

# ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 553.632

## Минералого-технологические свойства сильвинитов Тюбегатанского месторождения

Г.А. Исаева

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: g\_isaeva@psu.ru

*(Статья поступила в редакцию 18 августа 2017 г.)*

В статье приведены результаты исследований минералого-технологических свойств калийных солей продуктивного пласта Нижний II Тюбегатанского месторождения. Несмотря на значительные изменения структурно-текстурных особенностей и вещественного состава соляных пород прослеживаются механизмы кристаллизации, аналогичные таковым для Верхнекамского месторождения, что в обоих случаях отражается на их минералого-технологических свойствах. Анализ полученных данных показал, что изученные свойства полезного ископаемого связаны с палеогеографическими условиями их образования: породы, сформировавшиеся в мелководных обстановках, характеризуются более низкой степенью раскрытия полезного компонента, чем глубоководные образования.

Ключевые слова: *сильвинит, соляные породы, минералого-технологические свойства, калийные соли, галопелиты.*

DOI: 10.17072/psu.geol.16.3.264

### Введение

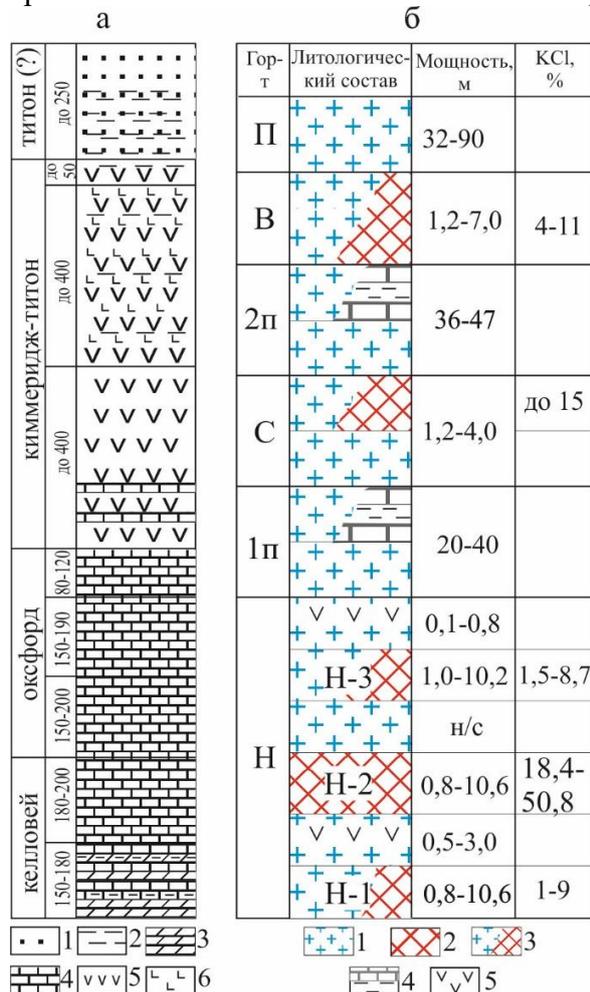
Хлористый калий из сильвинитов составляет около 96% мирового производства калия в мире (Warren, 2016).

Среднеазиатский калиеносный бассейн, в котором расположено Тюбегатанское месторождение, охватывает территории юго-восточной части Туркменистана, юга Узбекистана, юго-запада Таджикистана и северную часть Афганистана (Высоцкий и др., 1988). Среди 13 калийных месторождений и проявлений региона наиболее изученным является Тюбегатанское, эксплуатация которого началась с 2010 г. (узбекская часть). Изучение строения месторождения (Кудряшов, Грибков, 2010; Набиев, Осичкина, 1965) показало, что калиеносные пласты в его пределах являются невыдержанными как по разре-

зу, так и по латерали. Данные геологической службы также подтверждали изменчивость содержания КСI в продуктивных пластах.

Экономическая эффективность эксплуатации месторождений зависит не только от природных условий залегания полезного ископаемого, но и выбора технологии его извлечения и обогащения. Технологические свойства минералов в свою очередь зависят от вещественного состава и структурно-текстурных характеристик породы, которую они слагают (Вишняков, Молоштанова, 2010; Технология флотационного обогащения ..., 2001). В частности, при флотационном способе обогащения сильвинитов, осуществляемом на Дехканабадском заводе калийных удобрений, важную роль играет степень раскрытия полезного компонента, опреде-

ляемая как отношение «свободных» зерен сильвина к общему количеству минерала (свободного сильвина + его содержание в сростках с галитом и галопелитами)



**Рис. 1.** Стратиграфия и литология верхнеюрских отложений Гаурдак-Кугитанского района (Геология СССР, 1954)(а): 1 – песчаник, 2 – глина, 3 – мергель, 4 – известняк, 5 – ангидрит, 6 – каменная соль; схема строения и состав калиеносной пачки Тюбегатанского месторождения (б): 1 – каменная соль, 2 – сильвинит, 3 – каменная соль с сильвином, 4 – карбонатная глина, 6 – галит-ангидритовая порода; горизонты: Н – нижний, С – средний, В – верхний калиеносные, 1П и 2П – первый и второй промежуточный галитовый, П – покровный галитовый)

(Молоштанова, 1988; Технология флотационного обогащения ..., 2001). Степень раскрытия сильвина в свою очередь зависит от структурных особенностей калийных пород: размеров зерен и их морфоло-

гии. Кроме того, выбор флотореагентов зависит от вещественного состава калийной руды.

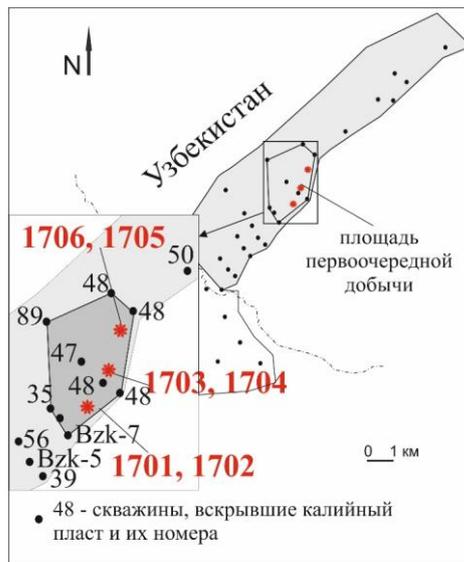
### Геологическая характеристика

В тектоническом отношении территория Тюбегатанского месторождения приурочена к северо-западному крылу Тюбегатанской брахиантиклинали. Соляные отложения сложены каменной солью и сильвинитом и перекрыты верхнеюрскими, нижнемеловыми и четвертичными терригенными породами (Высоцкий и др., 1988). Калийные породы Тюбегатанского месторождения содержатся в составе трех горизонтов галитовой (соленосной) подвиты гаурдакской свиты (J<sub>3</sub>gd) киммеридж-титонского возраста и относятся к верхнеюрской галогенной формации (рис. 1). Промышленные содержания KCl установлены во втором пласте (Нижний П) нижнего горизонта, где его количество варьирует от 15,6 до 50,5 % (среднее – 34,3 %) при изменениях мощности 0,8 до 12,8 м (среднее – 5,65 м) (Поздеев и др., 2010). Запасы калийных солей по категориям А+В+С<sub>1</sub> составляют порядка 400 млн. т, а по категории С<sub>2</sub> – 286 млн. т (Кудряшов, Грибков, 2010).

### Методика исследований

Используемый в работе фактический материал был отобран при участии автора в 2012 г. из продуктивного пласта Нижний П на участке первоочередной отработки узбекской части Тюбегатанского месторождения (рис. 2). Сначала были сделаны зарисовки стенок горных выработок двух калийных пластов в трех точках, затем из них были отобраны борзодовые пробы на всю мощность отрабатываемых подгоризонтов Нижний Па и Нижний Пб. Полученные 6 борзодовых проб по структурно-текстурным особенностям и окраске были разбиты на слои: в пласте Нижний Па установлено 11-12 слоев, в пласте Нижний Пб – 9 слоев. Из каждого

слоя были отобраны образцы для минерало-технологических исследований.



**Рис. 2.** Контуры Тюбегатанского месторождения с точками отбора проб (Кудряшов, Грибков, 2010) с упрощением и дополнениями

Отобранные пробы дробились до 3 мм, а затем их представительные навески (100-200 г) рассеивались на ситах с размером ячеек 3,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 мм. Полученные фракции взвешивались и рассчитывался массовый процент каждой из них.

Фракции крупнее 0,25 мм исследовались под бинокляром МБС-10 при увеличениях от 15 до 105 раз. Фракции мельче 0,25 мм изучались с помощью поляризационного микроскопа «Полам-213» при увеличениях до 600 раз в иммерсионной жидкости с показателем преломления  $N=1,54$ .

По выборке из 400 зерен определялись содержания галита, разностей сильвина, нехлоридных минералов (галопелитов) и сильвина в сростках. Далее рассчитывалась степень раскрытия полезного компонента калийной породы (сильвина) по формуле

$$M=n \cdot 100/p,$$

где  $n$  – число частиц свободного компонента,  $p$  – суммарное количество частиц в пробе (свободное и в сростках),  $M$  – степень раскрытия компонента, % (Технология..., 2001). Такие расчёты проводятся

для каждой исследованной фракции (3-2; 2-1; 1-0,5 и т.д.). Затем находят средневзвешенные показатели степени раскрытия для пробы по формуле  $M_{св} = (a \cdot x)/100 + (b \cdot y)/100 + (c \cdot z)/100$  и т.д., где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – расчет степени раскрытия в каждой фракции, для которой определяется выход ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) в % относительно общей массы пробы, поступившей на исследование, принятой за 100%.

Так как каждая проба характеризует отдельный слой продуктивного пласта, то для его характеристики снова рассчитывается средневзвешенная степень раскрытия на пласт, где расчёт ведется уже относительно мощности слоев, которые в сумме характеризуют толщину всего продуктивного пласта. Таким образом, определяется степень раскрытия для бороздовой пробы по исследуемому пласту.

## Результаты исследований

Результаты гранулометрического анализа проб (табл. 1) показали, что основная часть зерен калийных пород приходится на класс крупности 1-0,5 мм (22,9-24,4 %). Для других классов содержания варьируют уже в более широком диапазоне. Следует отметить, что распределение по классам крупности по трем пробам одного пласта не является близким, что подтверждает изменчивость калийных пород обоих подгоризонтов продуктивного пласта, выявленную при описании проб и шлифов (Молоштанова, Исаева, 2013).

**Таблица 1.** Гранулометрический состав групповых проб (средневзвешенные значения)

Класс крупности зерен, мм	Пласт					
	Нижний Па			Нижний Пб		
	№ пробы					
	1701	1703	1706	1702	1704	1705
3-2	22,8	17,4	20,0	17,7	21,0	24,8
2-1	21,4	24,3	22,3	19,9	22,1	22,5
1-0,5	23,2	24,4	23,8	23,1	23,3	22,9
0,5-0,25	16,5	16,9	16,1	17,9	16,1	15,2
<0,25	16,0	18,5	17,7	21,5	17,5	14,7

### Характеристика сильвина

Проведенные исследования калийных пород Тюбегатанского месторождения позволили выделить 5 разновидностей сильвина: прозрачный (молочно-белый), пестроокрашенный, розовый, красный и сургучно-красный.

Зерна прозрачного сильвина характеризуются изометричной или таблитчатой формой и прямолинейными границами (рис. 3,а). Данная разновидность встречается в светлоокрашенных породах верхней части разрезов продуктивных пластов и представлена во всех фракциях. Прозрачный сильвин преобладает в самых крупных фракциях (более 1 мм).

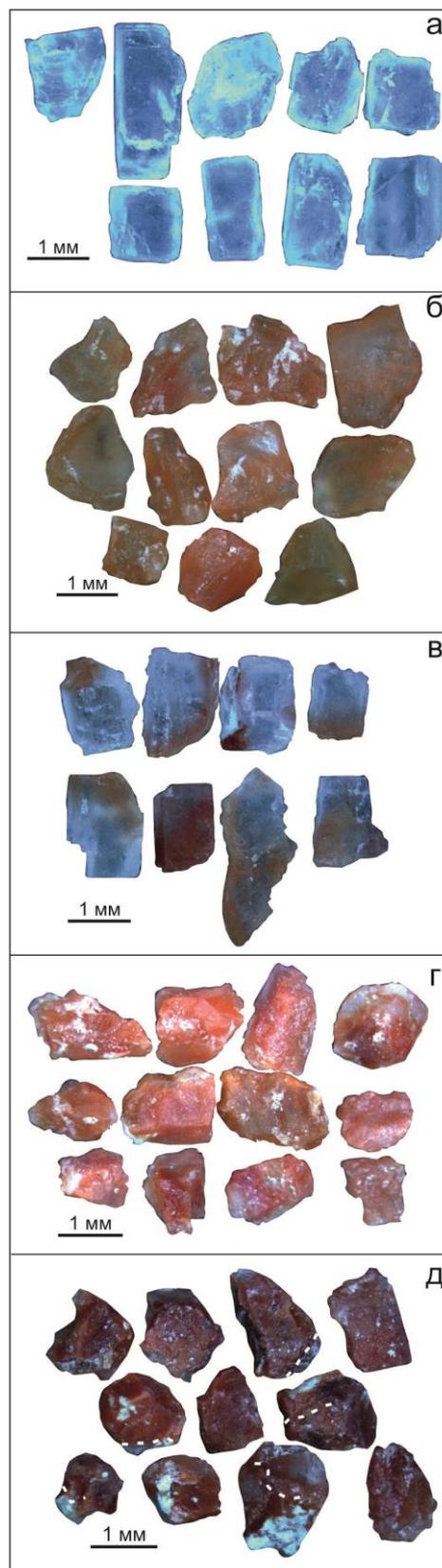
Розовый сильвин (рис. 3,б) окрашен неравномерно. Иногда цвет зерен изменяется до оранжево-розового или коричневатого, что связано с включениями карбонатов. По сравнению с прозрачным сильвином розовый является более ксеноморфным и потому в дробленной породе в сростках встречается чаще.

Пестроокрашенный сильвин (рис. 3,в) отличается от первых двух разновидностей по плавному переходу от прозрачного к розовому и красному цвету по направлению от центра к периферии зерна. Красная и сургучно-красная (рис. 3,г, д) разновидности сильвина встречаются только в породах верхней части разреза. Размеры зерен красного сильвина не превышают 1 мм, а сургучно-красного – 0,5 мм. Практически повсеместно сургучно-красный сильвин находится в сростках.

Следует заметить, что основное влияние на окраску пород оказывают примеси гематита (Исаева и др., 2016; Молоштанова, Исаева, 2013), которые присутствуют не только в сильвине, но и в галите. Поэтому окраска в данном случае не может служить надежным диагностическим признаком.

### Галопелиты

Галопелиты распределены в продуктивной толще как в виде неясно выраженных прослоев, так и включений в межзер-



**Рис. 3.** Разности сильвина: сургучно-красный (а), красный (б), розовый (в), прозрачный (г), пестроокрашенный (д) с указанием границ сростков с другими минералами

новом пространстве. Они состоят из кварца, магнетита, доломита, ангидрита, иллита, хлорита и прочих минералов (Исаева, Молоштанова, 2014; Исаева и др., 2016; Мадалиев и др., 1991; Набиев, Осичкина, 1965).

Наибольшее отрицательное воздействие на флотационную способность полезного ископаемого оказывают силикатные минералы галопелитов, особенно глинистые, так как нередко встречаются образования с разбухающими межслоевыми промежутками, способные оказать существенное влияние на течение производственного процесса. В меньшей степени на флотацию влияют карбонатные и сульфатные минералы (Технология..., 2001).

Следует отметить, что подавляющая часть минералов представляет собой аутигенные образования (Исаева, Молоштанова, 2014; Исаева и др., 2016; Набиев, Осичкина, 1965). Поэтому можно предполагать меньшую дефектность поверхности минералов Тюбегатанского месторождения и, как следствие, менее высокую сорбционную способность. Смешанослойные образования в исследованных пробах не обнаружены.

Содержание галопелитов тесно связано с размерами зерен (табл. 2). Кроме того, повышенные содержания галопелитов характерны для пласта Нижний Пб по сравнению с пластом Нижний Па (рис. 4).

**Таблица 2.** Содержание галопелитов в групповых пробах (по фракциям)

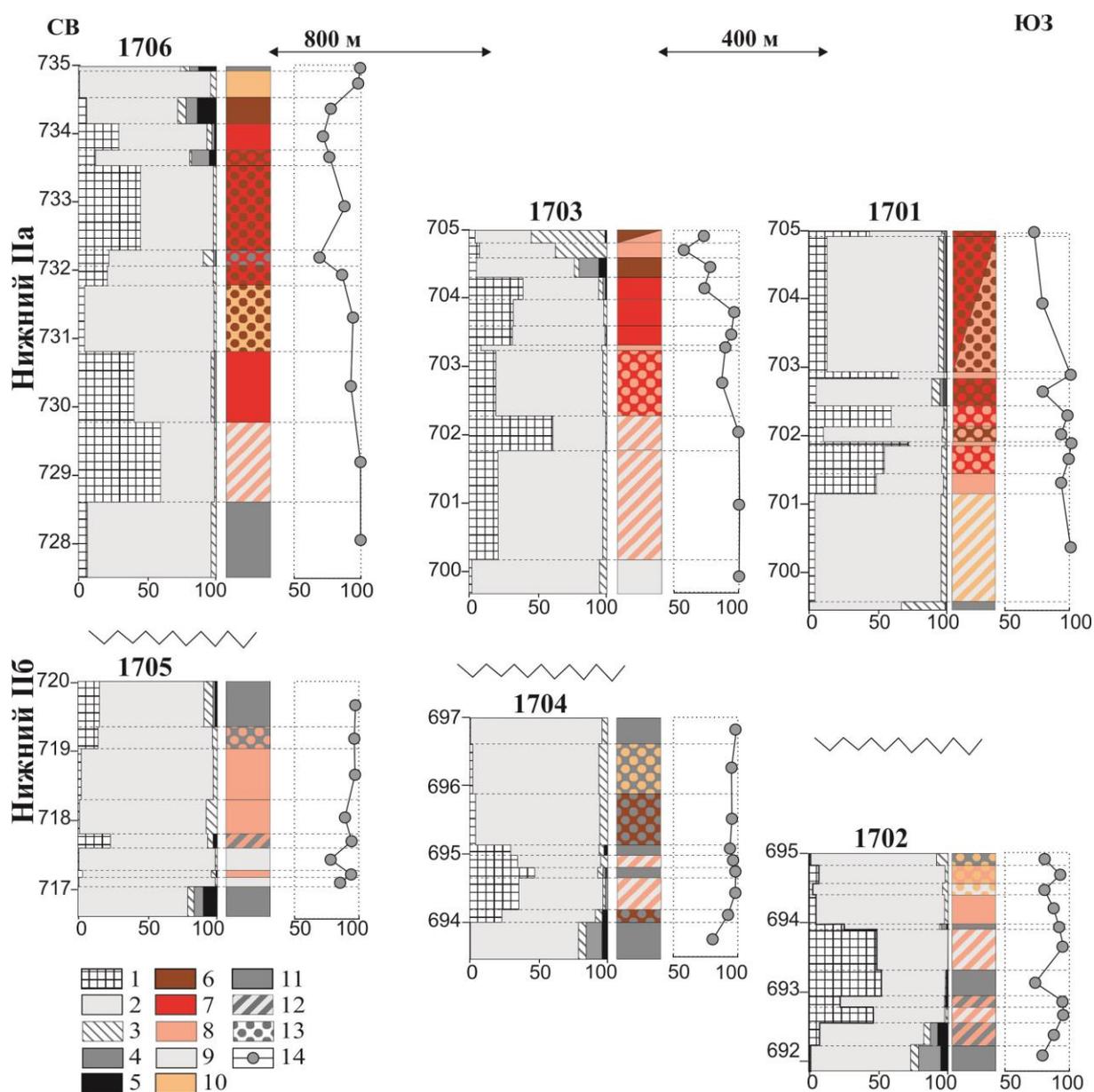
Класс крупности зерен, мм	Пласт					
	Нижний Па			Нижний Пб		
	№ пробы					
	1701	1703	1706	1702	1704	1705
3-2	0,1	1,1	1,0	3,8	2,5	0,3
2-1	0,1	0,9	0,8	2,1	1,8	0,2
1-0,5	0,2	0,6	0,8	0,4	1,7	0,1
0,5-0,25	1,5	2,1	0,9	0,2	2,8	1,4
<0,25	7,1	5,3	2,6	6,4	7,9	3,3

## Степень раскрытия

По данным многочисленных исследований Верхнекамского месторождения установлено, что степень раскрытия полезного компонента при дроблении до 3 мм является оптимальной и она составляет не менее 90% (Молоштанова, 1988). Технологические свойства калийных солей продуктивных пластов Тюбегатанского месторождения характеризуются следующими показателями: верхний пласт Нижний Па в двух точках опробования имеет степень раскрытия 91,6% (1706) и 91,4% (1703), а в одной пробе ниже оптимальной величины – 86,4 (1701) %. Для сильвинитов из пласта Нижний Пб степень раскрытия выше оптимальной – 94,8% (1704) – установлена в одной пробе, а в двух остальных – 82,4 (1702) и 82,0 % (1705).

Для большей наглядности распределение рассчитанных показателей степени раскрытия было нанесено на схемы с минеральным составом изученных разрезов (рис. 3).

Разрез пласта Нижний Па (рис. 4) по минералого-технологическим свойствам разделяется на две части: в нижней – степень раскрытия полезного компонента выше, чем в верхней. Такое условное разделение прослеживается и в литологии пород: в нижней части преобладают крупно- и гигантозернистые соляные породы с прямолинейными границами между сильвином и галитом, розового, оранжево-розового, реже красного цвета. Для верхней части более характерны мелко- и среднезернистые разности с извилистыми контурами зерен полезного компонента, что сказывается на степени его раскрытия. Окраска пород более темная (красная, коричнево-красная) за счет увеличения содержания гематита (Sonnenfeld, 1995). Похожая тенденция со снижением степени раскрытия сильвина при увеличении интенсивности окраски характерна для сильвинитов Верхнекамского месторождения: для молочно-белой разновидности показатель составляет 98,2 %, для розовой



**Рис. 4.** Схема распределения минеральных компонентов по результатам рентгенофазового анализа (Исаева и др., 2016) и степени раскрытия сивлина по разрезам пласта Нижний II: 1 – сивлин, 2 – галит, 3 – ангидрит, 4 – карбонаты, 5 – силикаты; окраска пород: 6 – сургучно-красная (красно-коричневая), 7 – красная, 8 – розовая, 9 – прозрачная, 10 – светло-кремовая, 11 – серая; текстура: 12 – полосчатая, 13 – пятнистая; 14 – степень раскрытия

– 93,2 %, для красной и сургучно-красной – 90,2 и 86,4 % соответственно (Молоштанова, 1988).

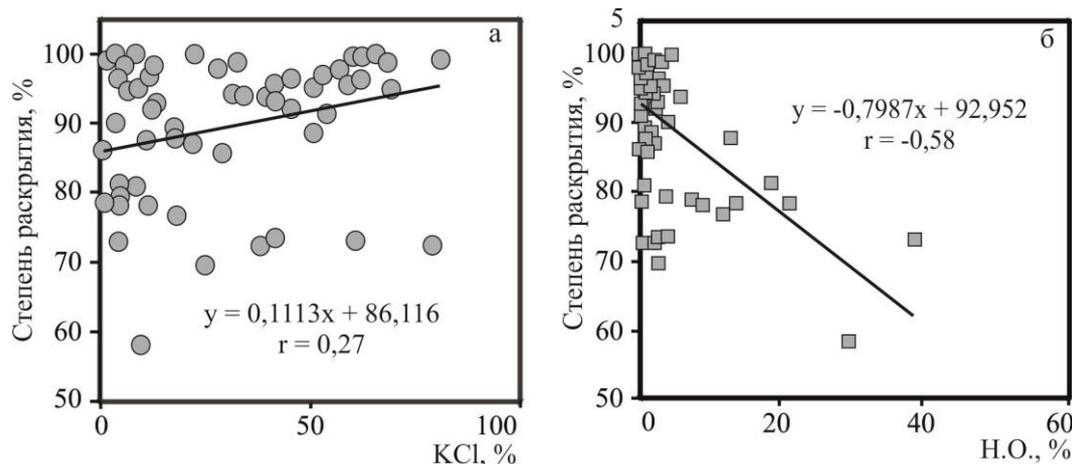
Другая картина наблюдается для разрезов пласта Нижний IIб. Здесь рост степени раскрытия прослеживается в слоях, обогащенных сивлином. На юго-востоке и в центральной части изученного участка месторождения эти слои расположены выше маркирующего горизонта с карбо-

натно-сульфатно-галитовой породой (692-694 и 694-695 м соответственно). В северо-западной точке в результате замещения сивлинитов каменной солью максимальные содержания сивлина характерны для кровельной части пласта (719-720 м).

В целом на основании изучения химического состава проб можно увидеть, что корреляционная связь между содержанием хлористого калия и степенью раскры-

тия значимая, но слабая ( $r=0,27$ ) (рис. 5,а). В отличие от полезного компонента количество нерастворимого остатка и степень раскрытия проб имеют обратную зависимость ( $r= -0,58$ ) (рис. 5,б). Корреляционный анализ данных по минеральному составу (по результатам рентгенофазового анализа) выявил значимые связи со степенью раскрытия: положительную – с сильвином ( $r=0,31$ ) и отрицательные – с ангидритом ( $r= -0,46$ ), магнезитом ( $r= -0,40$ )

и кварцем ( $r= -0,30$ ). Полученные сведения позволяют предполагать, что на степень раскрытия полезного компонента соляных пород продуктивных пластов Тюбегатанского месторождения более существенное влияние оказывает содержание несольных минералов, и, чем оно больше, тем хуже технологические свойства калийных солей.



**Рис. 5.** Диаграммы зависимости степени раскрытия полезного компонента от содержания KCl (а) и нерастворимого остатка (б)

Изучение зависимости степени раскрытия полезного компонента от содержания класса крупности показало, что наибольшее положительное влияние на ее величину оказывает доля двух фракций – 1-0,5 мм и 2-1 мм (табл. 3). Фракция -0,25 мм отрицательно влияет на степень раскрытия, а остальные фракции значимых коэффициентов корреляции с показателями не имеют.

Таким образом, можно утверждать, что для продуктивных калийных пластов Тюбегатанского месторождения при преобладании зерен размерностью 2-0,5 мм будет наблюдаться увеличение степени раскрытия полезного компонента, в то время как увеличение доли зерен самой мелкой фракции – 0,25 мм будет приводить к снижению показателя.

**Таблица 3.** Коэффициенты парной корреляции между степенью раскрытия сильвина и содержаниями показателей по классам крупности

Класс крупности, мм	Степень раскрытия						
	Содержание фракции	Сильвин «свободный»	Сильвин все-		Галопелиты	Галопелиты	
го			го				
3-2	0,04	<b>0,45*</b>		<b>0,29</b>			<b>-0,27</b>
2-1	<b>0,33</b>	<b>0,55</b>		<b>0,43</b>			-0,20
1-0,5	<b>0,47</b>	<b>0,52</b>		<b>0,43</b>			-0,24
0,5-0,25	0,06	<b>0,29</b>		<b>0,28</b>			<b>-0,35</b>
-0,25	<b>-0,42</b>	0,21		0,21			<b>-0,54</b>

\*Отмеченные полужирным шрифтом корреляции значимы на уровне  $p < 0,05$  ( $N=60$ )

Между содержанием галопелитов и степенью раскрытия сильвина фиксирует-

ся отрицательная связь (табл. 3). Значимые коэффициенты корреляции характер-

ны для фракций 3-2, 0,5-0,25 и -0,25, причем для самой мелкой фракции – связь наиболее тесная. Полученные результаты свидетельствуют о том, что увеличение содержания галопелитов, особенно размером менее 0,25 мм, будет отрицательно влиять на степень раскрытия сильвина.

На основании результатов, приведенных в таблице, не устанавливается какая-либо закономерность в распределении по фракциям как свободного сильвина, так и суммарного (свободного и в сростках). Наиболее низкие содержания сильвина наблюдаются в пробах 1702 и 1705, отобранных из пласта Нижний Пб.

Установлена положительная связь между сильвином и степенью раскрытия, значимая для всех фракций за исключением самой мелкой – -0,25.

Наиболее высокие коэффициенты корреляции характерны для классов крупности 2-1 и 1-0,5 мм, что может быть следствием влияния содержаний этих фракций на степень раскрытия, о чем говорилось ранее.

### Условия образования сильвинитов

Согласно полученным результатам, минералого-технологические свойства соляных пород в некоторой степени различны для темно- и светлоокрашенных разновидностей. Как было сказано ранее, интенсивность окраски пород напрямую зависит от содержания в них гематита. Поэтому в данном случае гематит может играть роль индикатора, отражающего различия в генезисе пород.

Рассмотрим основные предположения относительно парагенезиса калийных солей и гематита. По мнению Г. Прехта (1880) (Иванов, Воронова, 1972), гематит в калийных солях (карналлитах) образуется в результате окисления кислородом кристаллизационной воды соединения  $FeCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$ , входившего в состав карналлита. Согласно другой точке зрения (Борщевский, 1966) (Иванов, Воронова, 1972), необходимым условием для образования калийных пород, обогащенных

гематитом, является поступление с суши терригенного материала, содержащего железо, который затем разлагается, увеличивая при этом содержание растворенного железа. Параллельно с кристаллизацией сильвина и карналлита формируются хлориды железа, впоследствии подвергшиеся радиационно-химическому окислению при постседиментационном образовании пород. Результаты изучения красящего вещества сильвинитов Верхнекамского месторождения (Молоштанова, 1988) подтвердили, что его источником являлся материал с континента.

Проведенные Н.Е. Молоштановой (1988) эксперименты по выращиванию сильвина с гематитом позволили сделать выводы, что гидроксиды железа налипают на грани растущих кристаллов сильвина при массовом формировании его зародышей в толще рапы в условиях смены температур с положительных на отрицательные. По мнению автора, наиболее темноокрашенная (сургучно-красная) разновидность сильвинитов Верхнекамского месторождения формировалась в мелководных условиях солеродного бассейна. По мере перемещения в более низкие участки рельефа дна с повышенной концентрацией хлорида калия кристаллы сургучно-красного сильвина обрастали новыми слоями и послужили материалом для будущих красных сильвинитов. Формирование розовых сильвинитов происходило в придонных слоях глубоководных участков бассейна, поэтому концентрация красящего вещества в них существенно ниже.

Если предположить, что аналогичные механизмы образования соляных пород имели место в Среднеазиатском бассейне, тогда последовательное увеличение содержания гематита, наблюдаемое в изменениях интенсивности окраски снизу-вверх в разрезе продуктивного подгоризонта Нижний Па, свидетельствует о смене обстановок его формирования с глубоководных на мелководные. Подтверждением этого может быть повышение доли карбонатно-глинистого вещества

в породах верхней части, которая зависела от поступавшего в бассейн осадконакопления терригенного материала. Преимущественно светлая окраска пород подгоризонта Нижний Пб вплоть до прозрачного сильвина в таком случае может быть также обусловлена их формированием в пониженных участках рельефа дна. Однако прояснить детали седиментации сильвинитов Тюбегатанского месторождения не представляется возможным ввиду их значительной перекристаллизации. Красящий пигмент в зернах сильвина и, нередко, галита распределен неравномерно. Чаще всего гематит распространен по периферии зерен породообразующих минералов или между ними.

### Выводы

Продуктивный пласт Нижний П характеризуется неоднородным составом и строением, что отражается на минералогических свойствах. По степени раскрытия сильвина калийные соли верхнего подгоризонта (Нижний Па) разделяются на верхнюю и нижнюю часть, в которых наблюдаются различия в окраске и структурных особенностях.

Степень раскрытия полезного компонента калийных пород будет зависеть в большей степени от содержания нерастворимого остатка, оказывающего на нее отрицательное влияние, чем от содержания хлористого калия.

Таким образом, соляные породы продуктивных отложений Тюбегатанского месторождения, сформировавшиеся в более глубоководных условиях, характеризуются более высокой степенью раскрытия сильвина по сравнению с мелководными образованиями. То есть качество полезного ископаемого определено палеогеографической обстановкой образования соляных пород.

Сопоставление с калийными солями Верхнекамского месторождения показало, что, несмотря на значительные постседиментационные изменения структурно-текстурных особенностей и вещественно-

го состава соляных пород Тюбегатанского месторождения, отмечается сходство в механизмах их кристаллизации, что определяет сходство в их минералогических свойствах.

Визуальные различия калийных солей с разной степенью раскрытия сильвина могут служить ориентиром при подборе оптимальных вариантов компоновки полезного ископаемого в соответствии с требованиями технологического регламента.

### Библиографический список

- Вишняков А.К., Молоштанова Н.Е.* Технологическая минералогия калийных солей на стадии геологоразведочных работ // Технологическая минералогия, методы переработки минерального сырья и новые материалы / Карельский научный центр РАН. Петрозаводск, 2010. С. 86-91.
- Высоцкий Э.А., Гарецкий Р.Г., Кислик В.З.* Калиеносные бассейны мира. Мн.: Наука и техника, 1988. 387 с.
- Геология СССР.* Т. 22: Туркменская ССР: Полезные ископаемые / под ред. А.Н. Давыдова. М.: Недра, 1954. 323 с.
- Иванов А.А., Воронова М.Л.* Галогенные формации (минеральный состав, типы и условия образования; методы поисков и разведки месторождений минеральных солей). М.: Недра, 1972. 328 с.
- Исаева Г.А., Молоштанова Н.Е.* Минеральный состав нерастворимого остатка сильвинитов Тюбегатанского месторождения // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н.Чирвинского. Пермь, 2014. Вып. 17. С. 55-59.
- Исаева Г.А., Молоштанова Н.Е., Малеев Э.Е.* Влияние палеотектоники на строение и вещественный состав калийных солей верхней юрской формации Среднеазиатского бассейна (на примере Тюбегатанского месторождения) // Вестник Пермского университета. Геология. 2016. Вып. 3 (32). С. 6-20.
- Кудряшов А.И., Грибков Д.С.* Горно-геологические условия разработки Тюбегатанского месторождения калийных солей // Рудник будущего. Пермь, 2010. Вып. 1. С. 11-14.
- Мадалиев С.К., Тилляходжаев Х.Н., Осичкина Р.Г., Рубанов И.В.* Сравнительная характе-

- ристика галопелитов сульфатных кайнозойских и калийных верхнеюрских соляных пород Средней Азии // Состав и условия образования морских и континентальных галогенных формаций: сб. науч. тр. Новосибирск: Наука. Сибир. отд-ние, 1991. С. 83-91.
- Молоштанова Н.Е. Геологические условия осадконакопления сильвинитов Верхнекамского месторождения: дис. ... канд. геол.-мин. наук. Пермь, 1988. 230 с.
- Молоштанова Н.Е., Исаева Г.А. Особенности калийной руды Тюбегатанского месторождения // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. Пермь, 2013. Вып. 13. С. 38-40.
- Набиев М.Н., Осичкина Р.Г. Калийные соли Тюбегатана. Ташкент: Наука, 1965. 128 с.
- Поздеев А.А., Земсков А.Н., Ибрагимов Г.И. Некоторые аспекты освоения Тюбегатанского месторождения калийных солей // Рудник будущего. Пермь, 2010. Вып. 1. С. 6-10.
- Технология флотационного обогащения калийных руд / под ред. Н.Н. Тетериной. Пермь: ОГУП «Соликамская типография», 2001. 484 с.
- Яншин А.Л., Жарков М.А. Руды плодородия. М.: Советская Россия, 1985. 160 с.
- Sonnenfeld P. The color of rock salt; a review // *Sedimentary Geology*, 1995. Vol. 94. P. 267-276.
- Warren John K. *Evaporates: A Geological Compendium*. 2nd edition. Cham: Springer, 2016. 1812 p.

## Mineralogical-technological Properties of Sylvinites of the Tyubegatan Deposit

G.A. Isaeva

Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

E-mail: g\_isaeva@psu.ru

In the article, results of study of the mineralogical-technological properties of potassium salts of a Lower II productive layer of the Tyubegatan deposit are given. Despite significant changes in structural, texture features, and the material composition of the salt rocks, the crystallization mechanisms similar to those of the Verkhnekamskoe deposit were revealed that, in both cases, is reflected in their mineralogical and technological properties. Analysis of the obtained data showed that the studied properties of sylvinite are associated with the paleogeographic conditions of their formation. The rocks formed in shallow environments are characterized by a lower degree of disclosure of the useful component than those formed in deep water conditions.

Key words: *sylvinite; salt rocks; mineralogical-technological properties; potassium deposits; halopelites.*

### References

- Vishnyakov A.K., Moloshtanova N.E. 2010. Tekhnologicheskaya mineralogiya kaliynykh soley na stadii geologorazvedochnykh rabot [Technological mineralogy of potassium salts at the stage of geological exploration]. In *Tekhnologicheskaya mineralogiya, metody pererabotki mineralnogo syr'ya i novye materialy*. Petrozavodsk, Karelskiy nauchnyy tsentr RAN, pp. 86-91. (in Russian)
- Vysotskiy E.E., Garetskiy E.A., Kislik V.Z. 1988. Kalienosnye basseyny mira [Potassium-bearing basins of the world]. Minsk, Nauka i tekhnika, p. 387. (in Russian)
- Geologiya SSSR. 1984. Vol. 22: Turkmenskaya SSR: Poleznyye iskopaemye [Geology of USSR: Vol. 22: Turkmenistan SSR: Minerals]. A.N. Davydov (Ed.). Moskva, Nedra, p. 323. (in Russian)
- Ivanov A.A., Voronova M.L. 1972. Galogennye formatsii (mineralnyy sostav, tipy i usloviya obrazovaniya; metody poiskov i razvedki mestorozhdeniy mineralnykh soley) [Halogen formations (mineral composition, types and conditions of formation, methods of prospecting and exploration of deposits of mineral salts)]. Moskva, Nedra, p. 328. (in Russian)
- Isaeva G.A., Moloshtanova N.E. 2014. Mineralnyy sostav nerastvorimogo ostatka silvinitov

- Tyubegatanskogo mestorozhdeniya [Mineral composition of insoluble residue of sylvinite from Tyubegatan deposit]. *In Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnye chteniya pamyati P.N. Chirvinskogo*. Perm. 17: 55-59. (in Russian)
- Isaeva G.A., Moloshtanova N.E., Maleev E.E.* 2016. Vliyanie paleotektoniki na stroenie i veshchestvennyy sostav kaliynykh soley verkhneyurskoy formatsii Sredneaziatskogo basseyna (na primere Tyubegatanskogo mestorozhdeniya) [Influence of paleotectonics on the structure and mineral composition of potash salts of the Upper Jurassic formation of the Central Asian basin (example of Tyubegatan deposit)]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 3(32): 6-20. (in Russian)
- Kudryashov A.I., Gribkov D.S.* 2010. Gornogeologicheskie usloviya razrabotki Tyubegatanskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley [Mining-geological conditions of development of the Tyubegatan deposit of potassium salts]. *Rudnik budushchego*. Perm. 1: 11-14. (in Russian)
- Madaliev S.K., Tillyakhodzhaev H.N., Osichkina R.G., Rubanov I.V.* 1991. Sravnitel'naya kharakteristika galopelitov sulfatnykh kaynozoykskikh i kaliynykh verkhneyurskikh solyanykh porod Sredney Azii [Comparative characteristics of halopelites of sulfate Cenozoic and potassium Upper Jurassic salt rocks of the Middle Asia]. *In Sostav i usloviya obrazovaniya morskikh i kontinentalnykh galogennykh formatsiy: Sbornik nauchnykh trudov*. Novosibirsk, Nauka, pp. 83-91. (in Russian)
- Moloshtanova N.E.* 1988. Geologicheskie usloviya osadkonakopleniya silvinitov Verkhnekamskogo mestorozhdeniya [Geological conditions of sedimentation of sylvinites of the Verkhnekamskoe deposit]. *Diss. cand. geol.-min. sci.* Perm. (in Russian)
- Moloshtanova N.E., Isaeva G.A.* 2013. Osobnosti kaliynoy rudy Tyubegatanskogo mestorozhdeniya [Peculiarities of potash ore of Tyubegatan deposit]. *Proc. of conf. Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala*. Perm, pp. 38-40. (in Russian)
- Nabiev M.N., Osichkina R.G.* 1965. Kaliynye soli Tyubegatana [Potassium salts of Tubegatan]. Tashkent, Nauka (Uzbekskaya SSR), p. 128. (in Russian)
- Pozdeev A.A., Zemskov A.N., Ibragimov G.I.* 2010. Nekotorye aspekty osvoeniya Tyubegatanskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley [Some aspects of the development of the Tyubegatan potassium salts deposit]. *Rudnik budushchego*. Perm. 1: 6-10. (in Russian)
- Tekhnologiya flotatsionnogo obogashcheniya kaliynykh rud* [Technology of flotation enrichment of potash ores]. Teterina N.N. (Ed.). 2001. Perm, Solikamskaya tipografiya, p. 484. (in Russian)
- Yanshin A.L., Zharkov M.A.* 1985. Rudy plodorodiya [Ores of fertility]. Moskva, Sovetskaya Rossiya, p. 160. (in Russian)
- Sonnenfeld, P.*, 1995. The color of rock salt: a review. *Sedimentary Geology*. 94: 267-276.
- Warren J.K.* 2016. *Evaporites: A Geological Compendium*. Second edition. Springer, p. 1812.