

Литература

- Плечов П. Ю.* Множественность источников островодужных магм и динамика их взаимодействия // Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. М., 2008. 43 с.
- Пучков В. Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
- Рахимов И. Р.* Комагматичность конформных интрузий Утлыкташского комплекса и базальтов нижнего карбона Магнитогорско-Богдановского грабена // Матер. 21-й науч. конф. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 193–198.
- Салихов Д. Н.* Утлыкташский габброидный комплекс интрузивных и жильных пород // Вопросы геологии восточной окраины Русской платформы и Южного Урала. Вып. 13. Уфа: БФАН СССР, 1971. С. 108–119.
- Салихов Д. Н., Ковалев С. Г., Ларионов Н. Н., Беликова Г. И.* Полезные ископаемые Республики Башкортостан (железные руды). Уфа: Гилем, 2008. 148 с.
- Салихов Д. Н., Беликова Г. И., Пучков В. Н., Рахимов И. Р.* Магматизм Худолозовской мульды на Южном Урале // V Всерос. симп. по вулканологии и палеовулканологии. Вулканизм и геодинамика. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2011. С. 163–166.
- Ферштатер Г. Б., Холоднов В. В., Прибавкин С. В. и др.* Рифтогенный магматизм и железооруденение Южного Урала // Геология рудных месторождений. 2005. Т. 47. № 5. С. 421–443.

А. Ф. Сметанников

*Горный Институт УрО РАН, г. Пермь
smetannikov@bk.ru*

Минералогия солей и благородных металлов Верхнекамского месторождения, Пермский край

Верхнекамское месторождение солей (ВКМС) расположено в центральной части Соликамской впадины Предуралья Краевого прогиба и представлено мощной (свыше 500 м) соляной толщей. Толща подразделяется (снизу вверх) на подстилающую каменную соль (ПдКС) мощностью 320–400 м, калийную залежь мощностью 70–100 м и покровную каменную соль (мощность 20 м). Соляные породы относятся к иренскому горизонту кунгурского яруса нижнего отдела пермской системы. Площадь соляной толщи – 8100 км², калийной залежи – 3750 км². В подстилающей соли выделяется верхняя пачка мощностью 20 м, нижней границей которой является пласт маркирующей глины (МГ) мощностью 0.6–1 м.

В калийной залежи выделяются сильвинитовая и карналлитовая зоны. Сильвинитовая зона сложена пластами красных сильвинитов (Кр III, Кр II, Кр I), полосчатого сильвинита (А) и разделяющих их пластов каменной соли (Кр II–Кр III, Кр I–Кр II, А–Кр I). Наиболее мощным является пласт Кр II (до 6 м), в котором выделяется 7 слоев. Нечетные слои сложены богатым сильвинитом (содержание КСI от 18 до 45 %), четные – бедным сильвинитом (содержание КСI от 5 до 18 %). Остальную массу сильвинитов составляет галит (NaCl). Мощность зоны составляет 20–25 м.

Карналлитовая зона сложена чередующимися пластами К–Mg солей (9 пластов от Б до К) и каменной соли (8 пластов от Б–В до И–К). В основании зоны пласт Б залегает на пласте А, образуя единый пласт АБ [Иванов, Воронова, 1975]. Отрабатываются пласты КрII и АБ.

Для всех соляных пород характерно присутствие нерастворимого в воде остатка (Н.О.), в котором концентрируются все благородные металлы (рис. 1, см. вкладку, с. 157; табл. 1). Содержание благородных металлов (БМ) в пересчете на соляные породы составляет 0.03–0.2 г/т, а в Н.О. соляных пород – до 10 г/т [Сметанников, Кудряшов, 1999; Сметанников, Шанина, 2006]. При переработке сильвинитовых руд БМ вместе с большей частью Н.О. локализируются в глинисто-солевых отходах [Сметанников, Кудряшов, 1999; 2000; Сметанников и др., 2000; Сметанников, Шанина, 2006].

Таблица 1

Минеральный состав соляных пород ВКМС

Минералы, %	Соляные породы					
	Каменная соль	Маркирующая глина	Сильвинит	Карналлитовая порода	Межпластовая каменная соль	Коржи
Галит	97–99	7–13	95–45	до 45	до 92	60–85
Сильвин	–	–	5–45	1–3	–	–
Карналлит	–	–	0.5–3	до 55	–	–
Н.О.	1–3	93–87	2.5–6	до 6	10–12	40–15

Состав Н.О. соляных пород близок. Различия наблюдаются в содержании сульфидов Fe, оксидов и гидроксидов Fe и связываются со сменой гидрохимических солевых фаций при переходе от ПдКС в калийную залежь (табл. 2). Содержания органического вещества в Н.О. соляных пород близки. Соляные минералы и минералы Н.О. представляют две последовательно формирующиеся группы минералов. Минералы Н.О. ПдКС сконцентрированы в межзерновом пространстве агрегатов галита, в глинисто-ангидритовых прослоях и пласте МГ.

Таблица 2

Минеральный состав Н.О. соляных пород

Минералы, %	Нерастворимый в воде остаток соляных пород			
	Каменная соль	Маркирующая глина	Сильвинит	Карналлитовая порода
Ангидрит	40	42	44	5
Гипс	10	21	5	3
Ярозит	1.1	сл.	–	–
Доломит	24	11	20	18
Кварц	12	12	12	35
Полевые шпаты	1.5	11	8	26
Хлорит	3.5	1.5	3	3
Гидрослюда	0.8	1	3	–
Тальк	–	–	–	3
Пирит	0.2	0.5	–	–
Гематит	0.6	0.6	сл.	–
Гетит	–	–	1.5	–
Лепидокрокит	–	–	–	3
С _{орг.}	0.9	1.35	1.1	1.54

Примечание. Приведены средние содержания по нескольким пробам: каменная соль – 5, МГ – 15, сильвинит – пласты КрЦ, А и Б, карналлитовая порода по 3 пробы.

В калийной залежи минералы, слагающие Н.О. соляных пород, представлены минеральной массой межзернового пространства (межзерновой Н.О.) и минеральным пигментом соляных минералов. Пигмент по отношению к соляным минералам формируется одновременно–последовательно, а межзерновой Н.О. формируется последовательно по отношению к соляным минералам. Основным отличием состава пигмента от состава межзернового Н.О. является отсутствие в нем сульфатов кальция, полевых шпатов и хлорита с глинистыми минералами. В процессе выделения пигмент [Сметанников и др., 2000] делится на флотируемую фракцию, где преобладает гетит, гематит, и осадочную фракцию, где преобладает доломит. В составе пигмента фиксируется Au; Pt и Pd отсутствуют. В межзерновом Н.О. содержится Au, Ag, Pt и Pd. В составе пигмента Au связано с гематит-гетитовой составляющей. В межзерновом Н.О. Au и Ag частично, а Pt и Pd полностью связаны с сульфатной составляющей Н.О. и органическим веществом [Сметанников, Кудряшов, 1999; Сметанников, Шанина, 2006].

Таблица 3

Содержание элементов-примесей в Н.О. соляных пород

Элемент	Содержание, мкг/г	Метод анализа	Элемент	Содержание, мкг/г	Метод анализа
Li	9.3	Aes.Ms	La	7.7	Ms
Be	0.67	Ms	Ce	18	–
Sc	11	–	Pr	2.6	–
V	230	Aes	Nd	11	–
Cr	120	Aes.Ms	Sm	3.1	–
Co	10	–	Eu	0.76	–
Ni	100	–	Gd	2.9	–
Cu	3500	–	Tb	0.42	–
Zn	60	–	Dy	2.4	–
Ga	5.4	Ms	Ho	0.61	–
As	6.1	–	Er	1.3	–
Se	17	–	Tm	0.13	–
Rb	28	–	Yb	1.2	–
Sr	280	Aes.Ms	Lu	0.19	–
Y	9.1	Ms	Hf	1.4	–
Zr	48	–	Ta	0.50	–
Nb	2.8	–	W	0.68	–
Mo	1.1	–	Re	<0.04	–
Rh	<0.1	–	Ir	<0.02	–
Pd	3.3	–	Pt	0.79	–
Ag	2.6	–	Au	0.17	–
Cd	0.12	–	Hg	0.16	–
Sn	0.67	–	Tl	0.11	–
Sb	0.56	–	Pb	3.4	–
Te	0.89	–	Bi	0.15	–
Cz	0.40	–	Th	2.0	–
Ba	230	Aes.Ms	U	1.3	–

Примечание. Aes – атомно-эмиссионный метод анализа с индуктивно связанной плазмой; Ms – масс-спектрометрический метод анализа с индуктивно связанной плазмой. Прочерк – то же самое.

В Н.О. соляных пород обнаружены элементы-примеси, представленные собственными минералами, самородными металлами, твердыми растворами, интерметаллидами (табл. 3). Они ассоциируют с кварц-доломит-полевошпатовая составляющей межзернового Н.О. и доломитовой составляющей пигмента соляных минералов.

Изучение органического вещества Н.О. методами хлороформенной и спиртобензольной экстракции показало, что БМ связаны с хлороформенными (ХБ) и спиртобензольными (СББ) битумоидами, являющимися частью органического вещества Н.О. Содержания битумоидов в пересчете на исходные соляные породы составили: в каменной соли – 0.0006–0.0008 %, в сильвинитах и карналлитовых породах – 0.002–0.013 %. Количество насыщенных углеводородов варьирует в пределах от 28 до 50 %.

Все исследованные образцы характеризуются близостью спектральных характеристик (рис. 2). Битумоиды близки по составу и являются автохтонными. Источником ОВ служил морской фитопланктон, его преобразование проходило в восстановительных условиях [Сметанников, 2011]. Определение содержания БМ в ХБ и СББ битумоидах, выделенных из осадочной и флотируемой составляющей межзернового Н.О., показало, что более 90 % благородных металлов связано с ХБ и СББ битумоидами (табл. 4). БМ в солях ВКМС связаны с органическими соединениями [Сметанников, Шанина, 2006].

Изложенный материал свидетельствует, что Au, Ag и Pt-металлы локализованы и ассоциируют с тремя группами минералов: 1) Н.О. подстилающей каменной соли, 2) Н.О., представленный пигментом сильвина и 3) межзерновой Н.О. соляных пород калийной залежи. Каждая из этих групп характеризуется единством места и времени образования, и может быть отнесена к парагенетическим минеральным ассоциациям по определению Н. В. Петровской [1967].

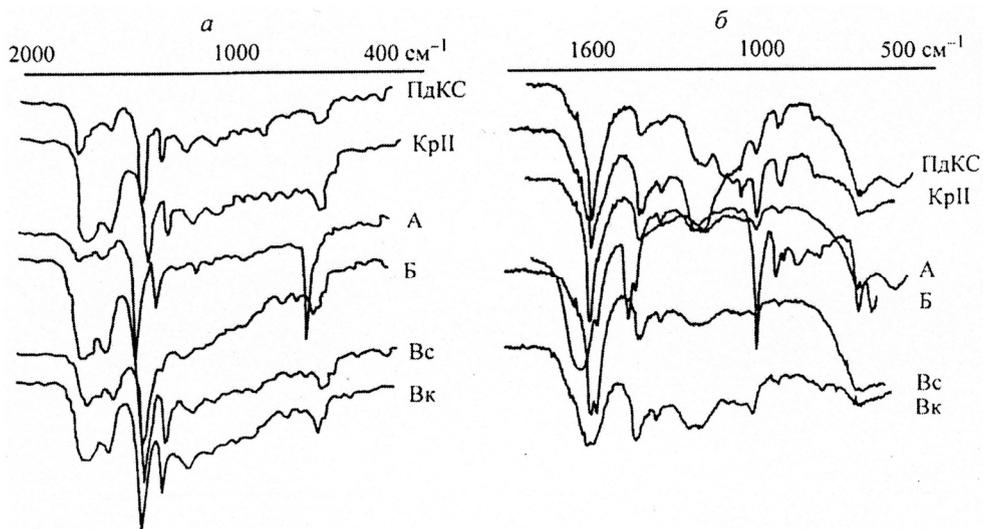


Рис. 2. Инфракрасные спектры поглощения хлороформенных (а) и спиртобензольных (б) битумоидов в нерастворимом остатке соляных пород.

Вк – карналлитовая часть пласта В; Вс – сильвинитовая часть пласта В; А, Б – полосчатый и пестрый сильвиниты пластов А и Б; КрII – сильвинитовый пласт КрII; ПдКС – верхняя пачка толщи каменной соли.

Содержания Au, Pt, Pd в компонентах Н.О.

Тип пробы	Содержание, г/т		
	Au	Pt	Pd
Н.О. осадок	1.10	2.70	2.60
Н.О. флотат	0.50	0.30	0.05
Н.О. флотат пена	0.25	13.0	25.0
ХБ осадка	0.10	1.30	2.70
СББ осадка	0.21	1.25	4.60
ХБ флотата	0.24	3.10	10.10
СББ флотата	1.50	13.10	1.10
Остаток осадка после вытяжек	1.10	0.25	0.50

Выделяется три парагенетических минеральных ассоциации. Первая представлена соединениями Au, Ag и Pt-металлов, ангидритом, доломитом, кварцем, полевым шпатом, пиритом и другими минералами, составляющими Н.О. подстилающей каменной соли. Ассоциация сформирована после галита, отнесенного к соляной парагенетической минеральной ассоциации. Эти две ассоциации (соляная и благороднометалльная) принадлежат стадии минералообразования, сформировавшей подстилающую каменную соль.

Вторая (включающая карбонилгалогениды золота, самородное золото, интерметаллиды Au, Ag, Cu, Ni и других металлов совместно с гетитом, лепидокрокитом, доломитом, кварцем и др. минералами) ассоциация локализована в пигменте сильвина, карналлита и, в меньшей степени, галита. Минералы солей и минералы пигмента соляных минералов представлены двумя (соляной и благороднометалльной) ассоциациями, образующимися одновременно-последовательно.

Третья ассоциация, объединяющая самородное серебро, органические соединения платиновых металлов, золота, сульфосоли и хлориды серебра совместно с ангидритом, доломитом, кварцем, полевыми шпатами, хлоритом, гидроксидами Fe (гетит, лепидокрокит), ОВ и др. минералами, представлена межзерновым Н.О. соляных пород калийной залежи. Вторая и третья ассоциации вместе с соляной ассоциацией образованы на стадии формирования калийной залежи. В калийной залежи соляной толщи ВКМС выделяется процесс постседиментационных эпигенетических изменений, являющихся следствием радиогенно-химических процессов образования водорода при радиоллизе кристаллизационной воды карналлита. Следствием этого процесса является преобразование карналлитовых и карналлитсодержащих пород [Сметанников, 2011].

Таким образом, в минералообразующем процессе выделяется процесс образования соляной толщи, включающий стадию формирования подстилающей каменной соли, стадию формирования калийной залежи и стадию формирования покровной каменной соли, а также процесс постседиментационного преобразования пород калийной залежи, составляющий стадию эпигенеза.

В соляной толще ВКМС выявлены следующие особенности распределения и формирования благороднометалльной минерализации. Это устойчивые содержания, наличие комплекса минеральных ассоциаций, меняющихся снизу вверх по разрезу, последовательный характер образования ассоциаций минералов солей и благородных металлов, отвечающий стадиям минералообразующего процесса. Указанные особен-

ности позволяют обосновать выделение нового техногенного типа месторождений благородных металлов [Сметанников, Кудряшов, 2000]. Результаты изучения форм нахождения БМ, минералогии и вещественного состава соляных пород использованы для обоснования технических решений при разработке промышленной технологии переработки шламов для извлечения БМ. Эти решения реализованы в исходных данных для проектирования опытного производства. Разработанная технология является основой для выделения нового геолого-промышленного типа, формирование которого связано с концентрированием БМ в отходах переработки руд.

Литература

- Иванов А. А., Воронова М. Л.* Верхнекамское месторождение калийных солей. Л.: Недра, 1975. 219 с.
- Петровская Н. В.* О понятии «Парагенетическая минеральная ассоциация» // Геология рудных месторождений. 1967. № 2. С. 69.
- Сметанников А. Ф., Кудряшов А. И.* Содержание и распределение благородных металлов в маркирующей глине Верхнекамского месторождения солей // Геохимия. 1999. № 9. С. 669–672.
- Сметанников А. Ф., Кудряшов А. И.* О выделении новой рудной формации благородных металлов в эвапоритовых отложениях Предуральяского прогиба // Металлогения древних и современных океанов–2000. Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. С. 221–224.
- Сметанников А. Ф., Филиппов В. Н., Янулова Л. А.* Минеральный состав пигмента сильвинов Верхнекамского месторождения солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Маг. регион. науч.-практ. конф. Пермь, 2000. С. 71–72.
- Сметанников А. Ф., Шанина С. Н.* Благородные металлы в солях Верхнекамского месторождения // Записки Российского минералогического общества. 2006. № 3. С. 61–65.
- Сметанников А. Ф.* Об образовании водорода при радиолитизации кристаллизационной воды карналлита и возможные следствия этого явления // Геохимия. 2011. № 9. С. 971–980.

Т. А. Ярцева

*Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт), г. Новочеркасск
yarceva123@rambler.ru*

Вариации минералого-геохимических параметров в разрезе соленосной толщи Гремячинского месторождения калийных солей (Волгоградская область)

(научный руководитель доцент А. А. Бутенков)

Целью работы является выявление особенностей условий накопления соленосной толщи Гремячинского месторождения калийных солей, расположенного в пределах Котельниковского района Волгоградской области. Фактический материал, послуживший основой написания статьи, был собран во время прохождения производственной практики в ОАО «Волга-Калий». Автором пройдены геологические маршруты, задокументирован керн скважин, отобран каменный материал, изучены фондовые и опубликованные источники, обработаны результаты химического и ми-