

УДК 556

**ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ**

М. Б. Носырев, А. И. Семячков, Л. П. Парфенова, В. В. Кучин

*Уральский государственный горный университет,
E-mail: Semyachkov.A@ursmu.ru,
ул. Куйбышева, 30, 220030, г. Екатеринбург, Россия*

Комплексное освоение Волковского медно-железо-ванадиевого месторождения невозможно без использования способа кучного выщелачивания меди из отвала лежалой окисленной и смешанной руды. Существование отвала в его современном виде создает угрозу загрязнения поверхностных вод р. Лаи и подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта. Естественная защищенность подземных вод участка отвала лежалой окисленной и смешанной руды высокая. Фильтрационные свойства покровных отложений на участке отвала, определенные по стандартной методике в соответствии с требованиями строительных норм и правил, классифицируются неоднозначно. Для принятия проектного решения в ходе инженерно-геологических изысканий выполнен комплекс научно-исследовательских работ по изучению фильтрационных свойств покровных отложений с применением растворов серной кислоты разной концентрации, имитирующей условия работы участка кучного выщелачивания меди.

Месторождение, отвал, окисленные руды, кучное выщелачивание

Свердловская область входит в десятку регионов с наибольшим объемом образования отходов и занимает четвертое место после Кемеровской области, Красноярского края и Мурманской области. По оценочным данным, на текущий момент в Свердловской области накоплено около 9 млрд т отходов производства, ежегодно образуется более 180 млн т [1, 2]. В связи с этим разработана “Стратегия по обращению с отходами производства на территории Свердловской области до 2030 года” [1], согласно которой внедрение наилучших доступных ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий переработки отходов производства — один из основных путей решения проблемы. Проведение научно-исследовательских работ позволит выявить экологические риски, перспективы использования и экономическую выгоду вторичного применения накопленных отходов производства [1, 3]. Кучное выщелачивание (КВ) относится к доступным и ресурсосберегающим технологиям переработки труднообогатимых типов руд. Кучное выщелачивание меди — способ переработки химическим путем попутно добытых забалансовых и “бедных” крупнокусковых руд, складированных в отвалах, извлечение из которых меди обычным способом нерентабельно [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-06-00463А).

Волковское комплексное медно-железо-ванадиевое месторождение открыто в 1812 г. Систематическое изучение площади началось в 1927 г. К разработке месторождения приступили в 1967 г. [5]. В 2010 г. отработана первая очередь месторождения — Лаврово-Николаевский участок. Работы выполнялись открытым способом, в результате чего сформировался отвал лежалой окисленной и смешанной руды (ОЛО и СР). В настоящее время в нем складировано 3933.8 тыс. т рудной массы. Площадь основания отвала с нагорной канавой по периметру составляет около 20 га. Высота отвала более 20 м. Запасы медной руды оценены в 500 тыс. т. Для получения меди из ОЛО и СР планируется использовать технологию КВ (рис. 1) [6].

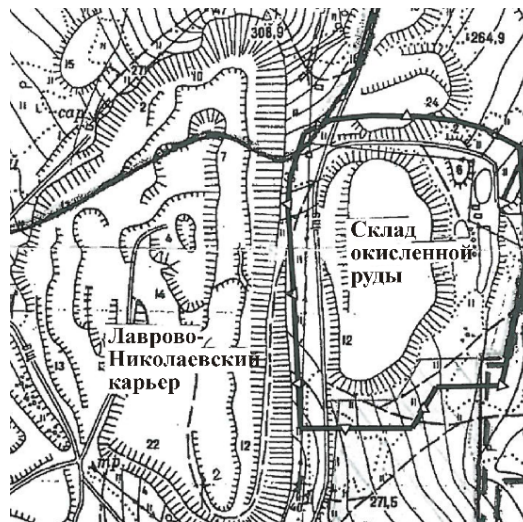


Рис. 1. Участок кучного выщелачивания окисленных руд Волковского месторождения. М 1 : 10 000

Экологические риски при использовании способа КВ сводятся к опасности химического загрязнения поверхностных и подземных вод [7]. Для их предотвращения и прогноза на стадии инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий в районе размещения ОЛО и СР выполнен комплекс полевых и лабораторных работ по определению фильтрационных свойств грунтов, слагающих естественное основание отвала.

По результатам бурения шести инженерно-геологических скважин, расположенных по периметру отвала, установлено, что площадка размещения ОЛО и СР сложена (сверху вниз) следующими разновидностями грунтов:

- насыпной грунт (tQ) представлен глиной твердой, легкой песчанистой и глыбами, и крупным щебнем отвальных пород. Слой имеет повсеместное распространение, мощность 0.6–1.9 м;
- суглинок делювиальный (dQ) коричневый, темно-коричневый, полутвердый, тяжелый пылеватый. Он имеет повсеместное распространение, встречен во всех скважинах под слоем насыпных грунтов, мощность 1.2–21.2 м;
- суглинок элювиальный (eMZ) светло-коричневый, коричневато-серый, желтовато-серый, полутвердый, тяжелый песчанистый. Слой имеет повсеместное распространение, мощность 1.5–22.5 м;
- скальный грунт габбро (PZ) выветрелый, слаботрешиноватый, средней прочности.

В пределах площадки ОЛО и СР распространен водоносный горизонт подземных вод интрузивных пород основного состава верхнего силура и нерасчлененных габброидных пород неустановленного возраста (S2+qv). Водовмещающие породы представлены разновидностями габбро, диоритами и габброидами. Породы, слагающие горизонт, повсеместно водоносны лишь в верхней трещиноватой зоне выветривания, мощность которой в среднем составляет 30–50 м.

По типу коллектора подземные воды трещинного и трещинно-порового типа. По условиям залегания подземные воды горизонта грунтовые, субнапорные. На момент проведения изысканий (декабрь – январь) выработками глубиной до 50 м подземные воды встречены на глубине от 21.3 до 42.0 м. Это максимальные глубины положения уровня подземных вод, характерные зимней межени. При этом высота подъема уровня в районе работ составляет 2.5–3.5 м. Питание подземных вод атмосферное. Общее направление потока подземных вод ориентировано к долине р. Лая, имеющей рыбохозяйственное назначение. Расстояние от отвала до реки 300–500 м. Подземные воды на участке относятся к гидрокарбонатному кальциевому типу: по сухому остатку они пресные, от 0.2 до 0.3 г/дм³; по значению рН — щелочные; по общей жесткости — от мягких (4.2–4.5 мг-экв.) до очень жестких (23.9–45.3 мг-экв.). В периоды весеннего снеготаяния и продолжительных дождей возможно появление временного водоносного горизонта типа “верховодка”.

Естественная защищенность подземных вод грунтового типа напрямую определяется фильтрационными свойствами покровных отложений и глубиной залегания уровня [8]. Отвал окисленных руд является поверхностным источником потенциального загрязнения подземных вод солями тяжелых металлов, в основном меди. Опасность такого загрязнения контролируется скоростью продвижения фронта загрязненных вод. Мощность зоны аэрации с учетом глубины залегания грунтовых вод составляет 25–31 м. Коэффициенты фильтрации покровных отложений изучены в ходе лабораторных работ на восьми образцах ненарушенной структуры. Результаты приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Результаты определения коэффициента фильтрации покровных отложений по ГОСТ 25584-90

Лабораторный номер пробы	Наименование и номер выработки	Глубина отбора образца, м	Коэффициент фильтрации, м/сут	Наименование грунта по ГОСТ 25100-2011
1ф-11-15	С-3	2.3	$7.0 \cdot 10^{-5}$	Суглинок (dQ) мягкопластичный, легкий, пылеватый
4ф-11-15	С-3	7.0	$2.2 \cdot 10^{-5}$	Глина (dQ) полутвердая, легкая, пылеватая
14ф-11-15	С-2а	3.4-3.6	$6.7 \cdot 10^{-5}$	Суглинок (dQ) тугопластичный, тяжелый, пылеватый
22ф-11-15	С-1	4.0	$2.5 \cdot 10^{-5}$	Глина (dQ) полутвердая, легкая, пылеватая
25ф-11-15	С-1	5.5	$4.8 \cdot 10^{-5}$	Суглинок (dQ) полутвердый, легкий, песчанистый
27ф-11-15	С-1	9.0	$7.4 \cdot 10^{-5}$	Суглинок (eMZ) полутвердый, тяжелый, песчанистый
37ф-11-15	С-6	9.0	$2.6 \cdot 10^{-5}$	Глина (eMZ) полутвердая, легкая, пылеватая
41ф-11-15	С-6	18.7	$2.4 \cdot 10^{-5}$	Суглинок (eMZ) полутвердый, легкий, песчанистый

Для определения коэффициента фильтрации грунтов, слагающих площадку ОЛО и СР, использовался стандартный метод, описанный в ГОСТ 25584-90 [9]. В качестве фильтрующей жидкости использовалась холодная водопроводная вода. Естественная защищенность подземных вод на участке ОЛО и СР в соответствии с требованиями Методики [8, 10] может быть оценена как высокая, так как расчетное время продвижения фронта загрязнения с поверхности

до уровня их залегания составляет не менее тысячи лет. Использование такого подхода к оценке фильтрационных свойств покровных отложений позволяет однозначно признать безопасным использование способа КВ меди на отвале ЛО и СР Волковского рудника [11]. Однако обобщенная оценка коэффициента фильтрации (K_{ϕ}) покровных отложений показала, что их значения изменяются в пределах $2.2 \cdot 10^{-3} - 7.4 \cdot 10^{-5}$ м/сут. Полученные характеристики экранирующих свойств покровных отложений на участке ОЛО и СР, представленные суглинками делювиальными и элювиальными, свидетельствуют о том, что они не могут быть использованы в качестве естественного защитного экрана для защиты подземных вод от загрязнения с поверхности нерастворимыми веществами I класса и растворимыми II и III классов опасности, так как их фильтрационные характеристики превышают допустимое значение $K_{\phi} < 0.00001$ м/сут (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Предельные значения коэффициента фильтрации покровных отложений при выборе площадки под полигон токсичных промышленных отходов (СНиП 2.01.28-85)

Степень токсичности отходов	Коэффициент фильтрации грунта, см/с, не более	Коэффициент фильтрации грунта, м/сут, не более
Нерастворимые вещества I класса и растворимые II и III классов опасности	10^{-8}	0.0000086 ($1 \cdot 10^{-5}$)
Нерастворимые вещества II и III классов опасности	10^{-7}	0.000086 ($1 \cdot 10^{-4}$)
IV класс опасности	10^{-5}	0.0086 ($1 \cdot 10^{-2}$)

КВ меди предполагает использование для орошения отвальных масс концентрированных растворов серной кислоты. В ходе исследований проведена вторая серия лабораторных определений фильтрационных свойств покровных отложений, слагающих основание ОЛО и СР. В качестве фильтрующейся жидкости бралась серная кислота концентрации 5, 50 и 100 г/л. Выбор концентрации сернокислых растворов основан на практических данных, в соответствии с которыми начальная концентрация растворов для орошения составляет 3–5 г/л. Далее в ходе выщелачивания происходит их укрепление или концентрирование до 10 г/л и более. Для исследования фильтрационных свойств осадков применяют компрессионно-фильтрационные приборы различных конструкций. Определения выполнены для двух разновидностей грунтов: суглинок элювиальный и глина делювиальная. Образец грунта насыщали раствором кислоты снизу вверх через сосуд с кислотой. Насыщение образца грунта раствором кислоты соответствующей концентрации проходило в течение 10 дней. Однако стандартная методика определения коэффициента фильтрации глинистых грунтов в компрессионно-фильтрационных приборах выявила ряд несовершенств, главное из которых — реакция материалов прибора на концентрированную серную кислоту, используемую в качестве насыщающей жидкости вместо водопроводной воды. Реакция сопровождалась газообразованием, затрудняющим опыты. Принципиальная схема прибора показана на рис. 2. Коэффициент фильтрации для образца грунта ненарушенной структуры по данным, полученным в процессе опыта, вычислялся по формуле

$$K_{\phi} = \frac{g}{FIt},$$

где g — измеренное бюреткой количество раствора, профильтровавшегося через слой породы за время t ; F — площадь поперечного сечения кольца прибора, см^2 ; I — гидравлический градиент.

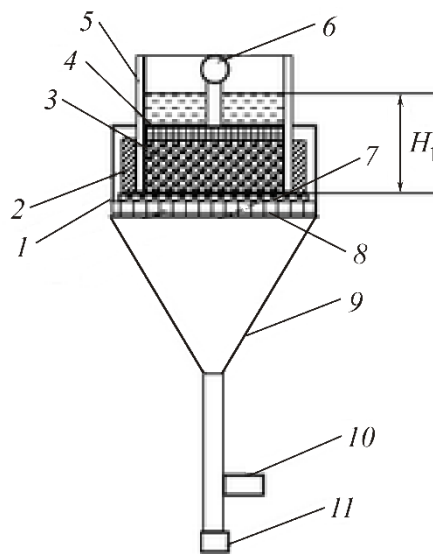


Рис. 2. Прибор для исследования водопроницаемости глинистых грунтов: 1 — измерительный сосуд прибора; 2 — парафин; 3 — слой осадка; 4 — перфорированный штамп; 5 — цилиндр; 6 — шарик; 7 — фильтровальная сетка; 8 — поддерживающая перегородка; 9 — приемная воронка; 10 — штуцер для присоединения к вакуум-насосу; 11 — штуцер для соединения с измерительным сосудом

Результаты второй серии лабораторных определений фильтрационных свойств покровных отложений участка ОЛО и СР приведены в табл. 3. Очевидно, что фильтрационные характеристики глинистых грунтов, слагающих основание отвала, при взаимодействии с раствором серной кислоты увеличиваются на несколько порядков, практически полностью теряя при этом свою экранирующую способность. Это объясняется растворением карбонатов, присутствующих в составе слагающих отложений.

ТАБЛИЦА 3. Результаты определения коэффициентов фильтрации покровных отложений с использованием растворов серной кислоты

Описание породы	Коэффициент фильтрации, м/сут, при концентрации кислоты, г/л		
	5	50	100
Суглинок (dQ) тугопластичный, тяжелый, пылеватый	$7 \cdot 10^{-5}$	0.49	1.03
Суглинок (dQ) коричневый, тугопластичный, легкий, пылеватый	$6.5 \cdot 10^{-5}$	0.45	0.89
Суглинок (dQ) темно-коричневый, полутвердый тяжелый пылеватый	$2.8 \cdot 10^{-5}$	0.24	0.43
Суглинок (eMZ) светло-коричневый, желтовато-серый, твердый, легкий,	$4.8 \cdot 10^{-5}$	0.36	0.67
Суглинок (dQ) темно-коричневый, полутвердый, тугопластичный	$2.2 \cdot 10^{-5}$	0.17	0.36
Суглинок (eMZ) коричневатого-серый, полутвердый, тяжелый, пылеватый с включением дресвы и щебня	$2.5 \cdot 10^{-5}$	0.19	0.39

ВЫВОДЫ

Комплексная оценка экранирующей способности глинистых покровных отложений с целью постановки способа кучного выщелачивания меди из отвалов бедных руд должна выпол-

няться не только по стандартным методикам, но и с обязательным применением научно-исследовательских методик определения их фильтрационных свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Постановление** Правительства Свердловской области “О комплексной стратегии по обращению с отходами производства на территории Свердловской области до 2030 года” от 21.10.2013 № 1259-ПП. — 40 с.
2. **Пыжьянов Ю. Б.** Добыча меди и экологическая безопасность Свердловской области. — 2011. — URL: <http://elar.usfeu.ru>.
3. **Van Pham Hoa, Drebenstedt C., and Ortuta J.** Advanced technologies in monitoring blast results in surface mines. In: Resource and Environmental Technologies: Chances of German Vietnamese Cooperation (Hrsg.: Breitzkreuz C., Bongaerts J.), Freiburger Forschungsheft C 529, Freiberg, 2009, S. 70–77.
4. **Халезов Б. Д., Ватолин Н. А., Неживых В. А., Тверяков А. Ю.** Кучное выщелачивание меди на Коунрадском руднике // ГИАБ. — 2002. — № 7. — С. 209–217.
5. **Емлин Э. Ф.** Техногенез колчеданных месторождений Урала. — Свердловск. Изд-во Урал. ун-та, 1991. — 256 с.
6. **Новокшанова В. Н., Лебедь А. Б., Васильев В. А., Набойченко С. С.** Исследование кучного выщелачивания меди из руды Волковского месторождения // Цв. металлы. — 2013. — № 8. — С. 28–31.
7. **Semjatschkov A., Drebenstedt C., and Worobjov A. E.** Geoökologie (in Russisch). — Jekaterinburg, 2012. — 288 с.
8. **Гольдберг В. М., Газда С.** Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. — М.: Недра, 1984. — 262 с.
9. **ГОСТ 25584-90.** Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. — М.: Госстрой СССР. Дата введения 01.09.1990. — 17 с.
10. **Методические рекомендации** по гидрогеологическим исследованиям и прогнозам для контроля за охраной подземных вод / сост. В. М. Гольдберг. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1980. — 87 с.
11. **Ломтадзе В. Д.** Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Недра, 1990. — 328 с.

Поступила в редакцию 11/V 2016