

DOI: 10.15593/2224-9400/2020.1.09

УДК 661.832.321

А.В. Чернышев, М.В. ЧерепановаПермский национальный исследовательский
политехнический институт, Пермь, Россия**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТАДИИ ШЛАМОВОЙ ФЛОТАЦИИ
В ПЕРЕРАБОТКЕ СИЛЬВИНИТА**

При переработке полезных ископаемых важным фактором является полное отделение целевого компонента от нежелательного. Так, например, исходная сильвинитовая руда, содержащая хлориды калия (KCl) и натрия (NaCl) и поступающая на переработку с целью выделения целевого продукта хлорида калия (KCl), содержит в себе глинисто-карбонатные примеси (глинистый шлам), которые, обладая высокой удельной поверхностью, отрицательно влияют на флотационный процесс получения KCl, адсорбируя большую часть катионного собирателя. Флотационное обогащение сильвинитовых руд является основным методом производства хлорида калия на отечественных и зарубежных калийных предприятиях. В настоящее время наблюдается тенденция снижения качества исходного сырья, в сильвинитовых рудах Верхнекамского месторождения возрастает содержание хлоридов натрия, магния и примесей водонерастворимых веществ. Шламная флотация – это способ очистки сырья минерального происхождения от нежелательных примесей (глинистого шлама). Повышение значимости флотационных методов обогащения в настоящее время обусловлено вовлечением в переработку бедных, тонко вкрапленных и труднообогатимых руд, проблему комплексного и более полного использования которых другими методами обогащения без применения флотации решить практически невозможно.

Основным отличием флотационного обесшламливания от механического, которое заключается в грубой очистке сильвинитового сырья от примесного шлама гидравлическим методом, является эффективность удаления нерастворимого остатка (НО). В гидроциклонах эффективность «оттирки» шлама не превышает 60 %. Наличие глинисто-карбонатных примесей в связи с высокой удельной поверхностью отрицательно влияет на флотационный процесс получения целевого продукта – хлорида калия (KCl), адсорбируя большую часть катионного собирателя KCl.

В данной обзорной статье рассмотрены основные способы повышения эффективности обесшламливания сильвинитовых руд, составы и расход реагентов. Высокая степень очистки достигается за счет эффективности действия реагентов на сырье и грамотной настройки технологического процесса.

Ключевые слова: *шламовая флотация, сильвинит, переработка, реагенты, собиратель, флокулянт, депрессор, обесшламливание.*

A.V. Chernyshev, M.V. Cherepanova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

IMPROVEMENT OF THE SLUDGE FLOTATION STAGE IN THE PROCESSING OF SYLVINITE

When processing minerals, an important factor is the complete separation of the target component from the undesirable. So, for example, the initial sylvinitic ore containing potassium chlorides (KCl) and sodium (NaCl) and fed to the processing in order to isolate the target product of potassium chloride (KCl) contains clay-carbonate impurities (clay sludge), which, having a high specific surface, adversely affect the flotation process of producing KCl, adsorbing most of the cationic collector. Flotation concentration of sylvinitic ores is the main method for the production of potassium chloride in domestic and foreign potash enterprises. Currently, there is a tendency to reduce the quality of the feedstock; in the sylvinitic ores of the Verkhnekamsk deposit, the content of sodium chloride, magnesium and impurities of water-insoluble substances are increasing. Sludge flotation is a method of purification of raw materials of mineral origin from unwanted impurities (clay sludge). The growing importance of flotation beneficiation methods at present is due to the involvement in processing of poor, finely disseminated and difficult-to-concentrate ores, the problem of the complex and more complete use of which by other beneficiation methods without the use of flotation is almost impossible to solve.

The main difference between flotation de-slurry and mechanical one, which consists in rough cleaning of sylvinitic raw materials from impurity sludge by hydraulic method, is the efficiency of removing insoluble residue (N.O.). In hydrocyclones, the efficiency of "mopping up" sludge does not exceed 60 %. The presence of clay-carbonate impurities due to the high specific surface negatively affects the flotation process of obtaining the target product - potassium chloride (KCl), adsorbing most of the cationic collector KCl.

This review article discusses the main ways to increase the efficiency of de-sludging sylvinitic ores, compositions and consumption of reagents. A high degree of purification is achieved due to the effectiveness of the action of the reagents on the raw materials and competent adjustment of the process.

Keywords: *sludge flotation, sylvinitic, processing, reagents, collector, flocculant, depressor, deslamination.*

Добываемые полезные ископаемые требуют проведения подготовительных процессов, связанных с дроблением, измельчением, классификацией, удалением примесей. Выбор способа обесшламливания зависит от содержания в руде нерастворимого остатка (НО) [1].

При обесшламливании руды возникает проблема неполного отделения нежелательного компонента, что ухудшает свойства и качество готового продукта.

Цель работы – изучить способы повышения эффективности обесшламливания сильвинитовых руд, составы и расход реагентов.

Шламы отрицательно влияют на процессы сильвиновой флотации и обезвоживания. Обладая большой удельной поверхностью и повышенной активностью, шламы поглощают значительную часть вводимого реагента собирателя сильвина (амин), снижают скорость флотации сильвина, налипают на поверхность частиц сильвина, затрудняя их флотацию, и загрязняют концентрат.

Различают следующие способы обесшламливания сильвинита:

1. Депрессия глинистого шлама (основана на подавлении флотации шламов с помощью реагентов-депрессоров). Реагенты-депрессоры гидрофилизируют поверхность минералов нерастворимого остатка и «экранируют» ее от сорбции собирателя. В качестве таких реагентов известно применение карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) и крахмала. Недостатком этих реагентов является высокая стоимость и низкая эффективность их действия при наличии в жидкой фазе хлористого магния. Поэтому может применяться лишь при небольшом содержании НО в руде или в сочетании с другими способами.

2. Флотационное обесшламливание (основано на флотации минералов НО и отделением минералов KCl и NaCl в виде камерного продукта). Осуществляется с использованием реагента-собирателя (оксигетилированные алкилфенолы, содержащие от 8 до 14 атомов углерода и 25 оксигетильных групп – «Неонол АФ 9-25»; алкиламины с количеством оксигетильных групп 25–30 – «Этоамин НТ/40») и реагента-флокулянта (высокомолекулярные полиакриламидные соединения).

На отечественных фабриках флотационное обесшламливание осуществляется преимущественно в механических флотационных машинах их ФМ-6,3КС, конструктивной особенностью которых является наличие решетки и циркуляционного кармана.

На зарубежных фабриках – с использованием колонных машин («машина Джеймсона») и машин пневмомеханического типа («Пнеуфлот»).

Преимуществом флотационного метода обесшламливания является высокая эффективность выделения НО , недостатками – высокое потребление электроэнергии, затраты на реагенты.

3. Механическое обесшламливание (основано на разделении под действием центробежной силы частиц KCl/NaCl/НО различной крупности). Основное оборудование гравитационного обесшламливания –

гидроциклоны различного диаметра (710, 500, 350 мм) с углом конусности 20°.

К достоинствам гравитационного обесшламливания можно отнести отсутствие применения реагентов, отсутствие движущихся частей, а следовательно, и затрат энергии, простоту эксплуатации оборудования. Однако схемы на основе гравитационного обесшламливания имеют значительно меньшую эффективность разделения по НО и больший расход оборотного раствора.

Для повышения эффективности применяют многостадийное гравитационное обесшламливание. Многостадийное гравитационное обесшламливание сильвинитовых руд Верхнекамского месторождения затруднено в связи с их высокой шламуемостью (образованием тонких частиц), что отрицательно сказывается на показателях процесса.

4. Комбинированные способы. Представляют собой сочетание гравитационного обесшламливания и последующей флотации песков гидроциклонов. Возможно также комбинирование методов механического обесшламливания со шламовой флотацией и депрессией НО. Такой метод применяется при обогащении руд с высоким содержанием НО.

Большое влияние на процесс флотационного обесшламливания оказывают реагенты, улучшающие коагуляцию мелких частиц шлама и позволяющие гидрофобизировать или гидрофилизировать их поверхность, тем самым улучшая флотацию НО из рудной суспензии. Все реагенты шламовой флотации можно разделить на 3 большие группы: собиратели, флокулянты и депрессоры.

Возможны следующие способы повышения эффективности процесса шламовой флотации:

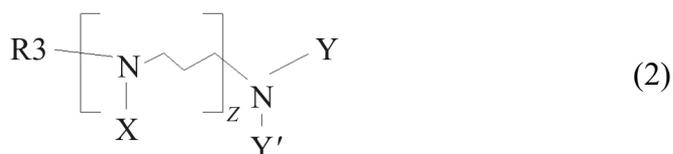
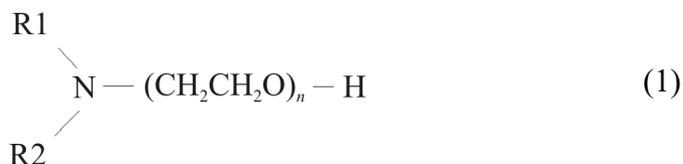
1. *Замена реагента-собирателя шламов.* Собиратель (коллектор) – реагент, применяемый для гидрофобизации поверхности минерала. Для флотации гораздо чаще используют гетерополярные собиратели, молекулы которых имеют в своем составе кроме аполярной группы (состоит только из углеводородов) еще и полярную (функциональную) группу, которая определяет химические свойства и способность реагента собираться на поверхности полярных минералов [1].

В зависимости от полярной группы собирателя наиболее широкое применение при флотации нашли алифатические амины (катионные) и алифатические карбоновые кислоты (анионные) [2].

Длина углеводородного радикала оказывает большое влияние на коллоидно-химические и сорбционные свойства коллектора. образо-

вание мицелл реагента-собирателя обусловлено уменьшением свободной энергии системы за счет ориентации молекул ПАВ таким образом, что взаимодействие с диполями воды происходит через полярную группу, а углеводородные радикалы ориентированы внутрь мицелл.

Согласно патентам [3, 4] в качестве реагента-собирателя можно использовать жирные алифатические амины:



По формуле (1) вместо R1 и R2 предложено использование цепи с количеством гидрокарбильных групп от 1 до 22, $n = 15 \dots 100$; по формуле (2) вместо R3 – цепи с количеством гидрокарбильных групп от 8 до 22, $z = 1 \dots 3$, Y и Y' – алкильные группы с 1–4 атомами C.

Опытным путем доказано, что извлечение сильвина увеличивается при использовании смеси этих двух веществ (формулы (1), (2)) в молярном соотношении от 1:5 до 5:1.

Было обнаружено, что смесь некоторых алифатических аминов (первичных, вторичных) и эфирных алкиламинов дает высокую степень извлечения шламов из жидкой фазы KCl – NaCl – H₂O. При этом установлено, что данные реагенты выигрывают по цене с точки зрения экономии, не уступая при этом в эффективности [5].

Состав смеси реагентов выглядит следующим образом: небольшое количество первичного алифатического амина, имеющего от 8 до 24 атомов углерода, относительно небольшое количество вторичного алифатического амина, имеющего от 12 до 20 атомов углерода, и первичного эфирного алифатического амина, имеющего от 8 до 16 атомов углерода, вместе с небольшим количеством флокулянта может избирательно обуславливать НО, который можно селективно удалить пенной флотацией.

Существуют также способы флотационного обесшламливания с применением в качестве собирателя веществ, являющихся альтернативой алифатическим аминам без снижения эффективности процесса.

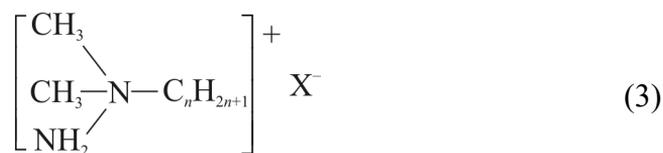
Так, например, в работах С.Н. Титкова [2] описан флотационный способ получения хлористого калия, в котором в качестве реагентов-собирателей шлама используются оксиэтилированные фенолы с длиной углеводородного радикала C_8-C_{10} и количеством оксиэтильных групп от 2 до 11. Данный способ был усовершенствован в патенте [6]. В улучшенном способе предлагается для флотации шламов в качестве реагента-собирателя использовать оксиэтилированные алкилфенолы с длиной углеводородного радикала C_2 и количеством оксиэтильных групп в радикале 12–20, получаемые на основе тримеров пропилена. С применением данного изобретения повышается эффективность обесшламливания руды с 68–71 до 75–76 %, уменьшается расход флокулянта и снижается потеря ценного компонента КСl.

В способе флотационного обесшламливания сильвинитовых руд [7] в качестве реагента-собирателя для флотации шламов используют полиоксиэтиленгликолевые эфиры моноалкилфенолов, имеющие 8–14 атомов углерода в алкильной группе, с количеством оксиэтильных групп в радикале 20–30. Предложенный способ обесшламливания позволяет извлечь до 68 % нерастворимого остатка (НО) из сильвинитовой руды.

Предложен способ обесшламливания сильвинитовых руд при использовании смеси коллектора и пеногасителя для флотации шламов [8]. В качестве коллектора используют очищенный мазут, а в качестве пеногасителя – моноацетат этиленгликоля. В качестве флокулянта применяют полиакриламид. Предлагаемый реагентный режим позволяет удалить от 82 до 85 %.

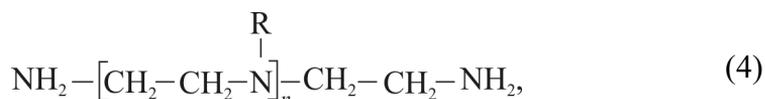
Применение в качестве собирателя медной соли гликоколя при флотации глинистых минералов из сильвинитовой руды предложено авторами [9]. Использование указанного реагента позволяет увеличить выделение глинистых примесей на 42,4–46,0 %, что обеспечивает более высокие технологические показатели при флотации сильвина. Также повышается качество калийных концентратов с 82,5 до 86,6 % с одновременным повышением извлечения с 94,2 до 95,5 %.

Авторы патентного документа [10] разработали способ флотационного обесшламливания, в котором в качестве собирателя используется четвертичная гидразиниевая соль с общей формулой



Применение гидразиниевой соли позволяет повысить селективность выделения силикатных и карбонатных минералов из калийсодержащих руд.

Авторы патента [11] предлагают проводить обесшламливание калийной руды с использованием в качестве флокулянта гуаровую камедь (1,134–11,34 г на 1 т руды) и в качестве собирателя – полиамин (113,4–226,8 г на 1 т руды), имеющий формулу



где R – заместитель алифатического ряда, полученный из монооксида, и содержащий 8–24 атомов углерода, 1–3 атомов кислорода при n, равном 1 или 2. Данный метод повышает эффективность отделения пустой кремнистой породы от калийной руды.

2. *Замена реагента-флокулянта.* Для обеспечения минимальных потерь жидкой фазы в процессе обогащения калийных руд, содержащих легкошламуемые глинистокарбонатные примеси, и предотвращения попадания шламов в цикл флотации сильвина необходимо применение флокулянтов, обеспечивающих максимально возможную полноту осветления оборотного щелока и максимальную степень уплотнения осажденных шламов.

Высокая стоимость природных флокулянтов и относительно большие затраты на сгущение шламов в растворах электролитов обуславливают незначительное их применение (в основном для руд с содержанием НО до 0,5–1,0 %). Основную группу флокулянтов составляют синтетические полимеры неионогенного и анионного типа, в первую очередь акриламидные полимеры и сополимеры, выпускаемые в США под названием аэрофлок, сепаран, пурифлок; в Великобритании – магнафлок; в Германии – бозефлок, стипикс; в Японии диафлок, в России – полиакриламид – гель технический [2].

В патенте [12] авторами предложено создать и использовать модифицированный флокулянт на основе полиакриламида (ПАА). Способ получения данного флокулянта следующий – в водный раствор ПАА добавляют смесь модификаторов пропиленгликоля (ПГ) и мочевины. Выбор модификаторов неслучаен, так как они приводят к кислотнo-основным взаимодействиям с карбоксильными и аминными группами ПАА с одновременной организацией сетки водородных связей за счет присутствия ПГ. В результате степень осветления раствора

увеличивается на 1 %, а остаточное содержание твердой фазы понижается на 1 %, тем самым использование модифицированного ПАА в процессе очистки дает несомненный положительный эффект для ускорения процесса флокуляции.

3. *Замена реагента-депрессора.* Применение реагентов-депрессоров является основным средством получения максимальной селективности при флотационном разделении минералов с близкими свойствами.

Основные механизмы депрессирующего действия реагентов можно свести к следующим:

- растворение поверхностных соединений собирателя и создание условий, препятствующих его закреплению на поверхности минерала;
- вытеснение ионов собирателя ионами депрессора, образующими с ионами минерала труднорастворимое гидрофильное соединение;
- повышение степени гидрофильности минеральной поверхности без вытеснения собирателя;
- закрепление на поверхности депрессируемого минерала гидрофильных неорганических или органических частиц [1].

В патенте [13] предложено проводить депрессию НО только подрешетного продукта поверочной классификации после объединения подрешетного продукта поверочной классификации с камерным продуктом шламовой флотации с образованием объединенной рудной суспензии, направляемой на флотацию хлористого калия. Содержание НО в данной суспензии не должно превышать 2,0–2,5 %. Подрешетный продукт поверочной классификации обрабатывают органическим реагентом-депрессором – КС-МФ в количестве 300 г/т и далее объединенный поток рудной суспензии направляют на кондиционирование с аминной эмульсией перед флотацией хлористого калия. В подрешетный продукт поверочной классификации отделяется материал, обогащенный мелкодисперсными частицами НО, который с легкостью оседает на дне камеры флотомашин после обработки депрессором КС-МФ.

В работе [14] предложено использовать комбинацию гликолевого эфира и полимерного продукта КС-МФ (получают на основе мочевины и формальдегида). Теоретические и практические результаты показали, что гликолевый эфир способствует лучшей диспергации катионных собирателей и вследствие этого повышает их сорбционную и флотационную активность, а реагент КС-МФ является депрессором шламов.

Авторами патента [15] предложено с целью повышения эффективности извлечения сильвина из калийной руды использование в качестве реагента-депрессора поликватерного депрессора, включающего

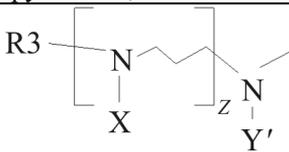
в себя эпихлоргидрин, этилендиамин – диалкиламин, имеющий структуру R1-R2-NH, где R1 и R2 представляют собой гидрокарбильные группы, имеющие 1–3 атома углерода.

В патентном документе [16] предложен способ, совершенствование которого заключается в обработке питания сильвиновой флотации реагентом депрессором. В качестве реагента-депрессора применяется модифицированная карбамидоформальдегидная смола с весовыми соотношениями мочевина : формальдегид : полиэтиленполиамин в интервале 1,0:1,12:0,05...1,0:2,70:0,30. Таким образом, наблюдается уменьшение расхода реагента-собиранителя глинистого шлама, снижение потерь целевого компонента KCl с отходами.

Сводные данные предложенных реагентов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сводные данные предложенных реагентов

| Название патента | Реагент | Формула | Технический результат / Расход |
|--|--|--|---|
| Сборщик для флотации глинистых минералов из калийных руд [3] | Жирные алифатические амины | $\begin{array}{c} \text{R1} \\ \diagdown \\ \text{N} - (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n - \text{H} \\ \diagup \\ \text{R2} \end{array}$ <p>где R1 и R2 – цепь с количеством гидрокарбильных групп 1–22, $n = 15 \dots 00$</p> | Повышение степени извлечения NO |
| Смесь сборщиков для флотации глинистых минералов из калийных руд [4] | Жирные алифатические амины |  <p>где R3 – цепь с количеством гидрокарбильных групп от 8 до 22, $z = 1 \dots 3$, Y и Y' – алкильные группы с 1–4 атомами С</p> | Повышение степени извлечения NO |
| Обогащение калийных руд [6] | Оксиэтилированные алкилфенолы, получаемые на основе тримеров пропилена | <p>Длина углеводородного радикала – 2 атома С. Количество оксиэтильных групп в радикале – 10–12</p> | <p>Повышение эффективности обесшламливания руды с 68–71 до 75–76 %.</p> <p>Уменьшение расхода флокулянта.</p> <p>Снижение потерь ценного компонента KCl</p> |

| Название патента | Реагент | Формула | Технический результат / Расход |
|---|---|---|---|
| Способ флотационного обогащения калийных руд [7] | Полиоксиэтиленглико-левые эфиры моноалкилфенолов | Длина углеводородного радикала – 8–14 атомов С. Количество оксиэтильных групп в радикале – 20–30 | Повышение извлечения НО до 68 % |
| Собиратель для флотации глинистых шламов из калийных руд [9] | Медная соли ликоколя | $Cu(NH_2CH_2COO)_2$ | Повышение качества калийных концентратов с 82,5 до 86,6 %. Повышение степени извлечения с 94,2 до 95,5 % |
| Собиратель для флотации силикатных и карбонатных минералов из калийсодержащих руд [10] | Четвертичная гидразиниевая соль | $\left[\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ CH_3-N-C_nH_{2n+1} \\ \\ NH_2 \end{array} \right]^+ X^-$ | Повышение селективности выделения силикатных и карбонатных минералов |
| Desliming of potash ores [11] | Полиамин | $NH_2-\left[\begin{array}{c} R \\ \\ CH_2-CH_2-N \end{array} \right]_n-CH_2-CH_2-NH_2$ | Повышение эффективности отделения пустой кремнистой породы от калийной руды (113–226 г/т руды) |
| Модифицированный флокулянт на основе полиакриламида [12] | Модифицированный флокулянт на основе полиакриламида (добавление в водный раствор ПАА смеси модификаторов ПГ) и мочевины | – | Увеличение степени осветления раствора на 1 %. Снижение остаточного содержания твердой фазы на 1 % |
| Способ флотационного обогащения калийсодержащих руд [13] | Реагент-депрессор КС-МФ | – | Депрессия нерастворимых примесей (300 г/т суспензии) |
| Активация катионной флотации калийных и калийно-магниевого руд с применением новых реагентов [14] | Комбинация гликолевого эфира и полимерного продукта КС-МФ | – | Улучшение сорбционной и флотационной активности катионных собирателей. Депрессия нерастворимого шлама |
| Поликватерный деполимер как депрессант в методе пенной флотации калийных руд [15] | Поликватерный депрессор, включающий в себя эпихлоргидрин, этилендиамин – диалкиламин | – | Улучшение эффективности сборки и извлечения сильвина по сравнению с КС-МФ |

4. *Применение новых реагентных режимов.* Компанией ПАО «Уралкалий» был запатентован способ получения хлористого калия из калийсодержащих руд [17], основное техническое решение которого состоит в раздельной флотации песковой (+0,25 мм) и мелкодисперсной (–0,25 мм) фракций. Способ получения КС1 включает в себя измельчение руды, ее обесшламливание, обработку реагентом в количестве 5–15 г/т руды. Обесшламливание руды с содержанием более 4,0 % мас. водонерастворимого остатка проводят в сочетании с контрольной флотацией камерного продукта основной стадии обесшламливания, флотацию хлористого калия из песков и из солевого мелкодисперсного продукта. Обесшламленная суспензия с размером твердых частиц менее 0,25 мм сгущается до плотности 60–70 % твердого и кондиционируется смесью амина C₁₆–C₂₀.

Коллективом авторов усовершенствовано получение хлористого калия из калийной руды [18]. Техническое решение заключается в выделении мелкой фракции (0,2–0,3 мм) из питания сильвиновой флотации и ее повторном обесшламливании вместе с измельченной рудой. Применение предложенного способа позволяет снизить расход аминов, лигносульфоната технического (ЛСТ) и аполярного реагента. Установлено снижение содержания нерастворимого остатка в питании основной сильвиновой флотации с 1,88 до 1,25 %, уменьшение содержания КС1 в хвостах на 0,95 %, повышение качества концентрата с 93,9 до 95,66 %. Затем к суспензии добавляется оборотный солевой раствор до достижения плотности пульпы 8–12 % твердого и флотируется в пневматической пульсационной флотомашине. Вследствие чего происходит снижение расхода используемых флотационных реагентов на 15–20 % и получение при флотации более высококачественного концентрата.

При увеличении массового содержания НО до 16 % был запатентован способ обогащения [19], в котором дробленую руду крупностью до 15 мм предварительно классифицируют по классу крупности 0,63 мм. Данный способ был усовершенствованием работы О.Л. Черных [20]. Подрешетный продукт стадий классификации крупностью менее 0,63 мм объединяют с подрешетным продуктом предварительной классификации рудной суспензии и обрабатывают флокулянтom Ассифлос (450 г/т НО в руде), собирателем этомином НТ/40 (200 г/т НО в руде) и подают на колонную шламовую флотацию. Надрешетный продукт крупностью более 0,63 и менее 1,2 мм направляют на оттирку в аппарат с механическими мешалками. После отмывки оборотным

щелоком суспензию обесшламливают флотационным способом и снова обрабатывают смесью реагентов аминный собиратель : вспениватель : аполярный реагент в массовом соотношении 1,0:0,4:0,4. Крупнозернистый поток руды (более 0,63 и менее 1,2 мм) объединяют с обесшламленным камерным продуктом и подают на сильвиновую флотацию. Данный способ обесшламливания позволяет стабилизировать процесс флотационного обогащения сильвинитовых руд с массовой долей НО до 16 %, повысить извлечение полезного компонента из руды, снизить расход реагентов.

Таблица 2

Сводные данные усовершенствованных режимов
процесса флотации

| Название патента | Техническое решение | Применение | Технический результат |
|---|--|-------------------|--|
| Способ получения хлористого калия из калийсодержащих руд [17] | Раздельная флотация песковой (+0,25 мм) и мелкодисперсной (-0,25 мм) фракций | Шламовая флотация | Повышение степени извлечения НО |
| Способ получения хлористого калия [18] | Выделение мелкой фракции (0,2–0,3 мм) из питания сильвиновой флотации и ее повторное обесшламливание вместе с измельченной рудой | Шламовая флотация | Снижение расхода используемых флотационных реагентов на 15–20 %, содержания НО в питании основной сильвиновой флотации на 33,5 %, содержания КС1 в хвостовом продукте на 0,95 %; повышение качества концентрата на 0,8 % |
| Способ обогащения высокошламистых калийсодержащих руд [19] | Предварительная классификация дробленой руды крупностью до 15 мм по классу крупности 0,63 мм | Шламовая флотация | Стабилизация процесса обогащения сильвинитовых руд с массовой долей НО до 16 %; повышение извлечения полезного компонента; снижение расхода реагентов |
| Способ флотационного обогащения руд [21] | Обработка подрешетного продукта предварительной классификации реагентами флокулянт ПАА «Ассофлос А-97» и собиратель «Неонол АФ9-25» в количестве на сухое 2 и 11 г/т руды соответственно | Шламовая флотация | Извлечение в пенный отвалный шлам от руды 27,7 % НО |

В патенте [21] приведен способ флотационного обогащения калийных руд, согласно которому подрешетный продукт предварительной классификации обрабатывают реагентами (флокулянт полиакриламид «Ассофлос А-97» в количестве на сухое 2 г/т руды, собиратель «Неонол АФ9-25» в количестве на сухое 11 г/т руды) и подают на предварительную шламовую флотацию, например, на механические флотомашины, с получением пенного отвального шлама и камерного обесшламленного продукта. Из подрешетного продукта предварительной классификации, обогащенного НО, представленных легко шламуемым силикатами, в пенный отвальный шлам извлекается от руды 27,7 % НО при содержании в твердой фазе 0,3 % КС1.

Усовершенствованные способы флотации представлены в табл. 2.

Таким образом, были рассмотрены пути повышения эффективности флотационного обесшламливания за счет повышения степени извлечения нерастворимого остатка, снижения расхода реагентов, повышения сорбционной и флотационной активности.

Список литературы

1. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1984, 383 с.
2. Титков С.Н., Мамедов А.И., Соловьев Е.И. Обогащение калийных руд. – М.: Недра, 1982. –216 с.
3. Пат. 8387801 США, МПК В03D 1/02. Сборщик для флотации глинистых минералов из калийных руд / Густафссон Я.О. – № 12/663883; заявл. 06.10.2008; опубл. 03.05.2013.
4. Пат. 8393473 США, МПК В03D 1/02. Смесь сборщиков для флотации глинистых минералов из калийных руд / Густафссон Я.О. – № 13/131314; заявл. 26.11.2008; опубл. 12.03.2013.
5. Пат. 2010/060477 WO, МПК В03D1/01, В01F17/00, С11D1/44. Mixture of collectors for flotation of clay minerals from potash ores / Gustafsson J.O.; заявители и патентообладатели AkzoNobel N.V., Gustafsson J.O. – заявл. 26.11.2008; опубл. 03.06.2010.
6. Пат. 2165797 Рос. Федерация, МПК В03D 1/01. Обогащение калийных руд / Титков С.Н., Мамедов А.И., Соловьев Е.И. – № 99118838/03; заявл. 01.09.1999; опубл. 27.04.2001.
7. Пат. 2237521 Рос. Федерация, МПК В03D1/008, В03D1/02, В03D101/02, В03D103/10. Способ флотационного обогащения калийных руд/ Бусыгин В.М., Сабиров Р.Х., Новоселов В.А. [и др.]; заявители и патентооб-

ладатели ОАО «Нижнеамскнефтехим», ОАО «Сильвинит». – № 2003115477; заявл. 23.05.2003; опубл. 10.10.2004.

8. Пат. 4192737 US, МПК В03D1/004, В03D001/02. Froth flotation of insoluble slimes from sylvinitе ores / Thompson P., Huiatt J.L., Seidel D.C.; заявл. 15.09.1978; опубл. 11.03.1980.

9. А.с. 650658 СССР, МКИ В03D1/02. Собиратель для флотации глинистых шламов из калийных руд / Агафонова Г.С., Бухолдина В.М., Скробова А.В., Черных С.И. – № 2501553/22-03; заявл. 22.06.77; опубл. 05.03.79, Бюл. № 9. - 2 с.

10. Пат. 2123893 Рос. Федерация, МПК В03D1/01, В03D101/02, В03D103/10. Собиратель для флотации силикатных и карбонатных минералов из калийсодержащих руд / Тетерина Н.Н., Адеев С.М., Дроздецкий А.Г., Ковальчук И.Н.; заявитель и патентообладатель АО «Уральский научно-исследовательский и проектный институт галургии». – № 96110849/03; заявл. 28.05.1996; опубл. 27.12.1998.

11. Пат. 4198288 US, МПК В03D1/004, С01D3/08, С01D3/00, В03D001/02. Desliming of potash ores / Levine N.M., Drathen W.V; заявитель и патентообладатель Celanese Polymer Specialties Company. – № 06/022655; заявл. 22.03.1979; опубл. 15.04.1980.

12. Пат. 2648437 Рос. Федерация, МПК В03D 3/06. Модифицированный флокулянт на основе полиакриламида / Шевченко Т.В., Устинова Ю.В., Дубинина И.Е. – № 2016145974; заявл. 23.11.2016; опубл. 26.03.2018.

13. Пат. 2399424 Рос. Федерация, МПК В03В 7/00, В03D 1/02. Способ флотационного обогащения калийсодержащих руд / Тетерина Н.Н. – № 2009100520/03; заявл. 11.01.2009; опубл. 20.09.2010.

14. Активация катионной флотации калийных и калийно-магниевого руд с применением новых реагентов / С.Н. Титков, Т.М. Гуркова, Т.Г. Чумакова [и др.] // Обогащение руд. – 2005. – № 6. – С. 37–42.

15. Пат. 9486815 США, МПК В03D 1/02, С08G73 / 02. Поликвантерный полимер как депрессант в методе пенной флотации калийных руд / Густафссон Я.О., Ланнефорс К.Х. – № 14/650774; заявл. 17.12.2013; опубл. 08.11.2016.

16. Пат. 2165798 Рос. Федерация, МПК В03D1/01, В03D1/016, В03D101/06, В03D103/10. Способ флотационного обогащения калийных руд / Титков С.Н., Вахрушев А.М., Чистяков А.А. [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Уралкалий». – № 99118841/03; заявл. 01.09.1999; опубл. 27.04.2001.

17. Пат. 2144435 Рос. Федерация, МПК В03D1/02. Способ получения хлористого калия из калийсодержащих руд / Тетерина Н.Н., Кикот В.К., Софьин А.К., Вахрушев А.М.; заявитель и патентообладатель ОАО «Уралкалий». – № 98106520/03; заявл. 08.04.1998; опубл. 20.01.2000.

18. Пат. 2147011 Рос. Федерация, МПК C01D3/08, C05D1/04. Способ получения хлористого калия / Чернов В.С., Чистяков А.А., Эвтенеев А.З. [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «Уралкалий». – № 98107554/12; заявл. 21.04.1998; опубл. 27.03.2000.

19. Пат. 2467803 Рос. Федерация, МПК B03B7/00. Способ обогащения высокошламистых калийсодержащих руд / Черных О.Л., Тетерина Н.Н.; заявитель и патентообладатель ОАО «Уральский научно-исследовательский проектный институт галургии». – № 2011107354/03; заявл. 25.02.2011; опубл. 27.08.2012.

20. Черных О.Л. Технология обесшламливания высокошламистых сильвинитовых руд // Рудник будущего. – 2011. – № 4. – С. 15–17.

21. Пат. 2564549 Рос. Федерация, МПК B03D 1/02. Способ флотационного обогащения руд / Титков С.Н., Пантелеева Н.Н., Афонина Е.И. – № 2014127874/03; заявл. 08.07.2014; опубл. 10.10.2015.

References

1. Abramov A.A. Flotatsionnyye metody obogashcheniya [Flotation enrichment methods]. Nedra, 1984, 383 p.

2. Titkov S.N., Mamedov A.I., Soloviev E.I. Obogashcheniye kaliynoy rudy [Potash ore dressing]. Nedra, 1982, 216 p.

3. Gustafsson J.O. Sborshchik dlya flotatsii glinistykh mineralov iz kaliynykh rud [Pottery ore flotation collector]. Patent United States of America no. 8387801 (2013).

4. Gustafsson J.O. Smes' sborshchikov dlya flotatsii glinistykh mineralov iz kaliynykh rud [Mixture of collectors for flotation of clay minerals from potash ores]. Patent United States of America no. 8393473 (2013).

5. Gustafsson J.O., AkzoNobel N.V., Medvedev V.N. Smes' kollektorov dlya flotatsii glinistykh mineralov iz kaliynykh rud [Mixture of collectors for flotation of clay minerals from potash ores]. Patent United States of America no. 2010/060477 (2010).

6. Titkov S.N., Mamedov A.I., Soloviev E.I. Obogashcheniye kaliynykh rud [Potash ore dressing]. Patent Rossiiskaia federatsiia no. 2165797 (2001).

7. Busygin V.M., Sabirov R.KH., Novoselov V.A. Sposob flotatsionnogo obogashcheniya kaliynykh rud [Method for flotation concentration of potassium ores]. Patent Rossiiskaia federatsiia no. 2003115477 (2004).

8. Thompson P., Huiatt J.L., Seidel D.C. Pennaya flotatsiya nerastvorimykh shlamov iz sil'vinitovykh rud [Froth flotation of insoluble slimes from sylvinitic ores]. Patent United States of America no. 4192737 (1980).

9. Agafonova G.S., Bukholdina V.M., Skrobova A.V., Chernykh S.I. Sobiratel' dlya flotatsii glinistykh shlamov iz kaliynykh rud [Potter ore clay flotation collector]. Patent Rossiiskaia federatsiia no. 650658 (1979).

10. Teterina N.N., Adeyev S.M., Drozdetskiy A.G., Koval'chuk I.N. Sobiratel' dlya flotatsii silikatnykh i karbonatnykh mineralov iz kaliysoderzhashchikh rud [Collector for flotation of silicate and carbonate minerals from potassium ores]. Patent Rossiiskaia federatsiia no. 2123893 (1998).

11. Levine N.M., Drathen W.V. Obessolivaniye kaliynykh rud [Desliming of potash ores]. Patent United States of America no. 4198288 (1980).

12. Shevchenko T.V., Ustinova YU.V., Dubinina I.Ye. Modifitsirovannyi flokulyant na osnove poliakrilamida [Modified Polyacrylamide Flocculant]. Patent Rossiiskaia federatsiia no. 2648437 (2018).

13. Teterina N.N. Sposob flotatsionnogo obogashcheniya kaliysoderzhashchikh rud [Method of flotation concentration of potassium ore]. Patent Rossiiskaia federatsiia no. 2399424 (2010).

14. Titkov S.N., Gurkova T.M., Chumakova T.G. Aktivatsiya kationnoy flotatsii kaliynykh i kaliyno-magniyevykh rud s primeneniye novykh reagentov [Activation of cationic flotation of potash and potassium-magnesium ores using new reagents]. Obogashcheniye rud, 2005, pp. 37-42.

15. Gustafsson, J.O., Lannefors, Kristina Khosefin Polikvanternyy polimer kak depressant v metode pennoy flotatsii kaliynykh rud [Polyquantum polymer as a depressant in the method of foam flotation of potash ores]. Patent United States of America no. 9486815 (2016).

16. Titkov S.N., Vakhrushev A.M., Chistyakov A.A. Sposob flotatsionnogo obogashcheniya kaliynykh rud [Method for flotation concentration of potassium ores]. Patent Rossiiskaia federatsiia no. 2165798 (2001).

17. Teterina N.N., Kikot V.K., Sofin A.K., Vakhrushev A.M. Sposob polucheniya khlorigo kaliya iz kaliysoderzhashchikh rud [Method of producing potassium chloride from potassium ores]. Patent Rossiiskaia federatsiia no. 2144435 (2000).

18. Chernov V.S., Chistyakov A.A., Evtenteyev A.Z. Sposob polucheniya khlorigo kaliya [Method of producing potassium chloride]. Patent Rossiiskaia federatsiia no. 2147011 (2000).

19. Chernykh O.L., Teterina N.N. Sposob obogashcheniya vysokoshlamistykh kaliysoderzhashchikh rud [Method of enrichment of highly sludge potassium ore]. Patent Rossiiskaia federatsiia no. 2467803 (2012).

20. Chernykh, O.L. Tekhnologiya obesshlamlivaniya vysokoshlamistykh sil'vinitovykh rud [Technology of de-slurry of high-sludge sylvinit ores]. Rudnik budushchego, 2011, no. 4, pp. 15-17.

21. Titkov S.N., Panteleyeva N.N., Afonina Ye.I. Sposob flotatsionnogo obogashcheniya rud [The method of flotation concentration of ores]. Patent Rossiiskaia federatsiia no. 2564549 (2015).

Получено 31.01.2020

Об авторах

Чернышев Алексей Владимирович (Пермь, Россия) – студент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь Комсомольский пр., 29, e-mail: AlexCher-1997@yandex.ru).

Черепанова Мария Владимировна (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: syromyatnikova.maria@yandex.ru).

About the authors

Aleksey V. Chernyshev (Perm, Russian Federation) – Student of the Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: AlexCher-1997@yandex.ru).

Maria V. Cherepanova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, e-mail: syromyatnikova.maria@yandex.ru).