

Institutions. Mining Journal. 1997. No. 7/8. pp. 121–123.

12. Shishlyashnikov D. I. *Povyshenie effektivnosti otdeleniya kaliynoy rudy ot massiva reztami dobuchnykh kombainov : Avtoreferat dissertatsii ... kandidata tekhnicheskikh nauk* (Efficiency increasing of potassium ore withdrawal from massif by mining machine cutters : thesis of inauguration of Dissertation ... candidate of engineering sciences). Saint-Petersburg : Saint Petersburg State Mining University, 2012. 21 p.
13. Chekmasov N. V. *Sposob razrusheniya gornogo massiva perekrestnymi rezami* (Method of rock massif failure by cross cuts). Patent RF, No. 2460882. LLC "RKTs". Applied: May 24, 2010. Published: September 10, 2012. Bulletin No. 25.
14. Chekmasov N. V., Shishlyashnikov D. I. *Sposob razrusheniya gornogo massiva perekrestnymi rezami* (Method of rock massif failure by cross cuts). Patent RF, No. 2522111. State National Research Polytechnical University of Perm. Applied: March 26, 2013. Published: July 10, 2014. Bulletin No. 19.
15. Semenov V. V., Shmakin I. G., Zhabin A. B., Chebotarev P. N. *Rezultaty sravnitelnykh issledovaniy ispolnitelnykh organov kombainov "Mairretta-900A" i "Ural-20P"* (Results of comparative studies of executive setting of mining machines "Mairretta-900A" and "Ural-20P"). *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining equipment and electromechanics.* 2012. No. 2. pp. 11–16.
16. Semenov V.V., Shmakin I. G., Zhabin A. B., Chebotarev P. N. *Sovershenstvovanie metoda rashcheta nagruzhennosti reztsov pri razrushenii kaliynykh rud* (Improvements of the method of calculation of cutter loading during potassium ore failure). *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika = Mining equipment and electromechanics.* 2010. No. 4. pp. 13–16.
17. Elenkin V. F., Klementeva I. N. *Issledovanie vliyaniya effektivnogo koeffitsienta sukhogo treniya na moment soprotivleniya vrashcheniyu shnekov ochistnogo kombaina pri vyzhdeniykh garmonicheskikh kolebaniyakh dvizhushchego momenta* (Investigation of the influence of effective coefficient for dry friction at the moment of resisting of mining machine augers under compulsory harmonic oscillations of the driving torque). *Gornaya promyshlennost = Mining Industry.* 2014. No. 1. pp. 112–113.
18. Shishlyashnikov D. I., Chekmasov N. V., Trifanov M. G., Ivanov S. I., Zvonarev I. E. *Substantiation of the Rational Method to Control the Operating and Technical Condition Parameters of a Heading and Winning Machine for potassium Mines.* *Journal of Machinery Manufacture and Reliability.* 2015. Vol. 44, No. 3. pp. 283–287.

УДК 622.363

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ФЛОТАЦИОННОГО ОБЕСШЛАМЛИВАНИЯ КАЛИЙНЫХ РУД



Е. И. АФОНИНА,
старший научный сотрудник,
lena_kamsk@mail.ru



А. В. КОНОБЕЕВСКИХ,
старший научный сотрудник

АО «ВНИИ Галургии», Санкт-Петербург, Россия

Введение

Сильвинит — важнейшее сырье для производства калийных удобрений. Ресурсы калийных солей России огромны — суммарно запасы составляют свыше 12,6 млрд т в пересчете на K_2O , что составляет более 17 % мировых ресурсов [1]. Одним из важнейших условий эффективного обогащения сильвинитовых руд Верхнекамского месторождения калийных солей (ВМКМС) является удаление из них нерастворимых в воде примесей (шламов). Нерастворимый остаток, особенно его глинистая часть, находящаяся в руде в «свободном» виде, сорбирует значительное количество вводимого катионного собирателя — амина, что резко ухудшает

В целях повышения эффективности обогащения сильвинитовых руд Верхнекамского месторождения калийных солей проведены и представлены в настоящей статье лабораторные и опытно-промышленные исследования по интенсификации их флотационного обесшламливания.

Исследована сорбция различных собирателей шламов и выявлен новый класс достаточно эффективных соединений-собирателей — оксисилированные спирты.

В целом обоснован, разработан и рекомендован технологический комплекс интенсивной флотации диспергированных шламов с извлечением нерастворимого остатка в пенный продукт, обеспечивая тем самым «чистоту» камерного продукта и эффективность сильвиновой флотации — повышение извлечения KCl в концентрат и сокращение его потерь с хвостами.

Ключевые слова: калийные руды, флотационное обогащение, глинисто-карбонатные шламы, нерастворимый остаток, насыщенный солевой раствор, сорбция, обесшламливание, реагенты-собиратели, способ-подачи, пенный и камерный продукты.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.11>

показатели флотации сильвина (KCl). Содержание общего н. о. в руде Березниковского участка ВМКМС может достигать 7–8 %, в том числе «свободного» н. о. — до 3–4 %. При этом механическое обесшламливание не обеспечивает должного эффекта —

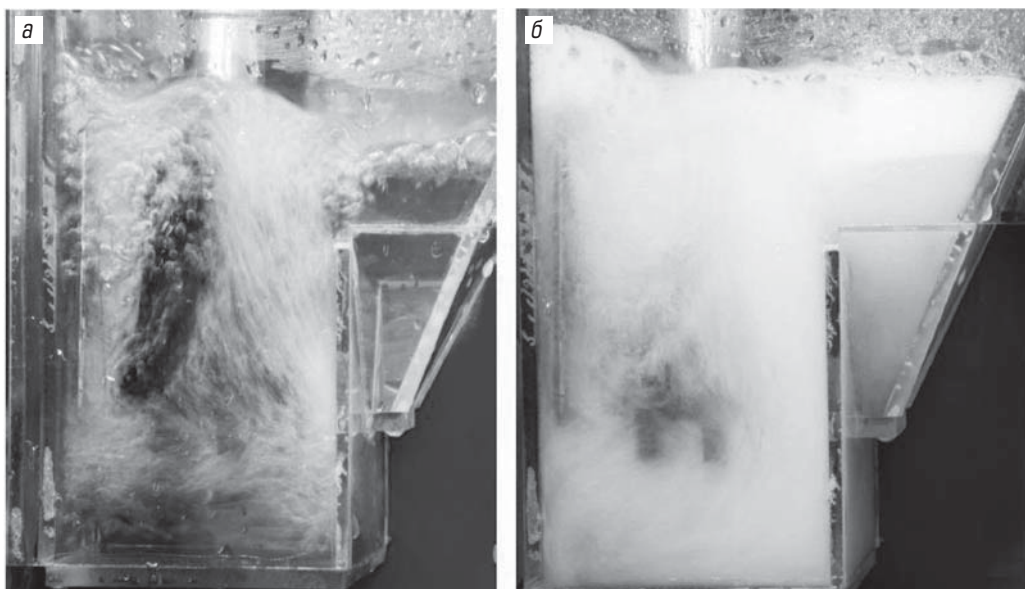


Рис. 1. Аэрированная флотационная жидкая фаза во флотокамере:
а — вода; *б* — солевой раствор с содержанием хлоридов калия и натрия более 2,5 % (масс.)

остаточное количество шламов в руде снижает эффективность флотации сильвина, что зачастую требует после шламовой флотации обрабатывать питание сильвиновой флотации специальным реагентом-депрессором, экранирующим поверхность шламов от амина и снижающим его сорбцию на шламах. В связи с этим интенсификация шламовой флотации сильвинитовых руд является актуальной научной и практической задачей.

Определение физико-химических закономерностей флотуемости глинисто-карбонатных шламов

Для определения физико-химических закономерностей флотуемости глинисто-карбонатных шламов проведено исследование влияния солевого состава раствора на размер пузырьков воздуха в аэрированных растворах (рис. 1). Как видно, при флотации шламов в воде (а) можно различить отдельные пузырьки воздуха, в то время как в насыщенном солевом растворе (б) такое выделение единичных пузырьков невозможно, как и определение размеров пузырьков.

Флотационными опытами с использованием в качестве флотореагентов флокулянта Аккофлок А-110 и собирателя шламов этомина НТ/40 было показано [2], что флотация шламов в воде практически не идет. Но уже при небольших концентрациях солей (1,5–2,5 %) наблюдается увеличение извлечения шламов в пенный продукт, а в насыщенном солевом растворе (10,5 % KCl и 20,5 % NaCl) извлечение шламов достигает своего максимума. Для исследования причин такой закономерности была сконструирована и изготовлена установка (рис. 2), позволяющая определять изменение оптической плотности солевого раствора, аэрированного во флотокамере при постоянном расходе воздуха и числе оборотов импеллера.

Результаты исследований показали, что уже при небольших концентрациях солей наблюдается снижение величины фототока и увеличение оптической плотности раствора (рис. 3) [3]. Это указывает на уменьшение размера пузырьков воздуха и увеличе-

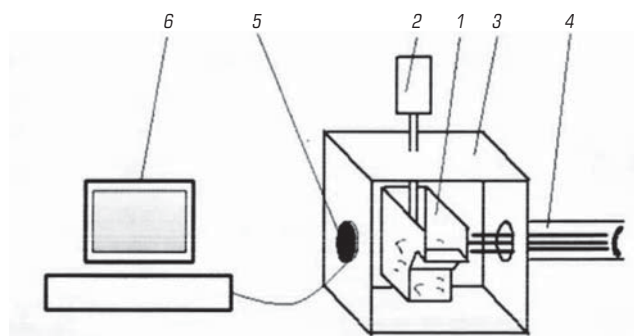


Рис. 2. Схема установки для исследований влияния концентрации электролита на оптическую плотность солевого раствора:

- 1 — флотокамера; 2 — электродвигатель;
- 3 — светозащитный корпус; 4 — направленный луч света;
- 5 — фотодатчик; 6 — компьютер

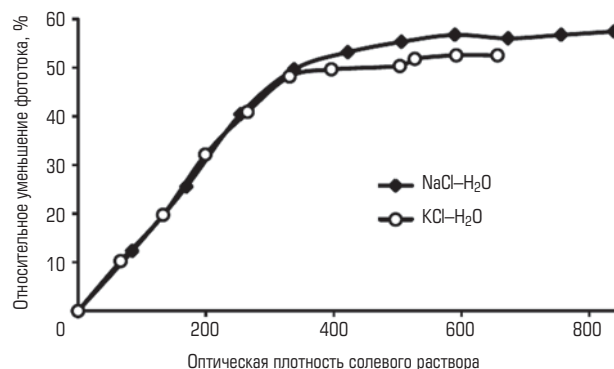


Рис. 3. Зависимость фототока от оптической плотности солевого раствора в исследованиях по влиянию солей на размеры и количество пузырьков воздуха в объеме флотокамеры

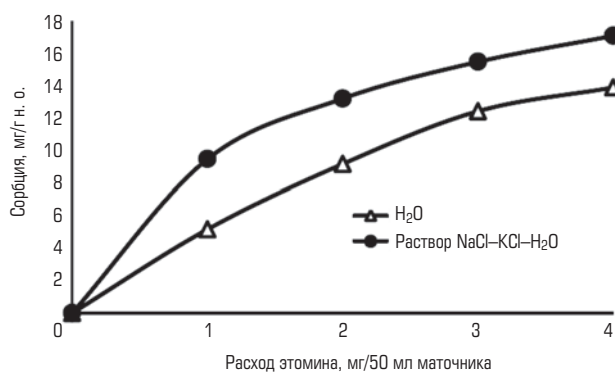


Рис. 4. Сорбция этимина НТ/40 на нерастворимом остатке (н. о.) руды ВМКМС в воде и насыщенном солевом растворе

ние их количества в объеме флотационной камеры, что обуславливает большую степень закрепления частиц шламов на пузырьках воздуха и, соответственно, увеличение выхода шламов в пенный продукт.

С использованием колориметрического метода определения малых количеств оксизетилированных соединений была определена сорбция этимина на нерастворимом остатке как в воде, так и в насыщенном солевом растворе (рис. 4). В качестве нерастворимого остатка использовали шлам Верхнекамского месторождения, отмытый от солей до отрицательного содержания хлоридов, высушенных и истертых до крупности –0,1 мм. Видно, что сорбция собирателя в солевом растворе значительно выше. Таким образом,

увеличение флотиремости шламов в солевых растворах можно объяснить как сокращением размеров пузырьков воздуха с ростом их количества в жидкой фазе, так и сорбции собирателя шламов в солевом растворе в сравнении с сорбцией в воде.

Флотация шламов невозможна без флокулянтов, использование которых зависит от состава среды, ее температуры, размера частиц и их минералогии [4]. Для успешного проведения шламовой флотации наряду с флокулянтами используют собиратели для укрупнения частичек «свободных» шламов и обеспечения необходимой энергии преодоления флокулами нерастворимого остатка потока жидкости, обтекающего пузырек воздуха. В частности, при обогащении калийных руд Ирана такие нерастворимые примеси, как гематит и кварц, флотируют с использованием жирных кислот (олеиновой кислоты); японские исследователи указывают на использование фтористоводородной кислоты для селективной флотации кварца и полевого шпата; в качестве альтернативы предлагается использование неионогенных реагентов, содержащих полиоксиэтильные группы, а также смеси полиэтиленгликоля и полимерные этоксилированные ПАВ [5–7].

Для обогащения отечественных калийных руд в качестве собирателей используют оксизетилированные продукты. Так, при обогащении руды Соликамского участка ВМКМС применяют оксизетилированный фенол (Неонол АФ 9-25) [8]; Березниковского месторождения — оксизетилированный амин (Этомин НТ/40) [9]. Проведены исследования по изысканию новых собирателей шламов, в том числе выявлен новый класс соединений — оксизетилированные спирты с достаточно высокими показателями как по извлечению нерастворимого остатка в пенный продукт, так и по

Таблица 1. Результаты флотационных опытов по обогащению руды Соликамского участка ВМКМС с использованием различных оксизетилированных собирателей (расход флокулянта — 5 г/т, расход собирателей — 15 г/т руды)

Выход шлама, %	Содержание, %						Извлечение н. о. в пенный продукт, %	Кoeffициент селективности, $E_{KCl}/E_{н.о.}$
	в пенном продукте		в камерном продукте		в руде			
	KCl	н. о.	KCl	н. о.	KCl	н. о.		
<i>Этомин НТ/40</i>								
3,70	23,44	28,98	19,94	0,67	20,07	1,71	62,58	0,069
4,04	24,17	25,69	19,69	0,66	19,87	1,67	62,12	0,079
3,96	19,17	26,61	19,83	0,71	19,80	1,74	60,61	0,063
3,90	22,26	27,09	19,82	0,68	19,91	1,71	61,77	0,070
<i>Неонол АФ 9-25</i>								
3,44	20,09	31,89	19,38	0,71	19,40	1,78	61,68	0,058
3,22	16,46	34,18	19,74	0,77	19,63	1,84	59,79	0,045
3,50	21,05	29,19	19,61	0,73	19,66	1,73	59,10	0,063
3,39	19,20	31,75	19,58	0,73	19,56	1,78	60,19	0,055
<i>Оксизетилированный спирт</i>								
3,56	18,81	29,96	19,55	0,66	19,53	1,70	62,68	0,055
3,89	21,02	27,75	19,98	0,68	20,02	1,73	62,31	0,065
3,44	21,00	30,92	19,36	0,72	19,41	1,75	60,55	0,061
3,63	20,27	29,54	19,63	0,68	19,65	1,73	61,85	0,061

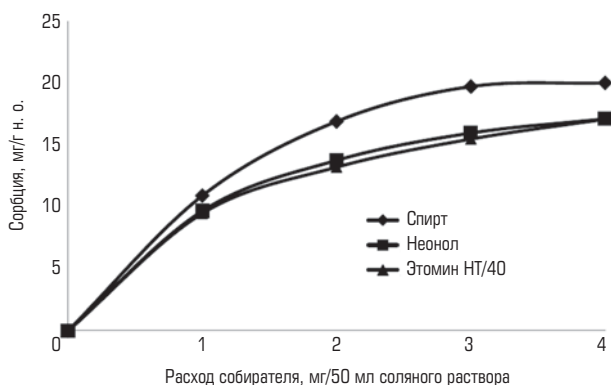


Рис. 5. Сорбция исследованных собирателей на н. о. ВМКМС

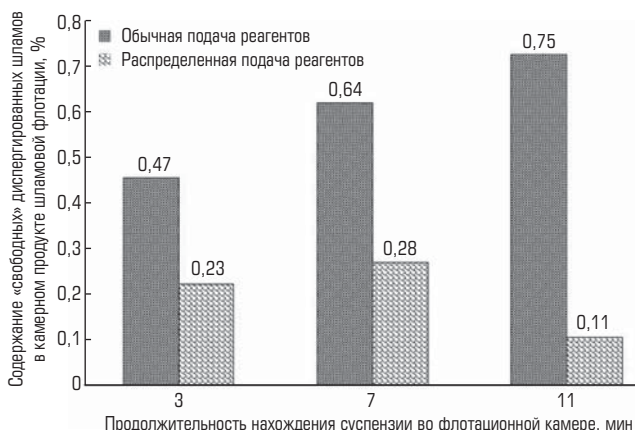


Рис. 6. Интенсивность флотации шламов при распределенном способе подачи флокулянта и собирателя шламов в сравнении с обычным

селективности процесса шламовой флотации в процессе удаления нерастворимого остатка из руд ВМКМС (табл. 1).

Результаты опытов по сорбции оксиэтилированных соединений на шламах ВМКМС в насыщенном солевом растворе также показали перспективность применения оксиэтилированных спиртов: их сорбция на нерастворимом остатке выше, чем неонола и этомина (рис. 5). Это сокращает остаточное содержание собирателей в оборотном маточнике, что позволяет снизить вторичную флотацию шламов в сгустителях.

Одним из важных факторов процесса шламовой флотации на обогатительных фабриках является способ подачи флотореагентов. На калийных фабриках ПАО «Уралкалий» фронт флотации шламов на одной технологической секции включает до 12 камер. При этом флотация шламов осуществляется с подачей реагентов в питание основной флотации. При прохождении суспензии руды через фронт механических флотокамер происходит оттирка и диспергирование шламов с образованием дополнительного коли-

Таблица 2. Результаты опытно-промышленных испытаний распределенной подачи флокулянта и собирателя шламов на БКПРУ-3 ПАО «Уралкалий»

Показатели	Способ подачи реагентов	
	Обычный	Распределенный
Содержание н. о. в руде, %	3,2	3,9
Основная сильвиновая флотация		
Расход реагентов, г/т	КС-МФ	26
	Амин	21
Питание сильвиновой флотации, %	KCl	30,15
	Н. о. общ.	1,2
Концентрат, %	KCl	88,4
	E _{KCl}	95,5
Хвосты, %	KCl	2,0
		1,4

Примечание. Н. о — нерастворимый остаток.

чества тонкодисперсных сорбционно-активных шламовых частиц, ухудшая условия последующей флотации сильвина алифатическими аминами. В связи с этим проведены исследования по интенсификации флотационного обесшламливания руды путем распределенной подачи флокулянта и собирателя шламов по фронту флотации. Для более полного выявления эффекта распределенной подачи реагентов на флотацию шламов в лабораторных условиях перед второй стадией подачи реагентов проводили дополнительное перемешивание суспензии руды во флотационной камере без подачи воздуха. Исследования показали, что распределенная подача флокулянта и собирателя шламов значительно интенсифицирует флотацию «свободных» диспергированных шламов, сокращая их содержание в камерном продукте, который является питанием флотации сильвина, и обеспечивая тем самым лучшие показатели сильвиновой флотации (рис. 6) [10–14]. Распределенная по фронту флотации шламов подача одного флокулянта (без собирателя шламов) не дает положительного эффекта. Опытно-промышленные испытания распределенной подачи флокулянта и собирателя шламов подтвердили результаты лабораторных исследований (табл. 2).

Заключение

Определена сорбция собирателей шламов различного состава на нерастворимом остатке в воде и в насыщенном солевом растворе. Показана перспективность применения в качестве собирателей шламов оксиэтилированных спиртов. В лабораторных и опытно-промышленных условиях исследовано влияние способа подачи реагентов на показатели шламовой флотации. Установлено, что распределенная подача флокулянта и собирателя шламов повышает показатели сильвиновой флотации за счет интенсификации процесса флотационного обесшламливания, увеличивая извлечение хлористого калия в концентрат и снижая его потери с хвостами флотации.

Библиографический список

1. Князева А. А. Калийные соли в России и их использование // Комбинированные процессы переработки минерального сырья: теория и практика : сб. науч. тр. междунар. науч.-технич. конф. Санкт-Петербург, 19–20 мая 2015. — СПб., 2015. С. 58–59.
2. Тетерина Н. Н., Сабиров Р. Х., Сквирский Л. Я., Кириченко Л. Н. Технология флотационного обогащения калийных руд. — Пермь : Соликамская типография, 2002. — 484 с.
3. Titkov S., Panteleeva N. Studies of the oxyethylated surfactants as collector for flotation of silicate-carbonate minerals // Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol, Bulgaria, June 2013. P. 412–414.
4. Aysan Molaei, Ali Ihsan. Arol Effect of Carbonate Alkalinity on the Flocculation Behavior of Hematite // Proceedings of XV Balkan Mineral Processing Congress, June 2013. Sozopol, Bulgaria. Vol. 1. P. 209–212.
5. Somasundaran P., Kapur P. C., Runkana V. Population Balance Modeling of Flocculation of Mineral suspensions by Polymers // Proceedings of XXVI International Mineral Processing Congress, India, September 23–28, 2006. Vol. 1. P. 536–541.
6. Amini G. R., Mollataheri H., Abdollahi, Raes A. R. Flotation of Sylvite in Potash Sample of Pohl Deposit in Iran // Proceedings of the XIV Balkan Mineral Processing Congress. Tuzla, Bosnia and Herzegovina, 14–16 June 2011. Vol. 1. P. 179–184.
7. Salmawy M. S., Kusaka E., Wakamatsu T. Polyoxethylene Nonionic Surfactants as Collectors in the Flotation of Quartz and Feldspar: Effects Induced by the Addition of Cationic Surfactant // Proceedings of the XXI International Mineral Processing Congress. Rome, Italy, July 23–27, 2000. P. 167–170.
8. Шуляк И. В. Физико-химические свойства водных и водно-солевых систем ПАГ и полимерных этоксилированных ПАВ и их применение при флотационном обогащении калийных руд : автореф. дис. ... канд. хим. наук. — Минск, 2015.
9. Патент 2237521 РФ. Способ флотационного обогащения калийных руд / В. М. Бусыгин, Р. Х. Сабиров, В. А. Новоселов и др. ; заявл. 23.05.2003 ; опубл. 10.10.2004, Бюл. № 28.
10. Бондарева А. Ю., Пантелеева Н. Н., Титков С. Н. Флотационное обесшламливание калийных руд // Обогащение руд. 2013. № 4. С. 9–12.
11. Патент 2564549 РФ. Способ флотационного обогащения руд / С. Н. Титков, Н. Н. Пантелеева, Е. И. Афонина ; заявл. 08.07.2014 ; опубл. 07.09.2015, Бюл. № 28.
12. Тусупбаев Н. К. Физико-химические основы создания новых реагентов для интенсификации флотации полиметаллических сульфидных руд // Комбинированные процессы переработки минерального сырья: теория и практика : сб. науч. тр. междунар. науч.-технич. конф., 19–20 мая 2015, Санкт-Петербург. — М., 2015. С. 16–17.
13. Gustafsson J.-O., Lima O., Danilov A. V. Влияние структуры пены на флотацию железных руд // Комбинированные процессы переработки минерального сырья: теория и практика : сб. науч. тр. междунар. науч.-технич. конф. — СПб., 2015. С. 44–45.
14. Titkov S., Panteleeva N. Studies of the oxyethylated surfactants as collector for flotation of silicate-carbonate minerals. Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, June 12–16, 2013. Sozopol, Bulgaria. Vol. 1. P. 412–414. **14**

«GORNYI ZHURNAL»/«MINING JOURNAL», 2016, № 4, pp. 56–60
DOI: <http://dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.04.11>

Intensification of potash ores flotation desliming

Information about author

E. I. Afonina¹, Senior Researcher, lena_kamsk@mail.ru
A. V. Konobeevskikh¹, Senior Researcher

¹ VNII Galurgy Stock Co., St. Petersburg, Russia

Abstract

An important condition for effective beneficiation sylvinitic ore Verkhnekamskoye potash deposit is the removal of the ore water-insoluble impurities (insoluble residue – i. r.). The content of insoluble residue (total) in the ore of Berezniki site of the Verkhnekamskoye deposit may reach 7–8%, including “free” insoluble residue – up to 3–4%. Despite conducting a mechanical desliming, the residual amount of slime in the ore does not allow for the successful flotation of sylvite without removing the insoluble residue by flotation method, often after the slime flotation it is necessary to treat sylvite flotation feed by reagent special – depressor, shielding the surface of the slime from the amine and reducing sorption to slime.

The article presents the results of laboratory and pilot tests of technology for flotation desliming of sylvinitic ores from Verkhnekamskoye potash deposit. Studies have shown that the flotation of slime used for the beneficiation of the water-soluble mineral by reagents – collectors of slime in the water – almost does not go. But even at low salt concentrations (1.5–2.5%) an increase in the recovery of slime in the foam product, and in the saturated salt solution (10,5% KCl and 20,5% NaCl) recovery of slime reaches its maximum. This is due to a decrease in the size of air bubbles and increasing their number in the volume of the flotation cell in salt solutions, which leads to greater degree of slime particles attachment to the air bubbles, and thus increases the yield of slime in the foam product. It is determined sorption of slime collectors of different composition on the insoluble residue in the water and in the saturated salt solution. There are shown the prospects of the application of slime as a collector of oxyethylated alcohols.

There is studied the effect of the method of delivery of reagents for slime flotation in the slime flotation performance, both in the laboratory and in pilot conditions. It is shown that feed distribution flocculant and slime collector improves sylvite flotation performances due to the intensification of the process of flotation desliming, increasing the recovery of potash into the concentrate and reducing the loss of KCl with the flotation tailings.

Keywords: Potash ore flotation enrichment of clay-carbonate sludge, insoluble residue (n. o.), brine, sorption, desliming reagents-collectors, a way-flow, foam and chamber products.

References

1. Knyazeva A. A. Kaliynye soli v Rossii i ikh ispolzovanie (Potassium salts in Russia and their application). *Kombinirovannye protsessy pererabotki mineralnogo syrja: teoriya i praktika : Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 19–20 maya 2015* (Combined Processes in Mineral resources processing: Theory and Practice : Collection of scientific papers from International Scientific-Technical Conference. Saint-Petersburg, May 19–20, 2015). Saint Petersburg, 2015. pp. 58–59.
2. Teterina N. N., Sabirov R. Kh., Skvirkii L. Ya., Kirichenko L. N. *Tekhnologiya flotatsionnogo obogashcheniya kaliynykh rud* (Technology for flotation beneficiation of potassium ores). Perm : Solikamskaya tipografiya, 2002. 484 p.

3. Titkov S., Panteleeva N. Studies of the oxyethylated surfactants as collector for flotation of silicate-carbonate minerals. Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, Sozopol, Bulgaria, June 2013. pp. 412–414.
4. Molaei A., Arol A. I. Effect of Carbonate Alkalinity on the Flocculation Behavior of Hematite. Proceedings of XV Balkan Mineral Processing Congress, June 12–16, 2013. Sozopol, Bulgaria. Vol. 1. pp. 209–212.
5. Somasundaran P., Kapur P. C., Runkana V. Population Balance Modeling of Flocculation of Mineral suspensions by Polymers. Proceedings of XXVI International Mineral Processing Congress. India, September 23–28, 2006. Vol. 1. pp. 536–541.
6. Amini G. R., Mollataheri H., Abdollahi, Raes A. R. Flotation of Sylvite in potassium Sample of Pohl Deposit in Iran. Proceedings of the XIV Balkan Mineral Processing Congress. Tuzla, Bosnia and Herzegovina, 14–16 June 2011. Vol. 1. pp. 179–184.
7. Salmawy M. S., Kusaka E., Wakamatsu T. Polyoxethylene Nonionic Surfactants as Collectors in the Flotation of Quartz and Feldspar: Effects Induced by the Addition of Cationic Surfactant. Proceedings of the XXI International Mineral Processing Congress. Rome, Italy, July 23–27, 2000. pp. 167–170.
8. Шуляк И. В. *Физико-химические свойства водных и водно-солевых систем полиэтиленгликоля и полимерных этоксилированных ПАВ и их применение при флотационном обогащении калийных руд : автореферат диссертации ... кандидата химических наук* (Physical and chemical properties of water and water-saline systems of polyethylene glycole and polymeric ethoxylated surfactants and their use for flotation beneficiation of potassium ores : thesis of inauguration of Dissertation ... of Candidate of Chemical Sciences). Minsk, 2015.
9. Busygin V. M., Sabirov R. Kh., Novoselov V. A. et al. *Sposob flotatsionnogo obogashcheniya kaliynykh rud* (Method for flotation beneficiation of potassium ores). Patent RF, No. 2237521. Applied: May 23, 2003. Published: October 10, 2004. Bulletin No. 28.
10. Bondareva A. Yu., Panteleeva N. N., Titkov S. N. Flotatsionnoe obeshlamliwanie kaliynykh rud (Flotation desliming of potassium ores). *Obogashchenie Rud = Mineral processing*. 2013. No. 3. pp. 9–12.
11. Titkov S. N., Panteleeva N. N., Afonina E. I. *Sposob flotatsionnogo obogashcheniya rud* (Method for flotation beneficiation of ores). Patent RF, No. 2564549. Applied: July 08, 2014. Published: September 07, 2015. Bulletin No. 28.
12. Tsupbaev N. K. *Fiziko-khimicheskie osnovy sozdaniya novykh reagentov dlya intensivatsii flotatsii polimetallicheskiy sulfidnykh rud* (Physical-chemical basics for creating new reagents to intensify the polymetallic sulfide ores flotation). *Kombinirovannye protsessy pererabotki mineralnogo syrja: teoriya i praktika : Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, 19–20 maya 2015* (Combined Processes in Mineral resources processing: Theory and Practice : Collection of scientific papers from International Scientific-Technical Conference. Saint-Petersburg, May 19–20, 2015). Moscow, 2015. pp. 16–17.
13. Gustafsson J.-O., Lima O., Danilov A. V. Влияние структуры пены на флотацию железных руд (Impact of foam structure on iron ores flotation). *Kombinirovannye protsessy pererabotki mineralnogo syrja: teoriya i praktika : Sbornik nauchnykh trudov mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii* (Combined Processes in Mineral resources processing: Theory and Practice : Collection of scientific papers from International Scientific-Technical Conference). Saint-Petersburg, May 19–20, 2015. pp. 44–45.
14. Titkov S., Panteleeva N. Studies of the oxyethylated surfactants as collector for flotation of silicate-carbonate minerals. Proceedings of the XV Balkan Mineral Processing Congress, June 12–16, 2013. Sozopol, Bulgaria. Vol. 1. pp. 412–414.