

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лепихин А.П., Опутин М.А. Особенности гидрологического режима зоны выклинивания подпора Камского водохранилища и его влияние на устойчивость технического водоснабжения предприятий г. Березники // Горное эхо. – 2024. – № 1 (94). – С. 7-12. – DOI: 10.7242/echo.2024.1.2.
2. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Т. 9. Ч. I. Река Кама от поселка Керчевский до города Чайковский. – СПб.: ГБУ «Волго-Балт», 2018. Атлас единой глубоководной системы Европейской части РФ. Т. 9. Ч. I. Река Кама от поселка Керчевский до города Чайковский: составлен по данным на начало навигации 2000 г. – СПб.: М-во транспорта РФ, Речфлот, 2000.
3. Куликов Г.И. Влияние сброса химической промышленности на минерализацию воды Камского водохранилища в районе г. Березники // Материалы всесоюзного совещания по вопросам эксплуатации Камского водохранилища. – Пермь, 1959. – Вып. 2. – С. 1-13.
4. Лепихин А.П., Веницианов Е.В., Любимова Т.П., Тиунов А.А., Паршакова Я.Н., Ляхин Ю.С., Богомолов А.В. Влияние вертикальной неоднородности водных масс на устойчивость промышленного водоснабжения в зонах высокой техногенной нагрузки // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2021. – № 4. – С. 53-63. – DOI: 10.17076/Lim1419.
5. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С., Паршакова Я.Н. Плотностные эффекты, обусловленные неоднородностью распределения минерализации воды различного генезиса в равнинных водохранилищах // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2024. – Т. 60, № 4. – С. 533-544. – DOI: 10.31857/S0002351524040094.
6. Лепихин А.П., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С., Опутин М.А., Синцова Т.Н., Исахов А.А. Опыт применения логгеров для исследования динамики состояния водных объектов, расположенных в зонах активного техногенеза // Водное хозяйство России: Проблемы, технологии, управление. – 2024. – № 6. – С. 81-94. – DOI: 10.35567/19994508-2024-6-81-94.
7. Лепихин А.П., Любимова Т.П., Богомолов А.В., Опутин М.А., Синцова Т.Н. Особенности внутрисуточных колебаний показателей качества воды, наблюдаемых в Камском водохранилище // Географический вестник. – 2024. – № 3. – С. 70-82. – DOI: 10.17072/2079-7877-2024-3-70-82.

УДК 549.324.31:[552.542+553.632]

DOI:10.7242/echo.2025.1.2

**ТИПОМОРФНЫЕ ПРИЗНАКИ ПИРИТА ИЗ ПОДСОЛЯНЫХ МЕРГЕЛЕЙ
ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ
(НА ПРИМЕРЕ ИЗВЕРСКОГО УЧАСТКА)**

О.В. Коротченкова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В мергелях, подстилающих соляную залежь Верхнекамского месторождения калийных солей, присутствует пиритовая минерализация. Выделено несколько генераций, которые отличаются по морфологии кристаллов и стяжений, условиям образования, а также по времени формирования относительно стадий литогенеза. Приведена характеристика и генезис каждой из них. Определено, что специфика пиритовой минерализации подсоляных пород месторождения обусловлена эвапоритовыми условиями осадконакопления, наличием терригенной примеси глинистого и органического материала, а также миграцией рассолов на стадии катагенеза.

Ключевые слова: пирит, Верхнекамское месторождение калийных солей, эвапоритовое минералообразование, сульфатредукция.

Введение

К настоящему времени кадастр минералов, обнаруженных в породах Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМС), насчитывает около 150 видов, которые по условиям образования подразделяются на несколько групп (диагенетические, катагенетические, терригенные и др.). Некоторые минералы являются «сквозными» и формируются на разных стадиях преобразования соляных пород, а какие-то характерны для конкретной стадии, то есть могут служить индикаторами. Поэтому изучение особенно-

стей минерального состава пород помогает нам решать прикладные задачи, например, определение степени преобразования пород, а также в целом дополнить наши знания об эволюции процессов минералообразования.

Одним из таких «сквозных» минералов на ВКМС является пирит. Он широко распространен в земной коре, образуясь в разнообразных геологических условиях, как в связи с глубинными магматическими процессами, так и при накоплении осадков на поверхности Земли. По сути, для его формирования требуются восстановительные условия, железо и сероводород. Причем сероводород может иметь как абиогенную, так и биогенную природу в процессе жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий.

В разрезе надсоляных пород Верхнекамского месторождения он фиксировался задолго до начала промышленной разработки солей. Еще в 19 веке при проходке рассольных скважин его наблюдали во вскрываемых породах. Сегодня нам известны находки пирита на всех стратиграфических уровнях надсоляных, соляных и подсоляных отложений. В настоящей публикации приведены результаты исследования пирита из подстилающих соляную залежь пород.

Фактический материал и методы исследования

Для изучения был взят керн скважины, пройденной на Изверском участке ПАО «Уралкалий» и вскрывшей нижнюю часть подстилающей каменной соли (ПдКС) и небольшую (~ 8 м) часть глинисто-ангидритовой толщи (ГАТ). Образцы пород были исследованы с помощью стереомикроскопа Stemi 508 (Carl Zeiss, Germany) с универсальной цветной цифровой камерой Zeiss AxioCam 208 с разрешением 8,3 мегапикселей и сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) VEGA 3 LMH с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Oxford Instruments INCA Energy 250/X-max 20 (Tescan, Чехия) на базе Горного Института УрО РАН.

Результаты изучения пирита подсоляных мергелей

Ранее [1] уже отмечалась главная особенность Изверского участка – его крайнее восточное положение и связанное с этим увеличение количества и мощности глинистых прослоев в соляной залежи. При визуальном сравнении подсоляных пород с аналогичным интервалом западных участков, например, Романовского, заметно, что в изверских осадках и в досоляное время превалировал терригенный снос – глина, песок, фрагменты растений и даже животных, которые приносились водными потоками.

Исследованные нами интервалы в нижней пачке ПдКС и ГАТ сложены мергелями глинистыми серыми, светло-коричневыми, бежево-серыми пелитоморфными тонкослоистыми, листоватыми. В подчиненном количестве встречаются прослои серых ангидритовых пород и песчаников полимиктовых; в значительных количествах присутствуют флористические и фаунистические остатки. Кроме того, в породах наблюдаются трещины, выполненные галитом.

Для пирита в изученных породах характерно несколько генераций, отличающихся по морфологии, локализации в породе и по времени образования.

Первая генерация представлена субмикронными идиоморфными кристаллами, относительно равномерно рассеянными в основной массе мергеля (рис. 1). Ее формирование мы связываем с преобразованием органического вещества на стадии раннего диагенеза.

Вторая генерация это субскелетные кристаллы, видимые в том числе невооруженным глазом, их размер может достигать первых сантиметров (рис. 2). Очень часто в них наблюдаются включения частиц вмещающего мергеля, а также кристаллов первой генерации. Их отличительной особенностью является неравномерное формирование кристалла в результате анизотропности вмещающей породы, что позволяет предполагать их образование на стадии позднего диагенеза за счет собирательной кристаллизации.

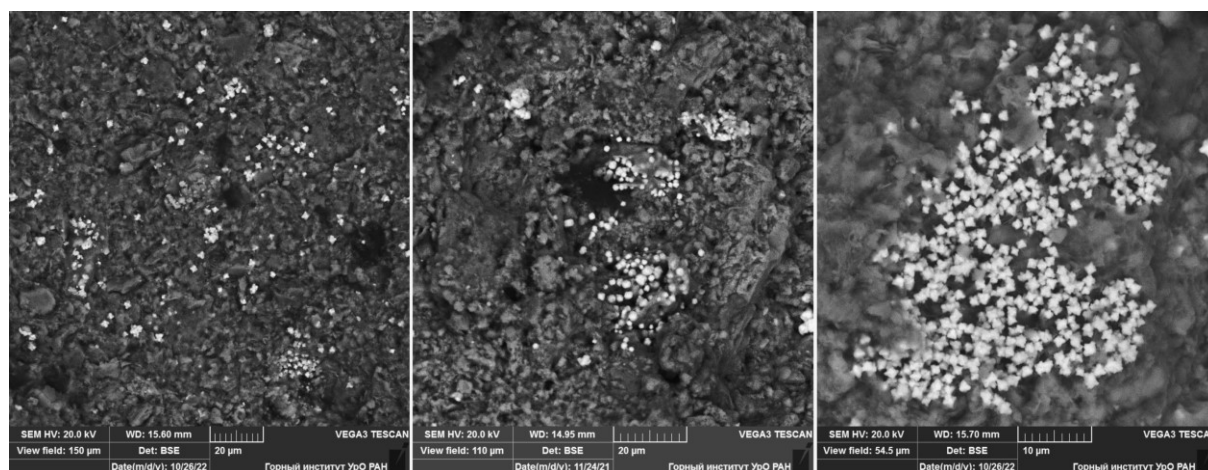


Рис. 1. Субмикронные октаэдрические кристаллы пирита первой генерации, рассеянные в мергеле



Рис. 2. Субскелетные кристаллы пирита второй генерации

Третья генерация представляет собой дисковидные стяжения часто с галитовой «юбочкой» желтого цвета, ориентированные согласно слоистости и протяженностью первые сантиметры при толщине первые миллиметры (рис. 3). На микроуровне заметно их параллельно-шестоватое строение и наличие поперечной просечки. В них также присутствуют фрагменты вмещающей породы. Вероятно, стяжения формировались на стадии (соскладчатого) катагенеза, когда вмещающая среда уже имела слоистое строение. На участках локального расслаивания за счет собирательной кристаллизации пирит образовывал параллельно-шестоватый агрегат, индивиды которого ориентированы поперек слоистости. Позднее свободное пространство полости заполнилось галитом.

Четвертая генерация это редкие стяжения, как правило, неправильной формы размером до 5 см, относительно вытянутые вдоль слоистости, часто сопровождающиеся ореолом битуминизации и характерным запахом (рис. 4). На микроуровне заметно их сложное строение и полиминеральный состав. Основная масса их выполнена микрокристаллическим агрегатом пирита с фрагментами вмещающей породы. Внутреннее строение стяжений неоднородное – присутствуют мелкие (до первых миллиметров) каверны с аутигенной минерализацией на стенках – корочковидные агрегаты идиоморфного пирита, радиально-лучистые агрегаты призматических кристаллов метасидеронатрита, единичные идиоморфные кристаллы серы размером ~15 мкм; полость каверн выполнена призматическими кристаллами ангидрита, кальцита, реже доломита, кварца и заполняющим галитом. В качестве аксессуарных минералов в галите зафиксированы ксеноморфные микрозерна сфалерита.

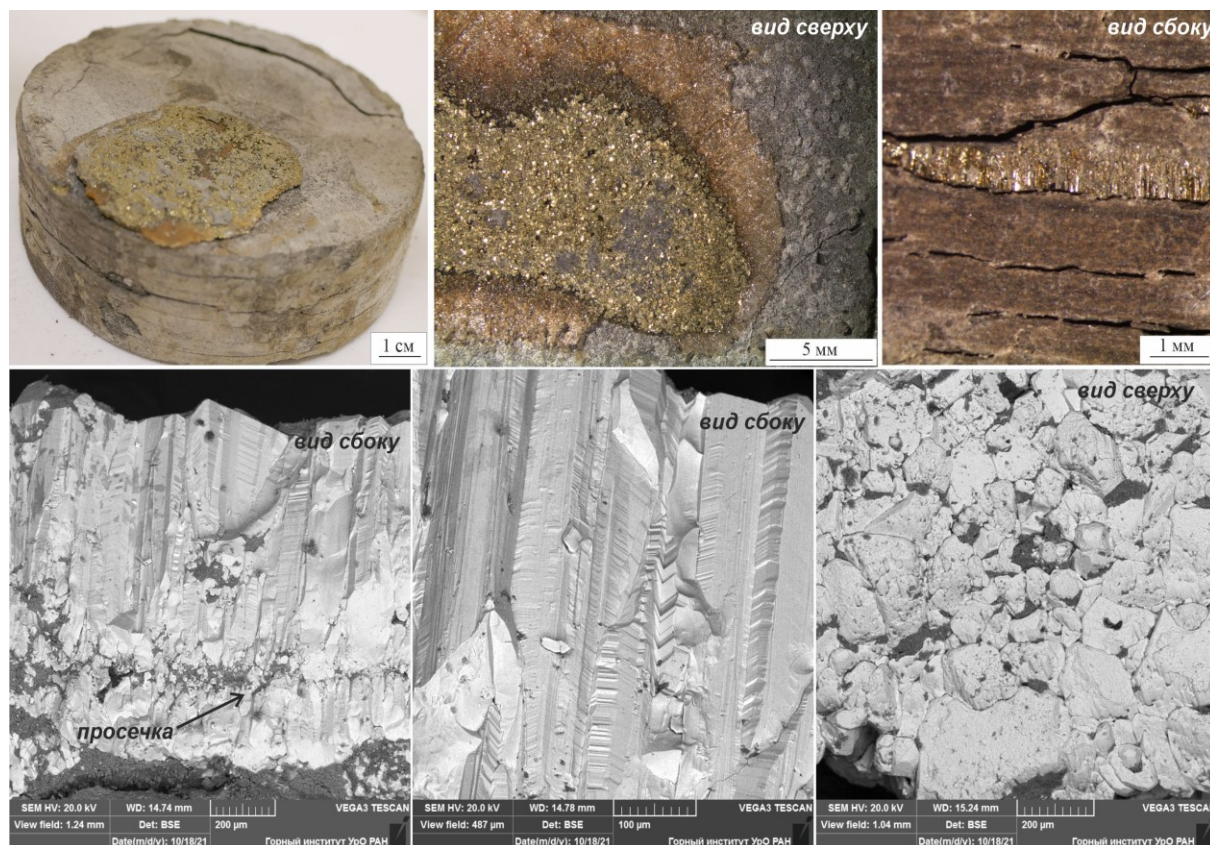


Рис. 3. Дисковидные стяжения пирита третьей генерации.
На СЭМ-фото видны включения вмещающей породы (темно-серое)

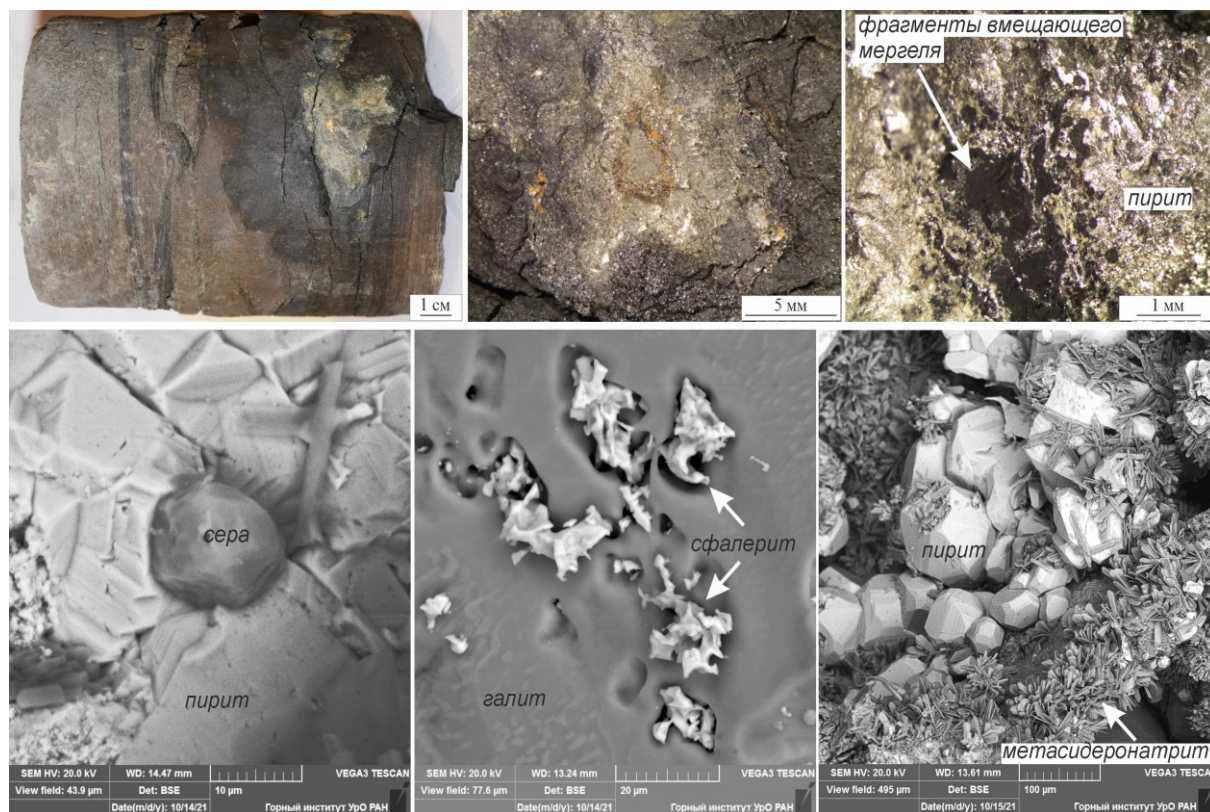


Рис. 4. Крупные пиритовые стяжения четвертой генерации и детали их строения.
Заметен ореол битуминизации

К этой же генерации можно отнести и выявленные в мергелях нижней пачки ПдКС единичные черные включения проблематичных псевдоморфоз (по органике) (рис. 5). Они имеют искаженную уплощенно-дипирамидальную форму (с вогнутыми гранями) и пирит-кальцитовый состав – черные микросферолиты пирита рассеяны в желтовато-белом кальцитовом агрегате («цементе»). Здесь также отмечается и другая генерация пирита – более крупные пойкилокристаллы с включениями микросферолитов, образовавшиеся за счет собирательной кристаллизации; часто они образуют футляровидные агрегаты (рис. 5, нижний ряд фото). В некоторых псевдоморфозах зафиксированы включения относительно крупных (до 0,5 мм) тетрагон-триоктаэдрических кристаллов анальцима бесцветного.

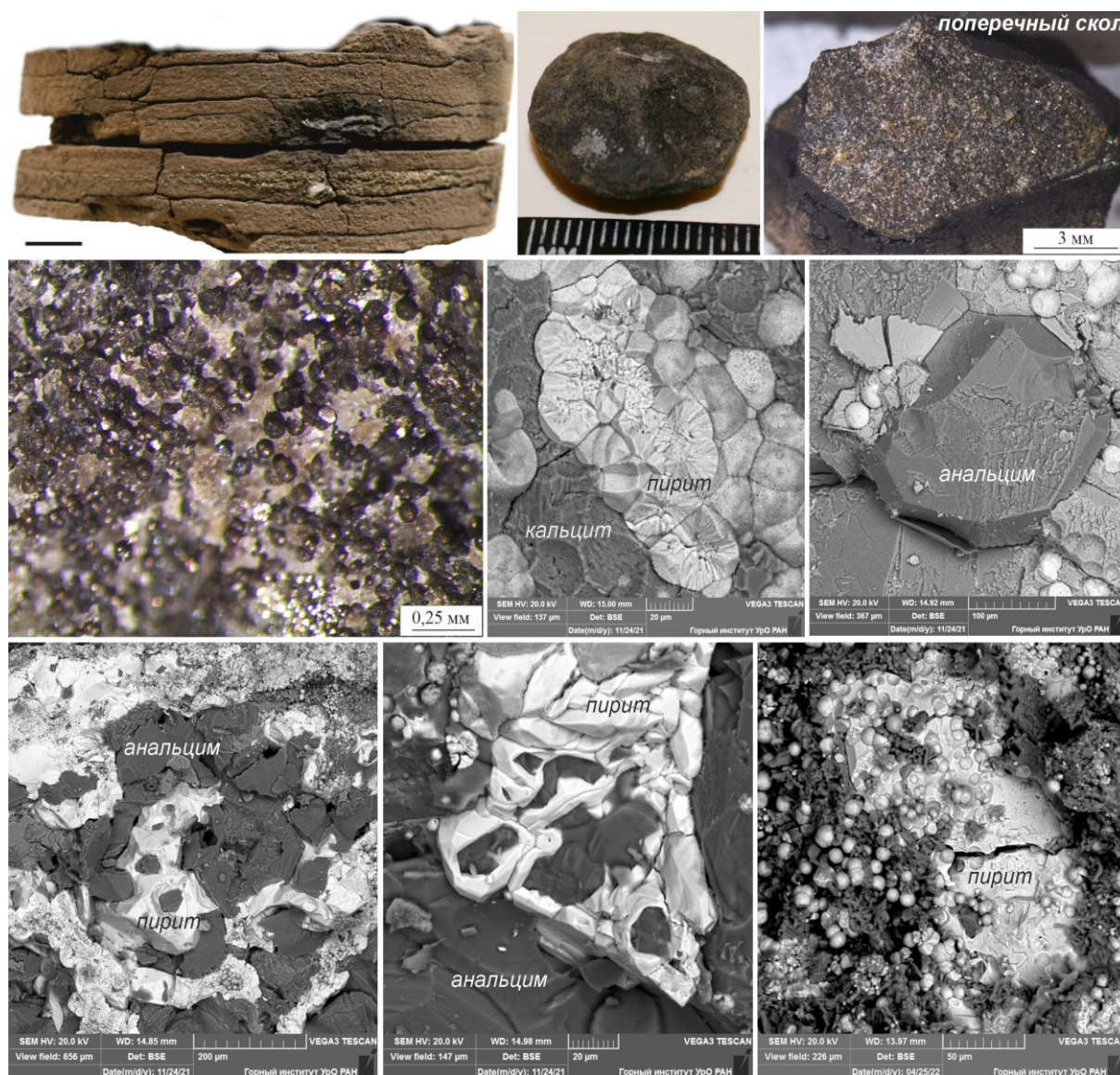


Рис. 5. Пиритовые стяжения четвертой генерации и детали их строения

Пятая генерация пирита – идиоморфные кристаллы размером от долей миллиметра до первых миллиметров – фиксируется в согласных и секущих прожилках селенита в мергелях. Локализация в трещинах в ассоциации с гипсом указывает на их образование на стадии (соскладчатого) катагенеза за счет abiogenic source of sulfur.

Обсуждение и заключение

Известно, что образование пирита в морских осадках начинается уже на стадии раннего диагенеза за счет микробной сульфатредукции [2]. Этому способствует наличие в осадке сульфат-ионов, рассеянного органического вещества и железосодержащих минералов. Существование таких условий в Соликамской впадине способствовало образованию пирита первой генерации. Источником железа являлись глинистые минералы, привносимые, как и растительный детрит, в значительных количествах в бассейн с материка (терригенный снос) и подвергшиеся гидролизу.

Дальнейшее диагенетическое преобразование осадка (его уплотнением, формированием более отчетливой слоистости) и процессы собирательной перекристаллизации рассеянной раннедиагенетической пиритовой минерализации привели к формированию субскелетных кристаллов второй и стяжений третьей генераций.

Неправильная форма, ореол битуминизации и полиминеральный (с элементами парастерезиса) состав стяжений четвертой генерации указывают на длительную историю их образования и более сложную эволюцию минералообразующих процессов. Предполагается, что их формирование и преобразования длились весь диагенез и продолжились на катагенезе; источником серы могли служить как органический материал, так и сульфатные минералы (биогенный и абиогенный источник). На разных этапах на этих участках происходили процессы сульфатредукции, гидролиз алюмосиликатной терригенной составляющей с высвобождением железа и кремния (пирит, сфалерит, кварц, анальцит), перекристаллизация карбонатной составляющей мергелей (кальцит, доломит), окисление пирита в присутствии соленых вод (метасидеронатрит по [3]).

Локализация пирита пятой генерации в селенитовых прожилках, в том числе секущих, позволяет связать его образование с рассольной абиогенной сульфатредукцией на стадии соскладчатого катагенеза.

В целом можно сказать, что на процессы пиритового минералообразования в подсоляных породах Верхнекамского месторождения значительно влияли терригенный материал, сносимый с материка, как источник железа и органического материала; эвапоритовые условия осадконакопления (наличие сульфат-иона) и катагенетические преобразования толщи (миграция соленых вод).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (рег. номер НИОКТР 124020500052-9).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коротченкова О.В. Новые данные о глауберите Верхнекамского месторождения солей // Горное эхо. – 2023. – № 2 (91). – С. 10-14. – DOI: 10.7242/echo.2023.2.2.
2. Berner R.A. Sedimentary pyrite formation: An update // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1984. – V. 48, № 4. – P. 605-615.
3. Fitzpatrick R., Shand P., Raven M., McClure S. Occurrence and environmental significance of sideronatrite and other mineral precipitates in acid sulfate soils // 19th World Congress of Soil Science, Soil solutions for a changing world, 1–6 august 2010. – Brisbane, Australia, 2010. – P. 80-83.