

## **ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СМЕСИ КАТИОНОЛЕКТОРА И АПОЛИРАТОРА НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИЕМЛЕМЫХ УСЛОВИЙ ФЛОТАЦИОННОГО ПРОЦЕССА**

<sup>1</sup>С.С. Ваккасов,

<sup>2</sup>С.М. Туробжанов

<sup>1</sup>Джизакский политехнический институт,

<sup>2</sup>Ташкентский государственный технический университет имени И.Каримова

### **Аннотация**

Флотация jarayonlarini o'rganishga bag'ishlangan adabiyotlar tahlil qilinib, uglevodorodlar bilan aralashmada yog'li aminlarni kollektor sifatida ishlatish silvinit rudalarini flotatsion boyitishda ijobiy ta'sir ko'rsatishi aniqlandi. Xromatografik tahlil yordamida import va mahalliy ikkilamchi suyuq parafinlarning tarkibi aniqlandi va solishtirildi. Mahalliy ikkilamchi mahsulotlardan olingan suyuq kerosin flotatsiya jarayonini yaxshilash, KCl ning konsentratga chiqishini oshirish va qimmatli aminlar sarfini kamaytirish va shu orqali ishlab chiqarish xarajatlarini kamaytirishi isbotlangan.

### **Аннотация**

Проанализирована литература, посвященная изучению флотационных процессов, и установлено, что использование жирных аминов в смеси с углеводородами в качестве собирателя оказывает положительное влияние на флотационное обогащение силвинитовых руд. С помощью хроматографического анализа определен и сравнен состав импортных и отечественных вторичных жидких парафинов. Доказано, что жидкий парафин, полученный из местных вторичных продуктов, улучшает процесс флотации, увеличивает выделение KCl в концентрат и снижает расход ценных аминов, тем самым снижая себестоимость.

### **Abstract**

The literature devoted to the study of flotation processes has been analyzed, and it has been established that the use of fatty amines in a mixture with hydrocarbons as a collector has a positive effect on the flotation enrichment of sylvinite ores. Using chromatographic analysis, the composition of imported and domestic secondary liquid paraffins has been determined and compared. It has been proven that liquid paraffin obtained from local secondary products improves the flotation process, increases the release of KCl into the concentrate and reduces the consumption of valuable amines, thereby reducing the cost.

**Ключевые слова:** флотация, флотореагенты, собиратели, извлечение, сильвинитовая руда, хлорид калия, жидкое вторичное сырье, хроматографический анализ, жидкие парафины, остаточные углеводороды.

Известно, что флотация осуществляется за счет адсорбции молекул воздуха на минеральных частицах компонентов под воздействием веществ, называемых «флотореагентами». Ход процесса флотационного обогащения и его результат во многом определяются реактивным режимом флотации, то есть диапазоном, видом и способом их применения. Этот режим определяется главным образом физико-химическими свойствами минерала, степенью его дисперсности, а также условиями получения готовой продукции [1-4].

В процессе флотации для наилучшего результата обогащения обычно используют несколько флотореагентов, действие которых взаимосвязано и зависит от концентрации каждого из них. Поэтому перерасход одного реагента требует увеличения расхода других реагентов, а увеличение (или уменьшение) их концентрации может привести к ухудшению технологических показателей всего процесса. Эксперименты показали, что минимально возможный расход реагентов обеспечивает меньшие затраты на переработку минерального сырья и лучшие результаты процесса обогащения. Несмотря на накопленный теоретический и практический опыт, необходимое количество реагентов всегда определяется для каждого минерального сырья с помощью лабораторных флотационных экспериментов, проводимых в промышленных условиях [5-7].

Целевое назначение флотореагентов предопределяет их пригодность к одному из трех основных классов: коллекторам, пенообразователям и регуляторам.

Коллекторы имеют органическую природу и преимущественно закреплены на поверхности твердой жидкости. Пенообразователи представляют собой преимущественно органические поверхностно-активные вещества, адсорбированные на поверхности жидкость-газ. Регуляторы используются в качестве добавок к загустителям и пенообразователям для повышения селективности флотации или нефтеотдачи. Представителями этого класса являются как неорганические, так и органические вещества [8,9].

Основное назначение коллекторов – гидрофобизация поверхности минерала, повышение скорости и устойчивости частиц, прилипающих к пузырькам воздуха [10, 11].

Жидкие парафины являются растворителями, обеспечивающими активность собирающих реагентов при сильвиновой флотации.



В настоящее время в качестве жидких парафинов используют 1,2-дихлордиэтиловый эфир, смешанный с метилэтил- или метилизобутилкетонем в массовом соотношении 1:1, обработку мочевиной проводят добавлением растворителя в количестве 180 - 260 мас. Промывку материала и комплекса осуществляют на первом этапе указанным растворителем, а на втором этапе - метилэтил- или метилизобутилкетонем [12].

В качестве собирающего реагента авторы [13-15] предложили использовать керосин, газойль и др. В зависимости от сырья и условий переработки они имеют различный состав и представляют собой сложную смесь органических веществ. Разнообразие их состава затрудняет изучение влияния керосина и газойля при флотации. Однако определить, какие компоненты керосина и газойля являются наиболее флотоактивными, и что учитывать при выборе реагентов для этих условий, сложно.

В качестве апротонных растворителей [16-19] указаны некоторые апротонные реагенты, такие как керосин осветленный, тракторный и окисленный, топливо бытовое печное, аполярные ароматические реагенты ААП-1 и ААП-2, активированный флотореагент АФ-2 и термогазоил. Осветленный керосин широко используется на ранних стадиях флотации и до сих пор широко применяется на небольшом количестве заводов. Преобладание предельных соединений в керосине оказывает более избирательное влияние на флотацию угля по сравнению с ароматизированным керосином, но степень флотации несколько ниже. Преимуществами осветления керосина являются отсутствие специфического запаха, простота использования, бесперебойность процесса и невысокая стоимость. Керосин не пенится и при большом расходе проявляет антипенные свойства. Для флотации угля очищенный керосин используют только в сочетании с гетерополярным реагентом. Его расход составляет 1-3 кг/т.

Из промышленной практики известно, что выход концентрата и его чистота в большинстве случаев связаны с массовой долей растворимых и нерастворимых солей в содержании сильвинита, нерастворимых остатков в растворе сильвинита, которая изменяется при изменении температуры, что влияет на эффективность реагентов. Поступая во флотационно-суспензионную систему, также меняется реакция реагентов на поверхности водной среды и разделение фаз. В результате этих изменений общие показатели технологического процесса также могут измениться в положительную или отрицательную сторону.

Существует множество источников, в которых изучались показатели, связанные с повышением температуры в диапазоне 30 – 35 °С, при флотационном обогащении калийных руд из насыщенных растворов солей [20].

В природных условиях нашей республики температура воздуха в июле - сентябре высокая (35 - 45 °С), влияет на процесс флотации, и ценные реагенты в виде остатков обогащения переходят в отходы. Актуальным является определение состава реагентов,

обеспечивающих высокую технологическую эффективность хлоридно-калиевого обогащения сильвинитовой руды при низких и, особенно для нас, высоких температурах.

Выделение хлористого калия, содержащегося в сильвинитовой руде, из минеральных ресурсов нашей страны путем флотационного обогащения и производство калийных удобрений на его основе осуществляется по технологии ОАЗ «ВНИИ Галургии» Российской Федерации и работает на расход измельченного сырья Тюбегатанских рудников размером до 1 мм.

Поэтому в ходе наших исследований мы сочли необходимым изучить оптимальные технологические параметры флотационного обогащения тюбегатанской руды сильвином в присутствии синтезированных собирающих реагентов.

В технологическом процессе АО «Дехканабадский калийный завод» механическую или флотационную очистку проводят с использованием СФМ для отделения осадка от природного сильвинита в системе флотационного обогащения, затем в качестве собирателя используют смесь алкиламинов с аполярными добавками и депрессорами.

В качестве объекта исследования был выбран насыщенный маточный раствор АО «Дехканабадский калийный комбинат». Плотность этого насыщенного маточного раствора составляет 1244 кг/м<sup>3</sup>, количество основного компонента - 18-35% по массе. и были выбраны Т1, Т2 и Т3. Исходная руда также содержит глинистые включения с большой удельной поверхностью в количестве 4 - 15 %, а остальная часть рудной массы состоит из хлорида натрия (NaCl) и других растворимых солей, которые отрицательно влияют на процесс флотационного обогащения других сильвинов. (KCl).

Температура климатической камеры не ниже 10 °С и не выше 40 °С. Все эксперименты по определению эффективности новых реагентов с различным количеством хлорида калия и нерастворимых остатков проводились на образцах с крупностью руды не более 1 мм. Подготовку руды к флотации осуществляли путем ее очистки от исходной пульпы. При повышении температуры маточного раствора от комнатной до 40 °С общее количество солей в насыщенном солевом растворе увеличивается с 30,8 до 33,1%, главным образом за счет хлорида калия, так как при таких температурах растворимость хлорида калия KCl увеличивается по сравнению с хлоридом натрия NaCl.

Результаты лабораторных исследований по определению флотационной активности катионных и аполярных растворителей по отношению к хлориду калия в различных условиях позволили подобрать эффективные рабочие концентрации полученных реагентов и определить оптимальные условия их использования при обогащении природных руд.

Для экспериментов были выбраны и сравнены с зарубежными аналогами отечественные жидкие парафины, извлеченные на основе вторичного гексана, используемые в качестве



аполярного коллектора. В качестве флотационных компонентов были выбраны реагенты, используемые в технологической системе АО «Дехканабадский калийный комбинат».

Сильвинитовую руду размером менее 1 мм сначала полностью очищали в шламах, а процесс флотации проводили при расходе 15-40 г/т. Установлено, что в составе амина зимней марки QA-2, содержащего 2% фракции C20<24, местные жидкие парафины имеют содержание концентрата 71,24%, при расходе 30 г/т (температура плавления  $35 \pm 1$  °C). При наличии летнего ЙоА-1 с 22% фракцией C20~24 в локальном сборнике парафина наблюдалось, что отделение хлорида калия достигает 90%. При этом отделение хлорида калия из раствора на основе Т-3 позволило увеличить с 28,2 до 32,1 %, а выделение хлорида калия из руды состава Т-1 и Т-2 при 35 °C 25 г/г. При этом потребление будет иметь максимальную эффективность.

Расход отечественных парафиносодержащих 30 г/т переносит зимнее и летнее содержание амина C20<24 5, 10 и 15% по массе. Установлено, что выход концентрата увеличился на 0,8, 0,96 и 1,2 %, а степень отделения хлорида калия увеличилась на 1,0, 2,1 и 4,2 %.

Результаты экспериментов показывают, что при относительно низких температурах Амин : Жидкий парафин (ЖП) : Вакуумный бензин (ВБ) в соотношении 35 : 8 : 2 обладали эффективными показателями. В диапазоне температур от 2 до 30 °C тот же состав показывает результаты, близкие к показателям «базовых» промышленных реагентов (табл. 1).

**Таблица 1 Результаты флотации сильвина в различных пробах с наличием промышленных и рекомендуемых реагентов «База».**

Результаты	Состав коллекционеров					
	ЛА-1 + ЗА-2 : ПЭГ : ИА (40 : 4 : 8 )			Амин : МЖП : ВБ (40:10:2)		
	Образцы руд					
	Т-1	Т-2	Т-3	Т-1	Т-2	Т-3
Польза , %:						
концентрат	16,0	24,7	35,2	15,1	23,3	35,4
остаток	84,0	75,3	64,8	84,9	75,7	64,6
Массовая доля KCl, %:						
концентрат	67,3	86,8	83,1	68,2	86,9	83,9
остаток	2,4	5,8	8,9	3,8	7,3	8,3
Отделенный KCl, %:						
концентрат	79,76	83,1	83,4	76,3	78,5	84,6
остаток	20,24	16,9	16,6	23,7	21,5	15,4

При проведении лабораторных экспериментов по введению вакуумного газойля в водный раствор амина наблюдалось, что поверхность амина покрывалась пленкой из-за образования сложной эмульсии. При этом образовавшуюся пленку можно удалить предварительным смешиванием жидкого парафина и вакуумного газойля. В результате образуется устойчивая эмульсия амина и модификатора. Увеличение количества амина до 40 г/т и количества аполярного растворителя до 15 г/т приводит к резкому повышению эффективности процесса флотации. В то же время видно, что флотационные исследования превышают показатели «базовых» режимов при использовании реагентов, эмульгированных в растворе амина вакуумного газойля. Выделение хлорида калия в исходном концентрате составляет 89,8%, по сравнению с «базовым» режимом – 86,8%. Таким образом, использование реагентного компонента в том же порядке сохраняется на высоком уровне даже при температуре 35 °С и выше. В ходе исследований также было замечено, что процессом флотации сильвина можно управлять, изменяя расход собирателей. С учетом этого изучена зависимость пропорций компонентов агрегатного состава от показателей флотации сильвинита. Флотацию сильвинита изучали в условиях, когда температура маточного раствора была выше 40 °С при следующих соотношениях компонентов собирающего состава: Амин: летний амин (ЛА-1), зимний амин (ЗА-2), аналог зарубежных парафинов (ХА), отечественных жидких парафинов (МСП), полиэтиленгликоля (ПЭГ), вакуумного газойля (ВГ), соснового масла. Модификацию готовили путем смешивания следующих компонентов: 1) Амин+ЗА-2; 2) Соотношение ЛА-1+ЗА-2 составляет 59:41. Соотношение агрегатов к амину не меняется при переносе 35 г/т. Амин: Дозировка аполярных собирающих реагентов строго контролируется. В результате исследований установлено, что снижение количества амина в шихте с 70 до 55% по массе улучшает показатели флотационного обогащения сильвинитовой руды: выход исходного концентрата на базе Т-3 составляет с 35,2 до 36,9. %, а уровень отделения КСl увеличивается от 83,4 до 84,0%. В ходе исследований, если процесс флотации проводить при высоких температурах с модифицированным составом, состоящим из зимнего амина ЗА-2 и местных жидких парафинов, можно будет полностью заменить зарубежные аналоги. Следует отметить, что при использовании флотационной композиции ЗА-2+МЖП+ВГ выход концентрата достигает 37,6%, а отделение хлорида калия - 83,7%. Таким образом, с увеличением процентного содержания собирающих компонентов, добавляемых в аминную композицию, повышаются ее эффективность и показатели флотации хлорида калия, что свидетельствует о том, что ее можно рекомендовать для флотационного обогащения.

Выбранный для обогащения материал имеет большое количество водонерастворимых добавок, которые при переработке переходят в мелкую, труднофильтруемую



почвенную жижу. Количество почвенной жижи в композиции находится в пределах 3 – 12%. Компонентом, который необходимо отделить, является сильвин - хлорид калия, который присутствует в составе в широких пределах и составляет 18-35% от общего количества. В составе также присутствует хлорид натрия, который мало влияет на процесс флотации. Флотацию проводят в растворах, обогащенных солями. Раствор характеризуется сильным пенообразованием, высокой вязкостью и поверхностным натяжением.

Используя жидкий парафин, полученный в лабораторных условиях, природный сильвинит использовали в процессе отделения хлорида калия во флотационных аппаратах. Параллельно проводились эксперименты со стандартными импортными жидкими парафинами (табл. 2).

Таблица 2 Сравнительные результаты стандартного промышленного и опытного состава жидкого парафина при флотационном обогащении сильвинитовых руд

№	Показатели	Стандартные жидкие парафины		Полученные жидкие парафины		Стандартно по МТХ
		Количество	KCl, %	Количество	KCl, %	
1	Сырье	408	31.53	408	31.53	
2	полученный Хлорид калия	130.5	89	132.31	89.2	$\geq 83$
3	Остаток	277.5	3.5	275.69	3.5	$\leq 3,8$

Полученные результаты показывают, что вторичная продукция АО «Уз-КорГазХим» - жидкие парафины, полученные на основе отработанного гексана, может заменить импортный стандартный продукт по всем своим характеристикам.

## Литература

1. Бобракова А.А. Обоснование реагентного режима сульфидной флотации молибденсодержащих руд алюмосиликатного состава // Горный информационно-аналитический бюллетень (Научно-технический журнал), 2013. С.298-302.
2. Юнаш А.А. Разработка новых реагентных режимов флотации углей на основе использования сульфоксидов и оксиэтилированных алкилфенолов: Автореф. дис. ...кан.тех.наук. – Магнитогорск, 2004. – 20 с.
3. Мэргэнбаатар Н. Повышение эффективности флотации медно-молибденовых руд регулированием реагентного режима в условиях применения многокомпонентных собирателей: Автореф. дис. ...кан.тех.наук. – М., 2005. – 24 с.
4. Эффективные реагенты для флотации высокозольных углей Печорской центральной обогатительной фабрики [Электронный ресурс]. Режим доступа

- <http://ogbus.ru/article/view/effektivnye-reagenty-dlya-flotacii-vysokozolnyx-uglej-pechorskoj-centralnoj-obogatitelnoj-fabriki/> Загл. с экрана (дата обращения 27.07.2020).
5. Понятие флотации примеры флотореагентов [Электронный ресурс]. <https://gist.github.com/anonymous/54b8d8b6f3ab91d6e0bdc68633eff825> Загл. с экрана (дата обращения 27.07.2020).
6. Алгебраистова, Н. К. Технология обогащения руд цветных металлов [Электронный ресурс]: конспект лекций / Н. К. Алгебраистова, А. А. Кондратьева. – Электрон. дан. (5 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2009.
7. Гарковенко Е.Е., Назимко Е.И., Самойлов А.И., Папушин Ю.Л. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов-Донецк: НОРД-ПРЕСС, 2002.- С.106-107
8. Seyed, Hamid & Hosseini, Hamid & Hosseini. (2008). Physicochemical studies of oxide zinc mineral flotation. 228 p.
9. Shengo, Michel & Gaydardzhiev, Stoyan & Ngoy, Pierre. (2014). Physicochemical observations during process water reuse in flotation of oxide copper-cobalt ore. IMPC 2014 - 27th International Mineral Processing Congress. pp. 1-16.
10. Григорьева А.А. Производство флотореагентов // Катализинетехимия, 2001, №9–10. С. 53-60.
11. Шубов Л.Я., Иванков С.И., Щеглова Н.К. Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья – М.: Недра, 1990. - Книга 1 – С. 5-26.
12. Родина, Т.А. Флотационные реагенты: учебное пособие для самостоятельной работы по органической химии / Т.А. Родина. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2015. – 36 с.
13. Mineral processing Design and Operations. Режим доступа <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444635891000186> Загл. с экрана (дата обращения 27.07.2020).
14. Кукушкин В.В. Поиск эффективных реагентов для флотации угля - направление снижения загрязнения водоемов органическими реагентами / Экология промышленных регионов на рубеже XXI века: Сб. науч. тр. - Магнитогорск. МГТУ, 1999. С. 99-104.
15. Совершенствование реагентного режима флотации углей с целью повышения эффективности процесса и снижения зольности флотоконцентрата / Кукушкин В.В., Петухов В.Н., Осина Н.Ю. и др. // Теория и технология металлургического производства; Межрег. сб. науч. тр. / Под ред. В.М. Колокольцева. Вып. 3. - Магнитогорск: МГТУ, 2003. - С. 90-95.
16. Совершенствование технологии флотации углей за счет использования кремнийорганических соединений / Петухов В.Н., Осипа Н.Ю., Кукушкин В.В. и др. // Вестн. Куз ГТУ. - Кемерово, 2003. - №5 - С. 79-82.



17. Г.А. Хан, Л.И. Габриелова, Н.С. Власова. Флотационные реагенты и их применение. -М.: Недра, 1986. - 271 с.
18. Л.Я. Шубов, С.И. Иванков, Н.К. Щеглова. Флатационные реагенты в процессах обогащения не рального сырья. Справочник: В 2 кн./Под ред. Л.В. Кондратьевой. -М.: Недра, 1990. -Кн.2.-263 с.
19. Л.Я. Шубов, С.И. Иванков. Запатентованные флотационные реагенты: Справочные пособие. - М.: Недра, 1992. - 362 с.
20. Da Li, Pingmei Duan, Zhiping Du, Fangqin Cheng, Yunshan Guan. A kerosene/aqueous emulsion used as a collector in potash ore desliming flotation. Author links open overlay panel <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.05.027/> Journal of Molecular Liquids. Vol. 209, September 2015, pp. 611-616.

