

## ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 552.12 (661.42)

DOI 10.25587/2587-8751-2024-1-5-10

*М.С. Вафина, Т.Р. Шакиров, Л.Н. Назарова, А.А. Юсупова*

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

e-mail: vak33andrei@yandex.ru

### ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПЕРЕДЕЛ КАЛИЙНЫХ ПОРОД ВЕРХНЕПЕЧОРСКОГО СОЛЕНОСНОГО БАСЕЙНА

*Аннотация.* Изучен вещественный состав калийных и калийно-магниевых солей Верхнепечорского соленосного бассейна, установлена их литологическая изменчивость по площади продуктивных пластов в зависимости от тектонических особенностей фундамента. Установлены основные горно-геологические условия, осложняющие возможность их добычи и экологические условия организации добычных и перерабатывающих производств минеральных солей. Изучены основные физико-технологические свойства сильвинитовых и карналлитовых пород, добытых шахтным способом, на их обогатимость галургическим и флотационным способами. Задачами работы являлись: определение вещественного состава, исследование текстурно-структурных особенностей и оценка технологического передела калийных пород Верхнепечорского соленосного бассейна. При решении поставленных задач использовались следующие методы: изучение текстурно-структурных особенностей сильвинитов петрографическим методом; химический состав проб и растворов анализировался методом АЭС-спектрометрии; минеральный состав нерастворимого в воде остатка – рентгенографическим количественным фазовым анализом.

*Ключевые слова:* сильвин, карналлит, галит, структура, текстура, Верхнепечорский соленосный бассейн, галопелитовый материал, обогащение, раскрытие, сростки, шлиф.

*M.S. Vafina, T.R. Shakirov, L.N. Nazharova, A.A. Yusupova*

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

e-mail: vak33andrei@yandex.ru

### SUBSTANTIAL COMPOSITION AND TECHNOLOGICAL TREATMENT OF POTASSIUM ROCKS OF THE UPPER PECHORA SALT BASIN

*Abstract.* The material composition of potassium and potassium-magnesium salts of the Upper Pechora salt-bearing basin was studied, their lithological variability was established over the area of productive strata, depending on the tectonic features of the foundation. The main mining and geological conditions that complicate the possibility of their extraction and the environmental conditions for organizing mining and processing production of mineral salts were established. The basic physical and technological properties of sylvinite and carnallite rocks mined by the mine method were studied for their enrichment by halurgical and flotation methods. The

objectives of the work were: determining the material composition, studying textural and structural features and assessing the technological processing of potassium rocks in the Upper Pechora salt-bearing basin. When solving the problems, the following methods were used: a study of the textural and structural features of sylvinites using the petrographic method; the chemical composition of samples and solutions was analyzed by AES spectrometry; the mineral composition of the water-insoluble residue is determined by X-ray quantitative phase analysis.

*Keywords:* sylvite, carnallite, halite, structure, texture, Upper Pechora salt-bearing basin, halopelitic material, enrichment, opening, intergrowths, thin section.

## Введение

Литологическая характеристика галогенных отложений Верхнепечорского месторождения представлена тремя пачками пород. Нижняя пачка сложена темно-серыми алевритистыми и известковистыми аргиллитами с тонкими прослоями темно-коричневого и шоколадно-бурого известняка и зеленовато-серого алевролита. Интересно отметить, что подобные известняки обнаружены в артинских отложениях и на площади Верхнекамского соленосного бассейна, что может свидетельствовать об исключительной выдержанности фациальных условий накопления осадков в это время. Мощность нижней пачки от 60 м до 300 м. Средняя пачка сложена преимущественно песчаниками и алевролитами, среди которых имеются прослой аргиллитов. Мощность пачки 120-140 м. Верхняя пачка характеризуется преобладанием в ее составе песчаников полимиктовых, средне- и мелкозернистых с глинисто-карбонатным цементом. Мощность пачки 110-125 м [1-6].

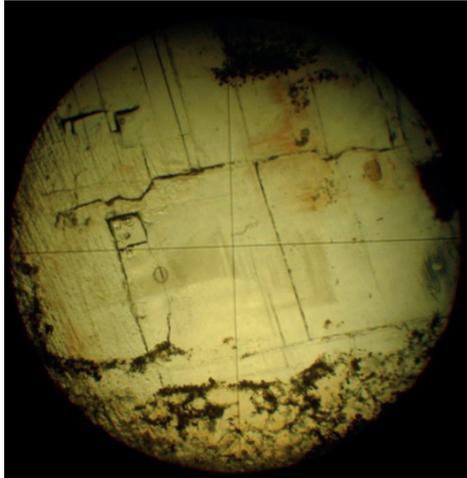
Характер разреза, вещественный состав и фации кунгурских отложений существенно различны на площадях развития их в восточной части платформы и в прогибе, а в пределах последнего изменяются при движении с запада на восток.

Геологические запасы природных калийных солей Верхнепечорского месторождения при площади 300 км<sup>2</sup> при мощности пачек 10 м, в среднем установлены  $6 \cdot 10^9$  т или 6 млрд. т. Однако, геологические запасы сырья, при их масштабности не определяют возможность промышленного использования месторождения и сильно отличаются от запасов, которые реально могут быть извлечены при эксплуатации месторождения. Для оценки принципиальной возможности разработки месторождения применяется комплексный подход к изучению его геологических, аналитических и технологических свойств в совокупности [7]. При геологическом изучении учитываются требования кондиций, отмечающих такие факторы, как глубина залегания, мощность и структуры продуктивных пластов, состав и качество сырья, гидрогеологические и горнотехнические условия и технология переработки сырья.

## Результаты и обсуждения

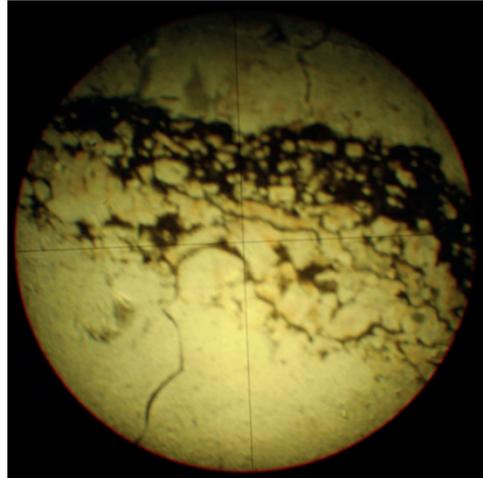
*Каменная соль* представляет собой породу, сложенную зёрнами галита, с галопелитовым материалом. Толща подстилающей каменной соли имеет ритмичное строение. Она сложена переслаиванием пластов каменной соли с прослоями галопелитовых пород. Две наиболее мощные пачки последних служат маркирующими горизонтами. Наиболее мощный из них располагается вблизи подошвы подстилающей каменной соли.

Выделяют следующие разновидности каменной соли – среднезернистая (рис. 1) и крупнокристаллическая перистая серая каменная соль, состоящая из одного-двух рядов крупных кристаллов галита, развитых над или внутри галопелитового прослоя; этот вид соли обычно рассматривается как продукт раннего диагенеза или результат донной кристаллизации (рис. 2). Тонкие слои галопелитов часто нарушены будированием или образуют микроскладки, обуславливая слоистость породы от горизонтальной до микроскладчатой.



**Рис. 1.** Каменная соль с зонами роста  
(без анализатора, увел. x 2,5)

**Fig. 1.** Rock salt with growth zones  
(without analyzer, magnified x 2.5)

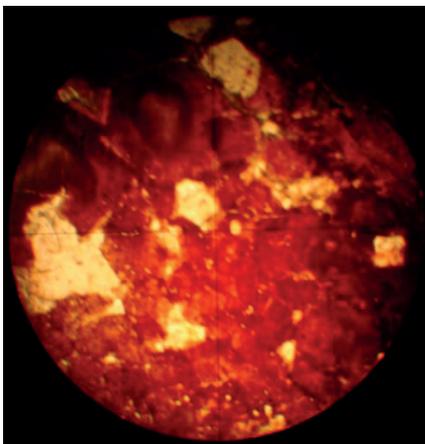


**Рис. 2.** Прослой галит-галопелитовой породы  
брекчиевидной текстуры  
(без анализатора, увел. x 2,5)

**Fig. 2.** Interlayer of halite-halopelite rock  
with brecciated texture  
(without analyzer, magnified x 2.5)

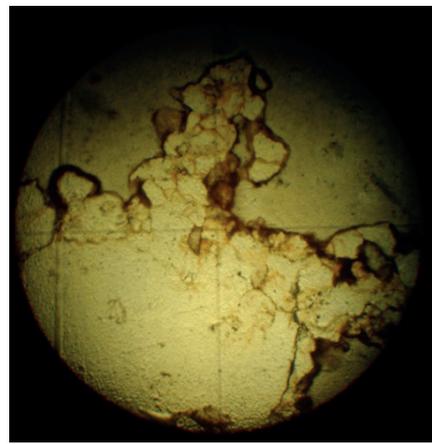
На месторождении в зависимости от места расположения, выделяют: подстилающую каменную соль, расположенную ниже калийной и калийно-магниевой толщи, межпластовую, внутрипластовую каменные соли и каменную соль, перекрывающая калийную и калийно-магниевую толщу.

**Сильвиниты.** Калийная (сильвинитовая) зона сложена, в основном, условно слоистой (имеющей мелко и среднезернистую структуру) и со сложным распределением средне-, крупно-, гигантозернистыми разностями сильвина. Мелкозернистый (0,15-1,0 мм) сильвин (рис. 3) и крупнозернистый размерностью (около 5-10 мм) (рис. 4).



**Рис. 3.** Сильвин мелкозернистый с интенсивной окраской (без анализатора, увел. x 2,5)

**Fig. 3.** Silvin fine-grained with intense color  
(without analyzer, magnified x 2.5)



**Рис. 4.** Пятнистый сильвин с неровными извилистыми краями и буровато-красной каемкой по периферии (без анализатора, увел. x 2,5)

**Fig. 4.** Spotted sylvine with uneven, sinuous edges and brownish-red border around the periphery  
(without analyzer, magnified x 2.5)

Первые (слоистые) характеризуются неравномерным чередованием слоев сильвина, галита и тонкого галопелитового материала, что обуславливает как бы его полосчатость. Сильвин в такой породе может быть представлен мелкими игольчатыми зернами сургучно-красного, вишневого, розового цветов или имеет, более крупные зерна имеют неправильные формы, белую, молочно-белую, красную окраску. Вторые характеризуются различным переплетением отдельных кристаллов и агрегатов зерен сильвина, с галитом в каркасе галит-галопелитового материала. При этом создается причудливая ячеисто-каркасная или неясно-петельчатая текстура породы. В таких породах отдельные крупные зерна сильвина имеют молочно-белый цвет с оторочками микрокристаллического ярко-красного сильвина, а агрегаты зерен сложены оранжево-красным, имеющим нечеткие желтые пятна, сильвином.

Сильвиниты, сложенные мелкозернистой разновидностью сильвина, обычно имеют слоистое строение, обусловленное чередованием прослоев сильвина и галита. Имеют окраску от сургучно-красной до светло-красной и слоистой текстуры. Всегда содержат в подошве слоев каменной соли прослой галопелитового материала.

Оценка промышленных перспектив калиеносности основана на средневзвешенном содержании хлористого калия в кондиционных пачках. Однако, такой подход не позволяет полностью оценить промышленную перспективность переработки. Для объективной оценки необходимо учитывать фации горизонта калийных солей, минералого-технологические и текстурно-структурные особенности. При наличии вышеперечисленных данных можно разработать технологию обогащения калийных пород.

На сегодняшний день базовыми и распространенными способами переработки калийных солей является флотация и галургия.

При оценке эффективности ныне широко применяемых методов переработки сильвинитовых руд (химического и флотационного) следует учитывать, как их положительные стороны, так и недостатки.

Достоинством галургического способа является возможность переработки тонковкрапленных или рассеянных извлекаемых минералов в горных породах. Основным недостатком этого метода является его повышенная энергоемкость, он требует наличия выпарных установок для нагрева маточных растворов. Это в настоящее время имеет определяющее значение для калийной промышленности стран, импортирующих по высоким ценам необходимые энергоресурсы.

Преимуществом галургического метода является возможность переработки сильвинитовой руды имеющие сростки с галитом. Достаточно обеспечить взаимодействие маточного раствора хотя бы одной стороны минерального агрегата.

Для сильвинитов Верхнепечерского соленосного бассейна были проведены исследования по возможности получения товарного КСI теми способами, которые широко применяют для обогащения сильвинитовой породы на Верхнекамском месторождении (Пермский край).

Галургической переработкой сильвинитовой руды с различным содержанием нерастворимого остатка можно получать хлористый калий, удовлетворяющий по качеству требованиям ГОСТ 4568-95 [8].

Изучение минералого-петрографических особенностей галогенных пород является составной частью исследований, осуществляемых при проведении технологических работ. Полученная в процессе этого изучения информация позволяет не только охарактеризовать вещественный состав данных пород, но и дать прогноз их технологических свойств, а также выработать рекомендации по возможности применения наиболее рационального способа добычи, обогащения и переработки соляных руд.

Перед флотационным переделом сильвинита проведено минералого-петрографическое изучение дробленной пробы с целью выявления степени раскрываемости соляного минерала при различном измельчении породы и в конечном итоге выработка режима дробления, наиболее благоприятного максимальному раскрытию проб.

Результаты опытов по флотационному обогащению представлены в таблице.

Таблица – Результаты опытов по флотационному обогащению

Продукты	Выход, %	Содержание %, тв		Извлечение от руды, %, тв		Извлечение от питания флотации KCl, %, тв	
		KCl	Н.О.	KCl	Н.О.	KCl	Н.О.
Руда	100,0	19,72	12,15	100,0	100,0	100,0	100,0
Шламный продукт	14,68	13,51	39,21	10,04	47,41		
Питание флотации KCl	85,42	18,81	2,25	81,49	15,80	100,0	100,0
Концентрат	14,18	91,85	0,86	66,02	1,32	81,02	8,35
Хвосты	85,82	1,98	1,99	8,62	14,07	18,98	91,65

Флотационное обогащение технологической пробы проводили на лабораторной флотома- шине ФМ-1М. Флотация проведена с выделением в пенный продукт калийного концентрата (прямая селективная флотация).

Содержание  $K_2O$  в готовом продукте составляет 58,03 % масс, что по содержанию  $K_2O$  соот- ветствует марке хлорида калия 2-го сорта [9]. Таким образом, из сильвинитовых пород, согласно технологическим пробам исследованных промышленных пластов, при переработке их методом флотационного обогащения возможно получение хлорида калия, соответствующего ГОСТ 4568-95.

#### Заключение

По результатам аналитических и минералого-петрографических работ изучен веществен- ный состав калийных и калийно-магниевого солей Верхнепечорского соленосного бассейна, установлена их литологическая изменчивость по составу, содержанию нерастворимого остатка.

Изучены основные физико-технологические свойства калийных (сильвинитовых) пород и слагающих их минералов. Установлено, что по этим свойствам они пригодны для существую- щих методов добычи и переработки.

Дана технологическая оценка сильвинитовых пород, добытых шахтным способом, на их обогатимость стандартными способами переработки (галургическим и флотационным), с полу- чением из них конечных продуктов в виде хлористого калия, соответствующего ГОСТ 4568-95.

#### Литература

1. Тектоническая карта Печорской плиты. Научные доклады. – Сыктывкар : Коми НЦ УрОРАН. Вып. 142. – 1985. – 12 с.
2. Вишняков, А.К. Строение и условия формирования калийных солей западной части Верхнепечорского соленосного бассейна / А.К. Вишняков, М.С. Вафина, О.О. Игнатович. – Текст: непосредственный // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 70-78.
3. Яржемский, Я.Я. Калийные и калиеносные галогенные породы / Я.Я. Яржемский. – Новосибирск : Наука, 1967. – 95 с. – Текст: непосредственный
4. Ходьков, А.Е. О происхождении замещенных зон на Верхнекамском месторождении / А.Е. Ходьков. – Текст: непосредственный // Труды ВНИИГ. – 1956. Вып. 32. – 314 с.
5. Валеев, Р.Н. Тектоника и эпигенез галогенных отложений / Р.Н. Валеев, А.К. Вишняков. – Текст: непосредственный // Условия формирования и закономерности размещения месторож- дений нерудного минерального сырья Европейской части СССР. – Казань : Издательство КГУ, 1976. – С. 101-129.
6. Яржемская, Е.А. Вещественный состав галопелитов / Е.А. Яржемская. – Текст: непосред- ственный // Труды ВНИИГ. – 1954. Вып. 29. – С. 260-314.
7. Кашкаров, О.Д. Технология калийных удобрений / О.Д. Кашкаров, И.Д. Соколов. – Ленинград : Химия, 1978. – 248 с. – Текст: непосредственный.

8. Соколов, И.Д. Галургия / И.Д. Соколов. – Ленинград : Химия, 1983. – 368 с. – Текст: непосредственный.
9. Здановский, А.Б. Галургия / А.Б. Здановский. – Ленинград : Химия, 1972. – 528 с.

### References

1. Tektonicheskaja karta Pechorskoj plity. Nauchnye doklady. – Syktyvkar : Komi NC UrORAN. Вып. 142. – 1985. – 12 с.
2. Vishnjakov, A.K. Stroenie i uslovija formirovanija kalijnyh solej zapadnoj chasti Verhnepecherskogo solenosnogo bassejna / A.K. Vishnjakov, M.S. Vafina, O.O. Ignatovich. – Текст: непосредственный // Otechestvennaja geologija. – 2018. – № 2. – С. 70-78.
3. Jarzhemskij, Ja.Ja. Kalijnye i kalienosnye galogennye porody / Ja.Ja. Jarzhemskij. – Novosibirsk : Nauka, 1967. – 95 с. – Текст: непосредственный
4. Hod'kov, A.E. O proishozhdenii zameshennyh zon na Verhnekamskom mestorozhdenii / A.E. Hod'kov. – Текст: непосредственный // Trudy VNIIG. – 1956. Вып. 32. – 314 с.
5. Valeev, R.N. Tektonika i jepigenez galogennyh otlozhenij / R.N. Valeev, A.K. Vishnjakov. – Текст: непосредственный // Uslovija formirovanija i zakonmernosti razmeshhenija mestorozhdenij nerudnogo mineral'nogo syr'ja Evropejskoj chasti SSSR. – Kazan': Izdatel'stvo KGU, 1976. – С. 101-129.
6. Hod'kov, A.E. O proishozhdenii zameshennyh zon na Verhnekamskom mestorozhdenii / A.E. Hod'kov // Trudy VNIIG. – 1956. Вып. 32. – 314 с. – Текст: непосредственный.
7. Jarzhemskaja, E.A. Veshhestvennyj sostav galopelitov / E.A. Jarzhemskaja. – Текст: непосредственный // Trudy VNIIG. – 1954, Вып. 29. – С. 260-314.
8. Kashkarov, O.D. Tehnologija kalijnyh udobrenij / O.D. Kashkarov, I.D. Sokolov. – Leningrad : Himija, 1978. – 248 с. – Текст: непосредственный.
9. Sokolov, I.D. Galurgija / I.D. Sokolov. – Leningrad : Himija, 1983. – 368 с. – Текст: непосредственный.
10. Zdanovskij, A.B. Galurgija / A.B. Zdanovskij. – Leningrad : Himija, 1972. – 528 с.

### Сведения об авторах

*ВАФИНА Марианна Спиридоновна* – ассистент и аспирант кафедры технологии неорганических веществ и материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: vak33andrei@yandex.ru

*VAFINA Marianna Spiridonovna* – assistant and postgraduate student, Department of Technology of Inorganic Substances and Materials, Kazan National Research Technological University, e-mail: vak33andrei@yandex.ru

*ШАКИРОВ Тимур Рустамович* – к.т.н., доцент кафедры технологии неорганических веществ и материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: vak33andrei@yandex.ru

*SHAKIROV Timur Rustamovich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technology of Inorganic Substances and Materials, Kazan National Research Technological University, e-mail: vak33andrei@yandex.ru

*НАЖАРОВА Лилия Назилевна* – к.т.н., доцент кафедры технологии неорганических веществ и материалов Казанского национального исследовательского технологического университета

*NAZHAROVA Liliya Nazilevna* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technologies of Inorganic Substances and Materials, Kazan National Research Technological University

*ЮСУПОВА Алсу Ансаровна* – д.т.н., проф. кафедры технологии неорганических веществ и материалов Казанского национального исследовательского технологического университета

*YUSUPOVA Alsu Ansarovna* – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Technology of Inorganic Substances and Materials, Kazan National Research Technological University