

Д.А. Кузин

Пермский государственный национальный
исследовательский университет, г. Пермь

ИЗУЧЕНИЕ НЕРАСТВОРИМОГО ОСТАТКА СОЛЕННЫХ ПОРОД ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В работе рассмотрены исследования по изучению нерастворимого остатка солей Верхнекамского месторождения. Приведены результаты собственных исследований с выделением и изучением нерастворимого остатка под электронным микроскопом. Выполнены микрозондовые анализы состава характерных минералов и приведены микрофотографии отдельных зерен.

Ключевые слова: электронный микроскоп, нерастворимый остаток, Верхнекамское месторождение, соли.

DOI: 10.17072/chirvinsky.2023.154

Введение. Актуальность исследования нерастворимого остатка солей связана с решением различных задач. Основной из них является получение данных, необходимых для обоснования технологических способов переработки сырья. Исходя из результатов изучения, можно повысить рентабельность использования пород разрабатываемого месторождения. Наиболее общей характеристикой при этом является содержание нерастворимого остатка в солях. Например, в галите оно обычно менее 1 % и только в перистой темно-серой разновидности превышает 4% [7].

Вещественный состав нерастворимого остатка солей Верхнекамского месторождения изучался многими исследователями [1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 13 и др.]. Исследователями, прежде всего, анализируются способы получения и изучения нерастворимого остатка. Нерастворимый остаток получают при растворении соляных образцов (кернах и обломков, полученных при добыче руды) в дистиллированной воде с температурой выше комнатной, причем этот процесс может быть достаточно длительным.

Далее, большое внимание уделяется исследованию вещественного состава нерастворимого остатка. При этом в составе Н.О. соляных и соленосных пород выделяются две основные фазы – минеральная и рентгеноаморфная [2]. Определение минерального состава нерастворимого остатка позволяет установить особенности процессов седиментации,

диагенеза и катагенеза . Кроме того, определяется наличие вредных примесей в солях.

Одним из направлений исследования является выяснение формы нахождения компонентов нерастворимого остатка. Так, Э.О. Баяндиной [2] выделены четыре формы нахождения компонентов нерастворимого остатка в соляных породах: включения в кристаллах, прослои галопелитов, скопления глинистого материала и вкрапленности, находящиеся в межзерновом пространстве.

Установлено, что в главных минералах солей состав минеральных включений заметно различается. Например, минеральные включения в галите обычно представлены мелкими зернами ангидрита, кальцита, доломита, а также глинистыми и другими минералами. В сильвините красного и оранжевого оттенков типичными минеральными включениями являются железистые минералы (гематит и гетит) [12].

Проводя исследования нерастворимого остатка Верхнекамского месторождения нами была обнаружена таблица качественного минерального состава нерастворимого остатка соляных пород Верхнекамского месторождения, представленная в диссертации Баяндиной [2]. Проведя анализ таблицы было выяснено что наиболее часто встречающимися минералами в нерастворимом остатке являются ангидриты, гипсы, доломит, хлорит, гидрослюда и полевые шпаты. Однако если смотреть по разнообразию минералов в классах, то лидерство занимают силикаты. Крайне редко в нерастворимом остатке солей встречается самородное золото и фосфаты (апатит, барит, ярозит).

При этом содержание минералов в нерастворимом остатке очень сильно колеблется. Так, доля сульфатов обычно составляет от 7 до 21 %, карбонатов (в основном доломит) – от 14 до 36%, силикатов – от 57 до 72 %. Однако минеральный состав нерастворимого остатка продуктивных пластов практически не отличается от такового галопелитов коржей.

Методика исследований. Нами выполнены исследования нерастворимого остатка образцов участка Березниковского калийного рудоуправления № 4. Образцы представлены обломками сильвинитовой руды, добываемой на предприятии, а также керном, который выделяется для исследования состава пластов. Общий вес образцов, использованных при растворении в воде, составил 2,079 кг.

Растворение проводилось поэтапно с использованием дистиллированной воды. Общая масса нерастворимого остатка составила 45,5 г. Основная часть его была представлена глинистым материалом. Далее глинистая фракция была удалена отмывкой в воде с получением остатка массой около 3 г, представленного в основном карбонатами.

Следующий аналогичный этап отмывки в воде позволил получить существенно сульфидный остаток массой около 0,3 г.

Таким образом, нерастворимый остаток был разделен на три фракции, каждая из них направлялась на изучение под бинокуляром. Затем из каждой фракции отбиралась представительная часть для изучения под электронным микроскопом марки JSM 6390 LV (фирма Jeol) с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 (фирма Oxford Instruments). Для исследования под электронным микроскопом изготавливались препараты с отобранными под бинокуляром зернами минералов. Химический состав зерен и агрегатов определялся микрозондовым анализом. Кроме того, проводилось микрофотографирование зерен минералов. Режим работы микроскопа: напряжение 20 кВ, рабочее расстояние – 12 мм, сила тока - 10 А. Электронномикроскопические исследования выполнены в Центре коллективного пользования ПГНИУ (аналитик Б.М.Осовецкий).

Результаты исследований. Преобладающая масса нерастворимого остатка, представленная глинистым веществом, по данным микрозондового анализа диагностирована как гидрослюда. Форма нахождения глинистого вещества – обычно агрегаты сложного строения. Основными компонентами в их составе являются SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O и FeO^* .

Кроме того, характерными компонентами глинистого продукта являлись черные волокнистого строения фрагменты размером в длину до 1 см и толщиной 0,2-0,3 см. Микрозондовый анализ показывает присутствие в их составе углерода в качестве преобладающего элемента. Таким образом, данные компоненты, вероятно, являются углистыми частицами (рис. 1а).

Среди карбонатов распространены кристаллы и агрегаты доломита (рис. 1б-д), а также очень редко - кальцит. Доломиты в большинстве своем имеют идиоморфную (ромбоэдрическую) и гипидиоморфную форму кристаллов. Размер кристаллов варьирует от 0,3 до 0,5 мм. Агрегаты доломита размером до 0,75 мм представлены срастаниями большого количества мелких ромбоэдрических кристалликов размером обычно менее 0,1 мм и зерен неправильной формы.

Зерно кальцита имеет отчетливо выраженные следы растворения с отсутствием признаков первичной кристаллической формы (рис. 1е).

В химическом составе зерен доломита присутствуют примеси железа, марганца и алюминия в заметном количестве, которые могут быть обусловлены налетами глинистого и глиноземистого вещества (табл. 1). Для кальцита содержание последних заметно повышается. Присутствуют также налеты сульфатов.

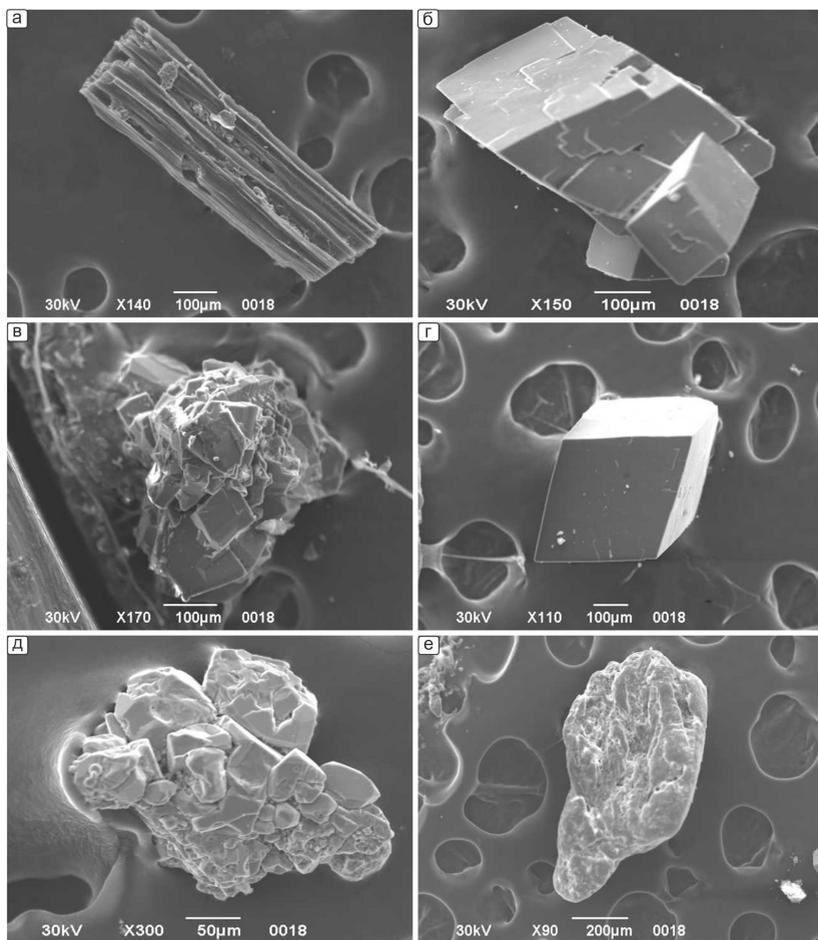


Рис. 1. Микрофотографии нерастворимого остатка в сканирующем электронном микроскопе: а - углистая частица, б-д - кристаллы и агрегаты доломита, е - кальцит

Заключение. В ходе проведения исследований при растворении kernового образца сильвинита были получены 3 фракции нерастворимого остатка: глинистая, карбонатная и существенно сульфидная. Минеральный и химический состав фракций исследован под электронным микроскопом.

С использованием данных микрозондового анализа было установлено, что преобладающая по массе глинистая фракция представлена гидрослюдами и содержит также углистые фрагменты. Карбонатная

фракция представлена преимущественно доломитами, крайне редко встречается кальцит. В существенно сульфидной фракции преобладает пирит, в небольшом количестве присутствует сфалерит.

Таблица 1
Химический состав минералов карбонатного продукта, мас. %

Минерал	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	MnO	FeO*	K ₂ O
Кальцит	2,11	3,09	3,73	0,68	51,02	-	0,81	0,34
Доломит	19,64	0,10	0,19	0,10	31,37	0,29	1,27	-
Доломит	20,44	-	-	0,21	32,32	0,44	1,16	-
Доломит	26,51	3,86	0,38	-	32,55	0,38	1,84	-
Доломит	26,07	1,00	0,39	0,36	26,84	0,47	0,56	-

Использованная методика фракционирования нерастворимого остатка солей может быть использована при детальном изучении их минерального состава.

Среди сульфидов преобладает пирит, в редких зернах встречается сфалерит. Пирит представлен как агрегатами сложной формы, так и кристаллами кубической формы размером 0,1-0,2 мм (рис. 2 а, б). Типичными примесями в составе зерен пирита являются Cu, Co и Zn. Редко присутствуют Sn, Pb, As (табл. 2).

Таблица 2
Химический состав зерен сульфидов, мас. %

Минерал	S	Fe	Cu	Zn	Sn	Co	As	Al	Si	Pb	Ni
пирит	53,34	46,17	0,18	0,15	0,07	0,09	-	-	-	-	-
пирит	53,71	46,75	0,17	0,16	-	0,16	0,05	-	-	-	-
пирит	53,85	46,62	0,21	-	-	0,15	-	0,52	1,65	-	-
пирит	53,61	46,58	0,31	0,19	0,11	0,16	-	-	-	0,04	-
сфалерит	32,41	0,88	-	66,68	-	-	-	-	-	-	0,04
сфалерит	32,70	0,78	0,58	66,75	-	-	-	-	-	-	-

Зерна сфалерита (рис. 2 в, г) представлены сильно выщелоченными фрагментами кристаллов с многочисленными порами и пустотами. Лишь изредка сохраняются участки первичных граней. Из примесей в небольшом количестве обнаружено железо.

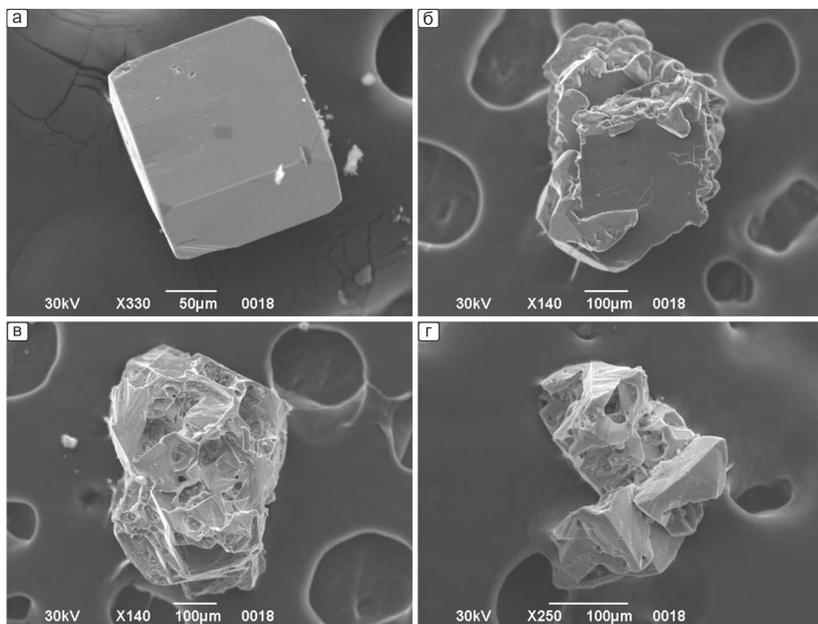


Рис. 2. Микрофотографии нерастворимого остатка в сканирующем электронном микроскопе: а-б - зерна пирита, в-г - зерна сфалерита

Библиографический список

1. Аполлонов В.Н., Барсанов Г.П., Блинов В.А. и др. О полевом шпате галопелитов Верхнекамского месторождения // Докл. АН СССР. 1975. 225 (4). - С. 908-910.
2. Баяндина Э.О. Диссертация. «Исследование геологических условий и результатов избирательного истирания керна сильвинитов при разведке Верхнекамского месторождения», Москва 2017
3. Борисенков В.И., Аполлонов В.Н., Иванов А.Г. Состав галопелитов Верхнекамского калийного месторождения как геохимический показатель палеоусловий развития солеродного бассейна // Строение и условия формирования месторождений калийных солей. - Новосибирск: Наука, 1981. - С.
4. Джиноридзе Н.М., Аристаров М.Г., Поликарпов А.И. и др. Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. - СПб. - Соликамск: ОГУП «Соликамская типография», 2000. - 400 с.
5. Иванов А.А., Воронова М.Л. Верхнекамское месторождение калийных солей. - Л.: Недра, 1975. - 219 с.
6. Иванов А.Г., Аполлонов В.Н., Борисенков В.И. Минеральные парагенезисы галопелитов в отложениях калийных солей // Докл. АН СССР. 1980. Т. 253, № 2.- С. 469-472.
7. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. - М.: ООО «РПФ» Эпсилон Плюс, 2013. - 368 с.(4)
8. Мягков В.Ф. Некоторые вопросы методики рудничного опробования калийных солей на Верхнекамском месторождении // Сб. научн. тр. Пермск. ПИ. 1961. № 8. - С. 87-94. (10)

9. *Наумов В.А.* Строение и вещественный состав техногенных осадков шламохранилищ Верхнекамского месторождения солей // Изв-я Вузов. Горный журнал, № 4, 2009. - С. 46-53. (11)
10. *Поляковский В.Я.* О роли аллотигенных и аутигенных факторов в формировании ассоциаций глинистых минералов калийных месторождений хлоридного типа // Геохимические закономерности формирования галогенных отложений: Сб. науч. тр. - Новосибирск, 1983. - С. 44-45. (12)
11. *Попова В.И., Попов В.А., Котляров В.А. и др.* Характеристика галита и сильвина Верхнекамского месторождения. Отчет о НИР Института минералогии УрО АН СССР, Миасс, 1990. (2)
12. *Яржемский Я.Я., Протопопов А.Л., Лобанов В.В. и др.* Атлас структур и текстур галогенных пород СССР. - Л.: «Недра», 1974. - 231 с. (3)
13. *Яржемская Е.А.* Вещественный состав галопелитов // Тр. ВНИИГ. 1954. Вып. 29. - С. 260-314. (13)

STUDY OF THE INSOLUBLE RESIDUE OF SALINE ROCKS OF THE VERKHNEKAMSKOYE DEPOSIT

D.A. Kuzin

Danilkuzin15@gmail.com

In this paper, the methods of studying the insoluble residue of salts of the Verkhnekamskoye deposit are analyzed. The results obtained by applying of our own methods are presented. The insoluble residue is investigated under an electron microscope, followed by a description of the grains with a microprobe analysis.

Keywords: electron microscope, Verkhnekamskoye deposit, insoluble residue, salts.