

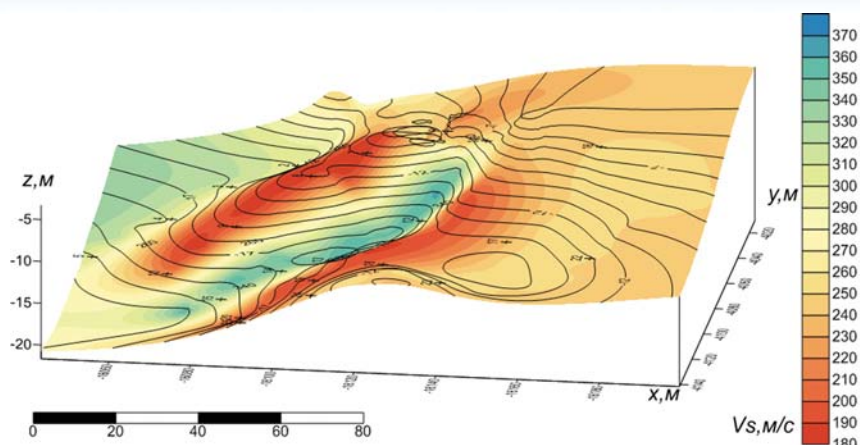


Рис. 4. Объемная модель распределения скорости поперечных волн в кровле юрских глин. В центральной части склона выделяется прогиб, вдоль которого преимущественно развиваются оползневые процессы

но смещаются блоки вышележащих горных пород. В основании желоба скорости поперечных волн имеют повышенные значения, что указывает на их сжатое состояние. В краевых зонах скорость волн понижена, т.к. под воздействием сдвиговых напряжений рыхлые четвертичные грунты разуплотняются.

Заключение

В инженерной сейсморазведке сейсмическая томография применяется сравнительно недавно, однако данный метод отличается большим количеством удобной для интерпретации информации. Такие объекты, как оползневые склоны, отличаются сложностью геологического строения и слабой дифференциацией фи-

зико-механических свойств. Разведочное бурение и лабораторные исследования не всегда способны дать полную картину актуального состояния оползневого склона. По разрезам сейсмической томографии при помощи рассмотренных в статье признаков достаточно надежно выделяются контуры поверхностей скольжения, блоков грунтов в напряженном или деформированном состоянии и многие другие элементы оползней. Использование в интерпретации данных о поглощении и анизотропии значительно расширяет возможности сейсмотомографического метода исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В.В., Ефимова Н.Н., Куликов А.И. Проблематика применения томографических технологий инженерной геофизики для изучения оползнеопасных склонов // Engineering Geophysics 2013-Conference and Exhibition. — 2013.
2. Горяинов Н.Н. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии. — М.: Недра, 1992.
3. Молдаков В.В., Коновалова Е.Ю. Опыт применения комплекса геофизических методов на оползневых склонах города Сочи // Engineering Geophysics, 2012.
4. Романов В.В. Изучение толщи четвертичных отложений Подмосквы инженерной сейсморазведкой // Геофизика. — 2014. — № 3. — С. 41–48.
5. Романов В.В., Рахматуллин И.И. Инженерная геофизика при изучении гляциальных отложений Дмитровского района Подмосквы // Изв. вузов. Геология и разведка. — 2014. — № 3. — С. 86–88.

© Романов В.В., 2015

Романов Виктор Валерьевич // roman_off@mail.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 549:622/533.31

Иванова М.В., Астахова Ю.М., Сорокин Е.М.,
Броницкая Е.С., Ожогина Е.Г. (ФГУП «ВИМС»)

ОСОБЕННОСТИ РАСКРЫТИЯ МИНЕРАЛОВ ЖЕЛЕЗА В РУДАХ СЕРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Показаны особенности раскрытия минералов железа в продуктах обогащения комплексных охристых железных руд Серовского месторождения. Установлено, что методами глубокого обогащения достигнуть приемлемого раскрытия не предоставляется возможным. **Ключевые слова:** железные руды, охристые руды, раскрытие минералов, магнетит, гематит, каолинит.*

Ivanova M.V., Astakhova J.M., Sorokin E.M., Bronitskaya E.S.,
Ozhogina E.G. (VIMS)

FEATURES OF IRON MINERALS DISCLOSING IN THE SEROV ORE FIELD

The features of the disclosure of iron minerals in products enrichment complex ocher iron ore in the Serov field. It is established that to achieve an acceptable disclosure of ore minerals

*is not possible by methods of deep concentration. **Key words:** iron ore, ocher ore, disclosure of minerals, magnetite, hematite, kaolinite.*

В настоящее время в связи с вовлечением в промышленную переработку месторождений железных руд, ранее считавшихся труднообогатимыми и неперспективными, проводится их геолого-экономическая переоценка. Такая оценка позволяет получать полные данные о составе и технологических свойствах руды и прогнозировать технологию ее переработки и качество ожидаемых продуктов.

Серовское месторождение комплексных железных руд расположено в 15 км к северо-западу от г. Серова и приурочено к Заморайской мезо-кайнозойской депрессии, ограниченной с востока серпентинитовым массивом. Месторождение может рассматриваться как крупнейшее на Северном и Среднем Урале. По разным оценкам в зависимости от бортового содержания руды запасы достигают 1 007 357 тыс. т [1].

На Серовском месторождении бурых железняков с повышенным содержанием хрома согласно работам

предшественников [1] выделяются три типа железных руд, различающихся по минералогическим особенностям:

- 1) бобово-конгломератные;
- 2) первичные латеритно-охристые;
- 3) переотложенные охристые.

Объектом исследований являлась технологическая проба, сформированная из руд латеритной и переотложенной кор выветривания, близких по видовому минеральному составу и строению, что позволило объединить их в единую технологическую пробу.

Охристая железная руда имеет землистую, порошковатую, вкрапленную, пятнистую текстуры и скрытокристаллическую структуру. Полиминеральные агрегаты существенно глинистого состава характеризуются алевропелитовой и пелитовой структурой, а рудные и существенно рудные агрегаты отличаются мелко- и микрокристаллическим строением. Текстурно-структурные особенности руды определяют наличие в технологической пробе значительного количества ($>50\%$) тонкого материала крупностью менее $0,074$ мм.

Главным рудным элементом руды является железо, присутствующее в виде самостоятельных минералов (гётит, гематит, магнетит, гидрогётит и хромшпинелид) и породообразующих фаз. Хром входит в состав хромшпинелида. Цветные металлы, в первую очередь никель и кобальт, по-видимому, являются природными легирующими металлами, типичными для руд подобного типа.

По минеральному составу руда относится к гематит-магнетит-гётитовому типу.

Главный рудный минерал — гётит — представлен двумя морфологическими разновидностями, в тесной ассоциации с ним практически всегда присутствует гидрогётит. Гидроксиды железа образуют полиминеральные (с переменным содержанием каолинита, гётита и гидрогётита) и реже мономинеральные агрегаты.

Магнетит также является главным минералом, встречается в виде индивидуализированных зерен размером от $n-0,1$ мкм до $0,1$ мм. Он неравномерно гематитизирован (иногда до полных псевдоморфоз) и в меньшей степени гётитизирован, что обуславливает неоднородность зерен. Это в свою очередь влияет на магнитные свойства минерала, снижая значения удельной магнитной восприимчивости, и приводит к накоплению магнетита в нетипичных для него фракциях. Гётитизированный магнетит менее прочный и легко разрушается при дезинтеграции. Магнетит отличается варьирующим содержанием железа, структурной примесью является магний.

Хромшпинелид представлен магниевой разновидностью — хромпикотитом, встречающимся в виде индивидуализированных зерен разного размера. Иногда он в различной степени замещен оксидами и гидроксидами железа, что затушевывает собственные физические свойства минерала.

Рудные агрегаты имеют варьирующие значения твердости и плотности, что способствует накоплению этих минералов во всех классах крупности.

Главный породообразующий минерал — каолинит — в основном присутствует в виде тонкодисперсных полиминеральных, реже мономинеральных агрегатов. Как правило, он весьма тесно ассоциирует с гидрокси-

дами железа, что негативно отражается на свойствах последних. В глинистом материале идентифицированы железистые хлорит (шамозит) и монтмориллонит (монтронит), которые могут влиять на потери железа в тонких классах и немагнитных фракциях руды [2].

Минеральный состав и текстурно-структурные особенности руды Серовского месторождения обуславливают необходимость применения различных методов и технологий обогащения. В связи с этим глубокое обогащение и технологические показатели при переработке руды будут определяться ее вещественным составом, характером вкрапленности минералов, их раскрываемостью при измельчении, контрастностью их свойств и эффективностью применяемых разделительных процессов.

Гранулярный состав охристой железной руды на $41,9\%$ представлен материалом крупностью $-3+0,1$ мм. Выход шламового класса $-0,044+0$ мм составляет $52,8\%$. Распределение ценных компонентов по классам крупности показало, что железо ($Fe_{общ}$) концентрируется в материале крупностью $+0,2$ мм. В тонких классах ($-0,2+0,044$ мм) содержание $Fe_{общ}$ снижается до $31,66\%$. Материал крупностью $-0,044$ мм содержит $41,8\%$ $Fe_{общ}$.

Минералогическое изучение продуктов ситового анализа показало явную тенденцию раскрытия магнетита в тонких классах, в которых также наблюдается увеличение количества раскрытых зерен породообразующих минералов.

В материале крупностью $-0,5$ мм происходит разрушение агрегатов, в первую очередь мягких, сформированных в основном гётитом, и, как следствие, — раскрытие рудных минералов (магнетит, хромшпинелид и др.). При этом максимальное содержание свободных зерен магнетита отмечается в материале крупностью $-0,044$ мм, в котором полностью отсутствуют сrostки этого минерала.

О характере раскрытия гётита в продуктах ситового анализа можно говорить только условно. Наблюдается в целом тенденция к уменьшению количества богатых сrostков гётита в тонких классах. В материале крупностью $-3+2$ мм отмечается присутствие ооло 3% «свободных зерен» гётита, которые в действительности являются тонкодисперсными агрегатами, в состав которых входят магнетит и гематит в переменном, но весьма незначительном количестве. Бедные сrostки гётита, присутствующие в материале крупностью -1 мм, распределены неравномерно, что обусловлено в большинстве своем их искусственным происхождением — сегрегацией глинистого материала и гидроксидов железа (гётита). Повышенное содержание $Fe_{общ}$ в классе $-0,044+0$ мм обусловлено присутствием в нем гётита и гидрогётита, размер зерен которых менее $0,01$ мм.

Следует отметить, что содержания материала крупностью $-0,01$ мм в шламах руды составляет $21,9\%$, с ним связаны потери $Fe_{общ}$ ($18,9\%$), Cr ($12,6\%$) и Ni ($32,6\%$).

Учитывая значительное содержание тонкого материала в руде, проведен дисперсионный анализ исходной руды крупностью $-0,044+0$ мм. Минералогическое изучение продуктов дисперсионного анализа показало, что состав фракций различной крупности ($-0,044+0,020$, $-0,020+0,010$ и $-0,010+0$ мм) одинаковый, однако они отличаются количественным соотношением минералов.

В целом в материале крупностью $-0,044$ мм прослеживается типичная для рыхлых охристых железных руд тенденция незначительного увеличения количества породообразующих минералов и соответственно уменьшения доли рудных минералов, за исключением гётита, содержание которого увеличивается в более тонком материале.

Содержание магнетита резко снижается в тонких классах крупности. Максимальное количество его (45 %) отмечается в материале крупностью $-0,044+0,020$ мм, в котором минерал представлен отдельными зёрнами, нередко в различной степени окисленными, и агрегатами, сформированными рудными и в подчиненном количестве породообразующими минералами. В более тонком материале содержание магнетита резко уменьшается и в классе $-0,01$ мм не превышает 3 %. С понижением крупности происходит раскрытие магнетита, освобождение его от вторичных минералов (гематита и гётита), количество которых в свою очередь увеличивается. В материале крупностью $-0,01$ мм отмечаются свободные зёрна магнетита. В целом можно говорить о снижении доли гематита в тонком классе крупности. При освобождении гематитизированных зёрен магнетита гематит, присутствующий в виде пленок, каемок, примазок, выполняющий полости, развивающийся по ослабленным зонам, легко освобождается и накапливается в виде отдельных свободных зёрен. Также отмечается гематит, представляющий собой или индивидуализированные зёрна, или фрагменты агрегатов существенно гематитового состава. Содержание гематита в материале крупностью $-0,01$ мм резко снижается на фоне резкого повышения количества гётита (о чем свидетельствует рыжий цвет материала, который становится более интенсивным — рис. 1). Гётит, встречающийся в руде в виде рудных, глинисто-железных и железо-глинистых преимущественно тонкодисперсных агрегатов, является более мягким по отношению к другим минералам, что в определенной степени способствует его высвобождению из агрегатов. Учитывая то, что размер индивидуализированных зёрен гётита по данным электронной микроскопии обычно $<0,003$ мм, совершенно правомерно, что он накапливается именно в тонком классе, в основном в виде зёрен, тонкодисперсных гётитовых агрегатов и агрегатов, сформированных гётитом и каолинитом размером $<0,01$ мм, присутствующими в переменных количествах. Особо следует отметить тонкие сростки гематит-гётитового и гётит-гематитового состава размером $0,004-0,022$ мм, которые выявлены исключительно электронно-микроскопическим анализом.

Практически всегда основным методом обогащения железных руд является магнитная сепарация.

Результаты магнитного анализа классифицированного материала исходной руды крупностью $-3+0$ мм, оцененные аналитическими и минералогическими методами, показали, что наиболее обогащены сильномагнитные фракции в тонких относительно раскрытых классах $-0,2+0,074$ и $-0,044+0$ мм, в которых содержание $Fe_{общ}$ колеблется от 54,9 до 56,57 %.

Минералогический анализ установил, что именно в крупных классах ($-3+0,2$ мм) концентрируются «богатые» зёрна гётита и богатые сростки, в состав которых

большой частью входит гётит. Магнетит в виде свободных и богатых сростков концентрируется в материале крупностью $-0,2+0,074$ мм.

Раскрытие рудных минералов начинается при напряженности магнитного поля 50 мТл; в этой фракции концентрируются магнетит и гётит. В тонком материале магнетит сфлюкулирован, поэтому одновременно с ним в магнитную фракцию попадают немагнитные породообразующие минералы. С увеличением напряженности магнитного поля количество свободных зёрен уменьшается, и в слабомагнитные фракции попадают минералы, имеющие различную удельную магнитную восприимчивость, увеличивается содержание породообразующих минералов (кварц, каолинит, монтмориллонит и др.). В крупных классах в основном минералы представлены сростками — как рудными, так и нерудными. С уменьшением крупности материал становится более хрупким и раскрытие идет уже по индивидуализированным зёрнам минералов, а не агрегатам.

Необходимо отметить, что 58,1 % исходной руды представлено классом $-0,074+0$ мм. Такой тонкий ма-

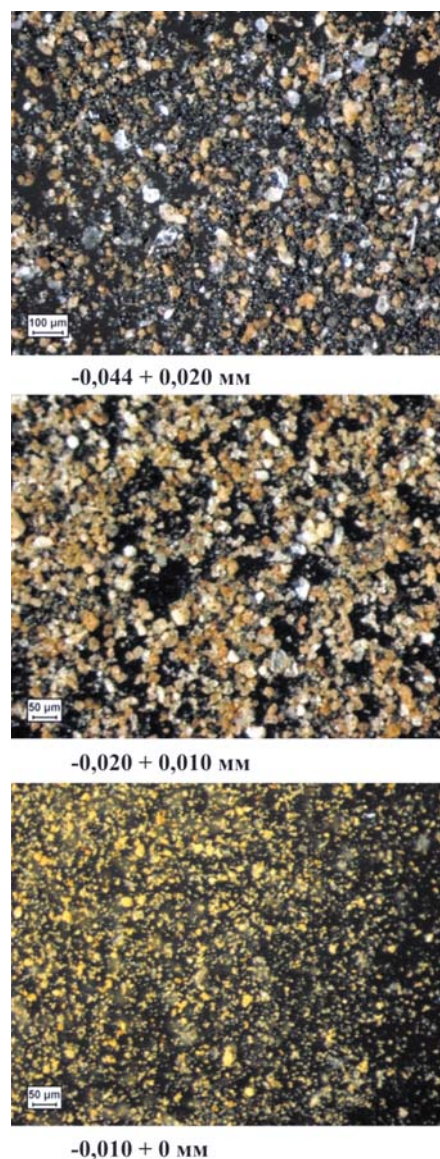


Рис. 1. Продукты дисперсионного анализа

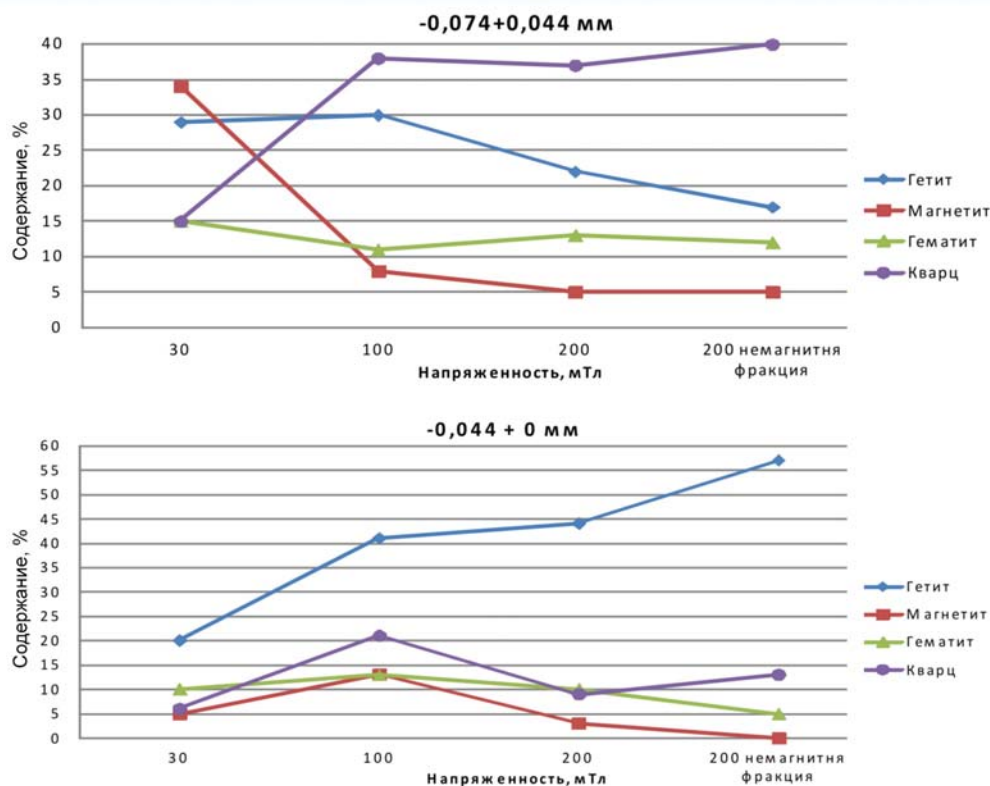


Рис. 2. Распределение минералов в продуктах полиградиентной сепарации в различных классах крупности

териал не может эффективно обогащаться в сепараторах обычного типа.

Для эффективного разделения тонкоизмельченных слабомагнитных руд был использован сепаратор с увеличенной поверхностью зоны магнитного разделения, повышенными напряженностью и градиентом магнитного поля — полиградиентный сепаратор.

Минералогическое изучение продуктов полиградиентной сепарации (материал крупностью $-0,074+0$ мм) позволило установить особенности распределения минералов руды по фракциям различной напряженности и крупности (рис. 2):

магнетит ведет себя одинаково в материале крупностью $-0,074+0,044$ и $-0,044+0$ мм при различной напряженности, количество его уменьшается соответственно с 34,5 и 14,5 % до 5,5 и 3,5 % с увеличением напряженности и уменьшением крупности материала; это связано с магнитными свойствами минерала и его освобождением от вторичных минералов (гематита и гётита);

закономерности в распределении и накоплении остальных рудообразующих минералов по магнитным фракциям различной крупности не наблюдается;

в материале крупностью $-0,074+0,044$ мм прослеживается тенденция уменьшения количества гётита в слабомагнитной и немагнитной фракциях, что связано с неравномерным ожелезнением зерен магнетита, сохранившим частично свои магнитные свойства, и присутствием полиминеральных агрегатов;

в классе крупности $-0,044+0$ мм отмечается резкое увеличение количества гётита в немагнитной фракции, что связано с раскрытием минерала, естественная крупность индивидов которого менее 0,01 мм; при этом

удельная магнитная восприимчивость гётита довольно низкая, он относится к слабомагнитным минералам, поэтому при достаточно высоком содержании гётита во всех фракциях его максимальное накопление происходит в тонком материале немагнитной фракции;

породообразующие минералы — кварц и каолинит — в материале крупностью $-0,071+0,044$ мм большей частью сосредоточены в слабо- и немагнитной фракциях, в которых они присутствуют в основном в виде полиминеральных агрегатов;

каолинит в основном концентрируется в немагнитной фракции (крупность $-0,044+0$ мм), преимущественно в виде тонкодисперсных мономинеральных, гётит-каолинитовых и каолинит-гётитовых агрегатов, легко разрушающихся при надавливании.

Для определения контрастности свойств минералов по плотности было проведено гравитационное фракционирование руды. Анализ его показал, что выход тяжелой фракции плотностью $>2,9$ г/см³ составляет всего 29,6 % при содержании железа в ней 51,38 % и извлечении 39,37 %. Выход легкой фракции плотностью $<2,9$ г/см³ незначителен — 12,3 %.

При минералогическом изучении продуктов гравитационного фракционирования выявлено следующее:

в тяжелой фракции в основном присутствуют переменного состава агрегаты гётита, магнетита, гематита (95 %) — это искусственно сегрегированные агрегаты гётита, в которых происходит «захват» тонких зерен магнетита и глинистых минералов, что приводит к формированию механических агрегатов (сростков), которые достаточно легко разрушаются в материале крупностью $-0,2+0,1$ мм;

в легких фракциях наблюдаются свободные и с рудной минерализацией (в виде примазок, пленок) зерна кварца, сидерита, глинистых минералов.

Минералогическое изучение руды, сопровождаемое проведением технологических исследований, позволило разработать два варианта схемы обогащения: гравитационно-магнитную и магнитную.

Полученные технологические показатели по первой схеме нельзя признать удовлетворительными — в суммарный гравитационный концентрат, содержащий 50,66 % Fe_{общ}, 2,25 % Cr и 0,38 % Ni, извлечение составило 32,89, 56,79 и 18,90 % соответственно.

Низкие показатели гравитационного обогащения обусловлены невысокой контрастностью минералов по плотности, а также тем, что, несмотря на предваритель-

но проведенную классификацию и обесшламливание материала, в процессе обогащения на концентрационном столе происходит частичное разрушение рудных агрегатов различного состава, что приводит к засорению выделяемых продуктов.

В тяжелую фракцию извлекаются крупные свободные зерна магнетита и гематита, а также рудные агрегаты существенно гётитового состава, что определяет частичное разубоживание концентрата, содержание $Fe_{общ}$ в котором не превышает 51 %.

В промпродукте концентрируются агрегаты каолинит-гётитового состава, содержащие незначительное количество магнетита и гематита.

Хвосты в основном представлены агрегатами, в которых количественно преобладают слоистые силикаты (каолинит, шамозит, нонтронит) и гидрогётит. В хвостах концентрируется и значительное количество тонких частиц гётита размером менее 0,003 мм, образующихся при разрушении глинисто-железистых и железоглинистых агрегатов и определяющих потери железа.

По магнитной схеме был получен концентрат, содержащий 58,96 % $Fe_{общ}$, 2,21 % Cr и 0,48 % Ni при выходе 22,68 %; извлечение составило 32,81, 45,09 и 21,67 % соответственно.

Невысокие показатели обусловлены тесным срастанием минералов, резко различных по удельной магнитной восприимчивости. Отмечаются слабомагнитные «механические» агрегаты с гётитом и сильномагнитные сростки с магнетитом. Эти особенности руды обусло-

вили развернутую схему магнитного обогащения с использованием слабых и сильных магнитных полей. Однако основные потери $Fe_{общ}$ (65,3 %), Cr (54,37 %) и Ni (75,44 %) связаны с немагнитной фракцией, что обусловлено максимальным накоплением в этой фракции гётита крупностью $-0,044+0$ мм, обладающего низкой удельной магнитной восприимчивостью.

Из вышеизложенного следует, что минералогические особенности комплексной охристой железной руды Серовского месторождения не позволяют достичь приемлемого раскрытия рудных минералов в продуктах обогащения и селективно выделить их в самостоятельные продукты. В то же время морфоструктурные особенности руды являются благоприятными для переработки металлургическими методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вторушин А.В., Егорова Н.А. Вещественный состав и происхождение хромистых железных руд Серовского района // Тр. Свердловского горного ин-та. — 1961. — Вып. 38. — С. 67–93.
2. Сорокин Е.М., Иванова М.В., Астахова Ю.М. Минералогические особенности охристой железной руды Серовского месторождения, влияющие на технологические свойства и обогатимость / Новое в познании процессов рудообразования: Материалы 4-й Рос. молодеж. школы с междунар. участием. — М.: ИГЕМ РАН, 2014. — С. 263–264.

© Коллектив авторов, 2015

Иванова Маргарита Валерьевна // margo_898989@mail.ru
Астахова Юлия Михайловна // astachova_j@mail.ru
Сорокин Егор Максимович // egorgeohim@ya.ru
Броницкая Елена Сергеевна // vims@df.ru
Ожогина Елена Германовна // vims-ozhogina@mail.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.3

Атрощенко Ф.Г. (ОАО «ВНИМИ»), Лобанов В.В. (Якут-нипроалмаз), Соколов В.Д. (Горный университет)

РЕЗЕРВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ МОЩНОЙ ТОЛЩИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Якутская алмазоносная провинция расположена преимущественно в регионах развития мощной толщи многолетнемерзлых пород (ММП), т.е. там, где пресные воды находятся или в твердом состоянии, или в жидком виде в малых реках и озерах. Поэтому водоснабжение предприятий ОАО «АЛРОСА» и населенных пунктов питьевой водой осуществляется в основном из водохранилищ, сооруженных на протекающих здесь реках. Однако в силу природных условий существует проблема, связанная с тем, что запланированного объема пресных вод в водохранилищах стало катастрофически не хватать из-за резкого увеличения объемов фильтрационных утечек через таликовые зоны. В статье обосновывается решение данной проблемы на примере Иреляхского водохранилища. **Ключевые слова:** алмазоносная провинция, многолетнемерзлые породы, водохранилище, подземные воды, гидротехнические сооружения, водоснабжение.

Atroshchenko F.G. (VNIMI), Lobanov V.V. (Yakutniiproalmaz), Sokolov V.D. (Mining University)

RESERVE WATER SUPPLY SOURCES IN THE FORMATION AREAS OF THICK PERMAFROST ROCKS

Yakutsk diamantiferous province developed by AK ALROSA enterprises is located mainly in the areas of thick permafrost zone, in other words where fresh groundwater are either in solid state or in liquid state within small rivers and lakes. Consequently, the company's enterprises and inhabited localities are supplied with potable water mainly from water storage reservoirs constructed on the rivers. However, at present time the planned amount of fresh water within storage reservoirs is insufficient drastically due to a sharp increase in leakage through subgelisol zones. And this problem is not caused by hydraulic engineers but technical solutions applied and justified by existing natural conditions in which these hydraulic facilities were located. **Key words:** diamantiferous province, permafrost rocks, water storage reservoir, underground waters, hydraulic facilities, water supply.

Водохранилище на р. Ирелях расположено в среднем ее течении, в 3 км западнее г. Мирный Республики Саха (Якутия). Основная плотина водохранилища — каменно-земляная, с ядром из суглинка. По проекту плотина мерзлая, фактически — таломерзлая. Центральная