

ВЛИЯНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ТЕКСТУРНО-СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ КАРНАЛЛИТОВЫХ ПОРОД ПРИУРАЛЬЯ НА КИНЕТИКУ ПРОЦЕССОВ РАСТВОРЕНИЯ

Т.Р. Шакиров, М.С. Вафина

Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых
(АО «ЦНИИГеолнатур»), г. Казань

В статье показана необходимость исследования кинетики процессов растворения карналлитовых пород Приуралья. Описана методика подготовки образцов и лабораторного изучения скорости растворения. Представлены данные о химическом составе образцов 4-х цветовых разновидностей карналлитовых пород, текстурно-структурных особенностях, результатов по определению скорости растворения и вещественного состава нерастворимого в воде остатка. Цель исследования заключалась в изучении скорости и процессов растворения в воде при температуре 50°C в режиме вынужденной конвекции и оценке влияния текстурно-структурных особенностей карналлитовых пород. Задачами исследования являлись: определение солевого и минерального составов, изучение структуры и микровключений в шлифах, проведение экспериментов по кинетике растворения. При решении поставленных задач использовались следующие методы: АЭС-спектрометрия, петрографический анализ, гидростатический метод, РКФА. Проанализирован фактический материал исследования, сделаны соответствующие выводы. Проведенными исследованиями было показано, что важными факторами, влияющими на кинетику процессов растворения, являются вещественный состав и текстурно-структурные свойства. В работе определена суммарная (массовая) скорость растворения образцов. Железооксидная пленка, окаймляющая зерна карналлитовых пород, экранирует поверхность растворения, замедляя процесс диффузии. Наличие галита и неравномерное его содержание вызывает колебания скорости растворения и замедляет процесс растворения во времени. Микровключения газов положительно влияют на динамику процесса растворения, усиливая конвекцию и массоперенос. С увеличением гидродинамических параметров растворителя (плотности и вязкости) скорость растворения понижается. Установленные закономерности могут оказывать существенное влияние на процессы, происходящие при скважинной добыче (подземное растворение) и галургической переработке карналлитовых руд.

Ключевые слова: кинетика, растворение, карналлитовая порода, текстура, структура, галит, пленка, газы, галургия.

ВВЕДЕНИЕ

Растворение твёрдых тел – один из важнейших процессов химической технологии. Возможность реализации данного процесса в промышленном масштабе, выбор условий и производительность стадии растворения будут определяться не только равновесными параметрами и свойствами системы, но и кинетикой процесса растворения [1].

Актуальность изучения кинетики процессов растворения природных солей, связана с необходимостью интенсификации новых методов добычи и галургических производств [2].

Кинетика процессов растворения зависит от состава, физико-химических свойств и количественного соотношения твёрдых и жидких фаз, поверхности растворения, скорости потока растворителя, температуры и гидродинамических условий процесса. Растворение солей в воде или водных растворах сопровождается переходом из твёрдой фазы в жидкость. Процессы растворения твёрдых тел в жидкости описываются кинетикой гетерогенных процессов (конвективно-диффузионно-кинетической теорией скорости растворения) [3].

Кинетика процессов растворения природных солей рассмотрена в работах П.А. Кулле, А.Е. Ходькова,

А.Б. Здановского, М.П. Бельды, Н.А. Каражанова, В.П. Ильина, А.Г. Позднякова, Б.П. Глухова и др. Однако, информация по влиянию текстурно-структурных особенностей природных карналлитовых пород на кинетику и процесс растворения изложена недостаточно.

Карналлитовая порода составляет значительную часть калийных месторождений Приуралья и занимает второе место по степени распространения после сильвинита. В состав карналлитовых пород входят такие минералы, как карналлит ($KMgCl_3 \cdot 6H_2O$ или $MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6H_2O$), сильвин (KCl), галит ($NaCl$), минералы нерастворимого вещества ($CaSO_4$, $CaCO_3$, $MgCO_3$, $CaMg(CO_3)_2$) и в качестве механических примесей: гематит (Fe_2O_3), глинистые минералы, газово-жидкостные микровключения. Карналлитовые породы служат сырьем для получения металлического магния [4-5].

Целью данной работы является изучение кинетики процесса растворения карналлитовых пород Приуралья, оценка их текстурно-структурных особенностей и влияние микровключений на кинетику процесса растворения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для переработки любого минерального сырья важными показателями являются содержание в нем полезного компонента, присутствие примесей и текстурно-структурные свойства. В связи с этим, был определен химический состав карналлитовых пород методами атомно-эмиссионной спектроскопии, масс-спектрометрии и титриметрии. Текстурно-структурные свойства изучались по изготовленным шлифам на цифровом микроскопе «Leica». Минеральный состав нерастворимого остатка определялся рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА) с использованием дифрактометра D8 Advance. Из керна изготавливали образцы, которые представляли собой цилиндр диаметром 50 мм и высотой 100 мм.

Лабораторные исследования по кинетике процесса растворения изучали на образцах карналлитовых пород 4-х цветовых разновидностей: лимонно-жёлтой (образец №1), красной (образец №2), бесцветной (образец №3), оранжевой (образец №4). Опыты проводили при температуре 50⁰С в режиме вынужденной конвекции с углом наклона растворяющейся поверхности 0⁰ в дистиллированной воде до полного растворения образца. Соотношение фаз Т:Ж=1:3.

Обработка результатов химического анализа осуществлялась путём пересчета на солевой и вероятный минеральный состав по методике [6]. Результаты расчетного солевого состава показаны в таблице 1, вероятного минерального состава в таблице 2.

Табл. 1. Расчетный солевой состав карналлитовых пород

Образец карналлитовой породы (цветовая разновидность)	Расчетный солевой состав, %				
	KCl	NaCl	MgCl ₂	CaSO ₄	н.о.*
№1 (жёлтый)	27,40	2,44	32,14	0,24	0,12
№ 2 (красный)	27,55	5,28	29,60	0,44	0,08
№ 3 (бесцветный)	24,37	21,40	24,35	0,31	0,12
№ 4 (оранжевый)	23,11	25,60	22,28	1,36	0,33

Примечание: *н.о. – нерастворимый в воде остаток.

Фотографии структур исследуемых образцов приведены на рис. 1.

Текстура исследуемых образцов карналлитовых пород массивная, структура разнородная. Карналлит чаще представлен крупными зёрнами размером от 0,3 до 3 см. В процессе исследования шлифов, изготовленных из образцов карналлитовых пород, выявлены некоторые особенности. В желтой (образец №1) и красной (образец № 2) разновидностях отмечается высокое содержание карналлита. В бесцветной (образец №3) и оранжевой (образец №4)

разновидностях присутствует галит, в основном в контактных зонах.

Табл. 2. Вероятный минеральный состав карналлитовых пород

Образец карналлитовой породы (цветовая разновидность)	Вероятный минеральный состав, %				
	Карналлит	Галит	Сильвин	Ангидрит	н.о.*
№1 (жёлтый)	90,88	2,44	2,97	0,24	0,12
№ 2 (красный)	86,37	5,28	4,36	0,44	0,08
№ 3 (бесцветный)	71,06	21,40	5,29	0,31	0,12
№ 4 (оранжевый)	65,01	25,60	5,66	1,36	0,33

Примечание: *н.о. – нерастворимый в воде остаток.

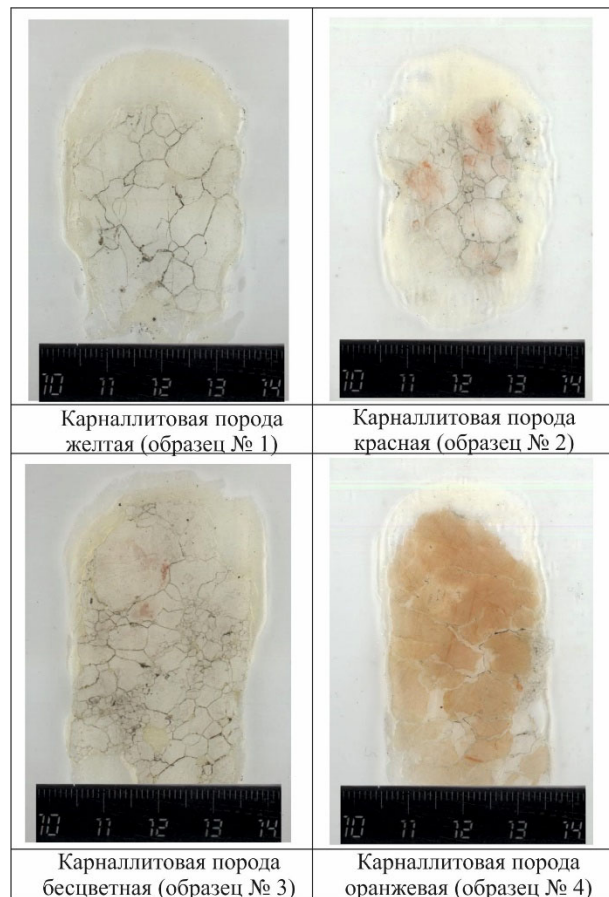


Рис. 1. Структура образцов карналлитовых пород 4-х цветовых разновидностей: лимонно-жёлтой (образец №1), красной (образец №2), бесцветной (образец №3), оранжевой (образец №4).

Красная и оранжевая разновидность отличается зёрнами карналлита оконтуренными красной (оранжевой) оторочкой. В таких зёрнах отмечаются включения многочисленных чешуек гематита и игл гётита, расположенных беспорядочно (рис. 2). Размер железосодержащих минералов в оранжевой разновидности

карналлитовой породы составляет 21-23 мкм. Газово-жидкие микровключения встречаются во всех исследуемых образцах, большее содержание отмечается в желтой (образец №1) и красной (образец №2) разностях. В оранжевой разности (образец №4) между зернами карналлита присутствует галопелитовый материал с кристаллами ангидрита шестоватой формы (рис. 3).

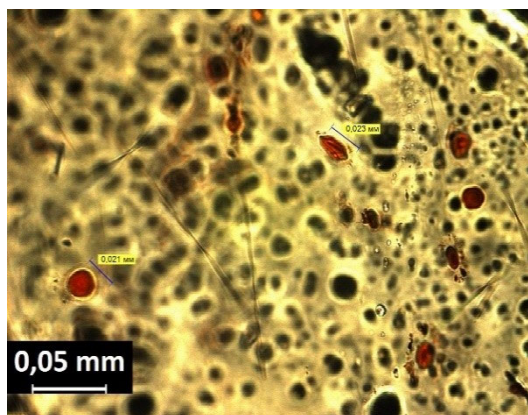


Рис. 2. Включения железосодержащих минералов карналлитовых пород красной и оранжевой разностей

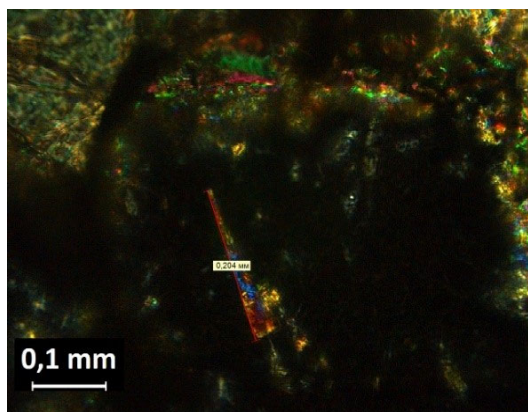


Рис. 3. Включения ангидрита шестоватой формы (размер 0,2 мм) в карналлитовой породе оранжевой цветовой разности

Плотности образцов, определенные методом гидростатического взвешивания, показали, что средняя плотность желтой разности – $1,62 \text{ г/см}^3$, красной – $1,63 \text{ г/см}^3$, бесцветной – $1,77 \text{ г/см}^3$, оранжевой разности – $1,74 \text{ г/см}^3$.

Результаты скорости растворения для момента времени растворения: 30, 60, 90, 150 и 200 минут в зависимости от плотности образующего раствора представлены в таблице 3 и на рисунке 4.

Из таблицы 4, по значениям степени выщелачивания иона калия для всех исследуемых образцов (цветовых разностей) на рисунке 5

построена соответствующая графическая зависимость.

После полного растворения образцов растворы фильтровались от взвешенных частиц. Наибольшее содержание нерастворимых частиц отмечено в образце №4 (оранжевой разности) – 1,88%. Визуально нерастворимый остаток представлен в виде хлопьев оранжевого цвета и песка серого цвета. Отмытый нерастворимый остаток исследовался методом РКФА. По результатам анализа, нерастворимый в воде остаток образца №4 представлен следующим минеральным составом: калиевый полевой шпат 40%, глинистые минералы 21%, кварц 15%, доломит 11%, магнезит 6%, гетит 3%, гематит 2%, ангидрит 2%. В остальных образцах содержание нерастворимого остатка менее 0,5%.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Получены значения скоростей растворения карналлитовых пород, которые характеризуют суммарную весовую скорость, включая вертикальную и горизонтальную составляющие.

При сравнении результатов скоростей растворений исследуемых разностей карналлитовых пород между собой выявлены расхождения. Скорость растворения (для момента времени 30 минут) составляет: для желтой разности- $21,0 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$, красной- $19,9 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$, бесцветной- $16,08 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$ и оранжевой разности- $9,58 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$.

Значения скорости растворения желтой разности заметно выше остальных образцов, вследствие богатого содержания карналлита (90,88%) с незначительным содержанием примесных включений.

Процесс растворения карналлитовой породы желтой и красной разностей сопровождался треском и значительным выделением (экспаляцией) пузырьков газа. Результаты показывают, что значения скорости растворения карналлитовых пород желтой и красной разностей сравнительно выше остальных разностей. Поэтому экспаляцию можно считать положительным фактором процесса растворения, который усиливает диффузию путём увеличения конвекционных потоков (создания микро-вихрей) в растворителе за счет выделения микровключений газа [7-9].

Бесцветная разность карналлитовой породы в качестве примеси содержит галит (21,40%), вследствие чего, процесс замедляется во времени. Поэтому кинетика процесса растворения лимитируется переходом NaCl в раствор [10].

Различия в значениях скорости растворения красной и оранжевой разностей обусловлены структурными свойствами исследуемых пород. Оранжевая разность характеризуется мелко- и среднезернистой структурой, а красная разность крупнозернистой структурой (рис.1). Как известно, чем меньше размер зерен в породе, тем больше создается площадь для растворения, следовательно,

возрастает скорость растворения. Но оранжевая разность с мелкозернистой структурой имеет самое наименьшее значение скорости растворения по сравнению с изученными цветовыми разностями

карналлитовых пород. Это связано с наличием пленки (оторочки) красного (оранжевого) цвета на поверхности зерен.

Табл. 3. Значения скорости растворения в зависимости от плотности образованного раствора для момента времени растворения: 30, 60, 90, 150 и 200 минут

Образец карналлитовой породы	Скорость растворения (г/см ² ·с) при заданном времени (мин)					Общее время растворения, мин	Конечная плотность раствора, г/см ³
	30	60	90	150	200		
№1 (жёлтый)	21,00	14,30	-	-	-	50	1,121
№ 2 (красный)	19,93	17,46	-	-	-	60	1,115
№ 3 (бесцветный)	16,08	11,45	9,33	-	-	110	1,146
№ 4 (оранжевый)	9,58	8,17	6,48	4,64	3,83	220	1,140

Табл. 4. Зависимость степени выщелачивания основных ионов (Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺) во времени

Образец карналлитовой породы	Ион	Время, мин							
		3	10	20	30	40	60	90	200
		Степень выщелачивания, %							
Образец № 1 (жёлтый)	Na ⁺	38,41	57,55	76,68	81,57	93,74	-	-	-
	K ⁺	77,63	82,45	91,26	94,56	97,50	-	-	-
	Mg ²⁺	78,21	82,00	85,79	87,25	90,17	-	-	-
	Ca ²⁺	39,07	44,62	50,17	58,26	60,00	-	-	-
Образец № 2 (красный)	Na ⁺	53,55	84,98	85,06	87,11	88,83	88,48	-	-
	K ⁺	52,83	78,11	87,10	89,88	91,13	95,92	-	-
	Mg ²⁺	48,07	77,43	87,56	89,87	91,56	93,21	-	-
	Ca ²⁺	31,80	54,39	65,69	66,53	71,13	85,77	-	-
Образец № 3 (бесцветный)	Na ⁺	60,81	70,16	86,76	91,57	95,74	97,36	99,86	-
	K ⁺	58,22	65,58	71,26	82,65	92,50	93,49	94,04	-
	Mg ²⁺	58,66	61,50	81,79	83,17	92,56	94,20	95,16	-
	Ca ²⁺	29,30	33,47	49,34	55,96	56,62	56,62	63,91	-
Образец № 4 (оранжевый)	Na ⁺	22,59	30,12	74,68	80,54	88,77	97,01	97,36	98,27
	K ⁺	17,50	23,34	53,19	56,22	63,84	71,46	75,62	86,39
	Mg ²⁺	14,59	19,45	52,22	55,31	63,53	71,75	76,48	87,43
	Ca ²⁺	9,19	12,26	32,68	42,80	49,51	56,23	64,98	81,91

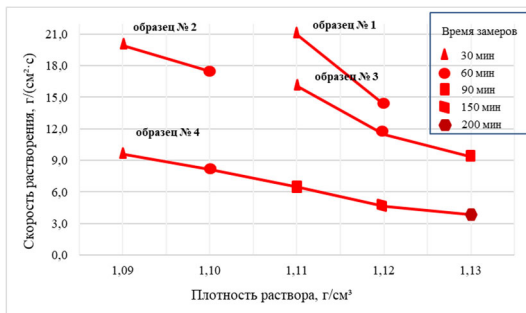


Рис. 4. Зависимость скорости растворения образцов карналлитовых пород от плотности образованных растворов

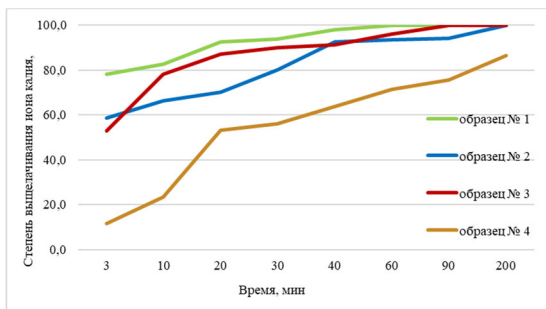


Рис. 5. Зависимость степени выщелачивания иона калия в раствор из образцов (цветовой разности) карналлитовых пород во времени

По литературным данным [11-12], красящее вещество оторочек в основном состоит из микровключений оксидов и гидроксидов железа, в минералогическом плане - гематитовыми чешуйками и гётитовыми иглами (рис. 2). Железооксидная пленка, оконтуривающая зерна карналлита, действует как поверхностно-активное вещество, экранируя поверхность растворения и замедляя процесс диффузии. По совокупности признаков: содержанию галита и железосодержащих микровключений в оранжевой разности карналлитовой породы, обусловлены низкие показатели скорости растворения на фоне других образцов.

На графике (рис. 4) представлена зависимость скорости растворения образцов от плотности образованных растворов. Скорости растворения карналлитовых пород уменьшаются с увеличением плотности и концентрации солей в растворе. Подобное поведение обусловлено диффузионным механизмом растворения, что подтверждается теоретическими данными.

Карналлитовые породы при растворении образуют сложную четверную систему K, Na, Mg || Cl, физико-химические особенности которой недостаточно отражены в современной литературе. При растворении данной системы, наблюдается

взаимовлияние солей друг на друга. В отдельности соли можно расположить в следующий ряд в порядке уменьшения скорости растворения и растворимости: $MgCl_2 > KCl > NaCl$.

Данные таблицы 4 показывают, что степень выщелачивания ионов калия и магния в растворе пропорциональны. При содержании NaCl более 10% в солевом составе приводит к преобладанию концентрации иона натрия в растворе над другими катионами, при этом скорость растворения понижается, а длительность процесса увеличивается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенными исследованиями было показано, что важными факторами, влияющими на скорость растворения, являются вещественный состав и текстурно-структурные свойства карналлитовых пород.

Железооксидная пленка, оконтуривающая зерна красной и оранжевой разности карналлитовых пород, экранирует поверхность растворения, замедляя процесс диффузии.

Наличие в бесцветных и оранжевых разностях карналлитовых пород галита и неравномерное его содержание в образцах закономерно вызывает колебания значений скорости растворения и замедление процесса растворения во времени.

Процесс растворения желтой и красной разностей карналлитовой породы сопровождался значительным выделением пузырьков газа. Микровключения газов положительно влияют на динамику процесса растворения, усиливая конвекцию и массоперенос.

С увеличением гидродинамических параметров растворителя (плотности и вязкости) скорость растворения понижается.

Рассмотренные в статье вопросы по влиянию текстурно-структурных особенностей карналлитовых пород на кинетику растворения могут оказывать существенное влияние на процессы, происходящие при скважинной добыче (подземное растворение) и галургической переработке карналлитовых руд.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работы выполнялись в Акционерном обществе «Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых» (АО «ЦНИИГеолнеруд»). Авторы выражают благодарность коллективу Аналитико-технологического сертификационного испытательного центра за проведенные аналитические исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вигдорчик Е.М., Шейнин А.Б. Математическое моделирование непрерывных процессов растворения. Л.: Химия, 1971. 248 с.
2. Каражанов Н.А. Основы кинетики растворения солей. – Алма-Ата: Наука, 1989. - 192 с.

3. Huaide Ch., Haizhou M., Qingyu H., Zhihong Zh., Liming X., Guangfen R. Model for the decomposition of carnallite in aqueous solution // International Journal of Mineral Processing, 2015, Vol. 139, pp. 36-42.

4. Кудряшов А.И. Верхнекамское месторождение солей. – М.: Эпсилон Плюс, 2013. – 368 с.

5. Хайруллина Е. А., Новоселова Л. В., Порошина Н. В. Природные и антропогенные источники водорастворимых солей на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей // Географический вестник. – 2017.- №1(40). - С.93-101. DOI 10.17072/2079-7877-2017-1-93-101.

6. Морачевский Ю.В., Петров Е.М. Методы анализа рассолов и солей. Л.: Химия, 1964. 404 с.

7. Земсков А.Н. Изучение газоносности соляной толщи Гарлыкского месторождения калийных солей // Известия вузов. Горный журнал. - 2017. - №7. – С.35-42. DOI 10.21440/0536-1028-2017-7-35-42.

8. Nabiev, O.M; Xaydarov, T.Z; and Nabiev, Sh.T (2018) "The method of transforming the liquidated oil and gas production wells into technological wells for leaching salts from saline deposits such as brine .," Chemical Technology, Control and Management : Vol. 2018 : Iss. 4, Article 5. DOI: <https://doi.org/10.34920/2018.6.32-36> Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/vol2018/iss4/5>.

9. Pierzyna P., Popczyk M., Suponik T. Testing the possibility of leaching salt debris obtained from underground excavations. E3S Web of Conferences, 2017, № 18, pp. 10-16.

10. Нажарова Л.Н., Шакиров Т.Р. Особенности растворения каменной соли месторождений Российской Федерации. Вестник технологического университета. — 2020. — № 9. — С. 51-56.

11. Воронова, М. Л. Галогенные формации / М. Л. Воронова, А. А. Иванов. — Москва: Недра, 1972. — 328 с.

12. Yager D. B. Potash—A vital agricultural nutrient sourced from geologic deposits. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2016. 38 p.

Шакиров Тимур Рустамович младший научный сотрудник отдела главного технолога АО «ЦНИИГеолнеруд».

Вафина Марианна Спиридоновна ведущий инженер-технолог отдела главного технолога АО «ЦНИИГеолнеруд», e-mail: vak33andrei@yandex.ru

INFLUENCE OF THE TEXTURAL AND STRUCTURAL FUNCTIONS OF THE URALS CARNALLITE ROCKS ON THE KINETICS OF DISSOLUTION PROCESSES

T.R. Shakirov, M.S. Vafina

Central Research Institute of Geology of nonmetallic mineral resources (JC «CNIIGeolnerud»), Kazan

Abstract - The article shows the need to study the kinetics of the dissolution processes of carnallite rocks of the Permian deposits of the Urals. The technique of preparation of samples, laboratory study of the rate of dissolution in water is described. The data on the chemical composition of samples of 4-color differences of carnallite rocks, textural and structural features, the results of determining the rate of dissolution and the material composition of the water-insoluble residue are presented. The purpose of the study was to study the rate and processes of dissolution in water at a temperature of 50°C in the forced convection mode and to assess the influence of the textural and structural features of the carnallite rocks of the Urals. The objectives of the study were: determination of salt and mineral compositions, study of textural and structural features and assessment of the effect of microinclusions on the kinetics of the dissolution process. When solving the tasks, the following methods were used: study of the textural and structural features of carnallite rocks - by the petrographic method; determination of the rate of dissolution and density of samples - by the gravimetric method; determination of the density of brines - pycnometric method; the chemical composition of the initial samples and solutions (brines) was analyzed by AES-spectrometry; the mineral composition of the water-insoluble residue - by X-ray quantitative phase analysis. The factual material of the research is analyzed, the corresponding conclusions are drawn. Studies have shown that important factors affecting the kinetics of dissolution processes are the material composition and textural-structural properties. In this work, the total (mass) rate of dissolution of samples was determined, including the vertical and horizontal components. The iron oxide film outlining the grains of carnallite rocks screens the dissolution surface, slowing down the diffusion process. The presence of halite and its uneven content causes fluctuations during dissolution, slowing down the dissolution process over time. Microinclusions of gases have a positive effect on the dynamics of the dissolution process, enhancing convection and mass transfer. With an increase in the hydrodynamic parameters of the solvent (density and viscosity), the dissolution rate decreases. The research results can be suitable for the organization of mining by underground dissolution and for the processing of carnallite rocks of the Permian deposits of the Urals by the halurgical method.

Index terms: kinetics, dissolution, carnallite rock, texture, structure, halite, film, gases, halurgy.

REFERENCES

1. Vigdorichik E.M., Sheinin A.B. Mathematical modeling of continuous dissolution processes. L.: Chemistry, 1971, p. 248.
2. Karazhanov N.A. Fundamentals of the kinetics of salt dissolution. - Alma-Ata: Nauka, 1989.- 192 p.
3. Huaide Ch., Haizhou M., Qingyu H., Zhihong Zh., Liming X., Guangfen R. Model for the decomposition of carnallite in aqueous solution // International Journal of Mineral Processing, 2015, Vol. 139, pp. 36-42.
4. Kudryashov A.I. Verkhnekamskoe salt deposit. - M.: Epsilon Plus, 2013.- 368 p.
5. Khairullina E. A., Novoselova L. V., Poroshina N. V. Natural and anthropogenic sources of water-soluble salts on the territory of the Verkhnekamskoe potassium-magnesium salt deposit // Geographic Bulletin. - 2017.- No. 1 (40). - S.93-101 DOI 10.17072 / 2079-7877-2017-1-93-101.
6. Morachevsky Yu.V., Petrov E.M. Methods for the analysis of brines and salts. L.: Chemistry, 1964, 404 p.
7. Nazharova L.N., Shakirov T.R. Peculiarities of dissolution of rock salt from deposits of the Russian Federation. Technological University Bulletin. - 2020. - No. 9. - S. 51-56.
8. Voronova, M. L. Halogen formations / M. L. Voronova, A. A. Ivanov. - Moscow: Nedra, 1972.- 328 p.
9. Yager D. B. Potash - A vital agricultural nutrient sourced from geologic deposits. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 2016.38 p.
10. Zemskov A.N. Study of the gas content of the salt layer of the Garlyk potassium salt deposit // Izvestiya vuzov. Mining Journal. - 2017. - No. 7. - S. 35-42. DOI 10.21440 / 0536-1028-2017-7-35-42.
11. Nabiev, O.M; Xaydarov, T.Z; and Nabiev, Sh.T (2018) "The method of transforming the liquidated oil and gas production wells into technological wells for leaching salts from saline deposits such as brine.," Chemical Technology, Control and Management: Vol. 2018: Iss. 4, Article 5. DOI: <https://doi.org/10.34920/2018.6.32-36> Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ijctcm/vol2018/iss4/5>
12. Pierzyna P., Popczyk M., Suponik T. Testing the possibility of leaching salt debris obtained from underground excavations. E3S Web of Conferences, 2017, No. 18, pp. 10-16.

Shakirov Timur Rustamovich - junior research associate of the department of chief technologist at JSC «CNIIGeolnerud».

Vafina Marianna Spiridonovna - leading process engineer of the chief process engineer department of JSC «CNIIGeolnerud», e-mail: vak33andrei@yandex.ru