ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(5–1):6–20
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 551.3.053+553.068.36 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_6

ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЮВИАЛЬНЫХ ГРУНТОВ В ПРОФИЛЕ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ МЕДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

И. В. Абатурова[1], Т. С. Бобина[1], Л. А. Стороженко[1]

[1] Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия, tanyashka1993@mail.ru

Аннотация: современные тенденции и скорость накопления геологической информации диктуют нам условия, в которых все более устойчивее становится вопрос о причинах и механизмах процессов и явлений. Изучение кор выветривания приобретает в настоящее время все большее значение, так как наличие ее во многом определяет гипергенную металлогению различных регионов. С корами выветривания непосредственно и косвенно связаны многочисленные залежи различных полезных ископаемых, в частности остаточные руды железа, никеля, кобальта, боксита и другого значимого минерального сырья. В работе раскрываются природа формирования коры выветривания и инженерно-геологические особенности на примере медных месторождений полезных ископаемых «Саум» и «Малмыжское». Приводится детальное описание формирования профилей кор выветривания, определены физико-механические свойства грунтов, которые слагают коры выветривания и проведен сравнительный анализ этих свойств в каждой из зон. Наиболее значимым результатом научной работы является установление связи между изменением инженерно-геологической зональностью коры выветривания и устойчивостью углов наклона бортов карьеров. От правильного определения инженерно-геологических особенностей кор выветриванию будет зависеть дальнейшие работы по разработке и эксплуатации карьеров.

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

Для цитирования: *Абатурова И. В., Бобина Т. С., Стороженко Л. А.* Изменение физико-механических свойств элювиальных грунтов в профиле коры выветривания медных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2022. — № 5–1. — С. 6–20. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_6.

Changes in the physical and mechanical properties of eluvial soils in the profile of the weathering crust of copper deposits

I. V. Abaturova[1], T. S. Bobina[1], L. A. Storozhenko[1]

[1] Ural State Mining University, Russia, Yekaterinburg, tanyashka1993@mail.ru

Abstract: Modern trends and the rate of accumulation of geological information dictate to us the conditions in which the question of the causes and mechanisms of processes and phenomena

© И. В. Абатурова, Т. С. Бобина, Л. А. Стороженко. 2022

becomes more and more stable. The study of weathering crust is currently becoming increasingly important, since its presence largely determines the hypergenic metallogeny of various regions. Numerous deposits of various minerals are directly and indirectly associated with weathering crusts, in particular residual ores of iron, nickel, cobalt, bauxite and other significant mineral raw materials. The paper reveals the nature of the formation of the weathering crust and engineering-geological features on the example of the copper mineral deposits "Saum" and "Malmyzhskoye". A detailed description of the formation of weathering crust profiles is given, the physical and mechanical properties of the soils that compose the weathering crust are determined and a comparative analysis of these properties in each of the zones is carried out. The most significant result of scientific work is the establishment of a connection between the change in the engineering-geological zonality of the weathering crust and the stability of the angles of inclination of the sides of quarries. Further work on the development and operation of quarries will depend on the correct determination of the engineering and geological features of the weathering crust.

Key words: weathering, weathering crust, copper deposits, parent rock, engineering and geological zonality of the weathering crust, weathering crust thickness, weathering profile, physical and mechanical properties of rocks.

For citation: Abaturova I. V., Bobina T. S., Storozhenko L. A. Changes in the physical and mechanical properties of eluvial soils in the profile of the weathering crust of copper deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–1):6–20. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_51_0_6.

Введение (*Introduction*)

В мире основная масса меди добывается из медно-колчеданных и медно-порфировых месторождений, которые к тому же являются важнейшими источниками молибдена, золота, серебра и других полезных ископаемых. Россия замыкает семерку ведущих мировых продуцентов меди в силу того, что структура сырьевой базы нашей страны значительно отличается от мировой: большая часть меди добывается из руд сульфидных месторождений [1]. Открытие нового медно-порфирового «Малмыжского» месторождения, а также разработка медно-колчеданного месторождения «Саум» значительно пополнит медную копилку России, так как они относятся к категории уникальных по запасам.

Однако стоимость полезного ископаемого определяется не только его количеством и качеством, но и факторами, влияющими на условия вскрытия месторождений, сложенных корами выветривания. При выборе угла наклона бортов карьера, определяющими в этом случае являются физико-механические свойства различных зон кор выветривания. Надежный и объективный угол наклона борта карьера обеспечит экономически выгодные и безопасные условия отработки месторождения. В этой связи важным является анализ изменения физико-механических свойств элювиальных грунтов кор выветривания, а также особенности и закономерности их распространения.

Методы (*Materials and Methods*)

В своей работе [2] Г. К. Бондарик отметил, что ярчайшим примером проявления единства противоположных тенденций в геологическом процессе является процесс выветривания горных пород. Сущность его заключается в «умирании» горных пород и одновременном «рождении» нового класса приповерхностных пород элювиального генезиса.

При так называемом «рождении» в ходе выветривания происходит деструкция латентной литосистемы, что подразумевает под собой изменение

химического и минерального составов, диспергацию, деструкцию структуры и текстуры пород. А самое важное, одновременно с деструкцией идет конструктивный процесс — формирование активной литосистемы, существенно структурированной, с фиксированным минеральным составом, структурой, текстурой и свойствами — формирование коры выветривания. На схеме (рис. 1) показана природа формирования кор выветривания.

На этапе формирования коры выветривания происходит ряд последовательных переходных стадий от свежих, неизмененных коренных пород к продуктам полного химического разложения, которые сохраняют остаточную структуру и текстуру, свойственную неизмененным породам. Переход этот идет снизу-вверх, т.к. увеличиваются трещиноватость и пористость пород, степень их изменения и разложения.

Зональность кор выветривания — это сумма взаимодействий, приводящих к изменению физического состояния и химического состава горных пород. При этом можно выделить границы зон, которые неровные, нечеткие и перемещаются на глубину по мере проникновения процесса.

Важную составляющую в образовании зон кор выветривания играет геохимический процесс. Учение о геохимии кор выветривания получило свое развитие во времена СССР, благодаря работам и исследованиям С. С. Смирнова, И. И. Гинзбурга [3], В. П. Петрова и т.д. Именно тогда было определено, что в зависимости от суммы факторов

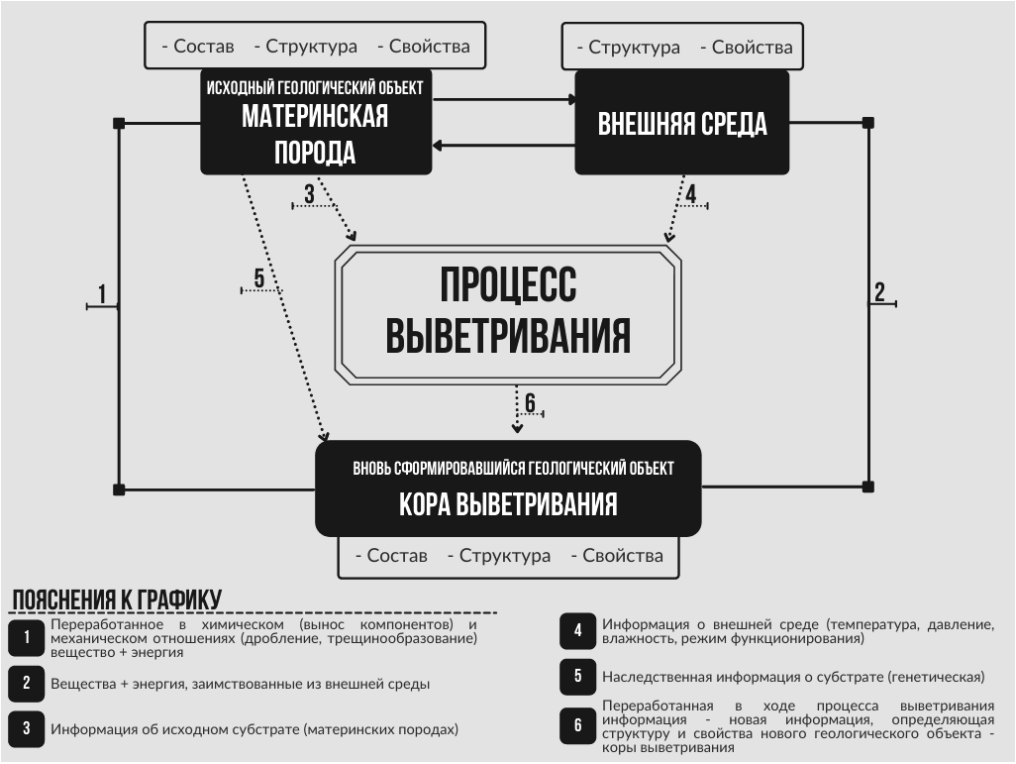

Рис. 1. Схема природы формирования кор выветривания
Fig. 1. Scheme of the nature of the formation of weathering crust

и изменения тех или иных условий геохимического процесса выветривания зависит число и соотношение формирующихся зон и подзон, их мощность и минеральный состав [4].

В наиболее полном геохимическом профиле выветривания различают снизу вверх следующие зоны: дезинтеграции, выщелачивания, гидролиза и окисления. Их называют по свойственным им минералам, некоторые из них могут отсутствовать [5].

Инженерно-геологическая зональность кор выветривания учитывает геохимическую зональность, но определяющими в ней являются структурные связи и связанные с ними физико-механические свойства.

В этой связи очень важно изучить и проанализировать пространственно-временные изменения физико-механических свойств пород внутри выделенных зон кор выветривания для более достоверного понимания происходящих в них процессов и возможности прогнозирования свойств элювиальных грунтов для обеспечения безопасности при разработке месторождений.

Результаты работ (*Results*)

При разработке месторождений как открытым, так и закрытым способами в зоне влияния оказываются грунты разного генезиса, которые при инженерно-геологическом моделировании рассматриваются отдельно. Исходя из этого П. Н. Панюковым было предложено в инженерно-геологическом отношении разделить массивы месторождений полезных ископаемых на генетически обособленные части [6]. Так была сформулирована теория о массиве горных пород, которая гласит, что все месторождения, в частности и рассматриваемые нами медные месторождения «Малмыжское» и «Саум», имеют двухэтажное строение. Нижний этаж сложен материнскими скальными породами, верхний — представлен корами выветривания, о которых и пойдет речь.

Благоприятная эпоха, наступившая в мезозое, способствовала развитию площадных кор выветривания остаточного типа на обоих месторождениях. Глубина такой коры может достигать до 30 и более метров. Помимо площадных кор выветривания развиты и линейные, сформировавшиеся на участках тектонических нарушений и в зонах контактов пород. Здесь процесс выветривания проникает на значительную глубину, образовывая карманы до 60 метров и более.

Помимо климатических условий в образовании рассматриваемых кор выветривания большой вклад внесли гидротермальные растворы, поступавшие с глубины по разломам и особым зонам на этапе рудообразования. Важность роли растворов отмечала в своих работах В. Н. Разумова [7], указывая, что «древние коры выветривания — это особая геохимическая фация, занимающая промежуточное положение между собственно гидротермальными и гипергенными образованиями».

Стоит упомянуть и еще один немаловажный фактор, который влияет на развитие кор выветривания — это наличие на месторождениях медного типа большого количества сульфидных минералов (пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, арсенопирит) [8]. Характер рудной массы, ее минералогический состав и структурно-текстурные особенности, общий характер боковых пород, климат, рельеф, тектоника и целый ряд других особенностей — все это оказывает то или иное влияние на ход процесса окисления, а значит и изменению верхней части горного массива.

Но все-таки основополагающим фактором образования кор выветри-

вания является состав и строение так называемых «материнских» пород. Именно они диктуют скорость «рождения» кор выветривания и формирование определенных профилей и зон [9].

На месторождении «Малмыжское» материнскими породами являются песчаники, алевролиты, алевропесчаники ларгасинской свиты (K_2lg), которые прорваны и ороговикованы позднемеловыми интрузивными образованиями (кварцевыми диоритами, диоритовыми порфиритами и гранодиорит-порфирами) (рис. 2.1, 2.2). Все породы интенсивно изменены в результате гидротермальных метасоматических процессов до образования хлорит-серицитовых метасоматитов, кварц-серицит-пиритовых, филлизитов [9].

Основанием кор выветривания на медно-колчеданном месторождении «Саум» являются вулканокластические, вулканогенные породы, а также колчеданы (рис. 2.3). Вулканогенные отложения верхней пачки верхней подсвиты шемурской свиты верхнего ордовика-нижнего силура, представлены эффузивными риолитами, риодацитами, их пемзовыми и литовитропемзокластическими туфами различной размерности, вулканокластическими туфоконгломератами, туфогравелитами, туфопесча-

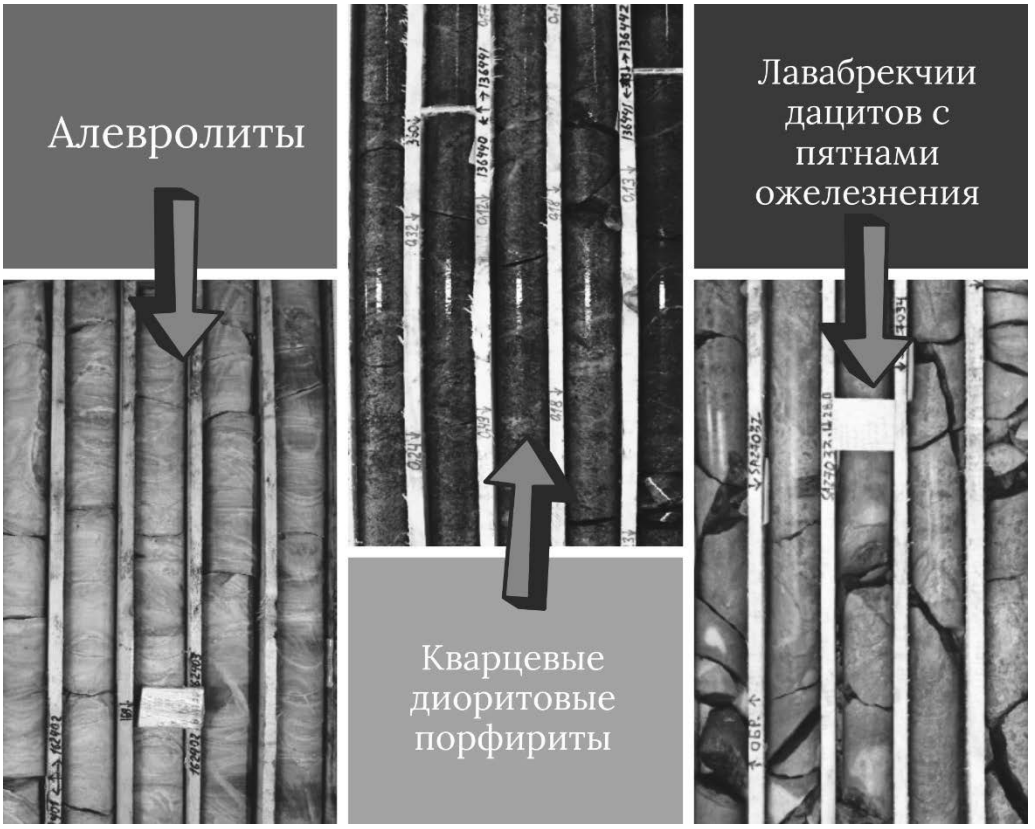

Рис. 2. Материнские породы месторождения «Малмыжское» и «Саум», которые представлены: 1 — алевролитами, *2 —* кварцевыми диоритовыми порфиритами, *3 —* лавабрекчиями дацитов

Fig. 2. Parent rocks of the «Malmyzhskoye» and «Saum» deposits, which are presented: 1 — siltstones, *2 —* quartz diorite porphyrites, *3 —* lavabreccias of dacites

никами, туфоалевролитами. Отмечаются маломощные прослои андезитов и базальтов.

Формирование кор выветривания зависит от прочности и устойчивости к выветриванию породообразующих минералов [10]. Над разными петрографическими типами пород формируются профили кор выветривания, отличающиеся друг от друга мощностью, минеральном и гранулометрическом составом (рис. 3) [11].

Свойственный каждому рассматриваемому месторождению свой петрографический состав материнских пород позволяет выделить следующие профили кор выветривания (рис. 4) [12].

В инженерно-геологическом отношении на месторождениях сформировались следующие зоны (рис. 5). [13].

Посмотрим, как измененяются физико-механические свойства элювиальных грунтов в профиле коры выветривания в каждой из выделенных зон (снизу-вверх).

Исходя из полученных профилей кор выветривания, на месторождениях «Малмыжское» и «Саум» проявилась геохимическая зона дезинтеграции, которой в инженерно-геологическом отношении соответствуют трещинная и обломочная зоны.

Трещинная зона представляет собой скальный грунт (алевропесчанники), который мало чем отличается от невыветрелой породы. В местах проявления открытых трещин стенки покрыты корочками и пленочками окислов железа и марганца (рис. 6). Также были замечены каверны выщелачивания (гнезда до 3 мм).

Выше по разрезу на обоих месторождениях появляется обломочная зона. В основном это дресвяно-щебни-

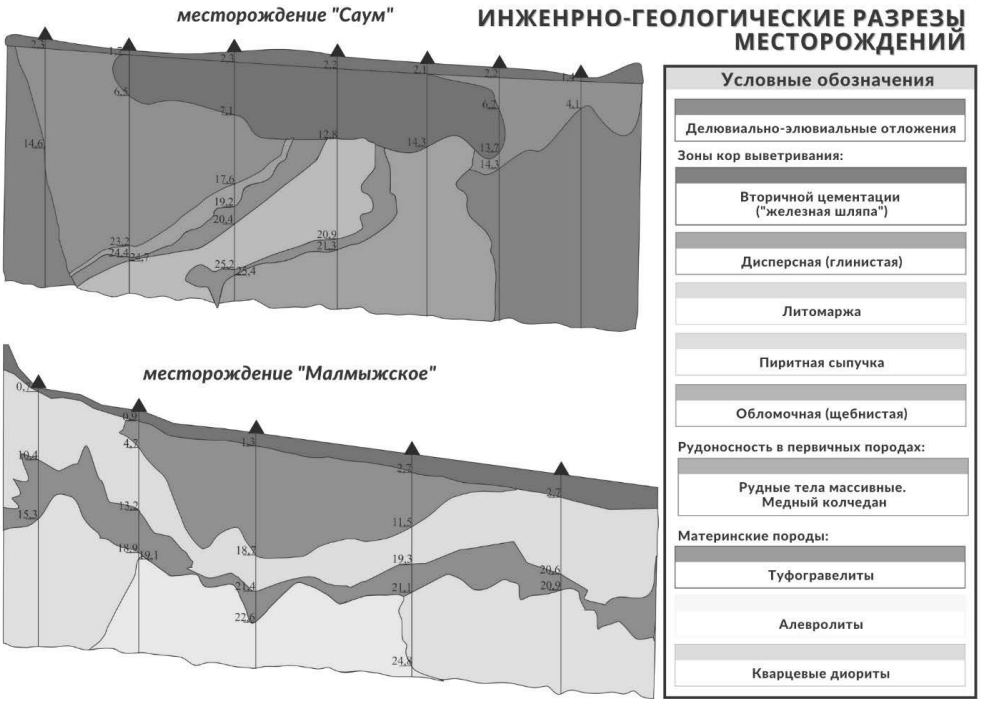

Рис. 3. Инженерно-геологические разрезы месторождений «Саум» и «Малмыжское»
Fig. 3. Engineering-geological sections of the fields «Saum» and «Malmyzhskoye»

Рис. 4. Профили кор выветривания по разным типам материнских пород
Fig. 4. Weathering crust profiles for different types of parent rocks

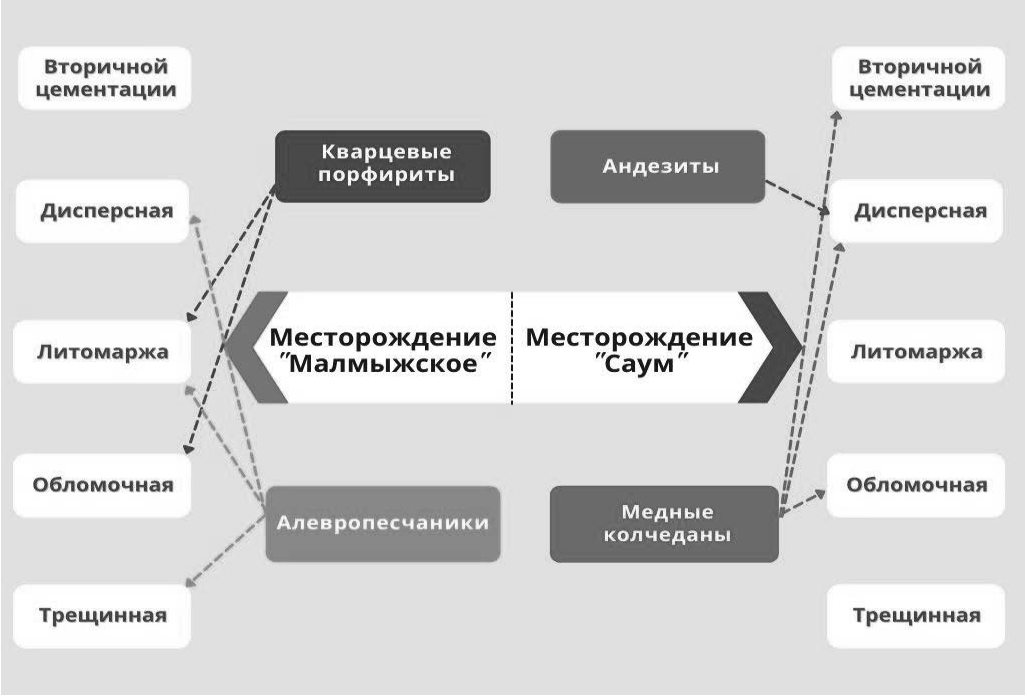

Рис. 5. Инженерно-геологический профиль кор выветривания
Fig. 5. Engineering-geological profile of the weathering crust

Рис. 6. Зона дезинтеграции коры выветривания месторождения «Малмыжское» и «Саум»
Fig. 6. The zone of disintegration of the weathering crust of the «Malmyzhskoy» and «Saum» deposits

стый и щебнистый грунт. Присутствие легкоокисляемых минералов способствует дальнейшей дезинтеграции и разрыхлению породы (рис. 6).

Данной зоне соответствуют следующие физико-механические свойства щебнистого грунта:

- природная влажность *W* варьируется от 0,008 до 0,296 д.ед. (среднее значение 0,152);
- модулю деформации *E* соответствуют значения 48,5 — 55,3 МПа;
- среднее значение удельного сцепления С составило 0,028 МПа;
- угол внутреннего трения φ^0 равен 30.

Вскрытая мощность зоны составляет 47 метров.

Гранулометрический состав пород по выделенным зонам кор выветривания приведен на рис. 7.

Медно-колчеданным месторождениям над рудной частью присуща особенность в виде появления пограничной зоны — уникальной геохимической зоны выщелачивания, основой которой является кварцевая и пиритная сыпучка, мощностью от 2 до 20 м. Грунт сыпучки представлен тонкозернистым пиритом и кварцем, халькопиритом. В данной зоне физико-механические свойства изменяются следующим образом: природная влажность W равна 0,076 д.ед., плотность грунта — 2,78 г/см^3, пористость достигает значения около 30 д.ед.

Далее, поднимаясь вверх по разрезу, формируется зона Литомаржа (рис. 8). Здесь мы встречаемся со сложностью изучения из-за ее способности сохранять некоторые особенности материнских пород и развития активных процессов окисления, выщелачивания, гидратации и каолинизации плагиоклазов. Данная зона была выделена только

Рис. 7. Гранулометрический состав породы по зонам коры выветривания
Fig. 7. Granulometric composition of the rock by zones of weathering crust

Рис. 8. Зона Литомаржа (месторождение «Малмыжское»)
Fig. 8. Litomarge zone («Malmyzhskoye» deposit)

на месторождении «Малмыжское», мощность которой варьировалась за счет неоднократно проявляющихся тектонических процессов, а также геоморфологических условий.

По гранулометрическому составу зона Литомаржа сложена щебнем или дресвой с суглинистым и супесчаным заполнителем.

Физико-механические свойства зоны Литомаржа:

• прочность обломком в виде щебня, дресвы, а иногда и глыб варьи-

руется от низкой до малой с *R*сж 1 — 5 МПа.

- число пластичности (*Ip*) у суглинков с заполнителем 0,07 — 0,15 д.ед., у супеси 0,03 — 0,07 д.ед.;
- резко возрастает природная влажность *W* — с 0,141 до 0,186 д.ед.;
- удельное сцепление С — достигает 0,013 МПа;
- уменьшается угол внутреннего трения до значений 30°

По этим изменениям свойств грунта можно определить переходную границу между данной зоной и обломочной (за счет присутствия глинистых минералов).

В коре выветривания вулканогенных и вулканокластических пород, в разрезе выделена только одна дисперсная зона. Грунты зоны желтовато-коричневого, серовато-желтого цвета, иногда красноватые (рис. 9). Мощность зоны может достигать 2,0 — 21,1 м. Породы по гранулометрическому составу крайне неоднородные, границы между ними провести невозможно, и представлены дресвяным грунтом с суглинистым или супесчаным заполнителем твердой консистенции, или щебенистым грунтом с суглинистым заполнителем. По коэффициенту выветрелости элювиальные грунты относятся к категории сильновыветрелых ($0,75 < K_{wrt} < 1,0$).

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 высоких значений — 0,252 д.ед., так же, как и удельное сцепление — 0,044 МПа. Среднее значение модуля деформации Е падает до 4,5 МПа. Угол внутреннего трения становится равным 20°. Все эти показатели говорят о том, что дисперсная зона коры выветривания является нестабильной при разработке и эксплуатации бортов карьеров, которые лежат в данных породах.

Завершает полный профиль — зона окисления, которая характеризуется присутствием так называемой «железной шляпы» (рис. 10). Только на месторождении «Саум» она была сформирована.

Сложена зона вторичной цементации рыхлыми бурыми железняками (суглинки твердой консистенции), красно-бурого и светло-бурого цвета, и плотными кавернозными бурыми железняками (дресвяный грунт с суглинистым заполнителем твердой консистенции, либо щебенистый грунт с твердым супесчаным или суглинистым заполнителем) с размером каверн до 5 мм, пустоты которых замещены лимонитом. Основными минералами зоны являются пирит, гидрогётит, гётит, железистые охры. Мощность зоны составляет 1,0 — 27,9 м.

Данной зоне соответствуют следующие физико-механические свойства грунта:

- за счет присутствия большого числа глинистых частиц плотность увеличивается до 2,69 г/см^3;
- значения угла внутреннего трения и сцепления падают, и определены расчетным методом: 15° и 0,09 — 0,024 МПа;
- модуль деформации возрастает до средних значений 25,1 МПа.

Чтобы сформировать представление об изменении физико-механических свойств пород разных зон коры выветривания рассматриваемых месторождений, сведем всю информацию в графики (рис. 11).

Рис. 9. Дисперсная зона кор выветривания
Fig. 9. Dispersed zone of weathering crust

Рис. 10. «Железная шляпа» месторождения «Саум»
Fig. 10. «Iron hat» of the «Saum» deposit

Данный график наглядно демонстрирует, что выявленные различия в физико-механических свойствах грунта в каждой из зон коры выветривания, будут являться важными признаками при решении актуальной задачи ведения открытых горных работ — прогнозе и обосновании устойчивых параметров углов наклона борта карьера. 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 [14].

Рис. 11. Физико-механические свойства зон коры выветривания медных месторождений
Fig. 11. Physical and mechanical properties of the weathering crust zones of copper deposits

Заключение (*Conclusion*)

Таким образом, можно сделать вывод, что процессы выветривания, протекающие в горных породах, приводят к полному или частичному их преобразованию. При этом происходит формирование зон коры выветривания, на рассматриваемых месторождениях, каждая из которых имеет свой уникальный состав и структурно-текстурные особенности — разные физико-механические свойства пород.

Выполненное расчленение кор выветривания на каждом из приведенных месторождений, а также проведенная оценка степени выветрелости пород, позволяет сделать следующее заключение: на отдельных участках месторождений состояние и устойчивость пород в проектируемых бортах карьеров будут не одинаковы. Важно, что каждый из участков месторождений обладает определенным комплексом признаков, отличным от других, это в первую очередь обусловлено различием в физико-механических свойствах грунтов в каждой из зон коры выветривания и их влиянием на устойчивость массива в общем. При проектировании уступов и бортов карьеров данные особенности важно учитывать, чтобы избежать риск возникновения опасных геологических процессов в виде оползней и обвалов.

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.

Вклад авторов

Абатурова И. В. — разработка дизайна исследования, анализ полученных данных, написание, редакти-

рование и утверждение окончательного варианта текста статьи.

Бобина Т. С. — получение данных для анализа, анализ полученных данных, написание текста статьи, подготовка и оформление графического материала.

Стороженко Л. А. — обзор публикаций по теме статьи, написание текста статьи, подготовка и оформление графического материала.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бескин С. М.*, *Алексеева А. К.* Медно-порфировое оруденение России: перспективные регионы и площади. — М.: Научный мир, 2016. — 78 с., цв. илл. 24 с.
2. *Бондарик Г. К.*, *Ярг Л. А.* Инженерно-геологические изыскания. — М.: КДУ, 2008. — 424 с.
3. *Гинзбург И. И.* Геохимия и геология древней коры выветривания на Урале. Тр. ин-та геол. наук АН СССР, вып. 31, 1947.
4. *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. DOI: 10.1016/j.enggeo.2014.11.012.
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. *Чернышев С. Н.* Принципы классификации грунтовых массивов для строительства // Вестник МГСУ. 2013. — №9. — С. 41—46.
7. *Разумова В. Н.* Древние коры выветривания и гидротермальный процесс. Тр. ГИН АН СССР, вып. 303. — М.: Наука, 1977. — 156 с.
8. *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. 2018. V 77(5). P. 211. DOI:10.1007/s12665—018—7384—8.
9. *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.
10. *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.
11. *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.
12. *Bucher K.*, *Stober I.*, *Müller-Sigmund H.* Crusts of weathering of the peridotite. Contrib Mineral Petrol. 2015. V 169 (5). P. 52. DOI:10.1007/s00410—015—1146—3.
13. *Martin Yan Hei Li, Mei-Fu Zhou*. The role of clay minerals in formation of the regolith-hosted heavy rare earth element deposits. American Mineralogist (2020) 105 (1): 92–108. DOI:10.2138/am-2020—7061.
14. *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)]. — М., 2012. — 26 с. ГИАБ

REFERENCES

1. 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].
2. Bondarik G. K., YArg L. A. Engineering and geological surveys. Moscow, 2008, 424 p. [In Russ].
3. 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].
4. 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. DOI: 10.1016/j.enggeo.2014.11.012.
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. Chernyshev S. N. Principles of classification of soil masses for construction purposes. Moscow, Vestnic MGSU. 2013, no. 9, pp. 41 — 46. [In Russ].
7. Razumova V. N. Old crusts of weathering and hydrothermal process. Moscow, The Acad. Sciences of the USSR, 1977, transactions, vol. 303, p. 157. [In Russ]
8. 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. 2018. V 77(5). P. 211. DOI:10.1007/s12665-018-7384-8.
9. 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.
10. 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].
11. 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.
12. Bucher K., Stober I., Müller-Sigmund H. Crusts of weathering of the peridotite. Contrib Mineral Petrol. 2015. V 169 (5). P. 52. DOI:10.1007/s00410-015-1146-3.
13. Martin Yan Hei Li, Mei-Fu Zhou. The role of clay minerals in formation of the regolith-hosted heavy rare earth element deposits. American Mineralogist (2020) 105 (1): 92–108. DOI:10.2138/am-2020 — 7061.
14. Kone Amben'yan Nivojo Matil'da. *Stroenie, sostav i svojstva lateritnyh kor vyvetrivaniya Leono-Liberijskogo massiva i ih ispol'zovaniya v dorozhnom stroitel'stve* [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].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Абатурова Ирина Валерьевна[1] — профессор, докт. геол.-минерал. наук, профессор, ORCID iD: 0000-0003-4829-3204;

Бобина Татьяна Сергеевна[1] — старший преподаватель, tanyashka1993@mail.ru; ORCID iD: 0000-0001-7790-9907;
Стороженко Любовь Александровна[1] — канд. геол.-минерал. наук, доцент, ORCID iD: 0000-0001-7790-9907.
[1] Уральский государственный горный университет, 620144, Россия, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 30.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Abaturova I. V.[1], Dr. Sci. (Geol. Mineral.), Professor of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, gingeo@mail.ru, ORCID iD: 0000-0003-4829-3204;
Bobina T. S.[1], Senior lecturer of the Department of Geology and protection in emergency situations, tanyashka1993@mail.ru, ORCID iD: 0000-0001-7790-9907;
Storozhenko L. A.[1], Cand. Sci. (Geol. Mineral.), Associate Professor of Geology and protection in emergency situations, stor_luba@mail.ru, ORCID iD: 0000-0001-7790-9907;
[1] Ural State Mining University, Russia, 620144, Yekaterinburg, st. Kuibyshev, 30.

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