

ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГИДРОЛОГИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 549.4:552.53/.54

DOI:10.7242/echo.2022.4.1

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДСОЛЯНЫХ ПОРОД ИЗВЕРСКОГО УЧАСТКА ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ

О.В. Коротченкова, Т.В. Фадеева
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Изучение керна скважины, пройденной на Изверском участке Верхнекамского месторождения солей, позволило определить некоторые особенности минералообразования доэвапоритового времени. Зафиксированы несколько морфологических разновидностей пирита, экзотические минеральные фазы (метасидеронатрит, самородная сера), а также редкие находки насекомых. Минералого-петрографический облик изученных пород обусловлен, прежде всего, краевым положением участка в период накопления осадка на стадии седиментогенеза (значительный привнос глинистого материала и органического вещества), а также постдиагенетическими преобразованиями, связанными с деформацией толщи.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение солей, глинисто-ангидритовая толща, минералогия, петрография, пирит, метасидеронатрит, подсоляные отложения, диагенез, сульфатредукция.

Введение

Верхнекамское месторождение солей разрабатывается со второй четверти 20 века и с этого же времени для целей его разработки ведется проходка скважин, которые вскрывают, как правило, только соляной разрез. Относительно же редкие более глубокие выработки документировались главным образом с целью структурных исследований, поэтому данных по минералогии и петрографии подсоляного разреза ВКМС в литературе ничтожно мало.

Изверский участок расположен на восточной окраине ВКМС. Пройденная здесь в 2021 г. ПАО «Уралкалий» скважина вскрыла разрез до кровли глинисто-ангидритовой толщи (ГАТ), подстилающей соляную залежь. Это дало возможность детально исследовать петрографию и минералогию пород.

Фактический материал и методы исследования

В качестве фактического материала для исследования пород ГАТ послужил керн (около 9 м) скважины № 1121.

Изучение структурно-текстурных особенностей пород проводилось макроскопически (визуальный осмотр). Выявление и диагностика минералов, исследование насекомых выполнялись посредством стереомикроскопов Leica MZ16 и Stemi 508 (Zeiss) с универсальной цветной цифровой камерой Zeiss AxioCam 208 с разрешением 8,3 мегапикселей, а также сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 LMN с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Oxford Instruments INCA Energy 250/X-max 20 (Tescan) на базе ГИ УрО РАН. Для детальной прорисовки фрагментов насекомых использовался графический монитор Wacom Cintiq 16.

Петрографическая характеристика пород глинисто-ангидритовой толщи

Вскрытый разрез толщи представлен преимущественно мергелями. В подчиненном количестве присутствуют прослой и линзы песчаников мощностью от 0,1 до 10 см.

Угол слоистости пород варьирует от 0 до 5°, в единичных случаях может достигать 70°. В кровле толщи залегает прослой мощностью около 80 см ангидрит-доломитовой породы.

Мергели серые, коричнево-серые, прослоями доломитовые бежево-серые, пелитоморфные тонкослоистые, листоватые (рис. 1а, б, г). В отдельных интервалах породы частично декарбонатизированы до мергеля глинистого. Слоистая текстура изредка осложняется пластическими и хрупкими деформациями с формированием изогнуто-слоистых текстур и секущих и субогласных минерализованных трещин (прожилков галита, реже селенита) мощностью до 1 см (рис. 1в). На стенках трещин зафиксированы зеркала скольжения.

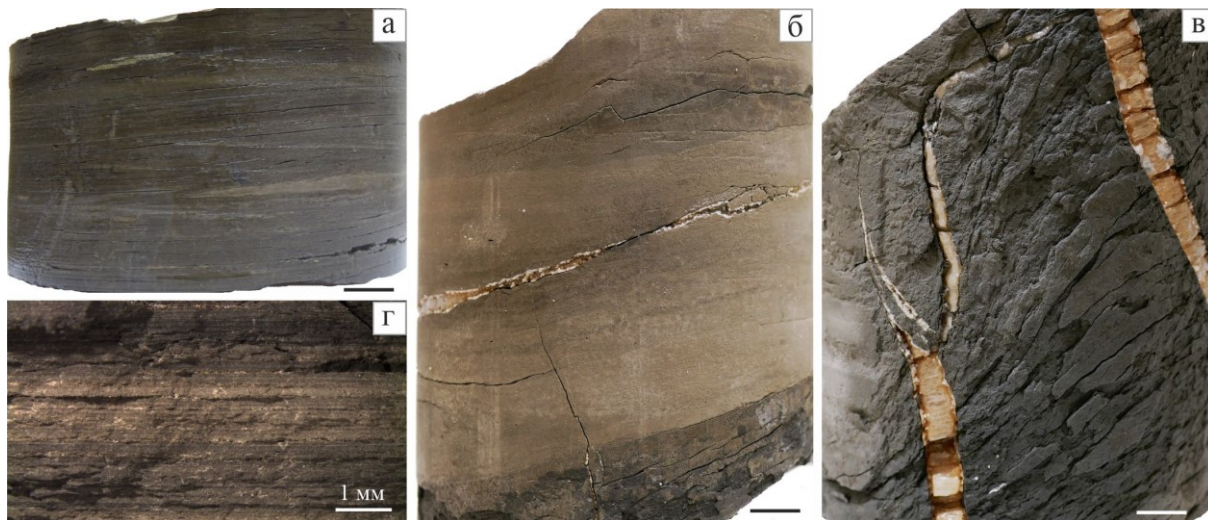


Рис. 1. Петрографические особенности мергелей ГАТ:

- а – мергель серый листоватый; б – мергель доломитовый с доломит-галитовым прожилком;
- в – изогнуто-слоистая текстура мергеля глинистого и секущие прожилки галита оранжевого в нем;
- г – тонкое переслаивание мергеля известкового серого и мергеля доломитового бежевого

В основной массе мергелей относительно равномерно рассеяны коричневые и черные частицы растительного детрита алевритовой или песчаной размерности. Некоторые прослои обогащены более крупными флористическими остатками размером до нескольких сантиметров с реликтовым волокнистым строением (рис. 2). Все частицы углефицированы, некоторые имеют антрацитовидный облик и раковистый излом.

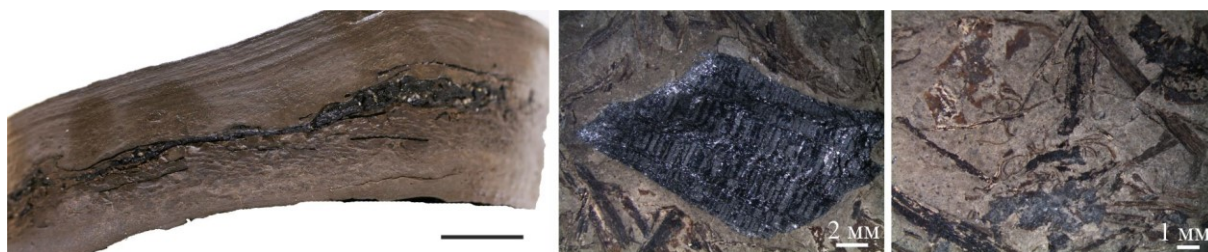


Рис. 2. Прослой в мергеле, обогащенный углефицированными флористическими остатками (в разрезе и в плане)

В единичном случае в мергеле обнаружены отпечатки двух особей (имаго) насекомых из отряда веснянок (рис. 3), предварительно отнесенных к *Perlopsis* cf. *filicornis*. Ископаемая веснянка *Perlopsis filicornis* описана ранее по экземплярам из нижнеперм-

ских отложений (кунгурский ярус) левого берега р. Сылвы около д. Чекарда, (Суксунский район Пермского края) [3, 4, 6].

Отряд Perlida (=Plecoptera) Latreille, 1802

Подотряд Perlipseina Martynov, 1940

Семейство Perlipseidae Martynov, 1940

Род *Perlopsis* Martynov, 1940



Рис. 3. Фотография и штриховой рисунок отпечатка и противоотпечатка *Perlopsis* cf. *Filicornis*

Описание и сравнение. Длина крыла более 14 мм. Жилкование фрагмента переднего крыла соответствует общей схеме крыльев веснянок [4]. Передний край крыла прямой, RS четырехветвистый (рис. 4). В кубитальном слое несколько поперечных жилок. SC длиннее половины общей длины крыла. Вершина SC впадает в R почти на уровне r-rs. Перечисленные признаки переднего крыла характерны для экземпляров типового вида *Perlopsis filicornis* Martynov, 1940 [4]. Однако в исследуемом экземпляре крыла (рис. 4а, 5а) жилка C-SC, впадающая в C, расположена практически на одном уровне с вершиной SC (у *P. filicornis* это впадение расположено немного проксимальнее вершины SC (рис. 4б)). Церки короткие, членистые (не менее пяти члеников) (рис. 3, 5б).

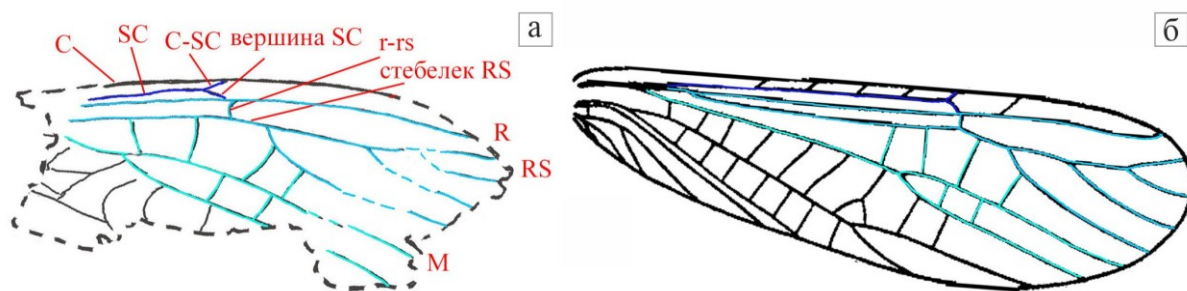


Рис. 4. Схема фрагмента исследуемого крыла с обозначением жилкования (а) и переднее крыло *Perlopsis filicornis* по [6, рис. 347Б, стр. 135, с изменениями] (б)

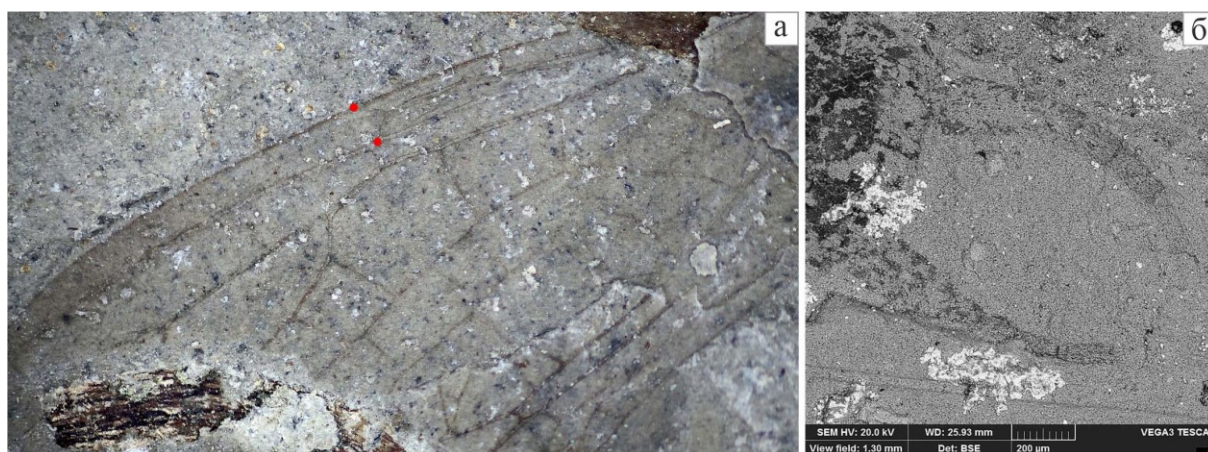


Рис. 5. Детали строения *Perlopsis filicornis* из мергелей ГАТ:

а – фрагмент переднего крыла, где красными точками обозначены место впадения C-SC в C и вершина SC, расположенные практически на одном уровне; б – короткие многочлениковые церки

Песчаники полимиктовые серые мелкозернистые массивные (рис. 6) с кальцитовым цементом порового типа, часто отмечается рассеянная пиритовая вкрапленность.

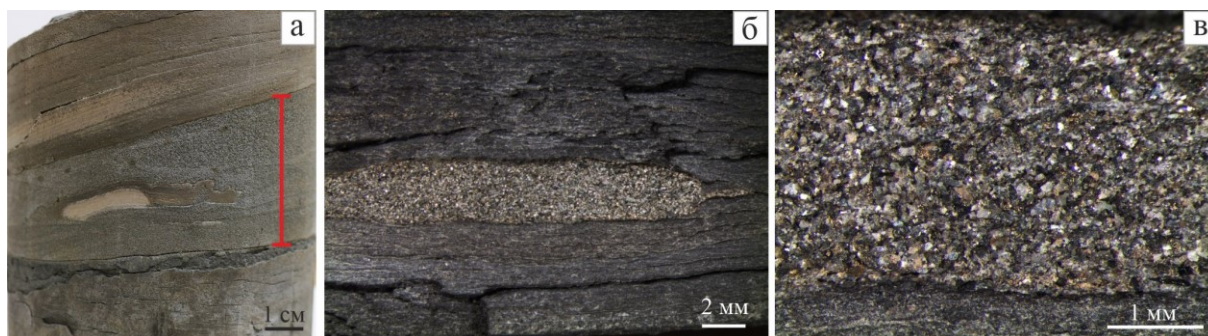


Рис. 6. Петрографические особенности песчаников ГАТ: а – прослой; б – линза; в – полимиктовый состав песчаника и пиритовая вкрапленность в нем

Ангидрит-доломитовая порода. Прослой в кровле ГАТ представляет собой доломитовую породу глинистую светло-коричневую микрокристаллическую с фрагментами ангидритовой породы светло-серой, белой желваковой (рис. 7). Фрагменты имеют неправильную форму и размеры до 15 см. Для породы характерна перемятая текстура за счет проявления пластических деформаций.

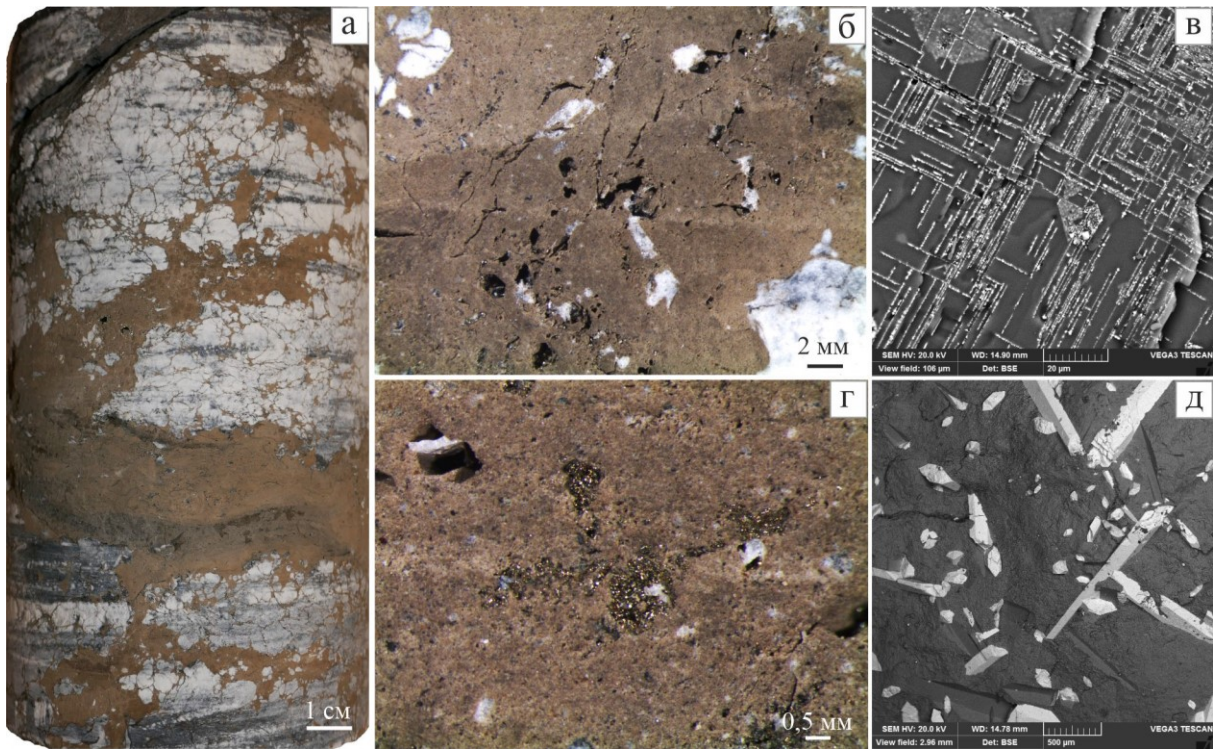


Рис. 7. Детали строения ангидрит-доломитовой породы из кровли ГАТ:

- а – общий вид; б – деформированные полости, оставшиеся после частичного выщелачивания галита; в – сетка субскелетных кристаллов пирита в галите; г – псевдоморфоза пирита по «лодочке» галита; д – новообразованные кристаллы целестина в ангидритовой породе

Минералогическая характеристика пород ГАТ

В целом породы соленасыщены, на что указывает наличие рассеянных мелких включений галита – субмикронного размера в мергелях и видимых невооруженным глазом в ангидрит-доломитовой породе.

Наиболее существенной особенностью пород толщи является наличие пиритовой минерализации. Зафиксировано несколько генераций пирита, отличающихся по морфологии.

1. Тонкодисперсный пирит. Рассеян в основной массе мергелей в виде субмикронных октаэдрических кристаллов, идиоморфных пойкилокристаллов размером до 50 мкм или фрамбоидальных агрегатов (рис. 8д). Аналогичный пирит формируется и в песчаниках (рис. 6в), причем как внутри песчаника, так и по периферии отдельных линзочек.

2. Дисковидные стяжения размером первые сантиметры и мощностью первые миллиметры, выполненные параллельно-шестоватым агрегатом пирита, с галитовой «юбочкой» (рис. 8а-г). Стяжения ориентированы согласно слоистости, а в поперечном сколе отмечается наличие просечки и фрагментов вмещающей породы.

3. Единичные относительно крупные (до 5 см) стяжения пирита в ореоле битуминизации (рис. 9). Стяжения имеют неправильную форму, в целом ориентированную согласно слоистости, и сложены микрокристаллическим агрегатом пирита. В нем диагностируются мелкие каверны, стенки которых выполнены субидиоморфнозернистым агрегатом пирита, а в полостях наблюдаются идиоморфный ангидрит, радиально-лучистые агрегаты призматических кристаллов (метасидеронатрита $(Na_2Fe(SO_4)_2(OH) \cdot H_2O)$ и сидеронатрита $(Na_2Fe(SO_4)_2(OH) \cdot 3H_2O)$), кристаллы кварца, кальцита, доломита и редкие идиоморфные кристаллы серы размером ~15 мкм. Интерстиции выполнены галитом с редкими включениями скелетных микрокристаллов сфалерита.

4. Пирит часто «инкрустирует» углефицированные органические остатки (рис. 8е-ж), как рассеянные в объеме породы, так и локализованные в прослоях.

5. Идиоморфные микровключения пирита наблюдаются в селенитовых прожилках в мергелях.

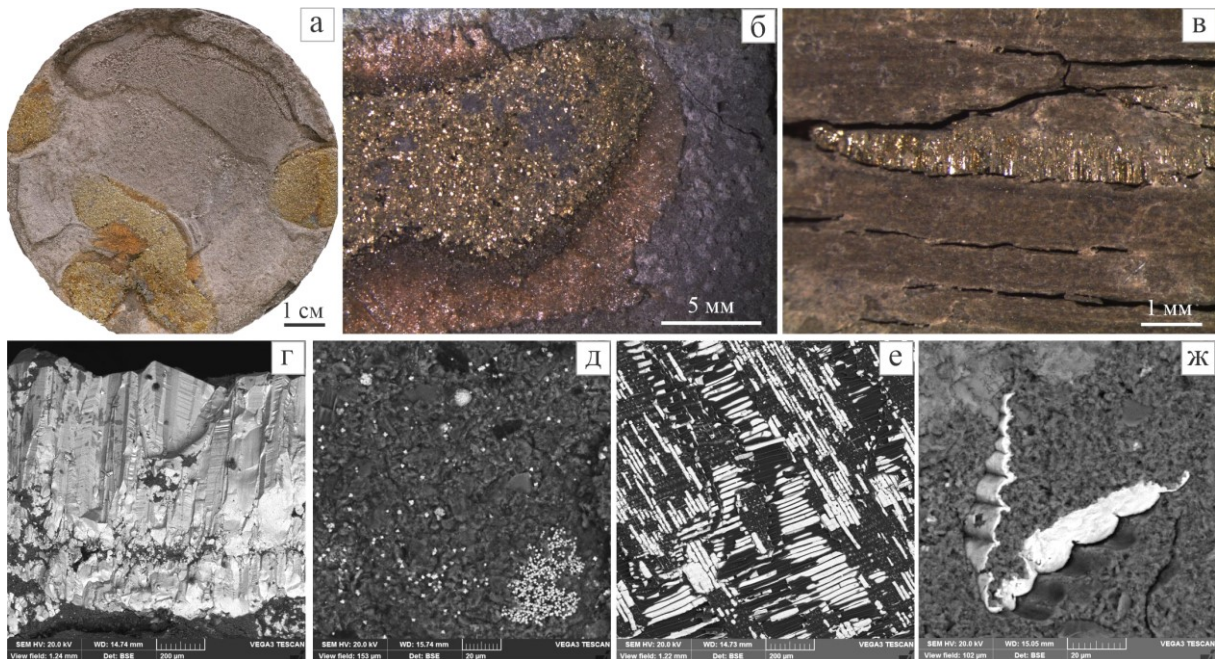


Рис. 8. Морфология пирита:

а-в – дисковидные стяжения в плане и в разрезе; г – то же, параллельно-шестоватый агрегат с просечкой;
д – тонкодисперсный пирит в мергеле, в том числе фрамбоидальный;
е-ж – инкрустация пиритом углефицированной органики

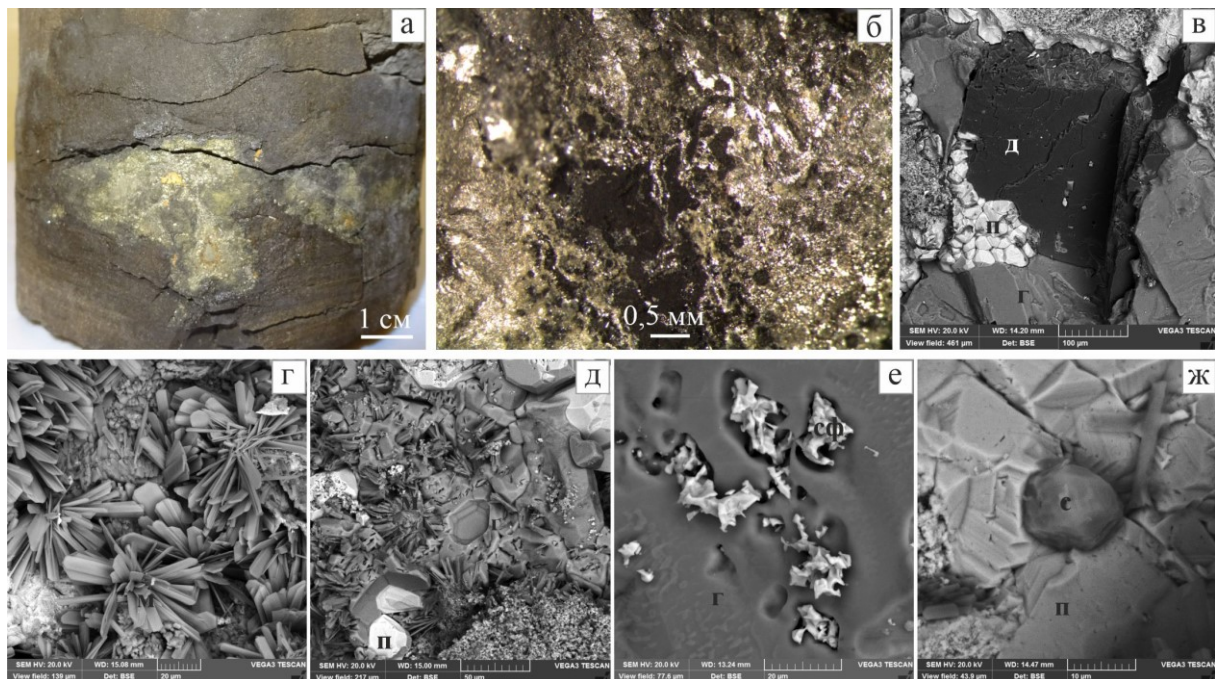


Рис. 9. Детали строения пиритовых стяжений:

а – общий вид стяжения, виден ореол битуминизации; б – микрокристаллическая структура;
в-ж – аутигенные минералы в пределах стяжения
(г – галит, д – доломит, пирит, м – метасидеронатрит; сфалерит, с – сера)

Галитовые прожилки (минерализованные трещины) имеют, как правило, зональное строение – на стенках формируются щетковидный агрегат ромбоэдрических кристаллов доломита белого размером около 1 мм и округлые белые желваки ангидрита размером первые миллиметры. Сама полость минерализованной трещины заполнена параллельно-шестоватым агрегатом галита оранжевого.

В ангидрит-доломитовой породе, залегающей в кровле ГАТ, выявлена зона аутигенного минералообразования [2] (рис. 7). Во фрагментах ангидритовой породы зафиксированы пойкилокристаллы новообразованного баритоцелестина, а в доломитовой породе наблюдаются мелкие полиминеральные стяжения, выполненные идиоморфными кристаллами ангидрита, пирита (2 генерации), кварца, а пустоты заполнены галитом. В единичных случаях наблюдаются псевдоморфозы пирита по «лодочкам» галита.

Результаты и обсуждение

Петрографические особенности изученного разреза определяются, прежде всего, краевым положением Изверского участка на восточном фланге месторождения, что способствовало значительному приносу с суши аллохтонного материала (глинистого и песчаного). Такая специфика – превалирование глинистой составляющей в разрезе ГАТ, в отличие от других участков, где преобладает ангидрит, – отмечалась и ранее [5].

Характерная для изученных мергелей слоистая текстура, проявляющаяся в чередовании мергелей известкового и доломитового состава, является результатом сезонных колебаний химического состава воды в осадочном бассейне.

Сульфидная минерализация (пирит, сфалерит), выявленная в породах ГАТ имеет биогенное происхождение. Как известно [7], пирит начинает формироваться в нормальных морских осадках уже на стадии раннего диагенеза за счет микробной сульфатредукции. Интенсивность этого процесса зависит от наличия в осадке рассеянного органического вещества, сульфат-ионов, а также железосодержащих минералов. На исследуемой территории все три компонента присутствовали в достаточных количествах – железосодержащие минералы в избытке содержатся в терригенной примеси и глинистом материале. В результате гидролиза последнего высвобождаются не только металлы (железо для образования пирита, цинк для образования сфалерита и др.), но и кремний, который идет на образование кварца.

Морфологическое разнообразие пиритовой минерализации определяется локальными особенностями среды – кристаллизация в присутствии тонкодисперсного органического вещества, инкрустация относительно крупных растительных остатков, кристаллизация в слоистой среде (дисковидные стяжения с параллельно-шестоватой структурой).

Данные по редким мировым находкам сидеронатрита и метасидеронатрита указывают на их образование при окислении пирита в присутствии соленых вод [8].

Наличие в ангидритовой породе новообразованного баритоцелестина указывает на ее перекристаллизацию, при которой происходило высвобождение изоморфных стронция и, в меньшем количестве, бария. А тот факт, что кристаллы не деформированы при общей перемятой текстуре породы, говорит об их формировании на фоне или после пластических деформаций толщи.

Образование полиминеральных стяжений в доломитовой породе в кровле ГАТ также связано с процессами сульфатредукции и гидролиза.

Нимфы и имаго *Perlopsis filicornis* до сих пор были обнаружены только в одном местонахождении Приуралья (Чекарда) [1, 3, 4, 6]. По биотопической приуроченности вид отнесен к потамобионтам (организмам, обитающим в пресных

текучих водах), исходя из предположения существования в местонахождении «Чекарда» мощного источника выноса (крупной реки) нимф насекомых [4]. Это позволяет предположить, что обнаруженные нами фрагменты насекомых могли быть привнесены в бассейн осадконакопления, например, в результате эоловой деятельности.

Заключение

Таким образом, до начала садки мощных соляных отложений восточная окраина будущего ВКМС характеризовалась накоплением карбонатных иловых отложений со значительным количеством глинистого материала и тонкодисперсного органического вещества. Карбонатная составляющая илов варьировала от кальцитовой до доломитовой (переслаивание мергеля известкового и мергеля доломитового). Кроме этого, в бассейн осадконакопления происходил периодический привнос временными водными потоками и, возможно, эоловым путем аллохтонного материала – песчаного (прослойки песчаников), флористического (растительный детрит) и фаунистического (насекомые). При этом соленость воды постепенно увеличивалась (тонкодисперсный галит в мергелях).

Продолжающиеся процессы эвапоритизации в бассейне привели к формированию в глинисто-карбонатном осадке сульфатных минералов (ангидрит-доломитовая порода в кровле ГАТ) и рассеянной галитовой минерализации («лодочки» и полногранные кристаллы).

В седиментогенезе и диагенезе за счет микробной сульфатредукции и процессов гидролиза терригенного материала в осадках происходило образование сульфидов (сфалерит) и главным образом пирита – тонкодисперсного и более крупных микрокристаллических стяжений. Причем в местах формирования последних существовали благоприятные восстановительные условия для образования самородной серы.

Последующие преобразования кровельной части толщи (пластические и хрупкие деформации) привели к формированию в породах проницаемых зон, как секущих, так и субсогласных, благоприятных для миграции соленых вод. Относительно агрессивные хлоридные воды «запустили» здесь процессы постдиагенетического аутигенного минералообразования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках соглашения по государственному заданию № 075-03-2021-374 от 29 декабря 2020 г. (рег. номер 122012000400-0).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Историческое развитие класса насекомых. – М.: Наука, 1980. – 256 с.: ил. – (Тр. Палеонтол. ин-та АН СССР; Т.178).
2. Коротченкова О.В. Аутигенное минералообразование в кровле глинисто-ангидритовой толщи Верхнекамского месторождения солей (Изверский участок) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского. – 2022. – Вып. 25. – С. 148-153. – DOI: 10.17072/chirvinsky.2022.148.
3. Мартынов А.В. Пермские ископаемые насекомые Чекарды. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – Вып. 1. – С. 5-62. – (Тр. Палеонтол. ин-та АН СССР; Т. 11).
4. Синиченкова Н.Д. Историческое развитие веснянок. – М.: Наука, 1987. – 141 с.: ил. – (Тр. Палеонтол. ин-та АН СССР; Т. 221).
5. Федоров Т.В., Чайковский И.И. Литологические и минералогические особенности соляной и глинисто-ангидритовой толщ восточной части Соликамской впадины // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского (140 лет со дня рождения). – 2020. – Вып. 23. – С. 146-154.

6. Шаров А.Г. Отряд Plecoptera. Веснянки // Основы палеонтологии: Членистоногие, трахейные и хелицеровые. Т. 9. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 134-138.
7. Berner R.A. Sedimentary pyrite formation: An update // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 1984. – V. 48., № 4. – P. 605-615. – DOI: 10.1016/0016-7037(84)90089-9.
8. 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, 2010. – P. 80-83.

УДК 553.632 (470.53)

DOI:10.7242/echo.2022.4.2

К ВОПРОСУ ЭПИГЕНЕЗА ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ

Н.В. Лаврова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: На примере региональных исследований территорий в условиях современной вечной мерзлоты рассмотрена возможность поступления инфильтрационных вод в покровные отложения и соляную толщу Верхнекамского месторождения в периоды оледенения и его деградации. Рассмотрены особенности циркуляции подземных вод в криогенных условиях. Проведена аналогия развития карстовых процессов в криогенной зоне горных стран и Восточной Сибири.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение, Соликамская депрессия, криогенная зона, многолетнемерзлые породы, дренажная система, ледниковый покров, перигляциальная зона, напорные подземные воды, мерзлотный карст, палеокриологические условия.

Масштабность изучения Верхнекамского месторождения (ВКМКС) в пределах Соликамской впадины в течение многих десятилетий предполагает практически полное представление о процессах его формирования и преобразования. Среди внутренних и внешних факторов эпигенеза соляной толщи взаимодействию солей с водными растворами отводится ведущая роль. Исследователями рассмотрены и описаны несколько источников вод, образующихся в результате элизионных, гидротермальных, дегидратационных и т.д. процессов; отмечаются латеральные и вертикальные пути миграции флюидов [1].

Надсолевые воды являются инфильтрационными, т.е. практически пресными, и по отношению к соляным породам они весьма агрессивны. Воздействие этих вод на соляную толщу определяется только их динамикой. Наиболее благоприятными путями проникновения инфильтрационных вод внутрь соляной толщи являются относительно мощные прослои глинисто-ангидритового материала, выходящие на соляное зеркало. Разгрузка вод, проникающих таким образом внутрь соляной толщи, осуществлялась скорее всего через зоны повышенной трещиноватости, выходы которых на соляное зеркало расположены ниже, чем головы глинисто-ангидритовых прослоев (рис. 1).

Поступления подсолевых элизионных вод внутрь соляной залежи месторождения обусловлено тремя механизмами: в соляной залежи существовали сублатеральные тектонические движения в направлении восток-запад, о чем свидетельствует западное опрокидывание складок всех порядков; кристаллический фундамент Соликамской впадины и отложения, залегающие непосредственно под соляной толщей, разбиты серией субвертикальных разрывных нарушений, по которым в послепермское время происходило перемещение блоков относительно друг друга; подсолевые отложения насыщены водами, давление которых, особенно на