

Выводы

1. Показано, что высокотемпературный обжиг автоклавного концентрата – конечного продукта переработки (обогащения нефтетитановых руд) – инициирует образование диоксидов титана, близких по стехиометрии к рутилу, но с большим количеством примесей.

2. Показано, что повышение температуры обжига выше 800 °С приводит к формированию идеальных по морфологии кристаллов ильменита с высоким содержанием магния, что позволяет отнести эти образования к переходной разновидности титаната ильменит-гейкелит.

3. Показано, что получение пригодного для металлургии титана сырья посредством термохимического воздействия на автоклавный концентрат невозможно.

4. Наиболее перспективным направлением является обжиг кварц-лейкоксового концентрата, промежуточного продукта переработки нефтетитановых руд.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сметанников А.Ф., Коротченкова О.В., Оносов Д.В. Некоторые особенности минералогии нефтетитановых руд // Материалы юбилейного съезда Российского минералогического общества «200 лет РМО»: сб. тез. – СПб., 2017. – Т. 2. – С. 167-168.
2. Перовский И.А. Титаносиликаты из лейкоксеновых руд Ярегского месторождения: получение, свойства, применение: автореф. дис. ... канд. г.-м. н.: 25.00.05 / Перовский Игорь Андреевич. – Сыктывкар, 2020. – 22 с.
3. Сметанников А.Ф., Коротченкова О.В., Оносов Д.В. Некоторые минералого-технологические особенности нефтетитановых руд месторождения Ярега // Горное эхо. – 2021. – № 1 (82). – С. 33-39. – DOI: 10.7242/echo.2021.1.6.
4. Проект горно-обогатительного комплекса в составе Ярегского ГХК 2007 г. – Текст электронный. – URL: <http://www.yaregaruda.ru/ru/node/12>.

УДК 549.01

DOI:10.7242/echo.2021.4.3

ЭВОЛЮЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА НЕРАСТВОРИМОГО ОСТАТКА СОЛЕЙ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

И.И. Чайковский¹, Т.А. Уткина¹, Г.А. Исаева²

¹ Горный институт УрО РАН, г. Пермь

² Пермский государственный национальный исследовательский университет

Аннотация: Исследование на порошковом дифрактометре D2 Phaser 79 проб нерастворимого остатка, полученного из соляных пластов (сильвинитовых КрШб, КрШа, КрП, А и карналлитовых Б и В) Верхнекамского месторождения (Белопашнинский участок, скв. № 2201-2207) позволило проследить основные закономерности изменения минерального состава. Главными составляющими нерастворимого остатка солей (0-7 масс.%), являются аутигенные (ангидрит, доломит, магнезит, гематит, гетит) и аллотигенно-аутигенные (калиевый полевой шпат, кварц, иллит, хлорит) минералы. Последние образуются, замещают и являются продуктами преобразования обломочных частиц слоистых силикатов. Смена сильвиновой садки карналлитовой совпала с уменьшением связи солеродного бассейна Соликамской впадины с морем, что отразилось на существенном снижении количества осаждаемого ангидрита и возрастании доли терригенного материала (хлорит и иллит), приносимого с суши. Возросшая магнезиальность рассола во время карналлитовой седиментации обусловила осаждение магнезита совместно со сквозным доломитом. Радиогенное разложение, идущее с окислением двухвалентного железа и образованием соляной кислоты, особенно активно проявленное в карналлитовой зоне, обусловило, с одной стороны, образование гематита и гетита, а с другой – более интенсивную трансформацию глинистых минералов (до кварца и гид-

роксидов алюминия). Присутствие калия в рассоле на всем протяжении сильвиновой и карналлитовой садки обусловило высокое содержание новообразованного калиевого полевого шпата в исследуемом разрезе.

Ключевые слова: Верхнекамское месторождение солей, промышленные пласты, нерастворимый остаток, минеральный состав.

Исследованием минерального состава нерастворимого остатка (Н.О.) солей занимались для подбора эффективной технологии обогащения солей, изучения его связи с распределением благородных металлов и для выявления общих закономерностей седиментации в эвапоритовом бассейне [1, 4, 8].

Для выявления особенностей геохимической эволюции Соликамской впадины нами был изучен минеральный состав нерастворимого остатка керновых проб, полученных из скважин № 2201-2207, пробуренных на Белопашнинском участке Верхнекамского месторождения солей. Отобрано 79 керновых проб длиной от 0,2 до 7,7 м из промышленных пластов, а также междупластья КрIIIа-б, сложенного каменной солью. Пласты КрIIIб, КрIIIа, КрII, А сложены сильвинитом, а Б и В – карналлитом.

Для получения нерастворимого остатка пробы дробились на щековой дробилке до 2 мм и растворялись в воде до полного удаления хлоридов. Полученный остаток истирался до пудры и анализировался на порошковом дифрактометре D2 Phaser в секторе наноминералогии ПГНИУ методом Ритвельда. Средние значения содержаний минералов приведены в таблице, а вариации по разрезу – на рисунке.

Анализ распределения нерастворимого остатка по разрезу показывает, что в районе Камского прогиба его количество составляет 0-7 масс.%. Наибольшие вариации характерны для карналлитовых пластов Б и В.

Анализ морфологии минералов и возможных механизмов образования позволяет разделить их на аллотигенно-аутигенные и собственно аутигенные.

К аллотигенно-аутигенным отнесены слоистые силикаты (хлорит, иллит) которые встречаются в виде обломочных частиц обросших (и замещенных?) новообразованными кристаллами альбита, калиевого полевого шпата, ректорита и иллита [6], а также кварц и полевые шпаты, которые образуют идиоморфные кристаллы [5]. К аутигенным отнесены хемогенные ангидрит, доломит, магнезит [2], а также гематит и гетит, формирующиеся при распаде железосодержащего сильвина и карналлита [8].

Анализ распределения минералов по разрезу позволяет отметить следующее. Содержание кварца в карналлититовой зоне (пласты Б и В) практически в два раза превышает таковое в сильвинитовой. Содержание калиевого полевого шпата существенно не меняется при переходе от сильвинитовой зоны к карналлититовой, а хлорита и иллита – постепенно возрастает от пласта КрIIIа.

Распределение гематита относительно выдержано по разрезу, а гетита – резко возрастает в карналлититовой зоне. Содержание ангидрита изменяется пилообразно с максимумом в пласте КрIIIа и минимумом в пласте Б. Среднее содержание доломита по разрезу изменяется незначительно, однако сильные вариации типичны для карналлититовой зоны (пласты Б и В). Магнезит в значимых количествах фиксируется в богатой магнием карналлититовой зоне.

Таким образом, общее содержание нерастворимого остатка и его минеральный состав эволюционируют по разрезу. Наряду со сменой калийной седиментации калийно-магниевой, что проявляется в появлении магнезита и возросшей доли гетита, причиной изменения соотношения минералов в нерастворимом остатке может являться смена относительно равномерного поступления терригенного материала неравномерным. Это может быть связано с более высокой скоростью карналлитовой садки или возросшими колебаниями климатических условий.

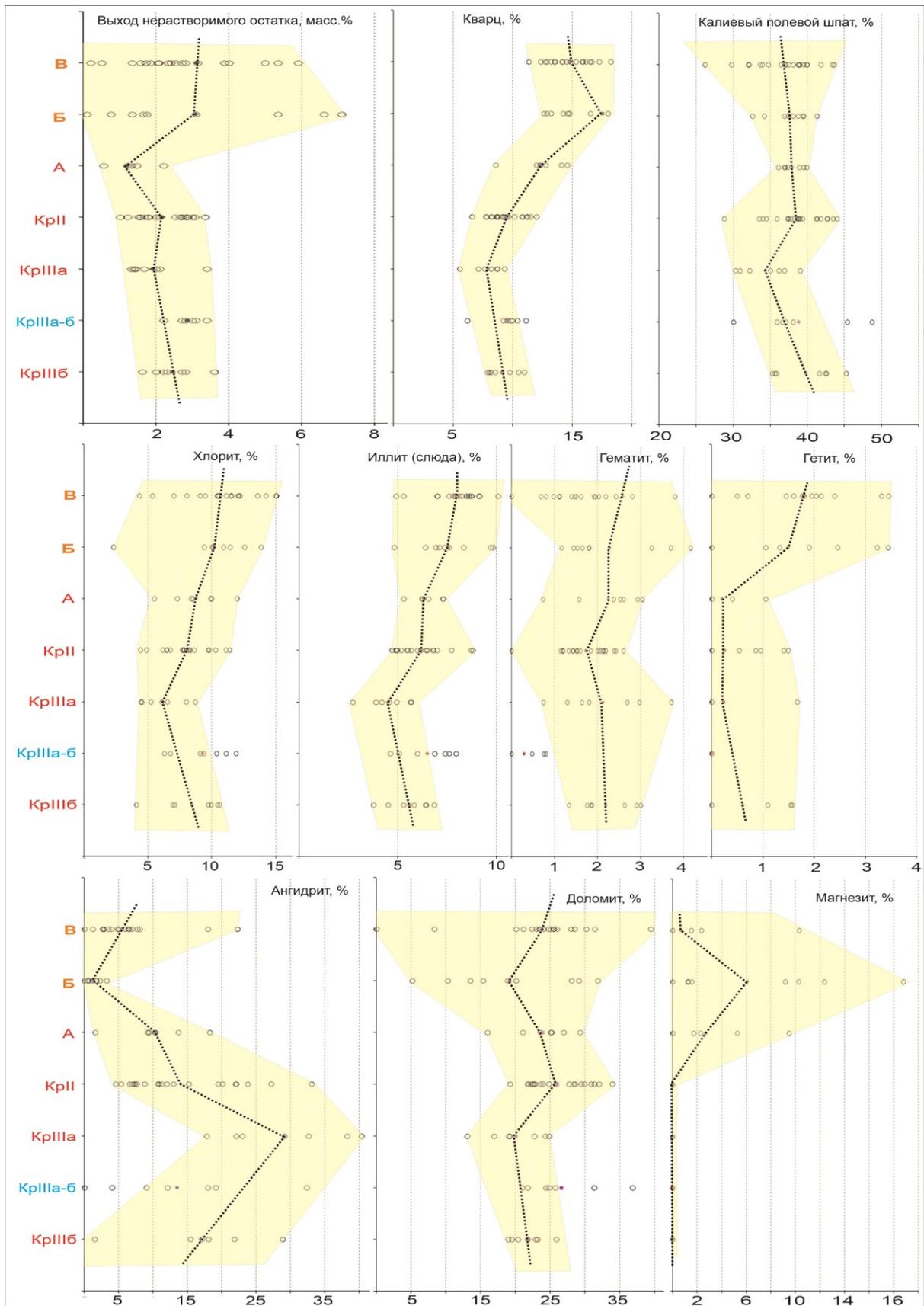


Рис. Распределение минералов нерастворимого остатка в промышленных пластах Верхнекамского месторождения солей. Оранжевым шрифтом показаны карналлитовые пласты, красным – сильвинитовые, синим – галитовые. Пунктиром показаны средние значения

Таблица

Среднее содержание минералов в нерастворимом остатке, масс.%

	Наименование пласта						
	КрIIIб	КрIIIа-б	КрIIIа	КрII	А	Б	В
Кол-во проб	7	7	7	21	7	9	21
Содержание Н.О.	2,5	2,9	1,9	2,2	1,2	3,1	3,1
Ангидрит	16,9	13,5	29,0	14,0	10,4	1,2	5,5
Гипс	0,0	0,0	0,3	0,3	0,1	0,5	0,7
Доломит	21,8	26,5	20,0	26,0	23,9	19,1	23,8
Кальцит	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Магнезит	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	6,1	0,7
Кварц	9,1	9,5	7,9	9,4	12,3	17,5	14,7
КПШ	34,8	33,8	29,4	33,5	33,0	32,6	31,8
Хлорит	8,4	9,3	6,2	8,1	8,8	10,2	10,7
Слюда (иллит)	5,6	6,5	4,5	6,2	6,3	7,6	8,0
Гематит	2,2	0,3	2,1	1,7	2,3	2,3	2,6
Гетит	0,6	0,0	0,2	0,3	0,2	1,5	1,8

В целом от сильвинитовой зоны к карналлититовой происходит довольно резкое падение содержания ангидрита, что может отражать уменьшение связи с морским бассейном, и постепенный рост количества привнесенного с суши алюмосиликатного материала (хлорита и иллита), часть которого идет на формирование калиевого полевого шпата и кварца. Содержание последнего особенно сильно возрастает в карналлититовой зоне, что позволяет предполагать связь с преобразованием слоистых силикатов под воздействием соляной кислоты, образующейся при радиоллизе карналлита [7, 8].

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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аполлонов В.Н., Барсанов Г.П., Блинов В.А. и др. О полевым шпате галопелитов Верхнекамского месторождения // Докл. АН СССР. – 1975. – Т. 225, № 4. – С.908-910.
2. Коротченкова О.В. Особенности химизма карбонатных минералов Верхнекамского месторождения калийных солей (Пермский край) // Уральская минералогическая школа. – 2018. – № 24. – С. 93-97.
3. Сметанников А.Ф., Филиппов В.Н. Некоторые особенности минерального состава соляных пород и продуктов их переработки (на примере Верхнекамского месторождения солей) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: сб. науч. ст. / ПГУ, ГИ УрО РАН. – Пермь, 2010. – С. 99-113. – (Науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского; Вып. 13).
4. Тетерина Н.Н., Сабиров Р.Х., Сквирский Л.Я., Кириченко Л.Н. Технология флотационного обогащения калийных. – Пермь; Соликамск; Березники, 2002. – 484 с.
5. Чайковский И.И., Чиркова Е.П. Аутигенные полевые шпаты Верхнекамского месторождения солей // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского / ПГНИУ [и др.]. – Пермь, 2013. – Вып. 16. – С. 68-74.
6. Чайковский И.И., Коротченкова О.В. Новообразованные гидроксиды алюминия и гидрослюды Верхнекамского месторождения // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии: материалы минералогического семинара с Междунар. участием. – Сыктывкар, 2016. – С. 81-82. – (Юшкинские чтения – 2016).
7. Чайковский И.И., Чиркова Е.П., Трапезников Д.Е. Каолинит, гоэцит и гидроксиды алюминия – новые высокоглиноземистые минералы Верхнекамского месторождения // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Сб. ст. по материалам юбилейной конф., посвящ. 100-летию Перм. ун-та и 85-летию геологич. ф-та / ПГНИУ; под общ. ред. Р.Г. Ибламинова. – Пермь, 2016. – С. 94-97.
8. Чайковский И.И., Чиркова Е.П., Трапезников Д.Е. Хромжелезистые метаколлоидные образования из белых карналлититов Верхнекамского месторождения // Вестн. Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. – 2017. – № 3. – С. 20-27.
9. Яржемская Е.А. Вещественный состав галопелитов // Материалы по петрографии районов соленакопления: [сб. ст.] / под общ. ред. Вязовой [и др.]. – Л., 1954. – С. 260-314. – (Тр. ВНИИГ, вып. 29).