

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.765

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА СОСТАВ ПОВЕРХНОСТИ, ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПИРИТА, АРСЕНОПИРИТА И ХАЛЬКОПИРИТА ПРИ ФЛОТАЦИИ

**Т. Н. Матвеева, В. А. Чантурия, Н. К. Громова,
Л. Б. Ланцова, Е. В. Копорулина**

*Институт проблем комплексного освоения недр РАН, E-mail: tmatveyeva@mail.ru,
Крюковский тупик, д. 4, 111020, г. Москва, Россия*

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния режимов электрохимической поляризации (ЭХП) на электродный потенциал, фазовый состав поверхностных новообразований, адсорбцию собирателя и флотируемость основных сульфидных минералов золотосодержащих руд. Показано образование новых твердофазных соединений различной морфологии, фазовый состав которых формируется в зависимости от режима поляризации и оказывает влияние на адсорбцию собирателя и флотируемость минералов.

Электрохимическая поляризация, сульфидные минералы, флотация

ВВЕДЕНИЕ

Проблема извлечения золота из технологически упорного сырья может быть отнесена к числу наиболее важных, поскольку именно за счет более широкого вовлечения в эксплуатацию упорных золотосульфидных руд в текущем столетии планируется обеспечить основной прирост добычи благородных металлов как в России, так и в мире в целом. Золото в таких рудах находится в тесной ассоциации с пиритом, арсенопиритом и халькопиритом и, как правило, характеризуется тонкой вкрапленностью и неравномерностью распределения, поэтому флотация — один из основных технологических процессов переработки с целью получения богатых концентратов, пригодных для последующего эффективного выщелачивания и извлечения золота. Помимо повышения извлечения золота в коллективные сульфидные концентраты, актуальной является задача селективного выделения золотосодержащих минералов в разноименные продукты с целью сокращения расходов на получение золота.

Работами в области электрохимии сульфидов, в том числе выполненными в разные годы в ИПКОН РАН [1–4], показано, что электрохимическая обработка минеральных суспензий позволяет направленно регулировать окислительно-восстановительные свойства сульфидных ми-

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ “Научная школа акад. В. А. Чантурия” НШ-220.2015.5 и грантов Российского фонда фундаментальных исследований № 11-05-004343 и № 13-05-00675.

нералов и водных систем, формируя состав поверхностных соединений на минералах, ответственных за сорбционные и флотационные свойства сульфидов [5–7]. Фазовый состав вновь образованных поверхностных соединений зависит от знака и величины потенциала поляризации, длительности электрохимического воздействия и ионно-молекулярного состава жидкой фазы минеральных суспензий и определяет энергетическое состояние (электродный потенциал) и флотируемость сульфидных минералов, изменяя контрастность флотационных свойств.

В последнее время значительно расширились возможности оптической, электронной и сканирующей зондовой микроскопии для анализа элементного и фазового состава минералов, морфологических особенностей их поверхности и количественной минералогической оценки низкосортных руд с содержанием благородных металлов менее 1г/т [8, 9]. Использование современных микроскопических приборов с различной разрешающей способностью позволяет проводить экспериментальные наблюдения образцов, содержащих микро- и наноразмерные фазы и пленки на поверхности минералов, образовавшиеся в результате различных физических и физико-химических воздействий [10].

Цель настоящей работы — исследование механизма воздействия электрохимической поляризации на формирование микро- и наночастиц на поверхности пирита, арсенопирита и халькопирита и их влияние на энергетическое состояние поверхности и адсорбцию сульфгидрильного собирателя для оценки возможности повышения эффективности флотационного извлечения золотосодержащих сульфидов из упорных руд.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования отобраны штучные образцы пирита, арсенопирита и халькопирита золоторудных месторождений России — Дарасунского, Восток-2 и Березовского. Химический состав образцов приведен в таблице.

Химический состав образцов сульфидных минералов

Минерал	Содержание, %					
	Fe	S	As	Cu	Pb	Au, г/т
Пирит дарасунский	40.6	49.9	0.69	1.29	0.9	7
Арсенопирит дарасунский	30.8	19.6	40.3	0.02	0.04	15
Пирит березовский	44.8	47.1	0.1	0.01	0.2	10
Арсенопирит Восток-2	33.3	19.5	42.8	0.01	—	—
Халькопирит березовский	30.8	32.3	н/о	25.6	—	—

Минеральный состав образцов пирита Березовского и Дарасунского месторождений на 95–98 % представлен FeS_2 . Содержание основного минерала в образце дарасунского арсенопирита составляет 80–85%, обнаружены примеси доломита $(Ca, Mg)CO_3$ и кварца. Кроме того, зафиксировано присутствие отдельных зерен калиевого полевого шпата. Образец арсенопирита Восток-2 практически чистый.

Методы исследования — сканирующая электронно-зондовая (АСЭМ) и лазерная микроскопия (СЛМ), атомно-эмиссионный анализ с индуктивно-связанной плазмой (АЭА-ИСП), потенциометрия растворов, измерение электродных потенциалов (ЭП) и флотационные исследования в условиях электрохимической поляризации (ЭХП) минералов и минеральных суспензий при постоянном потенциале рабочего электрода. Электродные потенциалы измеряли иономе-

ром “Мультитест ИПЛ-103”. Электродные системы включали: минеральные электроды, стеклянный электрод для измерения рН среды, платиновый — для измерения Eh раствора и хлорсеребряный в качестве электрода сравнения.

Минеральный состав образцов изучали в отраженном свете на оптическом микроскопе Olympus BX 51. Изучение проводили на аналитическом сканирующем электронном микроскопе Leo-1420 VP в высоковакуумном режиме без предварительного напыления. Использовали одну из самых распространенных методик подготовки электропроводных образцов к исследованию на АСЭМ — нанесение кусочков образца (или порошка) на специальный графитовый двухсторонний скотч. Благодаря своей графитовой основе, такой скотч осуществляет электрический контакт образца с металлическим столиком электронного микроскопа и позволяет заряду беспрепятственно стекать с образца на массу.

Потенциалы минеральных электродов, изготовленных в виде отполированных пластин $10 \times 10 \times 3$ мм, измеряли относительно хлорсеребряного электрода в интервале изменения рН раствора от 6 до 12. Щелочность раствора регулировали подачей NaOH.

Электрохимическую поляризацию минеральных электродов проводили в электрохимической ячейке в растворах электролитов — фосфатном (рН 6.86) и боратном (рН 9.18) буферах при потенциалах поляризации + 250 и – 250 мВ. Время обработки от 30 мин до 2 ч.

Флотационные эксперименты выполнены на мономинеральных фракциях пирита и арсенопирита крупностью – 0.1 + 0.063 мм в условиях их предварительной электрохимической поляризации при постоянном потенциале рабочего электрода. Электрохимическую обработку минеральной суспензии проводили в течение 5 мин при перемешивании магнитной мешалкой в стальном стакане, который являлся рабочим электродом. В него помещали вспомогательный электрод и капилляр Луггина. Потенциал рабочего электрода – 250 и + 250 мВ относительно хлорсеребряного электрода сравнения задавали от программатора ПР-8 и поддерживали постоянным во время эксперимента. После этого минерал флотировали 5 мин в нейтральной среде с добавлением 200 г/т собирателя (бутилового ксантогената калия) и 100 г/т вспенивателя Флотол-Б.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе выполнения работы получены экспериментальные зависимости потенциала минеральных электродов от рН среды до и после поляризации $E_{\text{мин}} = f(\text{pH})$, которые описываются уравнениями регрессии 2–3-го порядка (коэффициент корреляции $R^2 = 0.86 - 0.97$) (рис. 1–3).

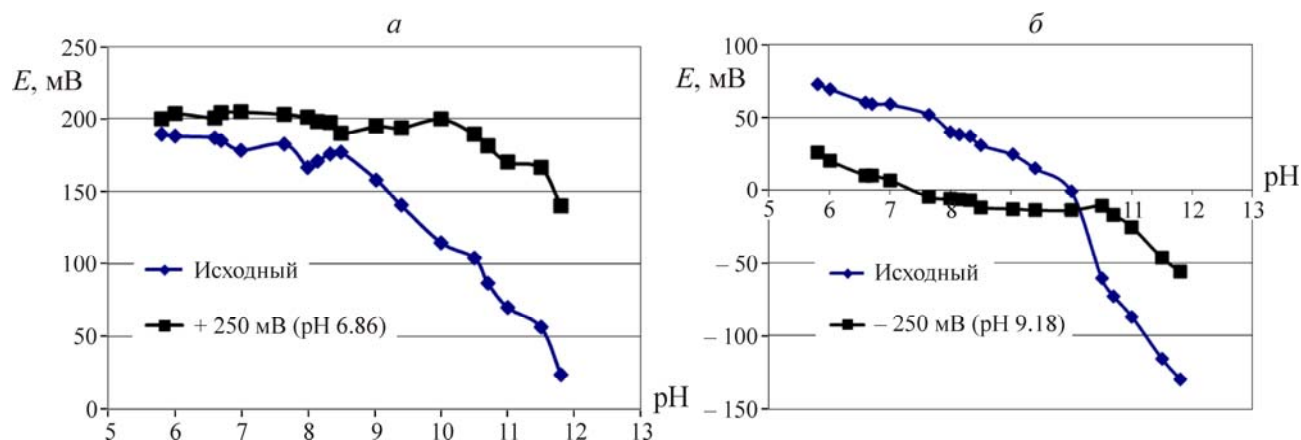


Рис. 1. Изменение электродного потенциала дарасунского пирита (а) и арсенопирита (б) в зависимости от рН раствора после анодной (а) и катодной (б) поляризации

Электродный потенциал дарасунского пирита составил + 200 мВ при рН 6 и снизился до +25 мВ при повышении рН до 11.8. Потенциал березовского пирита в аналогичных условиях составил + 170 и + 20 мВ. Электродные потенциалы арсенопирита дарасунского +75 и – 130 мВ, Восток-2 +220 и – 150 мВ соответственно. Характерно, что потенциалы пиритных электродов сохраняют высокий положительный потенциал во всем диапазоне рН, в то время как потенциал арсенопирита переходит в отрицательную область в щелочной и сильнощелочной среде. Эта закономерность согласуется с полученными ранее результатами исследования электрохимических свойств пирита и арсенопирита 9 месторождений, которые показали, что пириты имеют более положительный потенциал, чем арсенопириты, и описываются полиномом 2-го порядка с высоким квадратичным коэффициентом корреляции ($R^2 > 0.98$) [4].

В результате анодной поляризации дарасунского пирита при потенциале + 250 мВ в фосфатном буфере (рН 6.86) происходит смещение электродного потенциала минерала в более положительную область на 20–30 мВ в нейтральной и слабощелочной среде и на 90–100 мВ при рН 10–12 (рис. 1а).

В случае дарасунского арсенопирита (рис. 1б) катодная поляризация минерала в боратном буфере (рН 9.18) при потенциале – 250 мВ приводит к снижению значения положительного потенциала поверхности на 20–50 мВ в диапазоне рН 5–10.

Аналогичная зависимость наблюдалась и при поляризации арсенопирита Восток-2. При потенциале поляризации – 250 мВ в растворе боратного буфера (рН 9.18) происходит снижение значений потенциала минерального электрода относительно необработанного образца в среднем на – 150 мВ и при рН >9.5 потенциал переходит в отрицательную область (рис. 2а). С увеличением времени поляризации до 2 ч сдвиг потенциала $|\Delta E|$ возрастает до 230 мВ (рН 6) в область более отрицательных значений. Для сравнения: при выдержке электрода в буферном растворе (рН 9.18) в течение 2 ч без ЭХП ΔE не превышала 50–80 мВ.

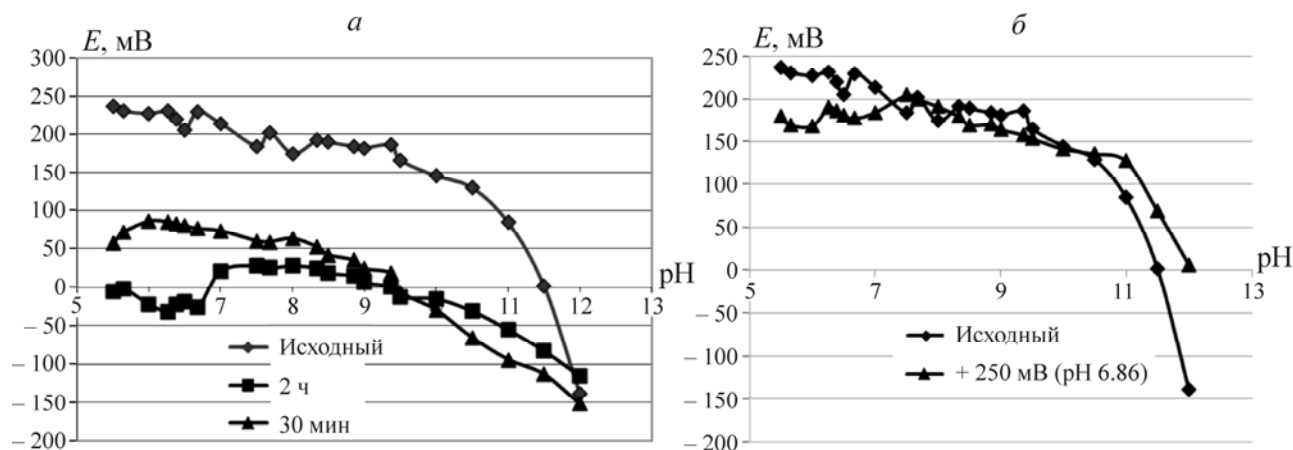


Рис. 2. Изменение потенциала арсенопирита Восток-2 в условиях электрохимической поляризации: а — катодный режим; б — анодный

Таким образом, в результате катодной обработки в щелочной среде поверхность арсенопирита теряет высокий положительный заряд и при рН 9.5 становится отрицательно заряженной по сравнению с потенциалом исходного образца минерала.

Анодная поляризация арсенопирита в щелочной среде (+ 250 мВ, рН 9.18) практически не изменила энергетическое состояние его поверхности: потенциалы минерального электрода совпадают с потенциалами необработанного образца (рис. 2б).

Поляризация березовского пирита как в анодном (+ 250 мВ), так и в катодном режиме (–250 мВ) при рН 9.18 в течение 2 ч приводит к смещению потенциала минерального электрода в область более положительных значений на 20–30 мВ (рис. 3а).

Катодная поляризация халькопирита в щелочной среде (–250 мВ, рН 9.18) снижает потенциал поверхности минерала во всем диапазоне рН (наиболее значимо в диапазоне рН 5.5–9) (см. рис. 1, 2б).

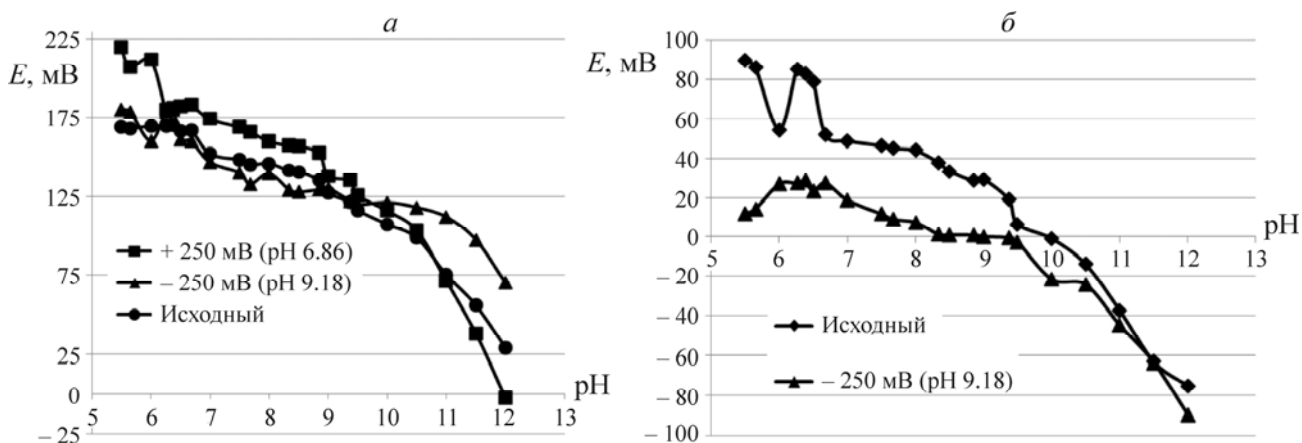


Рис. 3. Изменение потенциала березовского пирита (а) и халькопирита (б) в условиях электрохимической поляризации

На основании полученных зависимостей можно заключить, что электрохимическая поляризация изменяет энергетическое состояние поверхности сульфидных минералов, повышая заряд пирита и снижая заряд арсенопирита и халькопирита. В результате катодной поляризации положительный потенциал арсенопирита и халькопирита снижается на 60–120 мВ, приближаясь к нулевым значениям в нейтральной и слабощелочной среде, а при рН 7.5–9.5 переходит в отрицательную область. В отличие от арсенопирита и халькопирита, потенциал пирита становится более положительным при анодной обработке или изменяется незначительно при катодной, что свидетельствует о большей устойчивости минерала при потенциалах поляризации + 250 и –250 мВ и хорошо согласуется с рядом электрохимической устойчивости сульфидов [1].

Влияние электрохимической поляризации на фазовый состав поверхности сульфидных минералов. В зависимости от вида обработки, ее длительности и ионного состава раствора формируется новый фазовый состав поверхностных соединений сульфидов, который, в свою очередь, регулирует сорбционные и флотационные свойства сульфидов.

Анализ поверхностных соединений, образующихся на сульфидах железа и мышьяка при электрохимической поляризации, выполнен на сканирующем электронном микроскопе LEO 1420VP, оборудованном микрозондовым анализатором.

На рис. 4 представлен характерный вид дарасунского пирита с многочисленными включениями арсенопирита (светлые зерна) в пиритовой матрице (темные зерна).

Новообразованная фаза на поверхности дарасунского арсенопирита характеризуется повышенным (относительно неизменного арсенопирита) содержанием кислорода, что свидетельствует об окисном характере новообразований на арсенопирите.

На рис. 5а можно наблюдать одновременно две морфологически различные кислородсодержащие структуры на поверхности измененного арсенопирита. Новообразования в левой нижней части схожи по морфологии с рис. 4а. Изменения в правой верхней части также содержат кислород, но морфологически отличаются от предыдущих.

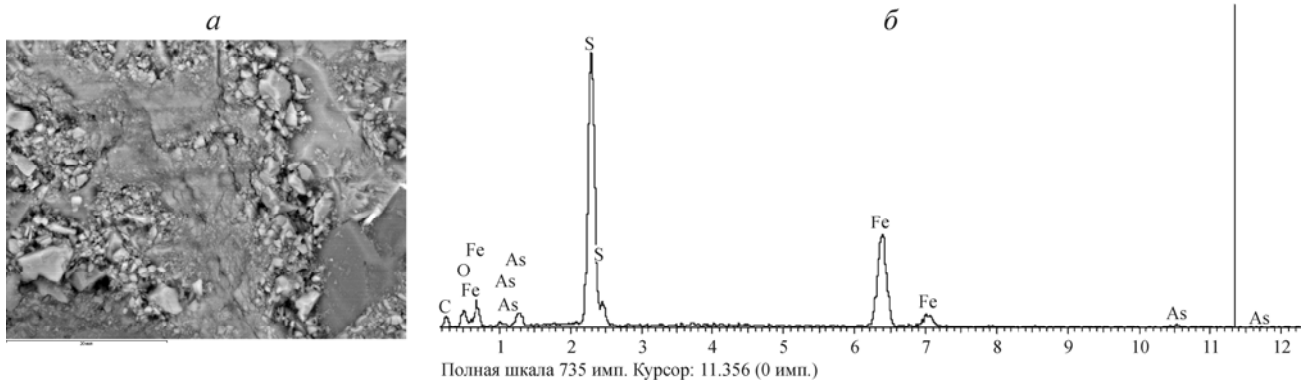


Рис. 4. Дарасунский пирит после ЭХП (а) и спектр измененной поверхности (б)

На рис. 5б, в показаны измененные в результате поляризации поверхности пирита в зависимости от времени электрохимического воздействия (30 мин и 2 ч).

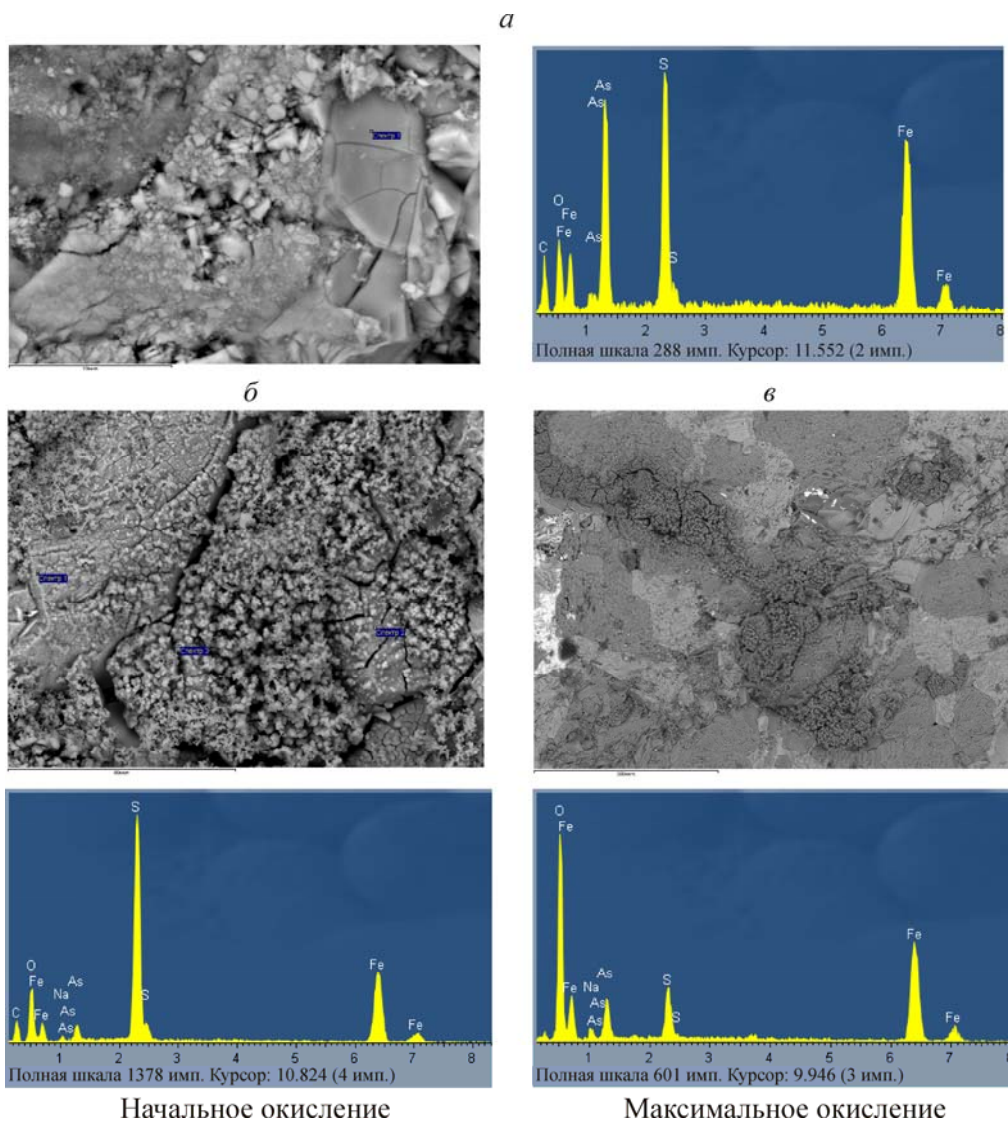


Рис. 5. Участки измененного дарасунского арсенопирита и пирита и спектры вновь образованных фаз в зоне начального и максимального окисления: а — арсенопирит; б, в — пирит при времени поляризации 30 мин (б) и 2 ч (в) соответственно

На отдельных участках можно проследить различные степени изменения поверхности пирита — участки начальных стадий изменения (корочка совсем тонкая, изменения в спектре практически не фиксируются) и более интенсивного окисления (толщина корочки возрастает и резко повышается интенсивность пика кислорода в спектре).

Вновь образованная кислородсодержащая фаза — это оксид, гидроксид или сульфат. Небольшое количество мышьяка в спектре измененного участка пирита обусловлено, скорее всего, частичным его захватом из матрицы арсенопирита.

Отметим, что изменения затронули не все зерна пирита в поле зрения, а только какую-то часть. Процессы окисления как арсенопирита, так и пирита носят избирательный характер.

Энергодисперсионный спектр новообразованной фазы соответствует спектру арсенопирита. Принципиальных изменений по сравнению со спектром неизмененных частей зерна не зафиксировано, в частности отсутствует характерный для подобных фаз пик кислорода. По всей вероятности, так же, как и в случае пирита, это связано с крайне незначительной толщиной образовавшейся корочки по сравнению с зоной генерации рентгеновского излучения. Попытки анализа при пониженных ускоряющих напряжениях не привели к каким-либо изменениям качественных спектров исследуемых участков. Следует подчеркнуть, что описанные изменения минеральной поверхности, произошедшие в результате электрохимического воздействия, наблюдаются на зернах арсенопирита, а не на других сульфидах, присутствующих в образце (пирите, сульфосолях, галените), что свидетельствует о меньшей устойчивости арсенопирита к воздействиям.

Анализ поверхностных соединений, образующихся на арсенопирите Восток-2 при катодной поляризации в режиме -250 мВ (рН 9.18), показал, что в целом по образцу в результате воздействия в основном изменена поверхность включений и прожилков в арсенопирите (рис. 6а).

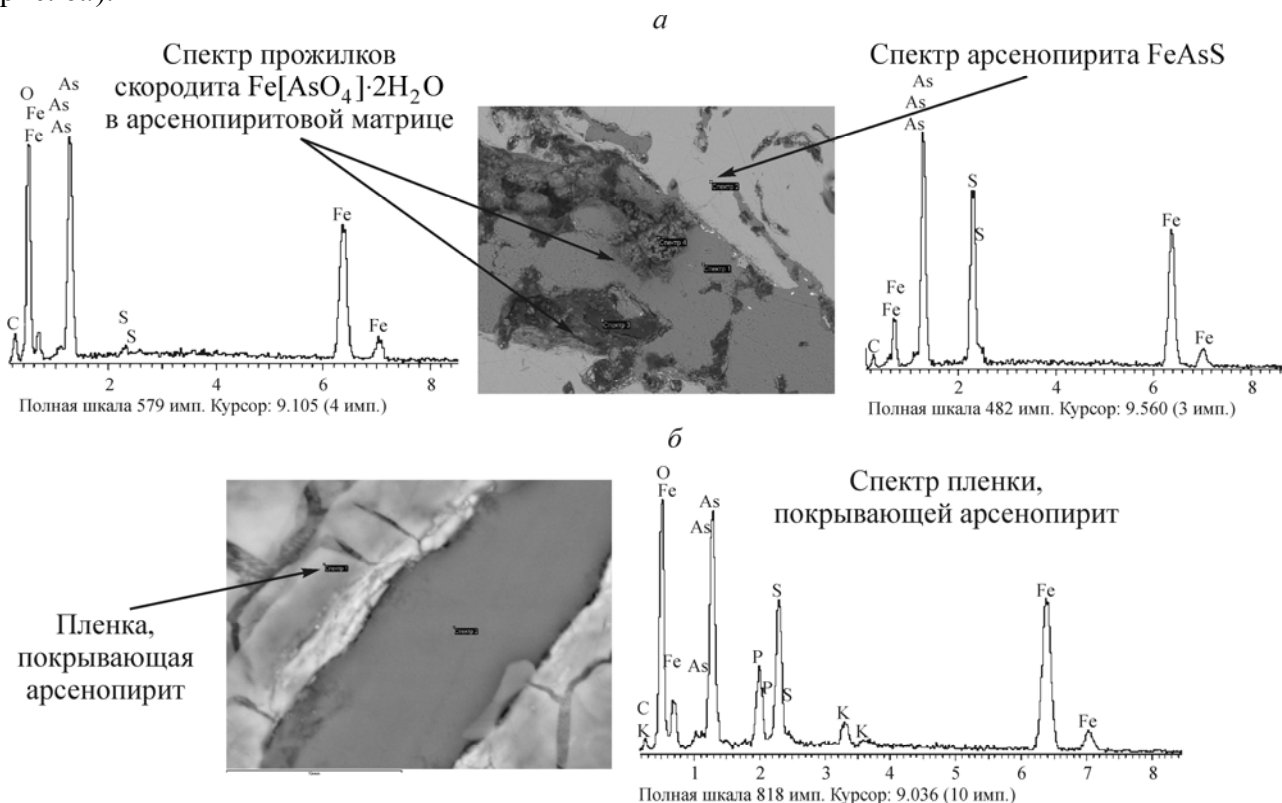


Рис. 6. Поверхность арсенопирита Восток-2 после катодной (-250 мВ, рН 9.18) (а) и анодной ($+250$ мВ, рН 6.86) (б) поляризации

На самом арсенопирите изменения (разрушение, разрыхление поверхности) отмечены только на контакте с включениями или прожилками скородита $\text{Fe}[\text{AsO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Глубокие полости в скородите, образовавшиеся после воздействия, заполнены преимущественно солями боратного буфера.

Новообразованные фазы локализованы на механических неоднородностях поверхности минерала (трещины, края зерна) и границах срастания минеральных зерен. Большая часть новообразований характеризуется повышенным относительно неизменной поверхности минералов содержанием кислорода, что свидетельствует об окисном характере вновь образованных соединений.

При анодной поляризации (+ 250 мВ, рН 6.86) вся поверхность арсенопирита покрыта плотной фосфорсодержащей пленкой, прожилки скородита чистые (рис. 6б). Прожилок скородита (темно-серый) в арсенопирите неизменный, пленка только на арсенопирите. Качественный спектр пленки, покрывающей арсенопирит, показывает наличие в ней следующих элементов: калия, фосфора и кислорода.

Поверхность березовского пирита после анодной поляризации (+ 250 мВ, рН 6.86) покрыта глобулярной пленкой солей фосфатного буфера. При катодной поляризации (–250 мВ) в нейтральной и щелочной среде поверхность минерала не претерпела изменений и идентична исходному образцу, спектры поверхности не содержат иных пиков, кроме пиков пирита.

Халькопирит после катодной поляризации (–250 мВ, рН 9.18) покрыт оксидами меди и железа на частично окисленных участках поверхности минерала (рис. 7).

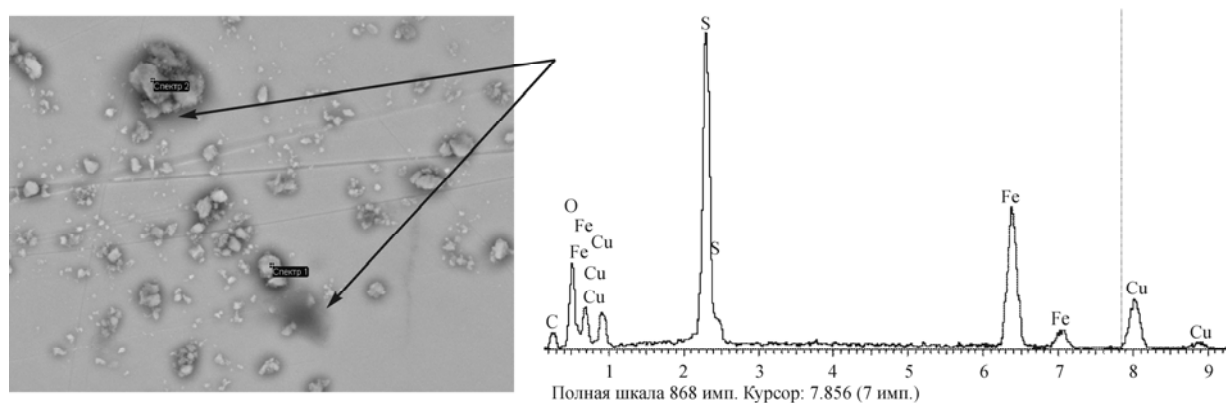


Рис. 7. Халькопирит после катодной поляризации (–250 мВ, рН 9.18)

Таким образом, в результате электрохимической поляризации происходят следующие изменения энергетического состояния сульфидных минералов и фазового состава поверхностных соединений, которые зависят от знака и величины потенциала поляризации, длительности воздействия и щелочности среды:

— **при катодной поляризации** в щелочной среде (–250 мВ, рН 9.18) снижение положительного потенциала поверхности арсенопирита (дарасунского и Восток-2) и березовского халькопирита сопровождается фазовыми превращениями на примесных включениях скородита $\text{Fe}[\text{AsO}_4]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в арсенопирите без изменения сульфидной фазы FeAsS арсенопирита и образованием оксидов меди и железа на изначально (до обработки) окисленных участках поверхности халькопирита. Электродный потенциал пирита (дарасунского и березовского) после катодной поляризации в аналогичных условиях (–250 мВ, рН 9.18) сохраняется на уровне исходных образцов минерала, поверхность не подвержена фазовым изменениям, спектры не содержат других пиков, кроме пиков FeS_2 , что может обеспечить высокую флотуруемость минерала;

— *при анодной поляризации* изменение электродного потенциала наблюдались только у пирита в нейтральной среде (+ 250 мВ, рН 6.86) (*в более положительную область*). Потенциал арсенопирита оставался без изменений как в нейтральной, так и щелочной среде, что, по-видимому, связано с наличием окисленных участков скородита и оксидов железа в исходном образце. Анодная поляризация в щелочной среде (+ 250 мВ, рН 9.18) не оказала влияния на электродный потенциал минералов. По данным микроанализа сульфидная фаза пирита FeS_2 и арсенопирита FeAsS покрыта тонкими окисленными пленками соединений железа и буферных растворов, что может привести к снижению флотуемости обоих минералов.

Влияние режима электрохимической поляризации на закрепление сульфгидрильного собирателя на пирите и арсенопирите. Протекание окислительно-восстановительных процессов с образованием новых фаз на поверхности сульфидов в результате электрохимической поляризации приводит к изменению их сорбционных свойств по отношению к собирателю в процессе флотации.

При изучении влияния режима электрохимической поляризации на закрепление сульфгидрильного собирателя на пирите Березовского месторождения в условиях флотации установлено, что *при анодной поляризации (потенциал + 250 мВ) в щелочной среде (рН 9.18)* поверхность минерала покрыта островковыми образованиями новой фазы, представленной преимущественно окисленными соединениями железа (рис. 8а), препятствующими адсорбции ксантогената. Идентичность микроснимков одного и того же участка поверхности минерала, полученных на лазерном сканирующем микроскопе KEYENCE до и после контакта с собирателем (рис. 8б), свидетельствует об отсутствии новых фаз собирателя на пирите.

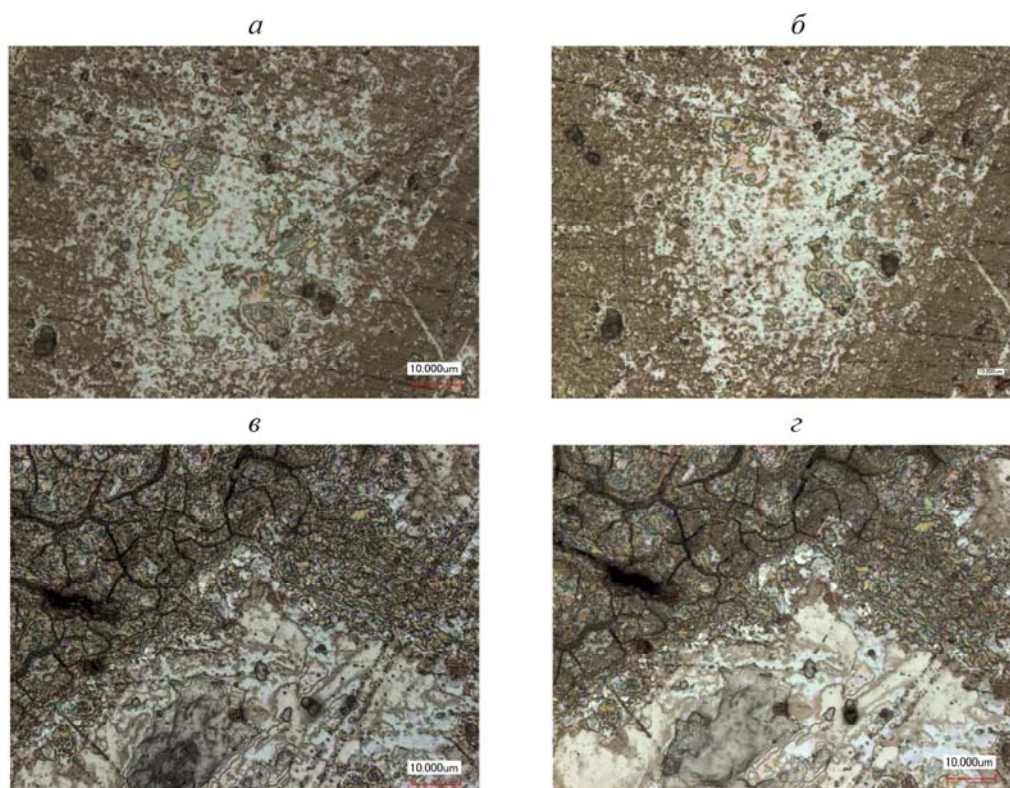


Рис. 8. Микрофотографии пирита березовского ($E = + 250$ мВ, рН 9.18) (а, б) и арсенопирита Восток-2 ($E = + 250$ мВ, рН 6.86) (в, г), полученные на лазерном сканирующем микроскопе KEYENCE (время поляризации 1 ч): а, в — без собирателя; б, г — с собирателем

При поляризации арсенопирита месторождения Восток-2 в аналогичных условиях (потенциал + 250 мВ) в нейтральной среде (рН 6.86) поверхность минерала также покрыта новообразованными окисленными фазами соединений железа и мышьяка (рис. 8в). После контакта с раствором собирателя на снимках поверхности окисленные фазы сохраняются на тех же участках и имеют вид и очертания, аналогичные исходным (рис. 8г).

Таким образом, согласно полученным результатам микроскопических исследований, в условиях длительной анодной поляризации происходит окисление поверхности пирита и арсенопирита и островковое формирование рыхлых фаз гидроксидов и оксидов железа (на пирите), гидроксидов и оксидов железа и мышьяка (на арсенопирите), препятствующих адсорбции ксантогената и снижающих флотуруемость этих минералов.

При катодной поляризации (потенциал – 250 мВ) в щелочной среде (рН 9.18) поверхность березовского пирита чистая, без окисленных пленок и новообразований (рис. 9а). Рентгеновские спектры поверхности пирита не содержат других пиков, кроме пиков железа и сульфидной серы, что свидетельствует о растворении пленок оксидов и гидроксидов железа с поверхности минерала.

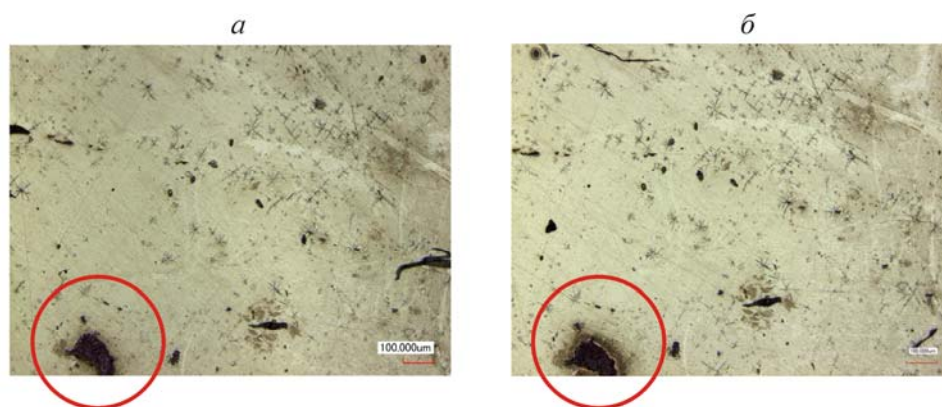


Рис. 9. Микрофотографии пирита березовского ($E = -250$ мВ, рН 9.18; время поляризации 1 ч), полученные на лазерном сканирующем микроскопе KEYENCE: а — без собирателя; б — с собирателем

После контакта с ксантогенатом на природных дефектах поверхности пирита наблюдается образование новых островковых фаз, свидетельствующее о закреплении собирателя на отдельных наиболее дефектных участках поверхности минерала (рис. 9б).

На микрофотографиях поверхности березовского пирита после контакта с ксантогенатом (рис. 10), полученных на сканирующем электронном микроскопе LEO 1420 VP (оснащенном рентгеноспектральным микроанализатором INCA Oxford350), появляются вновь образованные фазы (локализованные темные пятна), в рентгеновских спектрах которых отмечены пики углерода и кислорода. Появление пиков углерода и кислорода свидетельствует о закреплении углеродсодержащей фазы собирателя, что приводит к повышению гидрофобности поверхности и улучшению флотуемости пирита.

Лабораторные эксперименты по флотации дарасунского пирита и арсенопирита после предварительной электрохимической поляризации при постоянном потенциале показали, что в результате анодной обработки флотуемость пирита снизилась с 69 до 57 %, выход арсенопирита практически не изменился и составил 49–51 % (рис. 11). При катодной поляризации флотуемость обоих минералов повысилась на 4–5 %.

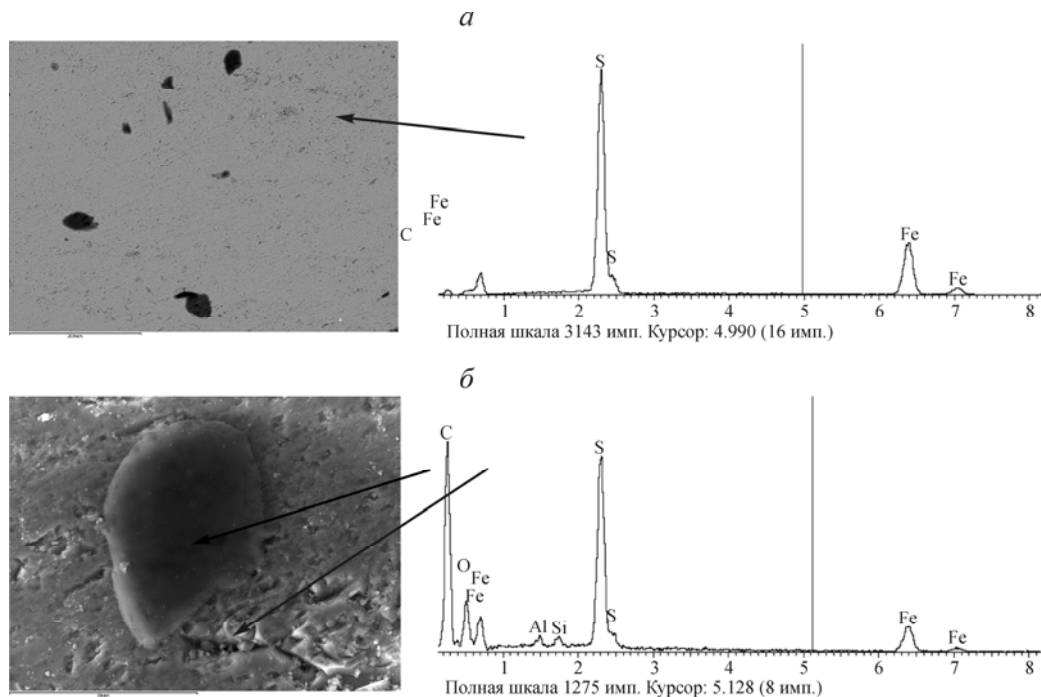


Рис. 10. Микрофотографии и рентгеновские спектры пирита березовского при катодной поляризации ($E = -250$ мВ, pH 9.18; время поляризации 1 ч), полученные на сканирующем электронном микроскопе LEO 1420 VP (рентгеноспектральный микроанализатор INCA Oxford350): *a* — без собирателя; *б* — с собирателем

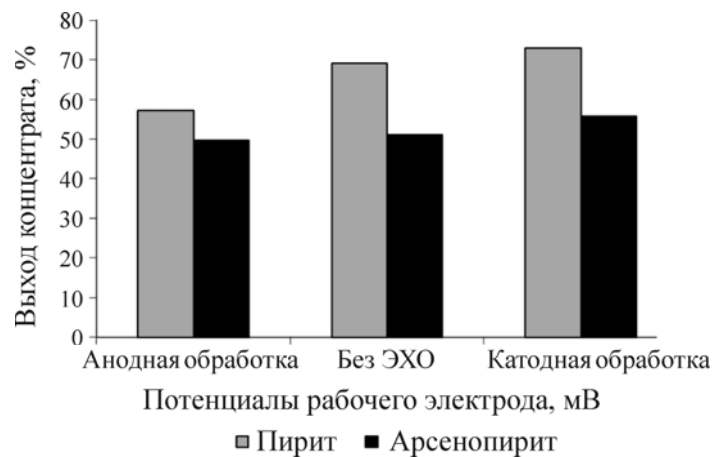


Рис. 11. Влияние электрохимической поляризации на флотацию дарасунского пирита и арсенопирита

ВЫВОДЫ

В результате электрохимической поляризации на поверхности пирита и арсенопирита образуются новые кислородсодержащие фазы, состав которых зависит от вида, интенсивности и длительности воздействия.

Изменения, зафиксированные в образце пирита, относятся преимущественно к зернам арсенопирита, присутствующим в образце. Новообразованные фазы локализованы на механических неоднородностях поверхности минерала (трещины, края зерна, границы срастания). Зна-

чительный по величине пик кислорода в энергодисперсионном спектре новообразованной фазы свидетельствует об окисном характере вновь образованных соединений железа, серы и мышьяка.

При электрохимической поляризации обнаружены новообразованные фазы как на пирите, так и на арсенопирите различной морфологии, характеризующиеся повышенным относительно неизменных минералов содержанием кислорода, что также свидетельствует об окисном характере новообразований.

Процессы окисления арсенопирита и пирита носят избирательный характер. Изменения затрагивают не все зерна пирита, а преимущественно наиболее дефектные.

Получены новые данные о механизме электрохимических воздействий на адсорбцию собирателя на поверхности пирита и арсенопирита при флотации. Установлено, что в результате длительной анодной поляризации происходит окисление поверхности сульфидных минералов (пирита и арсенопирита) с образованием островковых рыхлых фаз гидроксидов и оксидов железа и мышьяка (на арсенопирите), препятствующих адсорбции ксантогената и снижающих флотирuemость этих минералов. Катодная поляризация окисленного пирита способствует отслаиванию аморфных фаз оксидов и гидроксидов железа с поверхности минерала и закреплению собирателя на наиболее дефектных участках поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чантурия В. А., Вигдергауз В. Е.** Электрохимия сульфидов. — М.: Руда и металлы, 2008.
2. **Чантурия В. А., Лунин В. Д., Матвеева Т. Н., Иванов В. А.** Электрохимический метод пульпоподготовки — резерв повышения эффективности флотационного обогащения медно-никелевых руд // Цв. металлы. — 1992. — № 11.
3. **Чантурия В. А., Вигдергауз В. Е., Теплякова М. В., Громова Н. К.** Потенциостатическая обработка минеральных суспензий с целью регулирования их флотационных свойств // Электронная обработка материалов. — 1988. — № 2.
4. **Chanturiya V. A., Fedorov A. A., Matveyeva T.N.** Some basic mineralogical and electrophysical characteristics of auriferous pyrite and arsenopyrite flotation, The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection, 2003, Vol. 3, No. 2.
5. **Woods R.** Electrochemistry of sulfide flotation. Principals of mineral flotation, Parkville, 1984.
6. **Panayotov V., Panayotova M.** Electrochemical selection of polymetallic ores, XXIII IMPC, Istanbul, 2006, Vol. 1.
7. **Wang D., Qin W., Gu G., Song Y., Dong Q.** Electrochemistry of flotation. The potential control flotation technology of sulfide minerals, XXIII IMPC, Istanbul, 2006, Vol. 1.
8. **Chattopadhyay A., Gorain B.** Gold deportment studies on a copper-gold ore — a systematic approach to quantitative mineralogy focusing on diagnostic metallurgy, XXVI IMPC, New-Delhi, 2012.
9. **Agorhom E. A., Swierczek Z., Skinner W., Zanin M.** Combined QXRD-QEMSCAN mineralogical analysis of a porphyry copper-gold ore for the opyimization of the flotation strategy, XXVI IMPC, New-Delhi, 2012.
10. **Чантурия В. А., Бунин И. Ж., Ковалев А. Т., Копорулина Е. В.** О процессах формирования микро- и нанофаз на поверхности сульфидных минералов при воздействии наносекундных электромагнитных импульсов // Изв. РАН. Сер. физ. — 2012. — Т. 76. — № 7.

Поступила в редакцию 4/IV 2013