

**О.Г. Стефанцова, В.А. Рупчева, Е.Ю. Волкова,
Е.Л. Рассудихина, В.З. Пойлов**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОТМЫВКИ И ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СУЛЬФАТНЫХ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ ИЗ ПОЛИГАЛИТОВЫХ РУД

Производство сульфатных калийных удобрений является перспективным направлением развития калийной промышленности. Главным преимуществом таких удобрений является возможность использования их для растений, не переносящих воздействия хлоридов. Кроме того, они пригодны для всех способов внесения удобрений и могут использоваться на различных почвах и для всех культур.

Природным сырьем для получения сульфатных калийных удобрений могут служить полигалитсодержащие породы ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Такие породы включают минерал полигалит ($K_2MgCa_2[SO_4]_4 \cdot 2H_2O$), в состав которого входят 28,91 % K_2SO_4 и $MgSO_4$ – 19,97 % [1]. Прогнозный потенциал калийно-магниевых солей минералогических подразделений Прикаспийского бассейна, расположенных на территории России, составляет около 13 млрд т K_2O . Из них на долю полигалитсодержащих пород приходится 35–40 % [2]. На современном этапе наиболее изучены полигалитсодержащие породы на Шарлыкской площади Приоренбургского района, а также лангбейнитовые руды. Мало изучены полигалитовые руды Жилинского месторождения. В связи с этим объектом исследования в данной работе выбраны руды этого месторождения.

Целью работы было исследование стадий отмывки руды от галита и выщелачивания из прокаленной руды калий- и магнийсодержащих компонентов, а также определение оптимальных параметров для протекания этих процессов. На стадиях отмывки и выщелачивания в качестве экстрагента использовали воду. Эти стадии исследованы при различных температурах и соотношении жидкой и твердой фаз (Ж/Т), равном 2:1. В данной работе приведен анализ состава руды Жилинского месторождения, определены оптимальные

температуры и время процессов отмывки и выщелачивания полигалитовой руды Жилинского месторождения.

Ключевые слова: полигалитовая руда, сульфатные калийные удобрения, отмывка от галита, выщелачивание, ионный состав, Жилинское месторождение, оптимальная температура.

**O.G. Stefantsova, V.A. Rupcheva,
E.Yu. Volkova, E.L. Rasudihina, V.Z. Poilov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

A STUDY OF THE WASHING AND LEACHING PROCESSES IN THE PRODUCTION OF THE SULPHATE POTASSIUM FERTILIZER FROM POLYGALITE ORES

The production of the sulphate potassium fertilizer is a promising direction in development of the potassium industry. The main advantage of such fertilizer is possibility of using for the plants, which not endure the chlorine excess. In addition they can be used for all methods of fertilizing, different soils and all culture of plants.

Polyhalite ores ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$) can be used as natural raw for production of the sulfate potassium fertilizer. Such ores includes mineral, named polyhalite ($K_2MgCa_2[SO_4]_4 \cdot 2H_2O$), which contains 28,91 % K_2SO_4 и $MgSO_4$ – 19,97 % [1]. The forecast potential of the potassium magnesium salts of the mineralogical units of the Pricaspian basin, settling on the Russian territory, is about 13 billion tons K_2O . The proportion of polyhalite ores one is 35–40% [2]. At present the polyhalite ores on Sharlykskaya area of Priorenburgskiyi basin and langbeinite ores is more studied. The polyhalite ores of Zhilyanska deposit is practically not investigated. Therefore ores of this deposit was selected as investigation object.

The aim of present work was to investigate washing from halite and leaching stages in the production of the sulfate potassium fertilizer, also to determine of optimal parameters for these processes. The washing method from sodium chlorate by water was applied on the stage of the ore concentration. The leaching stage was studied at different temperature and ratio liquid/solid was 2:1. The analysis ore composition for Zhilyanska deposit was represented in this work. The optimal temperatures and times of washing and leaching processes of the Zhilyanska deposit ore.

Keywords: polyhalite ores, sulfate potassium fertilizer, washing from halite, leaching, ionic composition, Zhilyanska deposit, optimal temperature.

Полигалитовые руды характеризуются малой растворимостью и медленной скоростью растворения в водных растворах основной примеси полигалитовых руд – сульфата кальция. Однако вода довольно легко выщелачивает с поверхности полигалита соли калия и магния, оставляя остаток, отвечающий по составу гипсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Впервые технология переработки полигалитсодержащей породы была разработана для пород Западно-Техасского соленосного бассейна [3]. Особенность её заключалась в прокаливании породы для перевода полигалита в водорастворимую форму. При последующем горячем выщелачивании ($\sim 100^\circ\text{C}$) прокаленной породы в раствор переходили сульфаты калия и магния, а в отвал направлялся гипс. В дальнейшем были разработаны технологии, комбинирующие горячее и холодное выщелачивание прокаленного полигалита. Подобные технологии были усовершенствованы сотрудниками ВНИИГ [4]. Известны способы получения шенита и сульфата калия из полигалита, которые включают отделение галита отсадкой, прокаливанию полигалита, его растворение, кристаллизацию из полученного щелока шенита¹.

На современном этапе масштабные исследования технологии получения бесхлоридных калийных удобрений были проведены на Украине [6]. Исследовалась переработка лангбейнитовой руды Предкарпатского месторождения. Основными получаемыми удобрениями по этой технологии являются шенит ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и калимагнезия ($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$). Кроме того, по разработанной технологии можно получать сульфат калия, вводя в производственный процесс дополнительную стадию разложения шенита водой [5].

Разработана также технология разложения труднорастворимых калийных руд соляной кислотой в присутствии органических растворителей, таких как ацетон, метанол, этанол, изопропанол и изоамиловый спирт. На основании проведенных исследований предложен новый безотходный метод получения калийно-магниевых сульфатных удобрений и промышленного гипса из полигалитовой руды [6].

Технология получения комплексных бесхлоридных удобрений из полигалитсодержащей породы исследовалась также в Казанском государственном технологическом университете. Разработаны способы переработки полигалита разложением его различными кисло-

¹ Пат. 2373151 Рос. Федерация. Способ получения шенита / Ю.С. Сафрыгин, Г.В. Осипова, Ю.В. Букша, В.И. Тимофеев. № 2007143342/15; заявл. 22.11.2007; опубл. 20.11.2009. Бюл. № 18. 11 с.

тами. Наиболее перспективной оказалась переработка полигалита азотной кислотой с получением азотного калийно-магниевого удобрения [7].

В технологическом плане полигалитсодержащие породы подразделяются на содержащие и не содержащие галит (NaCl). Из руд, содержащих галит, необходимо удалять хлорид натрия для получения бесхлорных удобрений, т.е. требуется процесс предварительного обогащения породы (обесхлоривания) путем водной отмывки галита или отделения его физическими методами. Существуют гравитационные методы отделения галита от руды и методы отмывки галита водой. Разделение гравитационными методами основывается на том, что частицы, погруженные в тяжелую жидкость, группируются по плотностям: более плотные по сравнению с жидкостью опускаются на дно сосуда, а более легкие всплывают на ее поверхность. Метод отмывки галита водой основывается на различной растворимости полигалита и хлорида натрия в воде [8].

Экспериментальная часть

Объектом исследования являлась полигалитовая руда Жилианского месторождения. Такие руды содержат: 5–27 % галита, 0,1–5,5 % нерастворимого остатка, 0,4 % KCl , 0,1 % H_2O , остальное – полигалит $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [9]. Отмывку полигалита от хлорида натрия проводили водой при температурах 10 и 20 °С в термостатируемом реакторе с мешалкой, вращающейся со скоростью 500 об/мин, обеспечивающей режим витания крупных частиц руды в объеме реактора. Соотношение Ж/Т при промывке составляло 2:1. После стадии отмывки руду отделяли от промывочного раствора фильтрацией. Осадок, полученный на фильтре, промывали водой. Отфильтрованную руду прокаливали в муфельной печи при температуре 530 °С.

Прокаленную руду использовали на стадии выщелачивания. Процесс проводили аналогично отмывке в термостатируемом реакторе с мешалкой. Выщелачивание исследовали при температурах 25, 60 и 90 °С, соотношении жидкой и твердой фаз Ж/Т = 2:1. Фильтрацию и промывку осадка проводили аналогично вышеизложенному.

После выщелачивания получали раствор, содержащий сульфаты калия, магния и кальция, который является полупродуктом в производстве сульфатных калийных удобрений и может быть использован для последующего извлечения сульфата калия. Отходом в данной техноло-

гии является осадок, содержащий в основном сульфат кальция и его полугидраты. Сушку осадка сульфата кальция проводили при температуре 105 °С до постоянного веса.

В ходе экспериментов измеряли массу исходных веществ и образующихся продуктов на каждой стадии протекания процесса. Также исходную руду и продукты анализировали на содержание основных ионов: K^+ , Na^+ , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} . Определение содержания ионов K^+ и Na^+ проводили пламенно-фотометрическим методом, иона Cl^- – аргентометрическим, ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} – комплексонометрическим. Содержание иона SO_4^{2-} определяли как весовым, так и объемным методом. Наибольшую точность показал весовой метод анализа.

Результаты и их обсуждение

Анализ содержания основных элементов, присутствующих в полигалитовой руде Жилинского месторождения, используемой для исследования, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Содержание основных ионов в полигалитовой руде

Компонент	Содержание основных элементов, %						
	Na^+	K^+	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Н.О.*
Полигалитовая руда	3,21	5,23	10,69	64,98	11,57	3,05	0,24

* Н.О. – нерастворимый остаток.

На основании анализа состава полигалитовой руды Жилинского месторождения можно сделать вывод, что руда имеет небольшое содержание ценных извлекаемых компонентов – калия и магния – и содержит более 10 % хлорид-иона, присутствие которого нежелательно в получаемом удобрении.

Для определения оптимального времени (t) отмывки руды от хлорида натрия и других хлоридов при 20 °С проведен эксперимент по отмывке, в котором в течение 30 мин через установленные интервалы времени отбирали пробы раствора для определения содержания ионов K^+ , Na^+ , Cl^- . Состав раствора в определенные интервалы времени процесса отмывки приведен в табл. 2.

Содержание ионов Na^+ и Cl^- в растворе после отмывки увеличивается в течение 15 мин, после чего содержание этих ионов снижается. Это можно объяснить высаливанием хлорида натрия другими солями. График зависимости содержания хлорид-иона от времени представлен на рис. 1.

Как видно из рис. 1, максимальное содержание хлорид-иона в растворе после отмывки наблюдалось при длительности процесса 10–15 мин. На основании полученных данных можно сделать вывод, что время, требуемое для отмывки руды, должно составлять не более 15 мин.

Таблица 2

Содержание основных ионов в растворе после отмывки полигалитовой руды от хлорида натрия

t , мин	Na^+ , г/л	Cl^- , г/л	K^+ , г/л
2	32,84	35,15	2,88
5	50,12	57,98	2,96
8	60,49	74,42	4,66
15	62,88	75,65	4,38
22	46,65	39,01	4,03
30	47,12	40,07	4,88

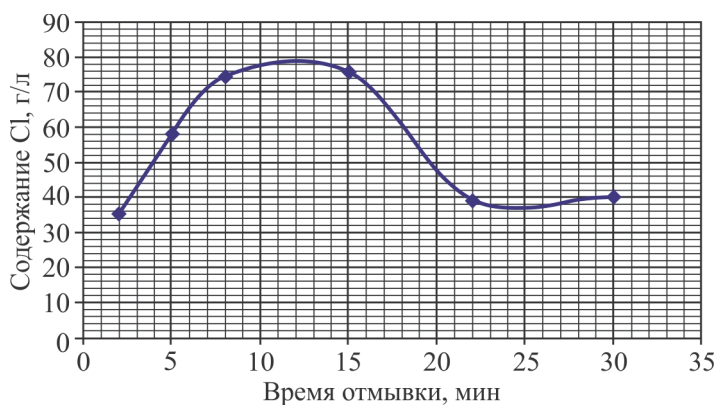


Рис. 1. Изменение содержания хлорид-иона с течением времени в растворе после отмывки руды от NaCl

Влияние температуры на содержание основных ионов в руде при отмывке полигалита оценивали при $T = 10\text{ }^\circ\text{C}$ и $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Таблица 3

Содержание основных ионов в растворе после отмывки руды от NaCl, проводимой при различных температурах

Температура, $^\circ\text{C}$	Концентрация компонента					
	Na^+ , г/л	K^+ , г/л	Cl^- , г/л	SO_4^{2-} , г/л	Ca^{2+} , г/л	Mg^{2+} , г/л
10	12,08	6,16	39,99	28,59	3,63	5,34
20	10,56	12,8	23,94	85,44	6,96	10,74

Ионный анализ состава раствора после отмывки показал, что содержание ионов калия, магния, кальция и сульфат-иона в растворе выше при более высокой температуре. В свою очередь содержание иона натрия и хлорид-иона, наоборот, увеличивается с уменьшением температуры. Поэтому для отмывки из руды хлорида натрия целесообразно проводить процесс при более низкой температуре. В фильтрате в основном содержатся ион натрия и сульфат-ион, хотя наблюдается присутствие других компонентов в растворе. Поэтому возможны потери ценных компонентов (калия и магния) с отмывочным раствором. Для уменьшения потерь калия и магния с отмывочным раствором целесообразно снижать температуру операции отмывки руды.

Для определения оптимального времени выщелачивания отмытой от хлорида натрия и прокаленной руды был проведен эксперимент, в котором по мере выщелачивания в течение 60 мин отбирали пробы для определения содержания основных ионов. Эксперимент проводили при 60 °С. Анализ содержания основных ионов в растворах после выщелачивания приведен в табл. 4.

Таблица 4

Содержание основных ионов в растворе после выщелачивания прокаленной и отмытой от NaCl полигалитовой руды

<i>t</i> , мин	Na ⁺ , г/л	K ⁺ , г/л	Cl ⁻ , г/л	SO ₄ ²⁻ , г/л	Ca ²⁺ , г/л	Mg ²⁺ , г/л
15	0,18	15,07	0,46	157,76	12,82	27,21
30	0,18	20,37	0,73	218,67	13,62	40,97
45	0,29	24,90	0,73	270,63	24,97	44,35
60	0,28	25,76	0,74	281,01	26,58	46,38

Из данных табл. 4 следует, что в растворах после выщелачивания концентрация ионов повышается с увеличением длительности процесса выщелачивания. Однако после 30 мин выщелачивания концентрация ионов калия и магния увеличивается незначительно (рис. 2). Поэтому проводить выщелачивание дольше этого времени нецелесообразно. Также после 30 мин выщелачивания существенно увеличивается концентрация ионов кальция (см. рис. 2), присутствие которых в растворе нежелательно, так как эти ионы загрязняют конечный продукт. При времени выщелачивания более 45 мин концентрация ионов кальция превышает концентрацию ионов калия. Поэтому оптимальное время выщелачивания не должно превышать 30 мин.

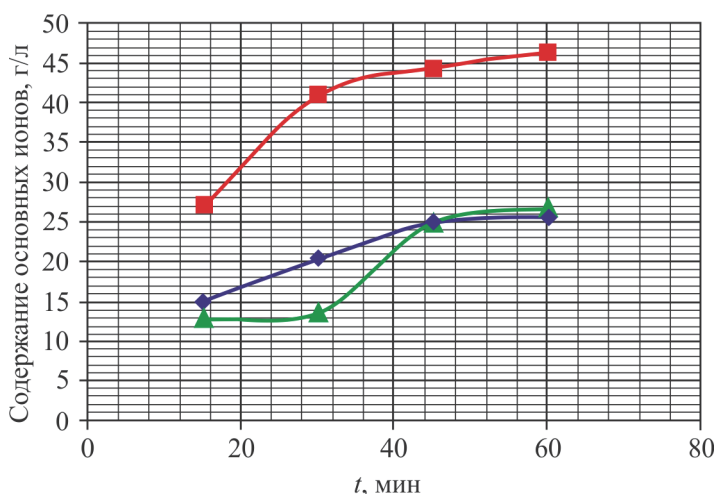


Рис. 2. Зависимость содержания основных ионов (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) в растворе после выщелачивания прокаленной и отмытой от NaCl полигалитовой руды от времени выщелачивания при температуре 60 °С:

—◆— K^+ ; —▲— Ca^{2+} ; —■— Mg^{2+}

Влияние температуры выщелачивания прокаленной и отмытой от NaCl полигалитовой руды изучали при температурах 25, 60 и 90 °С. Результаты исследований приведены в табл. 5.

Таблица 5

Содержание основных ионов в растворе после выщелачивания, проводимого при различных температурах

Температура, °С	Концентрация компонента					
	Na ⁺ , г/л	K ⁺ , г/л	Cl ⁻ , г/л	SO ₄ ²⁻ , г/л	Ca ²⁺ , г/л	Mg ²⁺ , г/л
25	1,21	17,74	2,27	103,53	11,82	3,42
60	1,09	20,92	1,62	119,29	14,61	9,84
90	9,43	20,91	1,09	128,23	24,89	10,44

На основании анализа состава раствора после выщелачивания можно отметить, что с увеличением температуры содержание ионов калия, магния, кальция и сульфат-иона в растворе увеличивается, а содержание иона натрия и хлорид-иона уменьшается. Также из данных табл. 5 видно, что во время выщелачивания в раствор переходит значительное количество ионов кальция, загрязняющих конечный продукт. При температуре выше 60 °С рост концентрации ионов магния и калия незначителен (рис. 3). В связи с этим целесообразно проводить выщелачивание при температуре не выше 60 °С. Следует учитывать, что

проведение процесса при указанной температуре значительно уменьшает затраты тепла на нагрев суспензии, что дает большое преимущество при использовании данной технологии.

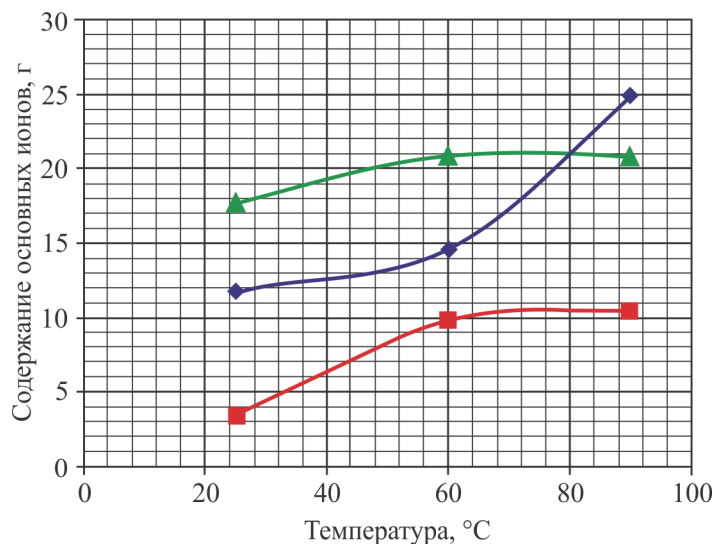


Рис. 3. Зависимость содержания основных ионов (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) в растворе после выщелачивания прокаленной и отмытой от NaCl полигалитовой руды от температуры выщелачивания:
▲ – K^+ , ◆ – Ca^{2+} , ■ – Mg^{2+}

На основании данных анализа содержания основных ионов (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) в растворе после выщелачивания прокаленной и отмытой от NaCl полигалитовой руды рассчитана степень выщелачивания этих ионов в раствор при различных температурах по нижеследующей формуле:

$$X = \frac{G_1}{G} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где X – степень выщелачивания, %; G – масса компонента, содержащегося в прокаленной и отмытой от NaCl полигалитовой руде, используемой для выщелачивания, г; G_1 – масса компонента, перешедшего в раствор при выщелачивании, г.

Результаты расчетов степени выщелачивания приведены на рис. 4.

Из анализа кривых, приведенных на рис. 4, можно видеть, что степень выщелачивания основных ионов (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) возрастает с увеличением температуры для всех ионов: для ионов кальция существенно возрастает в области 60–90 °C, а для ионов магния значительный рост наблюдается в области температур 30–60 °C. Максимальная степень выщелачивания (80 %) наблюдается для ионов калия, а минимальная –

для ионов кальция, что объясняется высокой растворимостью в воде соединений калия и, соответственно, низкой растворимостью сульфата кальция в воде. Оптимальной температурой выщелачивания является температура 60 °С.

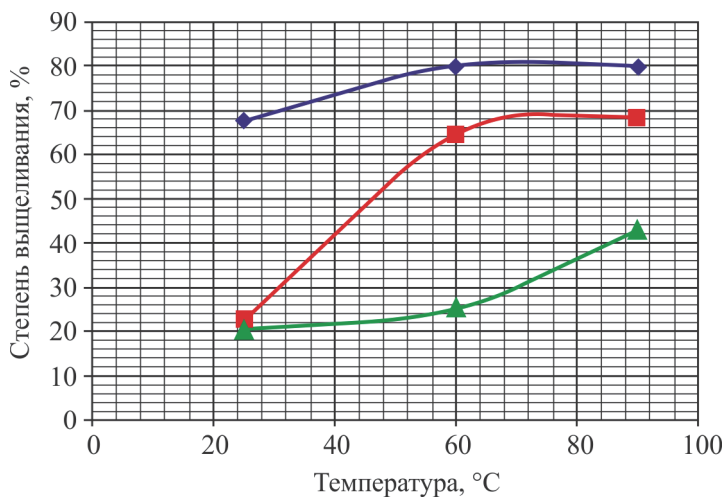


Рис. 4. Зависимость степени выщелачивания основных ионов (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) в раствор от температуры процесса:

—◆— K⁺, —▲— Ca²⁺, —■— Mg²⁺

В заключение сделаем следующие выводы:

1. Полигалитовая руда Жилианского месторождения имеет высокое содержание хлорид-иона (более 10 %), поэтому в технологии переработки требуется дополнительная стадия отмывки руды от хлоридов.

2. Оптимальная длительность процесса отмывки полигалитовой руды от хлорида натрия должна составлять не более 15 мин. Установлено, что отмывку необходимо проводить при пониженных температурах (10 °C), так как растворимость хлорида натрия в воде уменьшается с увеличением температуры. Также при низкой температуре уменьшаются потери калия и магния с отмывочным раствором.

3. Оптимальная длительность процесса выщелачивания отмывой и прокаленной полигалитовой руды не должна превышать 30 мин. Выщелачивание необходимо проводить при температуре 60 °C. При этой температуре степень выщелачивания наиболее ценных компонентов (калия и магния) в раствор достаточно высокая (80 % для калия и 65 % для магния), а содержание примесных компонентов в растворе после выщелачивания сравнительно низкое.

Список литературы

1. Кашкаров О.Д., Соколов И.Д. Технология калийных удобрений. – М.: Химия, 1978. – С. 161–178.
2. Вишняков А.К., Шакирзянова Д.Р., Габдрахманова В.И. Полигалитовые породы – новое сырье для производства дефицитных сульфатных калийно-магниевых удобрений // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 11. – С. 29–33.
3. Исследование взаимодействия полигалита $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$ с растворами хлорида натрия / В.П. Данилов, В.Т. Орлова, Е.А. Фролова, Л.З. Садыков, В.И. Салохин // Неорганическая химия. – 2005. – № 8. – С. 1252–1262.
4. Грабовенко В.А. Производство бесхлорных калийных удобрений. – Л.: Химия, 1980. – 256 с.
5. Карпетс М.В., Костив И.Ю. Кинетика конверсии лайгбенита в шенит в насыщенных растворах // Неорганический синтез и промышленная неорганическая химия. – 2008. – № 5. – С. 739–742.
6. Кислотное разложение труднорастворимых калийных руд с использованием органических растворителей / В.Т. Яворский, К.И. Блаживский, Т.В. Перекупко, И.Ю. Костив, И.Е. Максимович // Неорганический синтез и промышленная неорганическая химия. – 2009. – № 5. – С. 767–771.
7. Шакирзянова Д.Р. Переработка полигалитсодержащих пород на комплексные бесхлоридные удобрения (на примере Шарлыкского проявления): автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2008. – 20 с.
8. Хуснутдинов В.А., Вишняков А.К., Шакирзянова Д.Р. Отделение полигалитовой породы от галита // Химическая промышленность. – 2003. – № 10. – С. 24–26.
9. Справочник по переработке минеральных солей и рассолов / под ред. И.Д. Соколова. – Л.: Химия, 1985. – С. 452.

References

1. Kashkarov O.D., Sokolov I.D. *Technologiia kaliinygh udobrenii* [Technology of potassium fertilizer]. Moscow: Chemistry, 1978. pp. 161–178.
2. Vishnyakov A.K., Shakirzyanova D.R., Gabdrahmanova V.I. *Poligalিতovaia ruda – novoe syrjio dlia proizvodstva sul'fatnyh kaliino-magnievyyh udobrenii* [Polyhalite ores – new raw for the production of the sulphate potassium-magnesium fertilizer]. *Razvedka i okhrana neдр*, 2007, no. 11, pp. 29–33.
3. Danilov V.P., Orlova V.T., Frolova E.A., Sadykov V.I. *Issledovanie vzaimodeistviia poligalিতa $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$ s rastvorami hlorida natriia* [Study of polyhalite $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$ reaction with the solution of the sodium chlorate]. *Neorganicheskaia khimiia*, 2005, no. 8, pp. 1252–1262.
4. Grabovenko V.A. *Proizvodstvo bezhloridnyh kaliinyh udobrenii* [The production of the chlorate-free potassium fertilizer]. Leningrad: Chemistry, 1980, 256 p.

5. Karpets M.V., Kostiv I. Yu. Kinetika konversii laibenita v shenit v nasyshchennykh rastvorah [Kinetics of Conversion of Langbeinite into Schoenite in Saturated Solution]. *Neorganicheskii sintez i promyshlennaia neorganicheskaiia khimiia*, 2008, no. 5, pp. 739–742.

6. Yavorskii V.T., Blazhivskii K.I., Perekupko T.V., Kostiv I.Yu., Maksimovich I.E. Kislotnoe raslozhenie trudnorastvorimyykh kaliinykh rud s ispol'zovaniem organicheskikh rastvoritelei [Acid Decomposition of Difficultly Soluble Potassium Ores with the Use of Organic Solvents]. *Neorganicheskii sintez i promyshlennaia neorganicheskaiia khimiia*, 2009, no. 5, pp. 767–771.

7. Shakirzyanova D.R. Pererabotka poligalitsoderzhashchih porod na kompleksnye beshloridnye udobreniia [The processing of the polyhalite ores with the complex chlorate-free fertilizer production: abstract of dissertation Ph.D. of Technical Sciences]. Kazan, 2008, 20 p.

8. Husnutdinov V.A., Vishnyakov A.K., Shakirzyanova D.R. Otdelenie poligalitovoi porody ot galita [The separation of polyhalite ore from halite]. *Himicheskaiia promyshlennost'*, 2003, no. 10, pp. 24–26.

9. Sokolov I.D. Spravochnik po pererabotke mineral'nykh solei i rassolov [The catalog on mineral salts and brine processing]. Leningrad: Chemistry, 1985, 452 p.

Получено 15.06.2013

Об авторах

Стефанцова Ольга Геннадьевна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, ул. Поздеева, 9, e-mail: Olgatnv07@rambler.ru).

Рупчева Вера Александровна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, ул. Поздеева, 9, e-mail: Poilov@pstu.ru).

Волкова Екатерина Юрьевна (Пермь, Россия) – студентка кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, ул. Поздеева, 9, e-mail: Poilov@pstu.ru).

Рассудихина Елена Леонидовна (Пермь, Россия) – студентка кафедры «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, ул. Поздеева, 9, e-mail: Poilov@pstu.ru).

Пойлов Владимир Зотович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Химические технологии» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, ул. Поздеева, 9, e-mail: Poilov@pstu.ru).

About the authors

Stefantsova Olga Gennad'evna (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: Olgatnv07@rambler.ru).

Rupcheva Vera Aleksandrovna (Perm, Russian Federation) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: Poilov@pstu.ru).

Volkova Ekaterina Yur'evna (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: Poilov@pstu.ru).

Rassudihina Elena Leonidovna (Perm, Russian Federation) – Student, Department of Chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: Poilov@pstu.ru).

Poilov Vladimir Zotovich (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Chemical technology, Perm National Research Polytechnic University (Komsomolsky av., 29, Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: Poilov@pstu.ru).