

ТЭХНІЧНАЯ ХІМІЯ І ХІМІЧНАЯ ТЭХНАЛОГІЯ
TECHNICAL CHEMISTRY AND CHEMICAL ENGINEERING

УДК 622.765.06
<https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-2-218-225>

Поступила в редакцию 12.01.2021
Received 12.01.2021

Е. О. Осипова, В. В. Шевчук

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

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ КАЛИЙНОЙ РУДЫ
ПРИ ВВЕДЕНИИ ГИДРОФОБИЗАТОРА В СОСТАВ
СОБИРАТЕЛЬНОЙ СМЕСИ ХЛОРИДА КАЛИЯ**

Аннотация. Исследован процесс обогащения калийной руды с применением промышленных масел в качестве гидрофобизатора в составе собирательной смеси хлорида калия, представляющей собой композицию солей высших алифатических аминов, соснового масла и полиэтиленгликоля ПЭГ-400. Проведен сравнительный анализ влияния промышленных масел И-8А, И-12А, И-30А и жидких парафинов на технологические показатели флотации калийной руды. Исследовано влияние гидрофобизирующих добавок на адсорбцию амина на кристаллах хлорида калия методом инфракрасной спектроскопии. Установлено, что введение промышленных масел во флотационную систему обеспечивает извлечение хлорида калия на том же уровне, что и при использовании собирательной смеси с жидкими парафинами. Наилучшие показатели флотации при использовании промышленных масел возможны за счет увеличения расхода апольярного реагента.

Ключевые слова: флотационное обогащение, калийная руда, катионные поверхностно-активные вещества, собиратель, гидрофобизатор, апольярный реагент, извлечение

Для цитирования. Осипова, Е. О. Интенсификация процесса флотации калийной руды при введении гидрофобизатора в состав собирательной смеси хлорида калия / Е. О. Осипова, В. В. Шевчук // Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук. – 2021. – Т. 57, № 2. – С. 218–225. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-2-218-225>

E. O. Osipova, V. V. Shevchuk

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

**INTENSIFICATION OF POTASH ORE FLOTATION PROCESS BY THE INTRODUCTION
OF HYDROPHOBIZATOR INTO THE POTASSIUM CHLORIDE COLLECTIVE MIXTURE**

Abstract. The process of enrichment of potash ore using industrial oils as a hydrophobizing agent in the collective mixture of potassium chloride, which is a composition of salts of higher aliphatic amines, pine oil and polyethylene glycol PEG-400, has been investigated. A comparative analysis of the influence of industrial oils I-8A, I-12A, I-30A and liquid paraffins on the technological parameters of potash ore flotation has been carried out. The influence of hydrophobizing additives on the adsorption of amine on potassium chloride crystals was investigated by infrared spectroscopy. It has been established that the introduction of industrial oils into the flotation system ensures the recovery of potassium chloride at the same level as when using a collective mixture with liquid paraffins. The best flotation performance when using industrial oils is possible by increasing the consumption of the apolar reagent.

Keywords: flotation enrichment, potash ore, cationic surfactants, collector, hydrofobizator, apolar reagent, recovery.

For citation. Osipova E. O., Shevchuk V. V. Intensification of potash ore flotation process by the introduction of hydrophobizator into the potassium chloride collective mixture. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya khimichnyh navuk = Proceedings of the National Academy of Science of Belarus. Chemical series*, 2021, vol. 57, no. 2, pp. 218–225. <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-2-218-225>

Введение. Известно, что при обогащении калийной руды используется реагентная смесь на основе солей высших алифатических аминов с различными модификаторами, способствующими закреплению собирателя на поверхности хлорида калия, снижению интенсивного мицеллообразования и высаливания амина. Такой технологический подход повышает как селективность процесса сильвиновой флотации, так и извлечение хлорида калия в концентрат [1–4]. Базовая

собираетельная смесь, применяемая на производстве, состоит из солей первичных аминов с длинной углеводородной цепи $C_{12}-C_{18}$, вспенивателей (сосновое масло, полиэтиленгликоль ПЭГ-400) и аполярного реагента (жидкие парафины). Сложный состав собираетельной смеси обеспечивает диспергирование амина в растворе и гидрофобизацию как минерала, так и пузырька воздуха, что позволяет извлекать хлорид калия с меньшими потерями.

На предприятии ОАО «Беларуськалий» в качестве аполярного реагента при флотации калийной руды используются жидкие парафины, производимые на ООО «ПО «Киришинефтеоргсинтез», Россия. Задержка или прекращение поставок по разным причинам может отрицательно сказаться на технико-экономических показателях флотационного обогащения калийной руды. В связи с этим целесообразно исследовать возможность применения в составе комплексного собирателя при флотации калийной руды других гидрофобизаторов, производимых на территории Республики Беларусь. В настоящей работе представлены результаты исследований влияния промышленных масел марок И-8А, И-12А, И-30А (производство ОАО «Нафтан», Беларусь) с солями аминов, вспенивателями и жидкими парафинами на процесс основной флотации калийной руды. Изучение механизма действия промышленных масел при обогащении калийных руд позволило рекомендовать эти продукты нефтехимической переработки для использования в промышленных условиях [5, 6].

Индустриальные масла выпускаются с характеристиками по ГОСТ 20799-88 (табл. 1) и изготавливаются путем многостадийных процессов. Из литературных данных известно [7, 8], что в состав масел входят алканы, алкены, циклоалканы, нафтено-парафиновые, нафтено-ароматические, пергидрополициклические ароматические и ароматические углеводороды, кислород-, галоген- и азотсодержащие органические соединения.

Т а б л и ц а 1. Характеристики индустриальных масел общего назначения
Table 1. Characteristics of industrial oils of general use

Показатель	Норма по маркам					
	И-5А	И-8А	И-12А	И-20А	И-30А	И-40А
Вязкость при 40 °С, мм ² /с	6–8	9–11	13–17	25–35	41–51	61–75
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,02	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05
Температура, °С вспышки в открытом тигле, не ниже	140	150	170	200	210	220
Температура застывания, °С, не выше	–18	–15	–15	–15	–15	–15
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	870	880	880	890	900	910

Наиболее существенным для научно обоснованного выбора оптимальных аполярных собирателей является установление критерия их гидрофобизирующего действия на минералы. В результате теоретических и экспериментальных исследований предложено положение, согласно которому, таким критерием является вязкость углеводородов.

В ряде работ установлена связь флотационной активности нефтепродуктов с некоторыми физико-химическими характеристиками: вязкостью [9], температурой вспышки [10]. Вязкость является таким свойством углеводорода, где как в фокусе собраны все особенности, связанные с длиной молекулы, ее структурой и энергией межмолекулярного взаимодействия, которые определяют устойчивость и прочность закрепления углеводорода на минерале. Известно, что вязкость характеризуется и определяется энергией межмолекулярного притяжения с участием сил Ван-дер-Ваальса и растет с увеличением действия этих сил. С другой стороны, закрепление углеводородов на минерале на основе адгезии и физической адсорбции является также результатом действия сил Ван-дер-Ваальса, определяющих энергию межмолекулярного притяжения.

Большинство исследователей считает вязкость одним из определяющих факторов в гидрофобизирующем эффекте углеводородов. Особенно резко флотационная эффективность аполярных масел растет в пределах их вязкости от 3 до 200 мм²/см. При дальнейшем повышении вязкости эффективность аполярных углеводородов при флотации проявляется в меньшей степени [11]. Флотационную активность аполярных реагентов объясняют также образованием каймы углеводорода по трехфазному периметру смачивания, что приводит к повышению прочности закрепления

воздушного пузырька на минералах; к уменьшению необходимого для прилипания времени контакта между частицей минерала и пузырьком воздуха; к изменению формы пузырьков, прилипших к твердой поверхности [12].

В процессе флотационного обогащения калийной руды особое внимание уделяется содержанию нерастворимого остатка (н.о.) в руде. Специфичность флотации сильвинитовых руд обусловлена тонкой вкрапленностью минералов и высоким депрессирующим действием глинистых шламов, применением насыщенных солевых растворов, в которых реагенты склонны к интенсивному мицеллообразованию и расходуются в повышенных количествах. Изыскание новых, более доступных, отечественных флотореагентов, а также интенсификация действия применяемых реагентов является важной в улучшении селективности разделяемых минералов и повышении извлечения полезного минерала.

Цель работы – исследовать возможность обогащения калийной руды с применением промышленных масел в составе собирательной смеси, сравнить технологические показатели обогащения, полученные с применением отдельно жидких парафинов и промышленных масел.

Экспериментальная часть. Флотационные опыты проводили на калийной руде Старобинского месторождения крупностью – 0,8 мм с содержанием KCl 27,21 % и н.о. – 6,71 %. Исследования проводили на лабораторной флотационной установке типа «Механобр» в насыщенном по KCl и NaCl водном растворе с навеской руды 50 г, Ж : Т = 3. В качестве депрессора глинистых шламов использовали 1 %-ный водно-солевой раствор тапиоковой муки.

Длинноцепочечные амины, так как они не растворимы в воде, плавил при нагревании до 70 °С и нейтрализовали соляной кислотой. Водные эмульсии для флотации с концентрацией по амину 0,5 % получали путем введения аполярных реагентов в смесь горячего водного солянокислого амина Flotigam S (Clariant, Германия) со вспенивателями (сосновое масло, ПЭГ-400). Такой способ внесения добавок усиливает действие катионоактивного собирателя [13]. В табл. 2 приведен состав раствора реагента-собирателя. Расход депрессора во всех флотационных опытах был одинаков и составлял 1000 г/т флотируемой руды. Первоначально проводили депрессию глинисто-карбонатных примесей, а затем на том же рассоле сильвинитовую флотацию. Последовательность введения реагентов: тапиоковая мука – перемешивание 3 мин, амины – перемешивание 1 мин и затем флотация 5 мин. Перед каждым введением во флотационную пульпу раствор реагента-собирателя нагревали до 70 °С.

Таблица 2. Состав раствора реагента-собирателя
Table 2. The composition of the collector reagent solution

Расход реагентов, г/т руды				Массовое соотношение реагентов в 10 мл 0,5 %-ного водного раствора амина, г			
амин	ПЭГ	сосновое масло	углеводороды	амин	ПЭГ	сосновое масло	углеводороды
70	10	10	5	0,05	0,0071	0,0071	0,0036
70	10	10	10	0,05	0,0071	0,0071	0,0072
70	10	10	15	0,05	0,0071	0,0071	0,0108
70	10	10	20	0,05	0,0071	0,0071	0,0144
70	10	10	25	0,05	0,0071	0,0071	0,0180
70	10	10	30	0,05	0,0071	0,0071	0,0216
70	10	10	40	0,05	0,0071	0,0071	0,0288
70	10	10	50	0,05	0,0071	0,0071	0,0360

Выход флотационного концентрата является важной технологической характеристикой процесса обогащения. Его величина обусловлена, как правило, интенсивностью флотации полезного компонента (KCl) и сопутствующих балластных минералов (NaCl и глинисто-карбонатных примесей). Влияние аполярных реагентов на выход концентрата связано с тем, что при их использовании изменяются прочностные характеристики пены, устойчивость, вязкость и соответственно выход концентрата. Однако при высокой устойчивости и вязкости пены нередко происходит и механический захват мелкодисперсных частиц балластных минералов, что приводит к увеличению выхода концентрата при снижении содержания полезного минерала в нем.

На рис. 1 наблюдается снижение выхода концентрата при повышении удельного расхода жидких парафинов. Это обусловлено повышением селективности процесса за счет интенсификации флотации частиц КСl и уменьшением флотации частиц нерастворимого остатка. В отличие от жидких парафинов при повышении расхода промышленных масел наблюдается увеличение выхода концентрата, что говорит об интенсификации процесса флотации минеральных частиц калийной руды. При этом наряду с флотацией частиц КСl происходит флотация частиц балластных минералов (преимущественно NaCl). Максимальное значение выхода концентрата для масла И-8А составляет 31,06 %, для масла И-12А это значение составляет 31,48 %, для масла И-30А – 31,48 % при удельных расходах этих масел 50 г/т руды.

С увеличением расхода апольярных реагентов содержание КСl в концентрате сначала резко повышается, а затем уменьшается, причем для промышленных масел это снижение более плавное (рис. 2). Для жидких парафинов максимум содержания КСl в концентрате наблюдается при расходе 15 г/т руды и составляет 89,16 %. При увеличении расхода жидких парафинов наблюдается резкое снижение содержания полезного компонента в концентрате. Для масла И-8А максимальное значение содержания КСl в концентрате наблюдается при расходе 10 г/т руды составляет 85,09 %, для масла И-12А при расходе 10 г/т руды – 83,63 %, для масла И-30А при расходе 20 г/т руды – 83,27 %.

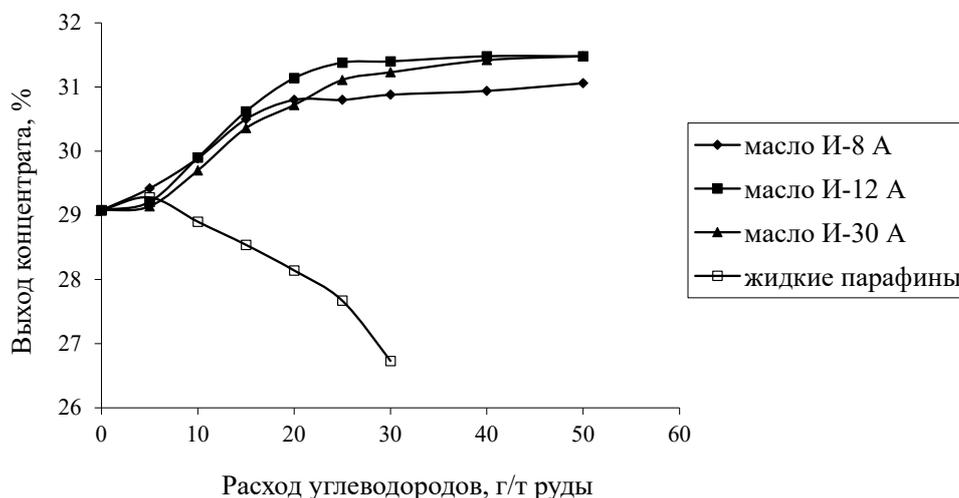


Рис. 1. Влияние расхода углеводородов в составе реагента-собирателя на выход концентрата

Fig. 1. Influence of the consumption of hydrocarbons within the collecting reagent on the concentrate yield

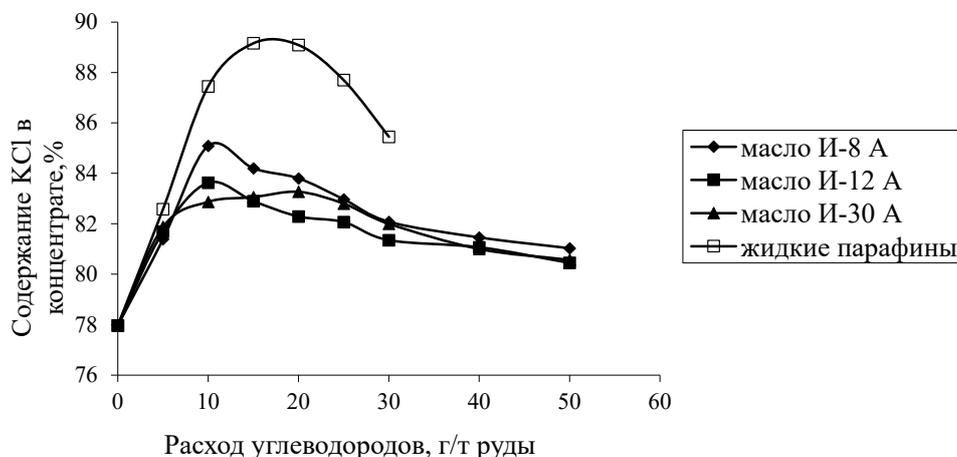


Рис. 2. Влияние расхода углеводородов в составе реагента-собирателя на содержание КСl в концентрате

Fig. 2. Influence of the consumption of hydrocarbons within the collecting reagent on the KCl content in the concentrate

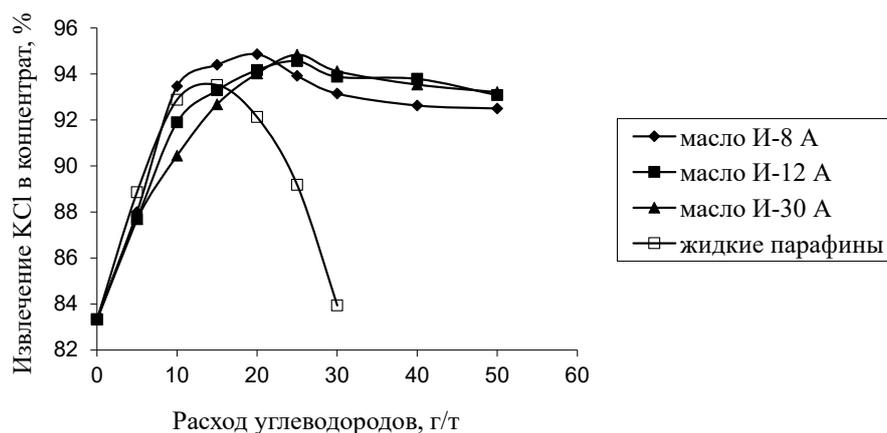


Рис. 3. Влияние расхода углеводородов в составе реагента-собиранителя на извлечение KCl в концентрате

Fig. 3. Effect of the consumption of apolar reagents within the collecting reagent on the recovery of KCl in the concentrate

Индустриальные масла И-8А, И-12А, И-30А состоят, как упоминалось выше, в основном из алкилароматических, нафтно-парафиновых, нафтно-ароматических углеводородов. Солюбилизация этих углеводородов мицеллами амина затруднена. Вследствие этого оптимум извлечения KCl в концентрат приходится на более высокий их удельный расход (20–30 г/т руды), а снижение извлечения при повышенных расходах имеет более плавный характер (рис. 3).

Установлено, что увеличение извлечения хлорида калия в концентрат связано с изменением свойств собирателя. Наиболее ярко рост извлечения выражен при использовании жидких парафинов. Жидкие парафины представлены преимущественно прямоцепочечными парафиновыми углеводородами, молекулы которых имеют длину углеводородной цепи $C_{14}-C_{20}$. Аналогичную длину углеводородной цепи имеют молекулы амина Flotigam S. В водном и водно-солевом растворах флотационной пульпы углеводородные цепи амина и жидких парафинов взаимодействуют с образованием смешанных мицелл. При низких удельных расходах жидких парафинов (до 15 г/т руды) смешанные мицеллы, вероятно, активно адсорбируются на частицах хлорида калия, способствуя гидрофобизации их поверхности и тем самым повышению извлечения KCl в концентрат. При высоких удельных расходах (свыше 15 г/т руды) жидкие парафины способствуют укрупнению мицелл и их высаливанию из пульпы. Вследствие этого резко снижается адсорбция амина на поверхности частиц KCl и извлечение его в концентрат.

При исследовании влияния добавок индустриальных масел и жидких парафинов на адсорбцию амина Flotigam S на кристаллах хлорида калия пользовались методом инфракрасной спектроскопии. Эксперимент выполняли при избыточных расходах амина и аполярных реагентов. Для увеличения удельной поверхности зерен KCl использована фракция <0,071 мм. Адсорбцию солянокислой соли амина проводили в насыщенном растворе KCl. Инфракрасные спектры снимали при комнатной температуре в диапазоне $4000-400\text{ см}^{-1}$ на приборе ИК-Фурье спектрометр Tensor 27.

После обработки кристаллов KCl раствором амина с добавками индустриального масла и жидкими парафинами характер спектра адсорбированного амина не меняется. Однако при исследовании образца, обработанного смесью амина с жидкими парафинами, интенсивность полос поглощения в области $3000-2850\text{ см}^{-1}$ снижается по сравнению с образцом, обработанным только амином, что подтверждает снижение адсорбции катионоактивного ПАВ при высоких расходах жидких парафинов. Исследование образца с амином и индустриальным маслом показало увеличение интенсивности полос валентных колебаний группы C–H по сравнению с исходным образцом. Это связано с увеличением количества амина, адсорбированного на поверхности KCl при добавке индустриального масла.

Так как максимальные значения извлечения KCl в концентрат для индустриальных масел выше, чем для жидких парафинов, а максимальные значения содержания KCl в концентрате ниже, то можно предположить, что мицеллы, образованные жидкими парафинами и аминами,

адсорбируются преимущественно на поверхности частиц KCl, тогда как мицеллы, образованные индустриальными маслами и аминами, проявляют меньшую селективность и адсорбируются не только на частицах KCl, но и на частицах сопутствующих балластных минералов.

В табл. 3 представлены зависимости содержания н.о. в концентрате от расхода углеводородов (жидких парафинов, индустриальных масел И-8А, И-12А, И-30А), входящих в состав реагента-собираателя.

Т а б л и ц а 3. Влияние расхода углеводородов в составе реагента-собираателя на содержание нерастворимого остатка в концентрате

Table 3. Influence of the consumption of hydrocarbons within the collecting reagent on the content of the insoluble residue in the concentrate

Расход углеводородов, г/т руды	Содержание н.о. в концентрате, %			
	индустриальное масло И-8А	индустриальное масло И-12А	индустриальное масло И-30А	жидкие парафины
0	3,36	3,36	3,36	3,36
5	2,61	2,87	2,98	3,07
10	1,88	2,07	2,33	2,32
15	1,43	1,47	2,00	1,53
20	2,22	2,28	1,57	1,89
25	2,84	2,91	2,33	2,33
30	3,27	3,30	3,14	2,83
40	3,48	3,57	3,48	–
50	3,84	3,87	3,76	–

При увеличении расхода углеводородов содержание н.о. в концентрате сначала уменьшается, а затем увеличивается. Для жидких парафинов минимум содержания н.о. в концентрате наблюдается при расходе 15 г/т руды и составляет 1,53 %. Для масла И-8А минимальное значение содержания н.о. в концентрате наблюдается при расходе 15 г/т руды составляет 1,43 %, для масла И-12А при расходе 15 г/т руды – 1,47 %, для масла И-30А при расходе 20 г/т руды – 1,57 %.

Заключение. Введение промышленных нефтепродуктов (жидких парафинов, индустриальных масел И-8А, И-12А, И-30А) в состав собирателя, состоящего из амина марки Flotigam S, основного масла и ПЭГ-400 при удельных расходах жидких парафинов в пределах 5–30 г/т руды и индустриальных масел в пределах 5–50 г/т руды интенсифицирует процесс флотации калийной руды, способствует повышению извлечения хлорида калия в концентрат и повышению его содержания.

При использовании жидких парафинов в составе реагента-собираателя максимальное извлечение хлорида калия в концентрат (93,52 %) достигается при удельном расходе жидких парафинов 15 г/т калийной руды, что на 10,20 % выше извлечения достигаемого при флотации без использования углеводородов. При этом удельном расходе содержание хлорида калия в концентрате составило 89,16 %, что на 11,20 % выше содержания KCl в концентрате, достигаемого при флотации руды без использования углеводородов. При уменьшении или увеличении удельного расхода жидких парафинов от оптимального значения снижается извлечение хлорида калия в концентрат и его содержание.

Введение в состав собирателя индустриальных масел не изменяет закономерности процесса обогащения для собирателя с жидкими парафинами, но при этом извлечение KCl в концентрат при использовании масел И-8А, И-12А, И-30А при удельных расходах 20, 25, и 25 г/т максимальное значение составило 94,86, 94,65 и 94,84 % соответственно, а содержание хлорида калия в концентрате увеличилось на 5,83, 4,10 и 4,83 %.

Полученные экспериментальные данные позволили рекомендовать для использования индустриальные масла И-8А, И-12А, И-30А в составе реагента-собираателя при флотации калийной руды Старобинского месторождения. Собирательная смесь внедрена и работает на 1-м РУ ОАО «Беларуськалий» несколько лет с положительным результатом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Глембоцкий, В. А. Основы физикохимии флотационных процессов / В. А. Глембоцкий. – М.: Недра, 1980. – 471 с.
2. Физико-химические основы теории флотации / О. С. Богданов [и др.] – М.: Наука, 1983. – 264 с.
3. Физико-химия селективной флотации калийных солей / Х. М. Александрович [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1983. – 272 с.
4. Абрамов, А. А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых: в 3 т. / А. А. Абрамов. – М.: Изд-во Москов. горного ун-та, 2004. – Т. 2. Технология обогащения полезных ископаемых. – 510 с.
5. Способ подготовки собирателя для флотации хлорида калия: пат. ВУ 16319 / В. В. Шевчук, Л. Ф. Шломина, А. Д. Маркин, Л. В. Диктиевская, Е. О. Осипова, Н. П. Крутько, В. М. Кириенко, А. С. Горбачев, Н. В. Ганчар, Е. А. Башкардина. Оpubл.: 30.08.2012.
6. Флотация калийных руд с использованием композиций на основе солей высших алифатических аминов и различных модификаторов / Е. О. Осипова [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2013. – №3. – С. 18–22.
7. О молекулярном составе промышленных масел / Ю. В. Голубков, Н. В. Ермолаева // Оборуд. и техн. для нефтегаз. компл. – 2013. – № 2. – С. 20–24.
8. Сравнительная характеристика молекулярного состава промышленного масла марки И-20А разных партий / Н. В. Ермолаева [и др.] // Оборуд. и техн. для нефтегаз. компл. – 2013. – № 1. – С. 28–31.
9. Глазунова, З. И. Критерии и методы определения флотационной активности отдельных сочетаний реагентов при флотации силвина (на примере силвинитовых руд Верхнекамского месторождения): дис. ... канд. тех. наук: 05.15.08 / З. И. Глазунова. – Пермь, 1984. – 228 с.
10. Шубов, Л. Я. Теоретические основы и практика использования аполярных масел во флотации / Л. Я. Шубов. – М.: Недра, 1969. – 145 с.
11. Глембоцкий, В. А. Аполярные реагенты и их действие при флотации / В. А. Глембоцкий. – М.: Наука, 1968. – 144 с.
12. Кремер, В. А. Растворы флотационных реагентов. Физико-химические свойства и методы исследования / В. А. Кремер. – М.: Недра, 1973. – 249 с.
13. Janusz, S. Laskowski From amine molecules adsorption to amine precipitate transport by bubbles: A potash ore flotation mechanism / S. Janusz // Minerals Engineering. – 2013. – Vol. 45. – P. 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.02.010>

References

1. Glembotskii V. A. *Fundamentals of Physical Chemistry of flotation processes*. Moscow, Nedra Publ., 1980. 471 p. (in Russian).
2. Bogdanov O. S., Golman A. M., Kakovskii I. A. *Physical and chemical principles of flotation theory*. Moscow, Nauka Publ., 1983. 264 p. (in Russian).
3. Aleksandrovich H. M., Mozheiko F. F., Korshuk E. F., Markin A. D. *Physical chemistry of selective potassium salt flotation*. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1983. 272 p. (in Russian).
4. Abramov A. A. *Processing, enrichment and complex use of solid minerals. Vol. 2. Mineral processing technology*. Moscow, Publishing House of Moscow Mining University, 2004. 510 p. (in Russian).
5. Shevchuk V. V., Shlomina L. F., Markin A. D., Dikhtievskaya L. V., Osipova E. O., Krutko N. P., Kiriyenko V. M., Gorbachev A. S., Ganchar N. V., Bashkardina E. A. *The way of preparation of the collector for the flotation of potassium chloride*. Patent Republic of Belarus no 16319, 2012 (in Russian).
6. Osipova E. O., Shlomina L. F., Dikhtievskaya L. V., Drozdova N. A., Shevchuk V. V. Flotation of potash ores using compositions based on salts of higher aliphatic amines and various modifiers. *Vesti Natsyynal'nai akademii nauk Belarusi. Seryya khimichnyh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 2013, no. 3, pp. 18–22 (in Russian).
7. Golubkov Yu. V., Ermolaeva N. V. On the molecular composition of industrial oils. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa = Equipment and technologies for the oil and gas complex*, 2013, no. 2, pp. 20–24 (in Russian).
8. Golubkov Yu. V., Ermolaeva N. V. Comparative characteristic of molecular composition of industrial oil of I-20A grade from different lots. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa = Equipment and technologies for the oil and gas complex*, 2013, no. 1, pp. 28–31 (in Russian).
9. Glazunova Z. I. *Criteria and methods for determining the flotation activity of certain combinations of reagents during the flotation of sylvin (on the example of sylvinites ores of the Verkhnekamskoe deposit)*. Perm, 1984. 228 p. (in Russian).
10. Shubov L. Ya., Kuz'kin A. S., Livshits A. K. *Theoretical foundations and practice of using apolar oils in flotation*. Moscow, Nedra Publ., 1969. 145 p. (in Russian).
11. Glembotsky V. A., Dmitrieva G. M., Sorokin M. M. *Apolar reagents and their action in flotation*. Moscow, Nauka-Publ., 1968. 144 p. (in Russian).
12. Kremer V. A. *Flotation reagent solutions. Physical and chemical properties and research methods*. Moscow, Nedra Publ., 1973. 249 p. (in Russian).
13. Janusz S. Laskowski From amine molecules adsorption to amine precipitate transport by bubbles: A potash ore flotation mechanism. *Minerals Engineering*, 2013, vol. 45, pp. 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2013.02.010>

Информация об авторах

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

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

Information about the authors

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

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