно четко выражена структура и текстура материнских пород, а также реликтовая трещиноватость. Мощность зоны варьируется от 0,2 м до 66,0 м.

На месторождении «Кабан-I» по разрезу появляется подзона каолинитовых глин с примесью гидрослюдистых (рис. 9).

С точки зрения инженерно-геологического описания — дисперсная зона представлена супесью и суглинком

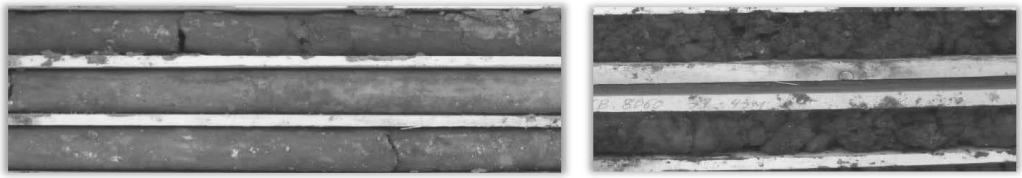


Рис. 11. «Железная шляпа» месторождения «Кабан-I»
Fig. 11. 'Iron hat' of Kaban I deposit

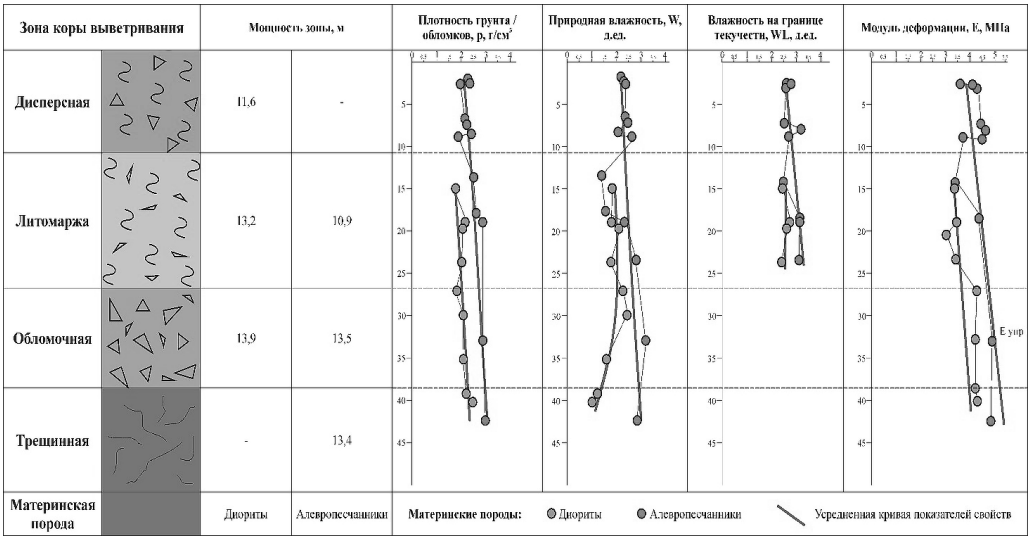


Рис. 12. Физико-механические свойства зон коры выветривания медных месторождений
Fig. 12. Physical and mechanical properties of weathered layers at copper deposits

с включениями дресвы и щебня. Суглинок в цветовой палитре варьируется от светло-коричневого до темно-коричневого цвета. По гранулометрическому составу:

• супесь — глинистая фракция составляет 9,1%, пылеватая — 17,3%, песчаная 44,9% (рис. 4);

• суглинок — глинистая фракция составляет 33%, пылеватая — 22%, песчаная — 21%, дресвяная — 11%, щебнистая — 6% (рис. 4).

На месторождении «Малмыжское» встречаются сильновыветрелые обломки остроугольной формы размером от 0,2 до 7 см. По трещинам обломков наблюдаются пленочки гидроокислов железа и марганца, происходит интенсивная гематитизация (рис. 10).

Сравнивая физико-механические свойства грунта дисперсной зоны со свойствами грунта выше описанных зон, следует отметить, что именно здесь четко проявляется процесс видоизменения начальных крепких материнских пород и образования глинистых минералов, которые обладают уже меньшими прочностными характеристиками. Так, в этой зоне плотность грунта равна 1,92 г/см^3, природная влажность достигает максимальных значений — 0,252 д.е., так же, как и удельное сцепление C = 0,044 МПа. Среднее значение модуля деформации Е падает до 4,5 МПа. Угол внутреннего трения φ_0 = 20. Все эти показатели говорят о том, что дисперсная зона коры выветривания является нестабильной при формировании и эксплуатации бортов карьеров, которые лежат в данных породах.

Завершает полный профиль зона вторичной цементации (кирасы), которая характеризуется формированием «железной шляпы» (рис. 11). Только на месторождении «Кабан-I» данная зона была представлена. В составе кирасы были выявлены кавернозные бурые железняки, которые переходили в рыхлую массу (рыхлые бурые железняки).

Мощность зоны варьируется от 3,0 до 10,0 м. Крепость пород изменяется в широких пределах, более кавернозные разности характеризуются значениями $f_{кр}$ = 2 — 3 д.е., менее кавернозные $f_{кр}$ = 4 — 5 д.е. В этой зоне плотность обломков равна 2,09 г/см^3, значение природной влажности — 0,189 д.е., удельное сцепление С варьируется в пределах 0,06 — 0,011 МПа. Модуля деформации Е находится в границах от 32.2 до 34.4 МПа. Угол внутреннего трения φ_0 = 15 — 16.

Для представления изменения физико-механических свойств пород разных зон коры выветривания разных месторождений сведем всю информацию в графики (рис. 12).

Заключение

В статье были раскрыты особенности, от которых зависит формирование определенного профиля коры выветриваний для рассматриваемых медных месторождений «Кабан-I» и «Малмыжское». Так, например, особенности геологического строения в первую очередь определяются генезисом месторождения, что указывает на образование определенной зональности к.в. и глубину их распространения.

Для медно-колчеданных месторождений характерно наличие «железной шляпы», что в свою очередь является отличительным признаком, а также присутствие уникальной переходной зоны, которая представлена кварцевой и пиритовой сыпучкой.

Медно-порфировым месторождениям присуща вторичная вертикальная зональность: выщелачивания, окисленных руд, смешанных руд, вторичного сульфидного обогащения и первичных руд.

Выявленные различия в физико-механических свойствах грунта в каждой из зон коры выветривания подтверждают, что они будут являться важными признаками при прогнозе и обосновании устойчивых параметров углов наклона борта карьера [15]. В корах выветривания некорректно выбранные углы бортов карьера способствуют к увеличению риска возникновения опасных процессов в бортах карьера, которые в свою очередь могут повлечь за собой социальный и экономический ущербы [16].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Контарь Е. С.* Геолого-промышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы) Екатеринбург — 2013.
2. *Бескин С. М.*, *Алексеева А. К.* Медно-порфировое оруденение России: перспективные регионы и площади. — М.: Научный мир, 2016. — 78 с., цв. Илл. 24 с. ISBN 978—5-91522—427—7.
3. *Momeni A. A.*, *Khanlari G. R.*, *Heidari M.*, *Sepahi A. A.*, *Bazvand E.* New engineering geological weathering classifications for granitoid rocks // Engineering Geology. 2015. V. 185. P. 43—51.
4. *Bucher, K., Stober, I. & Müller-Sigmund, H.* Crusts of weathering of the peridotite. Contrib Mineral Petrol 169, 52 (2015)
5. *Patel A.* Classification of Weathering in Rocks and Its Engineering Implications. Civil Eng *Res J.* 2017; 2(3): 555589 DOI: 10.19080/CERJ.2017.02.555589
6. *Irfan T. Y.* Mineralogy and fabric characterization and classification of granitic rocks in Hong Kong: report № 41. Hong Kong: Geotechnical Engineering office, Civil Engineering Department, the Government of Hong Kong, 1996. 158 p.
7. *Ярг Л. А.* Инженерно-геологическое изучение процесса выветривания и кор выветривания. — М.: Недра, 1974.
8. *Абатурова И. В.*, *Афанасиади Э. И.*, *Костерова Т. К.* Особенности изучения инженерно-геологических условий Светлинского месторождения // Ускорение научно-технического прогресса в горном деле и геологии на основе применения новых технологий: Тез. Докл. — Свердловск, 1987. с. 72.
9. *Викентьев И. В.* Условия образования и метаморфизм колчеданных месторождений Урала. Материалы всероссийской научной конференции. V Чтения памяти С. Н. Иванова, Екатеринбург, 2013, с. 21—25
10. *Bobina, T. S., Abaturova, I. V.* [2019] Structural features of ore deposits weathering // 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019, Gelendzhik 2019 (2019) 336—347. DOI: 10.3997/2214—4609.201901725
11. *Farkas, O., Siegesmund, S., Licha, T. et al.* Geochemical and mineralogical composition of black weathering crusts on limestones from seven different European countries. Environ Earth Sci 77, 211 (2018)
12. *Гинзбург И. И.* Геохимия и геология древней коры выветривания на Урале. Тр. ин-та геол. наук АН СССР, вып. 31, 1947.
13. *Коне Амбеньян Нивойо Матильда.* Строение, состав и свойства латеритных кор выветривания Леоно-Либерийского массива и их использования в дорожном строительстве: автореферат дис. ... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.08 / Коне Амбеньян Нивойо Матильда; [Место защиты: Рос. гос. геологоразведоч. ун-т им. С. Орджоникидзе (РГГРУ)]. — Москва, 2012. — 26 с.
14. *Крюков В. Г.*, *Лаврик Н. А.*, *Литвинова Н. М.*, *Степанова В. Ф.* (2019). Типоморфные минералы зоны окисления золото-медно-порфировых руд Малмыжского

месторождения (участок Свобода). Георесурсы, 21(3), с. 91—98. DOI: 10.18599/grs.2019.3.91—98

15. *Абатурова И. В.*, *Бобина Т. С.* [2019] Риск возникновения деформаций в бортах карьеров, сложенными корами выветривания. Сергеевские чтения. Эколого-экономический баланс природопользования в горнопромышленных регионах: сборник научных трудов (по материалам годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (2—4 апреля 2019 г.) / под ред. В. И. Осипова, Н. Г. Максимовича, и т.д.; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. — Пермь, 2019. — Вып. 21. С. 382—387.

16. *Швец В. Б.*, *Кульчитский Г. Б.*, *Сырокомский Ю. В.* Характеристика различных зон выветривания и количественная оценка их свойств для строительных целей//Проблемы инженерной геологии. — М.: МГУ, 1970. С.164—167. RAS

REFERENCES

1. Kontar E. S. The geological-industrial types of the Cu, Zn, Pb deposits in the Urals (geological conditions of setting, history of the formation, the prospects). Ekaterinburg, 2013,199 p. [In Russ]

2. Beskin S. M., Alekseeva A. K. Copper-porphyry mineralization of Russia: promising regions and areas. Moscow, Scientific world, 2016, 78 p. ISBN 978—5-91522—427—7 [In Russ]

3. Momeni A. A., Khanlari G. R., Heidari M., Sepahi A. A., Bazvand E. *New engineering geological weathering classifications for granitoid rocks. Engineering Geology*. 2015. V. 185. P. 43—51.

4. Bucher, K., Stober, I. & Müller-Sigmund, H. Crusts *of weathering of the peridotite*. Contrib Mineral Petrol 169, 52 (2015)

5. Patel A. *Classification of Weathering in Rocks and Its Engineering Implications*. Civil Eng Res J. 2017; 2(3): 555589 DOI: 10.19080/CERJ.2017.02.555589

6. Irfan T. Y. *Mineralogy and fabric characterization and classification of granitic rocks in Hong Kong*: report no. 41. Hong Kong: Geotechnical Engineering office, Civil Engineering Department, the Government of Hong Kong, 1996. 158 p.

7. YArg L. A. Engineering-geological study of the weathering process and weathering crust. Moscow, Nedra, 1974. [In Russ]

8. Abaturova I. V., Afanasiadi E. I., Kosterova T. K. Features of studying the engineering and geological conditions of the Svetlinsky deposit. Sverdlovsk, 1987. p.72. [In Russ]

9. Vikent'ev I. V. Conditions of formation and metamorphism of pyrite deposits of the Urals. Ekaterinburg, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry Pubbl, 2013, pp. 21—25. [In Russ]

10. Bobina, T. S., Abaturova, I. V. Structural features of ore deposits weathering. In: *Engineering and Mining Geophysics 2019 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019*. Gelendzhik, 2019, pp. 336—347. [In Russ]. DOI: 10.3997/2214—4609.201901725

11. Farkas, O., Siegesmund, S., Licha, T. et al. *Geochemical and mineralogical composition of black weathering crusts on limestones from seven different European countries*. Environ Earth Sci 77, 211 (2018)

12. Ginzburg I. I. Geochemistry and geology of the ancient weathering crust in the Urals. *Proceedings of the Institute of Geological Sciences, Series of the Ural Complex Expedition of the Academy of Sciences of the USSR Academy of Sciences*. Moscow, The Acad. Sciences of the USSR, 1947, Issue 31, p. 135. [In Russ]

13. Kone Amben'yan Nivojo Matil'da. Structure, composition and properties of laterite weathering crusts of the Leono-Liberian massif and their use in road construction. PhD thesis, Moscow, RGGRU, 2012, p. 26. [In Russ]

14. Kryukov V. G., Lavrik N. A., Litvinova N. M., Stepanova V. F. (2019). Typomorphic minerals oxidation zone of gold-copper porphyry ore of the Malmyzh deposit (Svoboda). Georesursy = Georesources, 21(3), pp. 91 — 98. DOI: https://doi.org/10.18599/grs.2019.3.91 — 98

15. Abaturova I. V., Bobina T. S. The risk of deformations in the sides of quarries, folded weathering crusts. Perm', 2019, Educ. 21, pp. 382 — 387. [In Russ]

16. SHvec V. B., Kul'chitskij G. B., Syrokomskij YU. V. Characterization of various weathering zones and quantitative assessment of their properties for construction purposes. Problems of engineering geology. Moscow, MGU, 1970, pp.164 — 167. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Абатурова Ирина Валерьевна[1] — докт. геол.-минерал. наук, профессор, профессор;
Бобина Татьяна Сергеевна[1] — ст. преподаватель, e-mail: tanyashka1993@mail.ru;
[1] Уральский государственный горный университет, 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Abaturova I. V.[1], Dr. Sci. (Geol. Mineral.), e-mail: gingeo@mail.ru;
Bobina T. S.[1], Senior Lecturer, e-mail: tanyashka1993@mail.ru;
[1] Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 25.05.2021; получена после рецензии 23.09.2021; принята к печати 10.10.2021.
Received by the editors 25.05.2021; received after the review 23.09.2021; accepted for printing 10.10.2021.