

ISSN 1561-8331 (Print)
ISSN 2524-2342 (Online)
УДК 549.767.19: 661.152
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-2-251-256>

Поступила в редакцию 05.04.2022
Received 05.04.2022

Н. И. Позняк, В. В. Шевчук, Е. О. Осипова

Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕАГЕНТНОГО РЕЖИМА ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛИГАЛИТОВЫХ РУД ФЛОТАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Аннотация. Исследовано влияние пенообразователей различной химической природы (амиловый спирт, гликолевый эфир, сосновое масло) на флотацию галита из полигалитовых руд используя алкилморфолин в качестве собирателя. Установлено, что совместное введение как амилового спирта, так и гликолевого эфира с алкилморфолином в процесс флотации хлорида натрия позволяет достичь высоких технологических показателей и снизить расход дорогостоящего алкилморфолина в 2 раза. Установлено, что применение соснового масла в качестве пенообразователя в смеси с алкилморфолином позволяет снизить расход собирателя в 2,2 раза.

Ключевые слова: обогащение, флотация, полигалит, галит

Для цитирования. Позняк, Н. И. Совершенствование реагентного режима обогащения полигалитовых руд флотационным методом / Н. И. Позняк, В. В. Шевчук, Е. О. Осипова // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2022. – Т. 58, № 2. – С. 251–256. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-2-251-256>

N. I. Pozniak, V. V. Shevchuk, E. O. Osipova

Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

IMPROVEMENT OF THE REAGENT REGIME FOR THE FLOTATION ENRICHMENT OF POLYHALITE ORES

Abstract. The effect of foaming agents of different chemical nature (amyl alcohol, glycolic ether, pine oil) on the flotation of halite from polyhalite ores using alkylmorpholine as a collector was investigated. It was established that the combined adding of amyl alcohol with alkylmorpholine and glycolic ether with alkylmorpholine in the process of sodium chloride flotation allows achieving high technological performance and reduces the consumption of expensive alkylmorpholine by 2 times. The use of pine oil as a foaming agent in a mixture with alkylmorpholine has been established to reduce the collector consumption by 2.2 times.

Keywords: enrichment, flotation, polyhalite, halite

For citation. Pozniak N. I., Shevchuk V. V., Osipova E. O. Improvement of the reagent regime for the flotation enrichment of polyhalite ores. *Vestsi Natsyonal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2022, vol. 58, no. 2, pp. 251–256 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-2-251-256>

Введение. Полигалитовые руды являются сырьем для получения бесхлорных минеральных удобрений, а также для синтеза сульфата калия, магнезия и калимагнезии.

Ранее проведенными исследованиями показано [1], что полигалит-галитовая руда хорошо обогащается методом пенной флотации при повышенном расходе собирателя алкилморфолина. Алкилморфолин Armoфлоте 619 является дорогостоящим реагентом, поэтому необходимым является подбор собирательной композиции реагентов, позволяющий значительно сократить расходы применяемого собирателя в процессе извлечения галита в пенный продукт.

Для регулирования расхода основного собирателя в практике обогащения руд флотационным методом используют реагенты различной химической природы, обладающие большой флотационной активностью и хорошо растворимые в солевых средах [2]. Важным этапом переработки руд является подавление нерастворимых солей реагентом-депрессором. Так как полигалит относится к числу труднорастворимых минералов, целесообразно провести исследования флотации с применением реагента-депрессора. Использование депрессоров обеспечивает условие селективного закрепления собирателя на флотируемом минерале [3].

Для повышения дисперсности мицеллярно-коллоидных структур собирателя в солевом растворе применяют пенообразователи [4, 5]. Основное назначение пенообразователей заключается в том, что они снижают поверхностное натяжение на границе раздела фаз газ–жидкость, создают во флотационной системе пену необходимой устойчивости и крупности, способствуют сохранению воздушных пузырьков в дисперсном состоянии, а также снижают скорость высаливания собирателя. Самыми распространенными пенообразователями являются спирты, так как обладают определенной растворимостью в воде, хорошо распределяются в водном и солевом растворах и достаточно эффективно проявляют свои поверхностно-активные свойства. В качестве пенообразователей на обогатительных фабриках по переработке минеральных руд используют сосновое масло и гликолевый эфир [6].

Установлено [7], что алкилморфолин обладает устойчивостью в солевых растворах, поэтому применение вспенивателей целесообразно для воздействия на коллоидное состояние раствора Armoфlote 619 с целью улучшения его закрепления на минеральных частицах.

Цель работы – исследовать процесс флотации хлорида натрия с применением реагентов-депрессоров и комбинаций алкилморфолина с пенообразователями, такими как сосновое масло, гликолевый эфир и амиловый спирт; изучить влияние расхода пенообразователя и алкилморфолина на показатели флотации галита из полигалитовой руды.

Материалы и методы исследования. В качестве объекта исследования использовали полигалитовую руду состава: полигалит – 80,41 %, галит – 19,19 %, не растворимый в воде остаток – 0,4 %.

Исследования флотационного обогащения полигалитовой руды проводили во флотационной машине механического типа «Механобр» с объемом камеры 150 см³. Полигалитовую руду измельчали до фракции -0,5 мм. Соотношение Т : Ж составляло 1 : 3. В качестве флотационного маточника использовали насыщенный по хлористому магнию рассол с плотностью 1290 кг/м³ и рН 3–4. В качестве собирателя использовали 2 %-ный водный раствор солянокислой соли алкилморфолина. Оптимальное время флотации 5 мин.

Для продуктов флотационного обогащения проводили химический анализ на ионы натрия и калия пламенно-фотометрическим методом по ГОСТ Р 54730-2011, на ионы магния и кальция – ГОСТ Р 54352-2011, на хлор-ионы – ГОСТ 33769-2016 и сульфат-ионы – ГОСТ Р 54353-2011.

Результаты и их обсуждение. Согласно ранее проведенным исследованиям [1], флотационное обогащение полигалитовой руды возможно при высоком расходе собирателя. Так, при расходе алкилморфолина 1400 г/т в пенный продукт извлекается 83,36 % хлорида натрия, при расходе 1600 г/т – 95,41 % хлорида натрия, при этом обогащенный полигалитовый продукт содержит 96,00 и 98,82 % полигалита соответственно (рис. 1, 2).

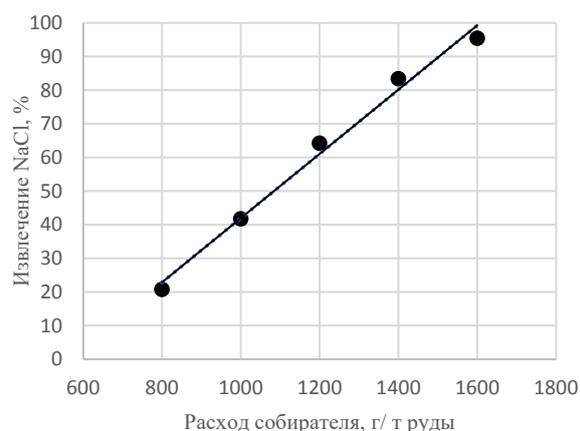


Рис. 1. Влияние расхода собирателя алкилморфолина на извлечение хлорида натрия в пенный продукт при флотационном обогащении полигалитовой руды

Fig. 1. Effect of alkylmorpholine collector consumption on the recovery of sodium chloride into the foam product during flotation enrichment of polyhalite ore

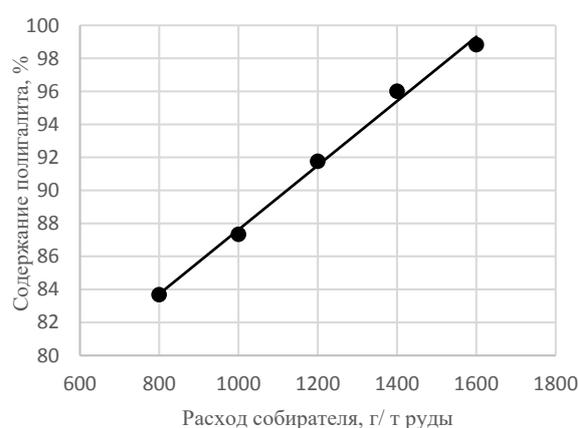


Рис. 2. Влияние расхода собирателя алкилморфолина на содержание полигалита в обогащенном продукте при флотационном обогащении полигалитовой руды

Fig. 2. Effect of alkylmorpholine collector consumption on polyhalite content in the enriched product during flotation enrichment of polyhalite ore

При флотации калийных руд, содержащих нерастворимый остаток (н. о.) в виде глинисто-карбонатных примесей, используют реагенты-депрессоры для снижения активной адсорбции поверхностно-активных веществ на н. о. Применение депрессоров, таких как крахмал, КМЦ, полиакрилаты и др. для снижения расходов алкилморфолина не дало положительных результатов ввиду слабой адсорбции этих соединений на поверхности полигалита и стабилизации дисперсии водонерастворимого остатка в обогащенном камерном продукте, что нежелательно для его дальнейшей переработки.

С целью снижения расхода основного собирателя было изучено влияние амилового спирта на эффективность действия алкилморфолина при флотации хлорида натрия в пенный продукт. Амиловый спирт является бесцветной жидкостью с неприятным запахом, хорошо растворим в воде. Для исследований была приготовлена смесь водного раствора солянокислого алкилморфолина с амиловым спиртом при их массовом соотношении 1 : 1. Амиловый спирт хорошо растворяется в водном растворе алкилморфолина, образуя прозрачную однородную эмульсию. В табл. 1 представлены результаты исследований влияния амилового спирта на эффективность действия алкилморфолина Armoflote 619 при галитовой флотации полигалитовой руды.

Исследования показали, что повышение расхода смеси алкилморфолина с амиловым спиртом от 400 до 1000 г/т руды по каждому из компонентов позволяет извлечь в пенный продукт до 97,66 % хлорида натрия. Содержание его в камерном продукте при этом минимально и составляет 0,63 %. Однако можно отметить, что применение амилового спирта при этом массовом соотношении приводит к увеличению потерь полигалита с пенным продуктом до 11,21 % против 4,82 %, полученных при флотации одним алкилморфолином.

Таким образом, применение амилового спирта в качестве вспенивателя позволяет сократить расход применяемого собирателя хлорида натрия в 2 раза, однако по эффективности их суммарный расход равен расходу одного алкилморфолина в наиболее эффективном составе. Основным недостатком применения амилового спирта является его специфический запах.

Исследована возможность использования в качестве вспенивателя гликолевого эфира C_{12} , который добавляли непосредственно в водный раствор солянокислого алкилморфолина при их массовом соотношении 1 : 1. Гликолевый эфир C_{12} технический – прозрачная жидкость с желтым оттенком, без механических примесей с характерным запахом. Представляет собой смесь продуктов моноэфирной конденсации изомаляного альдегида. Основным компонентом является 2,2,4-триметил-3-пентанол-1-изобутират ($C_{12}H_{24}O_3$). Гликолевый эфир C_{12} хорошо диспергируется в растворе алкилморфолина, образуя мутную, вязкую эмульсию, которая при температуре 50 °С становится полупрозрачной. Эмульсия устойчива во времени. Влияние гликолевого эфира C_{12} на флотацию хлорида натрия из полигалитовой руды представлено в табл. 2.

Т а б л и ц а 1. Влияние амилового спирта на флотацию хлорида натрия из полигалитовой руды (содержание NaCl – 19,19 %, полигалита – 80,41 %, н.о. – 0,4 %)

Table 1. Effect of amyl alcohol on the flotation of sodium chloride from polyhalite ore (NaCl – 19.19 %, polyhalite – 80.41 %, n. o. (non-soluble precipitate) – 0.4 %)

Расход реагентов, г/т руды		Продукт	Технологические показатели флотации, %				
Armoflote 619	Амиловый спирт		выход	NaCl		полигалит	
				содержание	извлечение	содержание	извлечение
1600	–	пенн	22,55	81,18	95,41	17,18	4,82
		кам	77,45	1,14	4,59	98,82	95,18
400	400	пенн	10,81	76,78	43,25	21,72	2,92
		кам	89,19	12,21	56,75	87,52	97,08
600	600	пенн	16,75	73,07	63,78	25,34	5,28
		кам	83,25	8,35	36,22	91,49	94,72
800	800	пенн	25,71	69,15	92,64	29,43	9,41
		кам	74,29	1,90	7,36	98,05	90,59
1000	1000	пенн	28,12	66,64	97,66	32,05	11,21
		кам	71,88	0,63	2,34	99,33	88,79

П р и м е ч а н и е. пенн – пенный, кам – камерный.

Т а б л и ц а 2. Влияние гликолевого эфира C₁₂ на флотацию хлорида натрия из полигалитовой руды (содержание NaCl (галита) – 19,19 %, полигалита – 80,41 %, н.о. – 0,4 %)

T a b l e 2. Effect of glycolic ether on the flotation of sodium chloride from polyhalite ore (NaCl – 19.19 %, polyhalite – 80.41 %, n. o. – 0.4 %)

Расход реагентов, г/т руды		Продукт	Технологические показатели флотации, %				
Armoфlote 619	Гликолевый эфир C ₁₂		выход	NaCl		полигалит	
				содержание	извлечение	содержание	извлечение
1600	–	пенн	22,55	81,18	95,41	17,18	4,82
		кам	77,45	1,14	4,59	98,82	95,18
400	400	пенн	8,45	86,57	38,12	11,72	1,23
		кам	91,55	12,98	61,88	86,75	98,77
600	600	пенн	16,78	78,96	69,04	19,16	4,00
		кам	83,22	7,14	30,96	92,76	96,00
800	800	пенн	23,23	76,23	92,29	23,71	6,85
		кам	76,77	1,93	7,71	98,07	93,15
1000	1000	пенн	25,75	73,31	98,37	26,26	8,09
		кам	74,25	0,42	1,63	99,54	91,91

П р и м е ч а н и е. пенн – пенный, кам – камерный.

Т а б л и ц а 3. Влияние соснового масла на флотацию хлорида натрия из полигалитовой руды (содержание NaCl – 19,19 %, полигалита – 80,41 %, н.о. – 0,4 %)

T a b l e 3. The effect of pine oil on the flotation of sodium chloride from polyhalite ore (NaCl – 19.19%, polyhalite – 80.41%, n.o. – 0.4%)

Расход реагентов, г/т руды		Продукт	Технологические показатели флотации, %				
Armoфlote 619	Сосновое масло		выход	NaCl		полигалит	
				содержание	извлечение	содержание	извлечение
1600	–	пенн	22,55	81,18	95,41	17,18	4,82
		кам	77,45	1,14	4,59	98,82	95,18
300	150	пенн	10,23	80,17	42,74	19,16	2,44
		кам	89,77	12,24	57,26	87,39	97,56
400	200	пенн	14,94	78,65	61,23	19,75	3,67
		кам	85,06	8,75	38,77	91,07	96,33
500	250	пенн	16,87	80,39	70,67	17,92	3,76
		кам	83,13	6,77	29,33	93,09	96,24
600	300	пенн	21,20	77,45	85,57	22,16	5,84
		кам	78,80	3,52	14,43	96,08	94,16
700	350	пенн	24,96	70,23	91,35	28,29	8,78
		кам	75,04	2,21	8,65	97,75	91,22

П р и м е ч а н и е. пенн – пенный, кам – камерный.

Из табл. 2 следует, что с увеличением расхода каждого из компонентов эмульсии от 400 до 1000 г/т руды извлечение хлорида натрия в пенный продукт повышается от 38,12 до 98,37 %. При максимальном извлечении галита в пенный продукт в обогащенном камерном продукте его остается 1,63 %, что соответствует содержанию 0,42 %. Потери полигалита с пенным продуктом при этом составляют 8,09 %. Если сравнивать их с потерями этого минерала при флотации с применением в качестве вспенивателя амилового спирта при таком же расходе, то они на 3,12 % меньше, что указывает на большую эффективность используемого вспенивателя. В то же время потери полигалита на 3,27 % выше, чем при индивидуальном использовании алкилморфолина.

Таким образом, введение гликолевого эфира C₁₂ в виде эмульсии с алкилморфолином в процесс флотации хлорида натрия позволяет достичь высоких технологических показателей и снизить расход дорогостоящего алкилморфолина в 2 раза.

Исследовали также влияние соснового масла в качестве пенообразователя на эффективность собирателя галита алкилморфолина Atmoflote 619. Сосновое масло представляет собой прозрачную жидкость от светло-желтого до темно-желтого цвета со свежим, слегка землистым ароматом скипидара. Масло сосны состоит из монотерпеновых углеводородов, из которых 60–65 % составляют терпинеол. Присутствует в составе соснового масла также дипентен, бетанинен, борнеол и другие соединения.

Сосновое масло также, как и вышеуказанные пенообразователи, вводили в процесс флотации в виде эмульсии с собирателем при их массовом соотношении 0,5 : 1 соответственно. Результаты флотации представлены в табл. 3.

Применение эмульсии алкилморфолина с сосновым маслом позволяет достичь извлечения хлорида натрия в пенный продукт 91,35 % при расходах алкилморфолина 700 г/т руды и соснового масла 350 г/т руды. В обогащенном камерном продукте остается 2,21 % галита. Потери полигалита с пенным продуктом при этом составляют 8,78 %, что на 3,96 % больше по сравнению с индивидуальным использованием алкилморфолина. Совместное введение соснового масла с солянокислым алкилморфолином в процесс флотации галита из полигалитовой руды позволяет повысить эффективность процесса флотации и уменьшить расход алкилморфолина в 2,2 раза, чем при индивидуальном его применении.

Заключение. На основании проведенных исследований установлено, что реагенты-депрессоры, такие как крахмал, КМЦ, полиакрилаты, не оказывают положительного влияния на снижение расхода собирателя при флотационном обогащении полигалитовых руд. Результаты исследования по разработке комплексного собирателя на основе алкилморфолина показали, что применение амилового спирта и гликолевого эфира C_{12} в качестве пенообразователя позволяет повысить эффективность процесса флотации и снизить расход алкилморфолина в 2 раза. Использование соснового масла в качестве пенообразователя дает возможность интенсифицировать процесс флотации и достичь высоких технологических показателей флотации при расходах алкилморфолина в 2,2 раза меньших, чем при индивидуальном использовании дорогостоящего алкилморфолина.

Список использованных источников

1. Позняк, Н. И. Обогащение полигалитовых руд с высоким содержанием галита флотационным методом / Н. И. Позняк, В. В. Шевчук, Е. О. Осипова // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2022. – Т. 58, № 1. – С. 73–78. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-1-73-78>
2. Александрович, Х. М. Основы применения реагентов при флотации калийных руд / Х. М. Александрович. – Минск: Наука и техника, 1973. – 294 с.
3. Титков, С. Н. Активация действия катионных реагентов-собирателей / С. Н. Титков // Записки Горного института. – 2005. – Т. 165. – С. 191–195.
4. Zhang, W. Frothers and Frother Blends: A Structure–Function Study / W. Zhang. – McGill University, Canada, 2012.
5. Осипова, Е. О. Повышение эффективности собирательного действия аминов при использовании комбинации вспенивателей / Е. О. Осипова, В. В. Шевчук // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2022. – Т. 58, № 1. – С. 45–52. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-1-45-52>
6. Альтернативные вспениватели для флотационного обогащения сильвинитовых руд / Н. Н. Пантелеева [и др.] // Горный журнал. – 2016. – № 4. – С. 61–66.
7. Флотационное обогащение калийных руд / Л. В. Дихтиевская [и др.] // Вест. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 277–287. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-3-277-287>

References

1. Pozniak N. I., Shevchuk V. V., Osipova E. O. Flotation enrichment of polyhalite ores with a high halite content. *Vesti Natsyunal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2022, vol. 58, no. 1, pp. 73–78 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-1-73-78>
2. Aleksandrovich H. M. *Basics of using reagents for flotation of potash ores*. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1973. 294 p. (in Russian).
3. Titkov S. N. Activation of the action of cationic reagents-collectors. *Zapiski Gornogo Instituta = Journal of Mining Institute*, 2005, vol. 165, pp. 191–195 (in Russian).
4. Zhang, W. *Frothers and Frother Blends: A Structure–Function Study*. McGill University, Canada, 2012.

5. Osipova E. O., Shevchuk V. V. Increasing the efficiency of the collective action of amines by the use of foaming agents combination. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnyh navuk = Proceedings of the National Academy of Science of Belarus. Chemical series*, 2022, vol. 58, no. 1, pp. 45–52 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2022-58-1-45-52>

6. Panteleeva N. N., Gurkova T. M., Alter M. E., Delyukina I. V. Alternative frothers for flotational beneficiation of sylvinitic ores. *Gornyi Zhurnal = Mining Journal*, 2016, no. 4, pp. 61–66 (in Russian).

7. Dikhtievskaya L. V., Shlomina L. F., Osipova E. O., Shevchuk V. V., Mozheyko F. F. Flotation enrichment of potash ores of different mineralogical composition. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical series*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 277–287 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2019-55-3-277-287>

Информация об авторах

Позняк Наталья Иосифовна – науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: natali_pozniak@mail.ru

Шевчук Вячеслав Владимирович – член-корреспондент НАН Беларуси, д-р хим. наук, зав. лаб. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: shevchukslava@rambler.ru

Осипова Елена Олеговна – науч. сотрудник. Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси (ул. Сурганова, 9/1, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: osipovaelena81@gmail.com

Information about the authors

Pozniak Natallia I. – Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: natali_pozniak@mail.ru

Shevchuk Viacheslau V. – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Chemistry), Head of the Laboratory. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shevchukslava@rambler.ru

Elena O. Osipova – Researcher. Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (9/1, Surganov Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: osipovaelena81@gmail.com