

**О.В. Коротченкова**

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ОБ АУТИГЕННОМ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИИ В МЕСТАХ РАЗГРУЗКИ ХЛОРИДНЫХ ВОД В БАСЕЙНЕ РЕКИ СОЛОНИХИ (ПЕРМСКИЙ КРАЙ)

Соляная залежь Верхнекамского месторождения солей отражается появлением на земной поверхности хлоридных вод, мигрирующих в результате природных факторов с глубины. Для выявления особенностей минералообразования на таких участках нами были изучен осадок двух родников бассейна реки Солонихи (Александровский муниципальный округ Пермского края; над восточной границей соляной залежи), имеющих хлоридный натриевый состав и общую минерализацию 15,13–23,67 г/л. При минералогическом анализе были выявлены псевдоморфозы пирита, реже барита и кальцита по растительному детриту. Визуально отмечается прямая корреляция между интенсивностью процессов пиритизации и баритизации и общей минерализацией воды.

*Ключевые слова:* минералообразование в хлоридных родниках, фрамбониды пирита, барит, кальцит, раннедиагенетическая сульфатредукция, гидролиз алюмосиликатного материала, Верхнекамское месторождение солей

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2025.96**

**Введение.** Существование в недрах Пермского края соляной залежи Верхнекамского месторождения калийных солей отражается на земной поверхности появлением, в том числе, просачивающихся хлоридных вод. Их миграция обусловлена нарушением сплошности надсоляной толщи в результате природных факторов – растворение солей на глубине и деформация и просадка вышележащих пород, особенно по периферии залежи.

В рамках научно-исследовательских работ по изучению минералого-геохимических процессов холодных просачиваний хлоридных и сульфатных вод Пермского Прикамья нами был выполнен рекогносцировочный маршрут в район реки Солонихи (Александровский муниципальный округ Пермского края; над восточной границей соляной залежи) и исследованы места выходов хлоридных вод. В 1966–68 гг. при проведении гидрогеологической съемки под руководством В.А. Поповцева здесь фиксировались восходящие и нисходящие родники с дебитом 0,5–5 л/с и общей минерализацией от 0,08 до 23,3 г/л. В

настоящей публикации приводятся предварительные результаты минералогического изучения осадка из двух родников.

**Методика исследования.** Подготовка минералогических проб к изучению заключалась в их промывке (в водопроводной воде) и расситовывании. После отделения глинистой компоненты пробы рассеивались на следующие классы +10; -10+2,5 мм; -2,5+0,25 мм и -0,25 мм. Далее с использованием стереомикроскопа Stemi 508 (Carl Zeiss, Germany) с универсальной цветной цифровой камерой Zeiss Axiocam 208 с разрешением 8,3 мегапикселей для каждой фракции выполнялся минералогический анализ с выделением монофракций, которые затем исследовались в сканирующем электронном микроскопе VEGA 3 LMN с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Oxford Instruments INCA Energy 250/X-max 20 (Tescan, Чехия).

#### ***Результаты минералогических исследований.***

Крупная фракция проб (больше 2,5 мм) представлена преимущественно органическими главным образом растительными остатками, визуальнo на поверхности которых изредка фиксируются аутигенные кальцитовые и гидроксидно-железистые минеральные фазы (рис. 1). Часть растительно-детрита углефицирована до черного цвета.

*Кальцит* образует остросоромбоздрические блочные пойкилокристаллы (отдельные или щетки) размером 50–100 мкм. В качестве

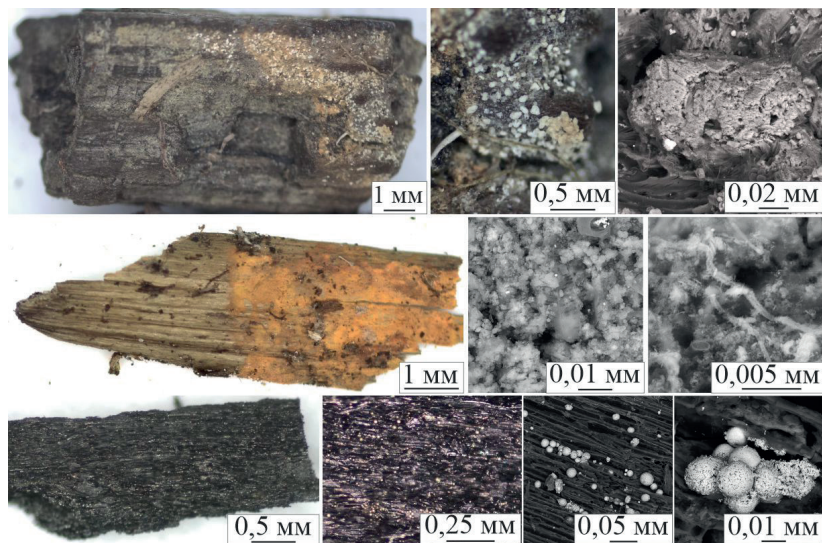


Рис. 1. Аутигенные фазы кальцита (первый ряд), гидроксидов железа (второй) и пирита (третий) на растительных остатках крупной фракции проб

включений в них выявлены диатомеи («запечатанные» внутри и как отпечатки на поверхности) и терригенный алевритовый материал.

*Гидроксиды железа* образуют корочку на поверхности растительных остатков, имеющую коллоидное и микроглобулярное строение. Заметны нити и шаровидные образования железобактерий. Гидроксиды железа также как и кальцит облекают диатомовые водоросли.

*Пирит* наблюдается на всех органических и минеральных частицах в виде россыпи субмикронных кристаллов, а на углефицированной древесине формирует шаровидные фрамбоиды диаметром 5–20 мкм, состоящие из субмикронных индивидов, и локализованные линейными скоплениями согласно древесной структуре.

Фракция  $-2,5+0,25$  мм представлена также растительным детритом, но на частицах в большей степени проявляются процессы аутигенного минералообразования (пирит, барит, кальцит, гидроксиды железа, сульфид меди, оксид титана). Также здесь выявлены минерально-органические образования, псевдоморфозы пирита по растительным остаткам и аутигенный кальцит.

*Минерально-органические образования* бежевого или бурого цвета представляют собой терригенный агломерированный материал, по составу отвечающий глинистому веществу с примесью алевритового материала и органического детрита (рис. 2). Внутри таких образований обнаруживаются органические остатки, в том числе сферы диаметром 0,5–1 мм, на внутренней и внешней поверхностях которых формируются отдельные рассеянные субмикронные кристаллы и фрамбоиды пирита диаметром 5–20 мкм. Бежевый или бурый цвет стяжений, вероятно, обусловлен различным количеством органического материала в составе агломерата. Кроме того, в валовом составе агломерата присутствует кальций, что может указывать на наличие кальцита (аутигенного?).

*Пирит* образует псевдоморфозы выполнения и облекания по растительным остаткам (рис. 3). Морфологически он представлен сростками шаровидных образований диаметром 5–30 мкм, часто имеющих

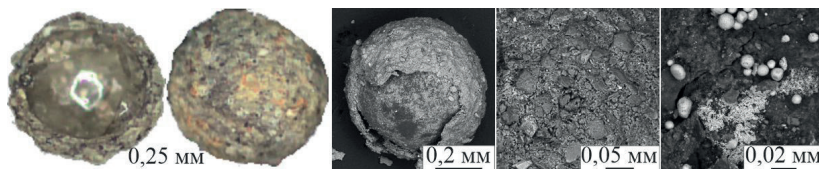


Рис. 2. Минерально-органические образования с внешней оболочкой, имеющей обломочную структуру, и с фрамбоидным пиритом на внутренней стороне органической сферы

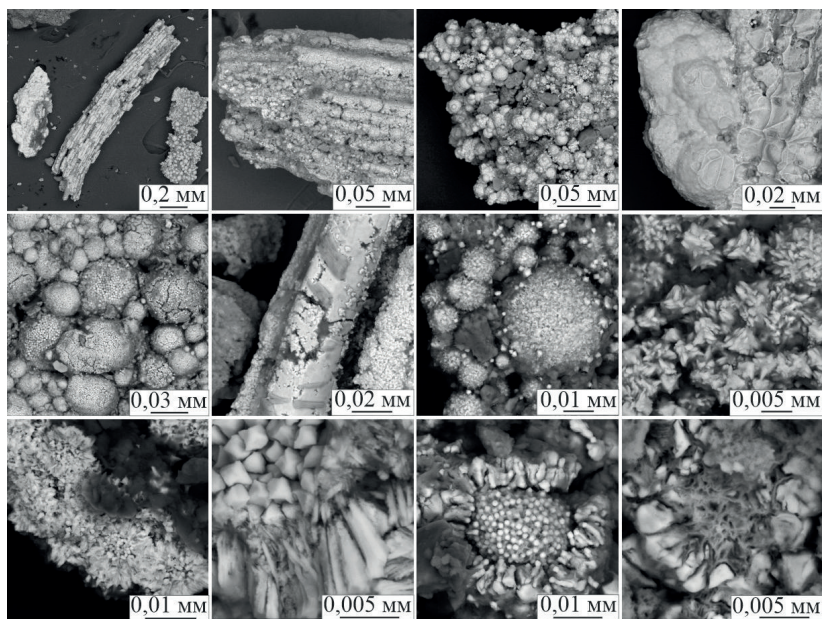


Рис. 3. Псевдоморфозы пирита по растительности: первый ряд – общий вид и структура частиц; второй ряд – морфология агрегатов и кристаллов; третий ряд – зональные агрегаты пирита с различной степенью окисления до гидроксидов железа

зональное строение – фрамбоиды пирита с крустификационной корочкой/оторочкой, нередко последняя отсутствует. Частицы в различной степени окислены до гидроксидов железа – большей частью окислена корочка, реже центральный фрамбоид.

*Гидроксидно-железистые* частицы (рис. 4) представляют собой либо ожелезненные растительные остатки, обрастающие гидроксидами железа с глобулярным строением и с заметными на поверхности железобактериями, либо полностью окисленные пиритовые псевдоморфозы с сохранением структур выполнения и фрамбоидной. При этом строение апопиритовых частиц усложняется наложением глобулярной структуры, обусловленной жизнедеятельностью железобактерий.

*Барит*, также как и пирит, формирует псевдоморфозы по растительным остаткам, но в меньшем количестве, чем пирит (рис. 5). Выявлены две морфологические разности кристаллов, при этом присутствуют признаки их хронологической преемственности (вторая «обрастает» первую). Первая представлена расщепленными кристаллами (от сноповидных до сферолитов диаметром около 10 мкм), вторая

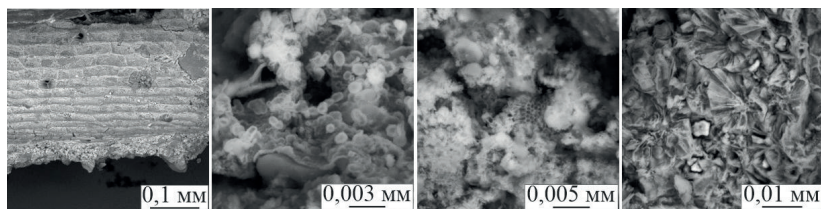


Рис. 4. Гидроксидно-железистый агрегат по растительному остатку, в котором заметны отпечатки и железобактерии (фото 1 и 2); полностью окисленные агрегаты пирита с сохранением его структуры (фото 3 и 4)

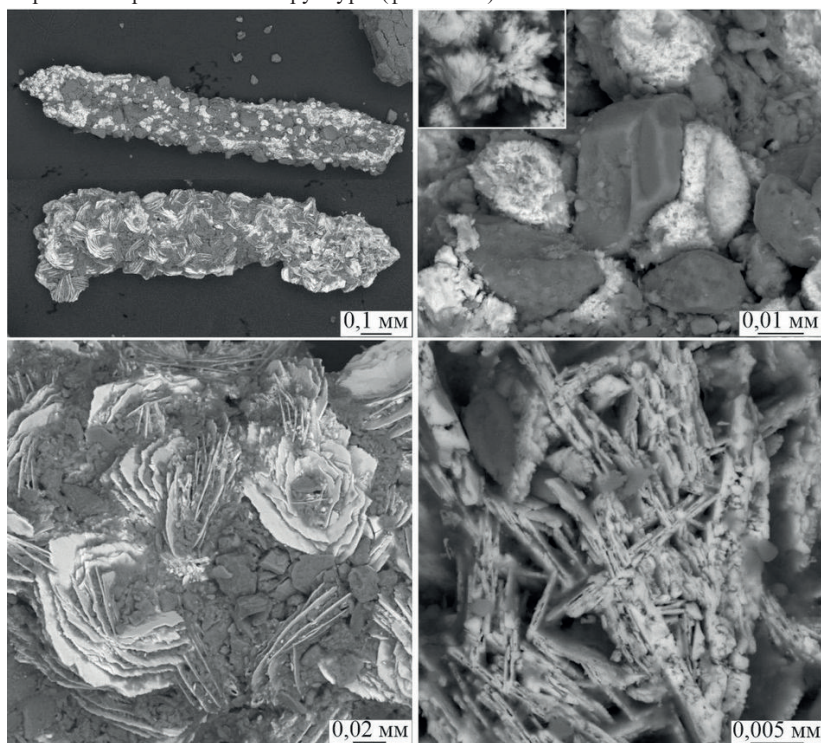


Рис. 5. Псевдоморфозы барита по растительным остаткам и различная морфология кристаллов и агрегатов

— пластинчатыми кристаллами, часто образующими агрегаты типа «гипсовой розы» диаметром 50–70 мкм. При образовании агрегатов обе разновидности «захватывают» терригенные алевритовые частицы. В химическом составе барита зафиксирована примесь стронция (11,64–21,08 мол. %) и кальция (2,77–6,8 мол. %).

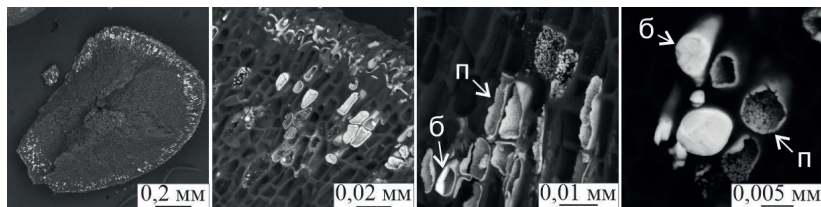


Рис. 6. Псевдоморфозы выполнения пирита (п) и барита (б) по растительности

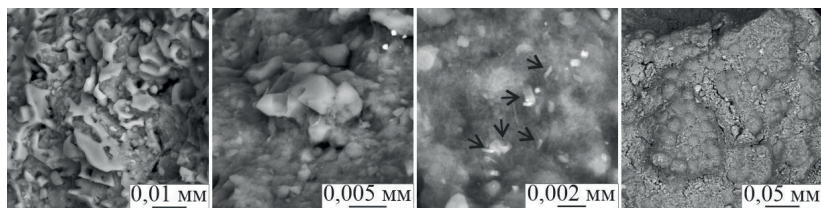


Рис. 7. Новообразованные кварц (фото 1 и 2) и оксид титана (фото 3) в алюмосиликатном материале; кремнезем с почковидной поверхностью (фото 4)

Аутигенные пирит и барит зафиксированы в некоторых семенах (?). Они инкрустируют (пирит) или полностью выполняют (барит) цилиндрические полости по периферии семечки (заметно на поперечном сколе) (рис. 6).

В пробах выявлены частицы неправильной формы, имеющие валовый *алюмосиликатный* (глинисто-кварцевый или каолиновый) и *силикатный* (реже) состав (рис. 7). На поверхности первых частиц отмечаются признаки аутигенного образования (регенерации?) кварца, для вторых характерна почковидная поверхность и коллоидное строение. Кроме того, в алюмосиликатной (новообразованный каолинит?) пелитоморфной части зафиксированы субмикронные кристаллы *оксида титана*.

На некоторых частицах изредка обнаруживается *сульфид меди* в виде дендритовидных агрегатов уплотненных кристаллов.

*Кальцит* формирует относительно редкие рыхлые агрегаты бежевого цвета, часто облекая растительный детрит и «захватывая» терригенные алевритовые частицы (рис. 8). Скелетные кристаллы, слагающие агрегат, имеют дендритовидный облик, а размеры их варьируют в диапазоне от первых микронов до 10–15 мкм. На поверхности агрегатов изредка наблюдаются рассеянные оксидно-марганцевые частицы. В химическом составе кальцита выявлена незначительная примесь магния, железа, иногда стронция.

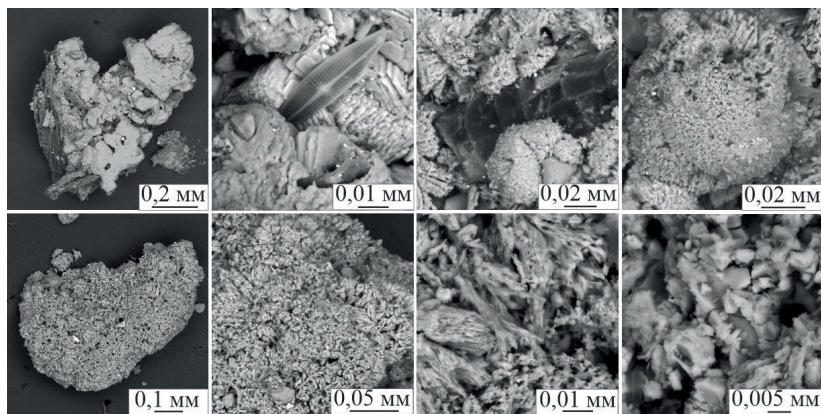


Рис. 8. Агрегаты кальцита и детали их строения. Заметны признаки обложения растительных остатков и диатомовых водорослей

Фракция – 0,25 мм в пробах представлена преимущественно терригенным материалом (кварц, хромшпинелиды, циркон), часто присутствует аутигенный фрамбоидный пирит, представляющий собой составную часть агрегатов из более крупных классов.

**Обсуждение и заключение.** По данным химического анализа вода изученных родников имеет хлоридный натриевый состав с общей минерализацией 15,13 и 23,67 г/л в первом и втором роднике соответственно. По результатам минералогического исследования грунта можно отметить визуальное большее количество пиритовых и баритовых псевдоморфоз во второй пробе с более высокой минерализацией воды, т.е. можно предположить прямую связь между минерализацией воды и интенсивностью процессов образования пирита и барита. Хронологическую последовательность образования сульфидных и сульфатных частиц (их совместных сростков) пока выявить не удалось.

Широкое распространение аутигенного пирита в пробах связано с процессами биогенной сульфатредукции, чему способствуют большое количество органического материала и анаэробные условия в грунте. Источником железа могли служить как глинистый материал, так и вода.

Появление барита в осадке родников связано с содержанием бария в воде, выщелоченного из соляной и надсоляной толщ [1].

Относительно небольшое количество аутигенного кальцита в пробах связано с низким содержанием гидрокарбонат-ионов в воде (292 и 282 мг/л) и кислой средой, обусловленной высоким содержанием органического детрита. При содержаниях сульфат-иона 1530 и 2420 мг/л в пробах не выявлено (пока?) аутигенного гипса.

Определение «аутигенности» алюмосиликатных частиц с включениями оксидов титана пока проблематично, так как похожие частицы ранее нами отмечались в соляной и надсоляной толщах [2], т.е. в осадок р. Солони́хи они могли быть привнесены с глубины. Однако не исключено и преобразование терригенного материала непосредственно в осадке родников, тем более что здесь широко распространены процессы сульфатредукции, необходимые для «запуска» гидролиза глинистого материала, а также присутствуют косвенные признаки экстракции металлов из глинистого материала.

Таким образом, минеральный состав грунта из хлоридных родников бассейна р. Солони́хи определяется главным образом преобразованием органического и, в меньшей степени, терригенного (глинистого) вещества. Здесь формируются псевдоморфозы пирита с различной степенью их последующего окисления, реже барита и кальцита. Такое аутигенное минералообразование обусловлено воздействием на почвы хлоридных вод, мигрирующих с глубин соляной залежи ВКМКС.

*Работа выполнена за счёт финансирования гранта РФФ № 24-17-20007.*

#### *Библиографический список*

1. Коротченкова О.В. Целестин и барит неизмененного разреза Верхнекамского месторождения солей (Пермский край) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. / отв. ред. И.И. Чайковский; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2019. Вып. 22. С. 73–79.
2. Чайковский И.И., Чайковская Е.В., Коротченкова О.В., Чиркова Е.П., Уткина Т.А. Аутигенные минералы титана и циркония Верхнекамского месторождения солей // Геохимия, 2019. Т.64. № 2. С.182–194.

### PRELIMINARY DATA ON AUTIGENIC MINERAL FORMATION IN NATURAL CHLORIDE WATER DISCHARGE SITES IN THE SOLONIKHA RIVER BASIN (PERM REGION)

**O. V. Korotchenkova**

*korotchenkova@mi-perm.ru*

The Verkhnekamskoe Salt Deposit is reflected in the appearance of natural chloride waters on the earth's surface, migrating from the depths as a result of natural factors. To identify the features of mineral formation in such areas, we studied the soil of two springs in the Solonikha river basin (Aleksandrovsky Municipal District of Perm Krai; above the eastern boundary of the salt deposit) with a sodium chloride composition and a total mineralization of 15,13–23,67 g/l. During the mineralogical analysis of the soil, pseudomorphs (on plant detritus) of pyrite, less often barite and calcite were revealed. Visually, a direct correlation is noted between the intensity of pyritization and baritization processes and the total mineralization of water.

*Keywords: mineralization in chloride springs, pyrite framboids, barite, calcite, hydrolysis of aluminosilicate material, Verkhnekamskoe Salt Deposit, sulfate reduction*