

личный комплекс его документов, книг и вещей, характеризующий раздел «История развития спелеологии в России и на Урале» (рис. 3).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дублянский В.Н. Пещеры и моя жизнь. – Пермь: ПГУ, 2006. – 257 с.: ил. – (Ученые Пермского университета).
2. Кунгурская ледяная пещера: опыт режимных наблюдений / ГИ УрО РАН; под ред. В.Н. Дублянского; [отв. ред. А.И. Кудряшов]. – Екатеринбург, 2005. – 376 с.: ил.
3. Наумкин Д.В., Лаврова Н.В. 70 лет на службе науке и культуре // Горн. журн. – 2018. – № 5. – С. 97-100.
4. Наумкин Д.В., Осетрова О.И. Обзор тематической коллекции фалеристики в фондах музея карста и спелеологии // Грибушинские чтения – 2017. Кунгурский диалог: тез. докл и сообщений XI Междунар. соц.-культ. форума. – Пермь, 2017. – С. 586-591.
5. Осетрова О.И. Музей карста и спелеологии Горного института УрО РАН // Грибушинские чтения – 2013. Кунгурский диалог: тез. докл и сообщений IX Междунар. соц.-культ. форума. – Кунгур, 2013. – С. 373-375.
6. Grotte e storie dell'Asia Centrale. – Padova: TURRA Snc., 1992. – 310 p.

УДК 553.632; 553.3.072

DOI:10.7242/echo.2020.3.4

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ГАЛУРГИЧЕСКИХ И ФЛОТАЦИОННЫХ ШЛАМОВ

А.Ф. Сметанников, Д.В. Оносов  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** Рассматриваются особенности изменения состава флотационных и галургических шламов в процессе их преобразования (утилизации) и возможности применения продуктов утилизации.

Представлены рекомендации по использованию продуктов утилизации в качестве комплексных удобрений пролонгированного действия, и в качестве источников сырья для извлечения попутных (полезных) компонентов. Это в основном органические соединения благородных металлов, халькофильные элементы и редкоземельные элементы.

Основной инструмент преобразований – высокотемпературный обжиг. Продукты обжига позиционируются как комплексные удобрения пролонгированного действия, содержащие попутные компоненты, которые предстоит извлечь. При низких температурах обжига происходит отжиг органики и формирование кислоторастворимых соединений благородных металлов. Извлечение этим способом приводит к образованию вторичных «кислотных» отходов. Повышение температуры обжига приводит к «минерализации» органических соединений благородных металлов, что инициирует возможность их извлечения методами, исключающими применение кислот. В этом случае отходы полностью соответствуют заданным свойствам удобрений. Еще одной особенностью состава шламов является наличие богатого спектра редкоземельных элементов (РЗЭ) как цериевой, так и иттриевой групп. Цериевая группа РЗЭ представлена монацитом, иттриевая группа – ксенотимом. Наличие РЗЭ также увеличивает перспективы использования преобразованных шламов в качестве сырья для извлечения редкоземельных элементов.

Флотационные и галургические шламы после высокотемпературного обжига в равной степени могут быть использованы в качестве удобрений пролонгированного действия. Важным отличием является наличие полного спектра благородных металлов (Au, Pt, Pd, Ag) в галургических шламах и отсутствие золота во флотационных шламах. Отсутствие золота во флотационных шламах обусловлено тем, что золото в соляных породах связано с красным пигментом сильвина и при флотационном обогащении оно вместе с сильвином «уходит» в товарный продукт (хлористый калий). Платина, палладий, серебро связаны в межзерновом нерастворимом в воде остатке и при обогащении скапливаются во флотационных шламах. При галургическом переделе, связанном с растворением сильвина, золото остается в шламах.

**Ключевые слова:** галургические и флотационные шламы, огарки, комплексные удобрения пролонгированного действия, хлориды, сульфаты, сульфиды, органические соединения благородных металлов, халькофильные элементы, редкоземельные элементы, высокотемпературный обжиг, кислотные отходы, обогащение.

## Введение

Глинисто-солевые отходы после переработки К-Mg руд (далее шламы) представляют собой суспензию, состоящую на 30% из нерастворимого в воде остатка (далее Н.О.), на 30% из остаточных хлоридов (галит, сильвин) и 40% воды. В галургических шламах сильвин и галит присутствуют практически в равной степени. Флотационные шламы в основном содержат галит.

Наибольший интерес представляет Н.О., как матрица для получения комплексных удобрений пролонгированного действия и сырья для извлечения благородных металлов, редкоземельных элементов и халькофильных элементов. Минеральная матрица Н.О. представлена сульфатами кальция (гипс, ангидрит), доломитом, кварцем, калиевым полевым шпатом (далее КПШ), в меньшей степени баритом. Эти минералы имеют определяющее значение для использования в качестве комплексных удобрений пролонгированного действия: КПШ – источник калия; доломит и сульфаты кальция имеют свойства минералов мелиорантов; минералы микропримеси (сульфиды Cu, Zn, Pb, Co и др.) позиционируются как микроудобрения. Все эти качества (свойства) удобрений позволяют рассматривать их как фактор, укрепляющий и восстанавливающий агрохимические и агрофизические свойства почв. Особое значение это имеет для кислых дерново-подзолистых почв Пермского края [1].

Осложняющим моментом является присутствие в шламах остаточных хлоридов сильвина и галита для галургических шламов, и галита для флотационных шламов. Эти минералы (в основном галит) частично удаляются при подготовке шламов к обжигу.

Источниками полезных (попутных) компонентов в шламах являются сульфиды Cu, Zn, Pb, Co, редкоземельные минералы (ксенотим и монацит), вмещающими также примеси Ta, Nb, W, и других тяжелых металлов. Источником или носителем благородных металлов являются органические соединения благородных металлов, носителями которых являются сульфаты кальция [2]. Для преобразования этих соединений в извлекаемую форму была разработана технология [3].

Таким образом, формируется комплекс задач для получения информации о возможности утилизации флотационных и галургических шламов и использования продуктов утилизации в качестве комплексных удобрений пролонгированного действия, а также сырья для извлечения благородных металлов и редкоземельных элементов. Последние, в свою очередь, могут быть использованы в медицине (особенно цериевые соединения). Для выполнения этого комплекса задач в качестве основы использовалась методология изучения галургических шламов [4].

## Методы и подходы

Многокомпонентный состав шламов и наличие большого количества элементов и минералов микропримесей в разных формах нахождения, которые могут быть востребованы как отдельные товарные продукты, определяют методологию исследований как набор методов и методик, результаты применения которых должны свидетельствовать о каждом из составляющих компонентов шламов.

Для изучения вещественного состава исходного материала и минерального баланса как базовый используется количественный рентгенофазовый анализ.

Далее следует химический анализ состава шламов с весовым определением Н.О. шлама и химическим анализом ионно-солевого состава [5]. Но поскольку основной интерес проявляется к Н.О., в котором сосредоточены основные интересующие попутные компоненты, то химический анализ исходного материала может дополняться классическим силикатным анализом, но с обязательным определением хлорид иона. Так как в шламе достаточно высокое содержание хлоридов и баланс минерального состава нужен полный, поэтому требуется полный химический анализ.

Следующая группа анализов должна давать информацию об элементах и минералах в микропримесях, большая часть из которых находится в разных формах нахождения. Это в первую очередь группа атомно-спектральных методов, которыми определяется до 60 и больше микроэлементов. Поскольку размеры частиц микроэлементов часто составляют микроны и даже нанометры, то разработан капиллярно-электролитический способ поиска таких частиц [6].

Среди элементов микропримесей в шламах имеются органические соединения благородных металлов, определение содержания которых составляет отдельную проблему. Органические соединения благородных металлов традиционными видами анализа, в том числе и атомно-спектральными, не могут быть проанализированы, поскольку при разложении пробы и подготовке ее к анализу применяются различные методы температурного и кислотного воздействия. В этих условиях органические соединения отжигаются и благородные металлы теряются.

Была разработана методика анализа, использующая в виде матрицы традиционный пробирно-масс-спектрометрический способ (ПМС), но с подшихтовкой хлоридами (для шламов это остаточные хлориды). Метод завершился разработкой патентов [7, 8]. Данный метод в исходном шламе позволяет определить содержание благородных металлов всего спектра (Au, Pt, Pd, Ag). Этот спектр – характерная геохимическая особенность шламов, где другие платиноиды отсутствуют. На этой основе была разработана технология извлечения благородных металлов [3].

В качестве технологических и минералого-технологических методов исследований использовались обогатительные методы – обесшламливание, отмывка солей, гранулометрический анализ нерастворимого в воде остатка (Н.О.). Основным технологическим методом исследований служил высокотемпературный обжиг и его варианты, отличающиеся температурными интервалами. При обжиге шлама с содержанием хлоридов 15-20% происходит твердофазное преобразование с разрушением хлоридов сульфатов, карбонатов, частично калиевых полевых шпатов и формированием из разрушенного материала новых минералов, в основном пироксена, выполняющего роль минерала мелиоранта, взамен частично разрушенных сульфатов, карбонатов, КПШ и хлоридов. Кроме того, обжиг приводит к минерализации практически всех элементов и минералов микропримесей, что дает возможность применять масс-спектральные методы исследования вещества без риска потери анализируемых элементов.

Для благородных металлов в обожженных шламах (огарках) масс-спектральный метод позволил получить результаты по определению содержания благородных металлов, сопоставимые с методом ПМС для исходных шламов. Т.е. в исходном шламе благородные металлы могут быть определены методом ПМС, и это контрольный анализ. После высокотемпературного обжига «минерализованные» элементы могут быть определены масс-спектральными методами.

Далее методические приемы связаны с переработкой огарка для дальнейших исследований и включают гранулометрический анализ, рассев на классы крупности и применение микрорентгеноспектрального метода (микрозонд) для оценки распределения минерализованных элементов в огарке. Результаты исследований могут быть использованы при разработке исходных данных для обогатительных операций.

Таким образом, методические приемы исследований шламов включают следующую последовательность: выделение Н.О., отмывка, обессоливание, сушка, грануляция, иначе говоря, подготовка к обжигу. На этой стадии все предлагаемые методы анализа дают информацию о вещественном составе шламов.

Следующая стадия технологических исследований – высокотемпературный обжиг и последующая обработка огарка, также включающая измельчение, обесшламливание, отмывку концентрата и выделение его для дальнейших исследований. Здесь также применяется вся последовательность анализов, приведенных выше.

Указанные виды анализа могут представить полную картину вещественного состава, состава элементов микропримесей и форм их нахождения. Но применение всего спектра анализов достаточно дорого и трудоемко и не всегда оправдывает поставленные задачи. В случае постановки задачи минералого-технологической оценки материала возможно использовать наиболее оптимальный комплекс анализов.

В этом материале используются данные количественного рентгенофазового анализа (РКФА), масс-спектрального метода с индуктивно связанной плазмой (ИСП МС) и рентгено-флуоресцентного способа (РФА), как необходимые для описания состава исходного и преобразованного шлама.

## Основные результаты

### Галургические шламы

Галургические шламы были исследованы на опытно-промышленной установке по переработке шламов до 2011 года. Дальнейшая переработка, обжиг, минералого-аналитические исследования и минералого-технологические исследования (по извлечению благородных металлов) были завершены в 2012 году. Полевые испытания огарка в качестве удобрения были проведены до 2013 г. и завершились разработкой патента [4]. Необходимо отметить, что работа с галургическими шламами проводилась с текущими выпусками шламов. Материал этот в высокой степени гомогенизирован и какой-либо зональности в распределении матричных элементов и элементов микропримесей не наблюдается.

В таблице 1 показан минеральный состав шламов, прошедших последовательную обработку обезвоживанием, сушкой, грануляцией и обжигом. Видно, что грануляция и сушка не меняют состав материала, меняется только соотношение компонентов (минералов). Обжиг приводит к разрушению части минералов и образованию новых. В основном разрушаются доломит и ангидрит. Основным новообразованием является пироксен.

Таблица 1

### Минеральный состав и содержание компонентов в шламах и продуктах их переработки (по данным РКФА), масс. %

Обезвоженный шлам							
ангидрит	кварц	КПШ	доломит	галит	сильвин	пирит	хлорит
22	16	18	14	11	16	2	1
Гранулят (продукт обогащения)							
ангидрит	кварц	КПШ	доломит	галит	сильвин	пирит	хлорит
25	16	22	18	3	8	4	3
Огарок (продукт обжига гранулята)							
ангидрит	кварц	КПШ	пироксен	галит	сильвин	мелилит	-
2	12	22	46	1	8	8	

В таблице 2 показаны результаты обжига с применением разных температур.

Применение разных температур обжига привело к формированию оптимального состава по матричным минералам с сохранением основных мелиорирующих минералов (доломит, ангидрит) и образованию новых мелиорирующих минералов (пироксен).

Максимально сохранились минералы – источник калия (КПШ) и образовался вторичный минерал калия (сульфат калия – сингенит). Иначе говоря, температура обжига 900°C является оптимальной для использования огарка в качестве комплексного удобрения пролонгированного действия.

Таблица 2

**Минеральный состав огарка при разных температурах обжига,  
масс. % (по данным РКФА)**

Т°С обжига	Минеральный состав (прибл. вес. %)									
	кварц	КПШ	доломит	галит	сильвин	ангидрит	гематит	пи- роксен	сингенит	слюда
600	10	18	8	5	4	44	2	13		1
800	9	15	5	3	4	40	2	19	2	1
900	8	13	2	1	2	18	2	43	8	

\*Сингенит -  $K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$ ; Анализ выполнен на дифрактометре SHIMADZU XRD-6000.

Поскольку задача исследований шламов комплексная, то изучались и элементы микропримеси (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание микропримесных элементов в Н.О. шламов**

Элемент		Содержание	Метод анализа	Элемент		Содержание	Метод анализа
Литий	Li	9,3	Aes,Ms	Лантан	La	7,7	Ms
Бериллий	Be	0,67	Ms	Церий	Ce	18	Ms
Скандий	Sc	11	Ms	Празеодим	Pr	2,6	Ms
Ванадий	V	230	Aes	Неодим	Nd	11	Ms
Хром	Cr	120	Aes,Ms	Самарий	Sm	3,1	Ms
Кобальт	Co	10	Aes,Ms	Европий	Eu	0,76	Ms
Никель	Ni	100	Aes,Ms	Гадолиний	Gd	2,9	Ms
Медь	Cu	3500	Aes,Ms	Тербий	Tb	0,42	Ms
Цинк	Zn	60	Aes,Ms	Диспрозий	Dy	2,4	Ms
Галлий	Ga	5,4	Ms	Гольмий	Ho	0,61	Ms
Мышьяк	As	6,1	Ms	Эрбий	Er	1,3	Ms
Селен	Se	17	Ms	Тулий	Tm	0,13	Ms
Рубидий	Rb	28	Ms	Иттербий	Yb	1,2	Ms
Стронций	Sr	280	Aes,Ms	Лютеций	Lu	0,19	Ms
Иттрий	Y	9,1	Ms	Гафний	Hf	1,4	Ms
Цирконий	Zr	48	Ms	Тантал	Ta	0,50	Ms
Ниобий	Nb	2,8	Ms	Вольфрам	W	0,68	Ms
Молибден	Mo	1,1	Ms	Рений	Re	< 0,04	Ms
Родий	Rh	< 0,1	Ms	Иридий	Ir	< 0,02	Ms
Палладий	Pd	3,3	Ms	Платина	Pt	0,79	Ms
Серебро	Ag	2,6	Ms	Золото	Au	0,17	Ms
Кадмий	Cd	0,12	Ms	Ртуть	Hg	0,16	Ms
Олово	Sn	0,67	Ms	Таллий	Tl	0,11	Ms
Сурьма	Sb	0,56	Ms	Свинец	Pb	3,4	Ms
Теллур	Te	0,89	Ms	Висмут	Bi	0,15	Ms
Цезий	Cz	0,40	Ms	Торий	Th	2,0	Ms
Барий	Ba	230	Aes,Ms	Уран	U	1,3	Ms

АЭС-ИСП - Атомно-эмиссионный метод анализа с индуктивно связанной плазмой;

МС-ИСП - Масс-спектрометрический метод анализа с индуктивно связанной плазмой

Формой их нахождения явились определенные минеральные группы: минералы, концентрирующие редкоземельные элементы (ксенотим, монацит), халькофильные элементы в виде сульфидов и, наконец, многочисленные негомогенные фазы Sn, W, Ta, и др. На рисунке 1 показаны примеры таких негомогенных фаз.

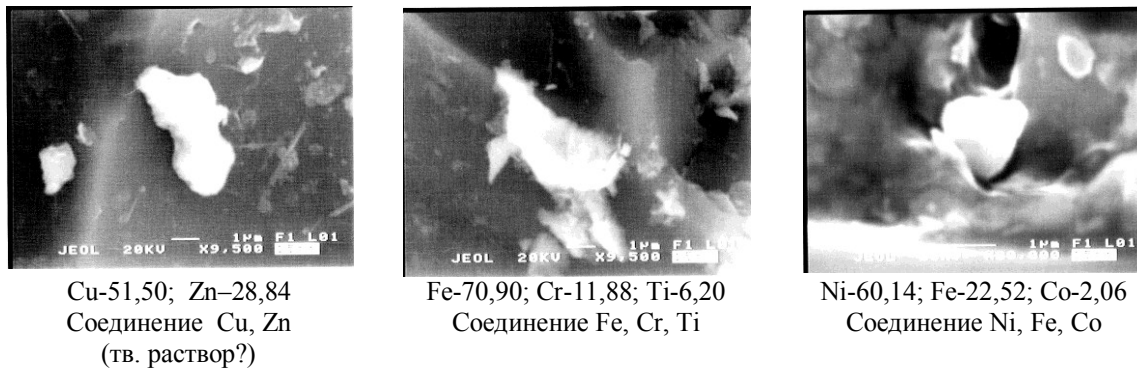


Рис. 1. Микрофото микрочастиц соединений металлов

Таким образом, техногенная минерализация галургических шламов представлена матричными минералами, составляющим основу минерального состава огарка (значительная часть матричных минералов сохраняется после обжига), и техногенной минерализацией, представленной микропримесями. Причем халькофильные элементы, представленные в исходном шламе сульфидами, в огарке отжигаются и переходят предположительно в оксидную форму, образуя тонкие пленки на матричных минералах.

**Флотационные шламы**

Исследования проводились на флотационных шламах БПКРУ-3 ПАО «Уралкалий». Исходные флотационные шламы изучались как отдельно, так и в смеси с другими отходами (эфелями – отходами обогащения фосфоритов).

Флотационные шламы в шламохранилищах обнаруживают проявление вертикальной минералогической зональности с глубиной, что незначительно отражается на составе матричных минералов, но обнаруживает эффект накопления с глубиной попутных компонентов, в том числе и благородных металлов.

Всего было отобрано 4 пробы с разной глубины шламохранилища и изучен их минеральный состав (табл. 4). Как видно из табличных данных, по составу матричных минералов флотационные шламы практически не отличаются от галургических.

Таблица 4

**Исходные шламы (пробы БЗ УЛТП-1, 2, 3, 4)**

Интервал отбора, м	Минеральный состав (прибл. вес. %)									
	кварц	галит	сильвин	КПШ	доломит	гипс	ангидрит	слюда	хлорит	цеолит
0-0,5	4	51	9	12	8	11	2	сл.	сл.	3
0,5-1,25	6	17	7	26	14	16	4	5	3	2
1,25-2,0	7	9	3	26	17	26		7	3	2
2,0-3,0	5	11	4	24	25	16	5	7	3	

Анализ выполнен на дифрактометре SHIMADZU XRD-6000, Cu-анод, графитовый монохроматор. Расчет содержаний проведен методом Ритвельда в программном продукте SIROQUANT V4.

Была подготовлена смесь шламов и эфелей. Обжиг был использован для трех проб (1-3) только шламов, и одна проба обжигалась в виде смеси шламов и эфелей (табл. 5).

Таблица 5

**Огарки из шламов\* и смеси шламов и эфелей\*\***

№ пробы	Минеральный состав (прибл. вес. %)								
	кварц	галит	сильвин	акерманит	содалит	пироксен	КПШ	ангидрит	апатит
1*	4	12	14	29	6	22	10	3	
2*	6	5	8	23	11	31	12	5	
3*	7	3	6	39	4	17	17	6	
4**	11	4	5	35	5	15	9	4	13

Анализ выполнен на дифрактометре SHIMADZU XRD-6000, Cu-анод, графитовый монохроматор.

Анализ минерального состава обожженных шламов и смеси шламов и эфелей показал (табл. 5), что матричный минеральный состав шламов и смеси шламов и эфелей практически идентичен, за исключением, апатита присутствующего в смеси.

Полученный огарок является комплексным удобрением, где комплексность выражается сочетанием питательных компонентов (K, Mg, Ca), мелиорирующих компонентов (гипс, доломит) и микроэлементов. Включение эфелей в состав огарка (проба 4) не вызывает негативных изменений в составе, и такие смеси вполне можно использовать как комплексные К-Р удобрения, включающие стандартный состав матричных минералов (мелиорирующих компонентов).

Минералы – содалит, акерманит, пироксен – являются новообразованными и рассматриваются как мелиорирующие компоненты огарка. Был исследован минеральный состав и состав микропримесей, которые могут позиционироваться как микроудобрения, в пробе 4 (табл. 5). Минеральный состав и состав примесей огарка приведены в таблице 6.

Таблица 6

**Минеральный состав огарка из смеси шлама и эфелей и примесей**

№ пробы	Минеральный состав (масс, %)								
	кварц	галит	сильвин	акерманит	содалит	пироксен	КПШ	ангидрит	апатит
4**	11	4	5	35	5	15	9	4	13
	Состав примесей, в ppm								
	Cu	Zn	Ni	Pb	Sn	Zr	Mn	Fe	Sr
	79	109	150	58	178	89	1094	43073	657

Анализ выполнен на дифрактометре SHIMADZU XRD-6000, Cu-анод, графитовый монохроматор.

Форма нахождения элементов микропримесей – оксидная. Поскольку микропримеси были исследованы рентгено-флюоресцентным способом, то полнота спектра и количественные характеристики не соответствовали современным требованиям. Рекомендуется применение масс-спектральных методов.

Были проведены более детальные исследования элементов микропримесей благородных металлов в обожженных шламах по материалам ранее отобранных проб. Продукт обжига, огарок, был проанализирован методом ИСП МС с полным разложением пробы и переводом ее в раствор (табл. 7).

Таблица 7

## Содержания Pd, Pt, Ag, Au в огарке (по данным ИСП МС)

Интервал опробования, м	Содержания, г/т			
	Pd	Pt	Ag	Au
0-0,5	3,91	1,57	12,0	<0,1
0,5-1,25	<0,05	<0,05	0,87	<0,1
1,25-2,0	<0,05	<0,05	0,48	<0,1
2,0-3,0	11,0	6,33	26,0	<0,1

В процессе обжига произошло преобразование органических соединений благородных металлов и образование минеральных форм Ag, Pd, Pt. Помимо благородных металлов обнаружены высокие содержания халькофильных элементов, редкоземельных элементов и Ni, Li, Sc, Zr, Sn, Ce, W, Ta, Nb.

Отсутствие золота во флотационных шламах (огарках) обусловлено тем, что золото в соляных породах связано с красным пигментом сильвина и при флотационном обогащении оно вместе с сильвином «уходит» в товарный продукт (хлористый калий). Pt, Pd, Ag связаны в межзерновом Н.О. и при обогащении скапливаются в шламах [9].

**Выводы**

1. Галургические и флотационные шламы идентичны по составу матричных минералов, минералов и элементов микропримесей. Для флотационных шламов, размещенных в шламохранилище, обнаруживается тенденция к изменению грансостава с глубиной в сторону увеличения объема мелких фракций с увеличением в составе кварц-полевошпат-доломитовой составляющей. Галургические шламы – это в основном текущие выпуски – не обнаруживают проявления какой либо зональности, также и для благородных металлов.

2. Наиболее характерной особенностью флотационных шламов является формирование зоны обогащения Pt, Pd, Ag и редкоземельными элементами, начиная с глубины 3 метра. Содержание Pt, Pd, Ag увеличивается в 2-3 раза в сравнении с верхними частями разреза шламохранилища.

3. Техногенная минерализация как в галургических, так и во флотационных шламах идентична. Это позволяет рекомендовать оба типа шламов в качестве удобрений пролонгированного действия.

4. «Минерализация» органических соединений благородных металлов при проведении высокотемпературного обжига позволяет прогнозировать возможность выделения этих металлов, минуя кислотные способы. В одинаковой степени это относится к редкоземельным и халькофильным элементам, а также к Ni, Li, Sc, Zr, Sn, Ce, W, Ta, Nb.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сметанников А.Ф., Косолапова А.И., Корляков К.Н., Оносов Д.В., Фомин Д.С., Ямалтдинова В.Р., Шишков Д.Г., Оносова Е.Ф. Концепция использования комплексных удобрений пролонгированного действия на основе отходов переработки калийно-магниевого руд, как новой парадигмы в улучшении плодородия почв // Бюллетень почвенного института имени В.В. Докучаева. – 2019. – Вып.100. – С. 133-158. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-133-158.
2. Седых Э.М., Сметанников А.Ф., Банных Л. Н., Шанина С.Н. Особенности определения Au, Pt и Pd в соляных породах Верхнекамского месторождения // Геохимия. – 2017. – № 4. – С. 363-367.
3. Способ извлечения благородных металлов: пат. № 2386710 Рос. Федерация: МПК С 22 В 11/00 (2006.01) / Синегрибов В.А., Сметанников А.Ф., Юдина Т.Б., Новиков П.Ю., Логвиненко И.А., Красноштейн А.Е.; патентообладатель ЗАО «Уралкалий-Технология». – № 2008138812/02. заявл. 29.09.2008; опублик. 20.04.2010.



4. Способ переработки отходов калийного производства: пат. 2497961 Рос. Федерация: МПК С 22 В 11/00 (2006.01), С 22 В 7/00 (2006.01) / Сметанников А.Ф., Оносов Д.В., Синегрибов В.А., Косолапова А.И., Новиков П.Ю., Семенов А.А.; патентообладатель ГИ УрО РАН. – № 2012142039/02. заявл. 02.10.2012; опубл. 10.11.2013.
5. Методы анализа рассолов и солей / под ред. Ю.В. Морачевского и Е.М. Петровой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.; Л.: Химия, 1964. – 403 с.: ил.
6. Капиллярно-электролитический способ извлечения микро-и наночастиц соединений металлов из тонких фракций горных пород, руд и техногенных продуктов: пат. 2659871 Рос. Федерация: МПК В 82 В 3/00 (2006.01) / Сметанников А.Ф., Оносов Д.В.; патентообладатель: ПФИЦ УрО РАН. – № 2016150221. заявл. 20.12.2016; опубл. 04.07.2018. – Бюл. № 19.
7. Способ подготовки проб нерастворимого остатка соляных пород и продуктов их переработки для качественного и количественного определения содержания благородных металлов: пат. №2347206 Рос. Федерация: МПК G 01 N 1/28 (2006.01) / Сметанников А.Ф., Синегрибов В.А., Логвиненко И.А., Новиков П.Ю., Седых Э.М., Шанина С.Н., Красноштейн А.Е.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Уралкалий-Технология». – № 2007128507/28; заявл. 24.07.2007; опубл. 20.02.2009. – Бюл. № 5.
8. Способ качественного и количественного определения органических соединений благородных металлов в породах различного состава: пат. №2354967 Рос. Федерация: МПК G 01 N 30/06 (2006.01) / Сметанников А.Ф., Серебряный Б.Л., Красноштейн А.Е.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Уралкалий-Технология». – № 2007134762/28; заявл. 18.09.2007; опубл. 10.05.2009. – Бюл. № 13.
9. Сметанников А.Ф., Оносов Д.В., Синегрибов В.А., Новиков П.Ю., Шанина С.Н. Благородные металлы в солях Верхнекамского месторождения и технология их извлечения // Горн. журн. – 2013. – № 6. – С. 55-58.

УДК 552.53

DOI:10.7242/echo.2020.3.5

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ЛИТОЛОГИИ И ГАЗОНОСНОСТИ СОЛЯНЫХ ПОРОД НА ПРИМЕРЕ ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ

Д.Е. Трапезников, Е.П. Чиркова  
Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация.** В статье представлены результаты изучения литологии и газового состава чистых сильвинитов, глинистых сильвинитов и каменных солей. Чистые сильвиниты, имеющие малую примесь глины, характеризуются меньшим содержанием метана и пропана, но большим содержанием сложных углеводородов и широким размахом содержания азота. Глинистые сильвиниты содержат значительно больше метана и тяжелых углеводородов, но значительно меньше пропана и азота. Каменные соли характеризуются низкими содержаниями тяжелых углеводородов и высокими – азота.

**Ключевые слова:** Верхнекамское месторождение солей, газоносность, сильвинит, каменная соль, углеводороды.

### Введение

На газоносность соляных пород влияет множество факторов, таких как литологический состав солей и подсолевых отложений, вторичные преобразования, вызванные диа-, катагенетическими и тектоническими процессами [1, 4].

В соляных породах выделяют свободный и связанный газ. Свободный газ локализован в глинистых прослоях, межзерновом пространстве и способен активно мигрировать в процессе тектонического или техногенного влияния на залежь. Считается, что он имеет полигенную природу [4]. К связанным газам относят включения в зернах солей, которые были захвачены кристаллом в процессе роста и перекристаллизации.

Верхнекамское месторождение солей расположено на территории Пермского края и в тектоническом отношении относится к Соликамской впадине Предуралья Краевого прогиба [2]. Соляная залежь относится к иренскому горизонту кунгурского яруса (рис. 1). Морфологически залежь представляет собой овальную линзу мощностью бо-