

Министерство образования и науки Республики Казахстан
НАО «КазНУТУ имени К.И.Сатпаева» - Satbayev University

Құдайбергел Айдос

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СГУЩЕНИЯ ТОНКИХ ГЛИНИСТЫХ
ШЛАМОВ НЕОРГАНИЧЕСКИМ АЛЮМОСИЛИКАТНЫМ ФЛОКУЛЯНТОМ**

**Магистерская диссертация на соискание
академической степени магистра технических наук
по специальности 7М07110 «Химические процессы и производство
химических материалов»
(научно-педагогическое направление)**

Алматы, 2021 г.

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И. Сатпаева

Институт Химических и Биологических Технологий

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующая кафедрой

«Химические Процессы и
Промышленная Экология»

канд. тех. наук, доцент

Куб Кубекова Ш.Н.
« 08 » 06 2021 г.

Магистерская диссертация

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СГУЩЕНИЯ ТОНКИХ ГЛИНИСТЫХ
ШЛАМОВ НЕОРГАНИЧЕСКИМ АЛЮМОСИЛИКАТНЫМ ФЛОКУЛЯНТОМ

специальность 7М07110 «Химические процессы и производство химических
материалов»

(научно-педагогическое направление)

Магистрант Кудайбергенов А.К.

А.К. Кудайбергенов

Научный руководитель,
доктор технических наук

Капралова В.И.

В.И. Капралова

Зав.кафедрой
Кубекова Ш.Н.

Ш.Н. Кубекова

Алматы, 2021 г.

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Институт химических и биологических технологий
Кафедра химических процессов и промышленной экологии

7M07110 – Химические процессы и производство химических материалов

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой ХПиПЭ
канд. тех. наук, доцент

Куб Кубекова Ш.Н.

« 08 » 06 20__ г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Құдайбергеноу Айдосу

Тема: «Исследование процесса сгущения тонких глинистых шламов неорганическим алюмосиликатным флокулянтom»

Утверждена приказом ректора № 353–М от " 14 " ноябрь 2019 г.

Срок сдачи законченной диссертации «10» 06 2021 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: данные полученные в ходе прохождения научно-исследовательской работы магистранта

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов:

- А) изучение гранулометрического состава руды месторождения Бозшаколь;
Б) тестирование флокулирующих свойств органических флокулянтов типа D-Floc и выбор флокулянта сравнения;
В) получение алюмосиликатного флокулянта по методике Кульского;
Г) исследование влияния алюмосиликатного флокулянта на процесс сгущения тонких глинистых шламов в зависимости от количества шламистых фракций, количества и способа подачи реагента.

Рекомендуемая основная литература:

1. Абрамов А. А. Технология обогащения руд цветных металлов. - М. : Недра, 1983. - 358 с.
2. Классен В.И., Недоговоров Д.И., Дебердеев И.Х. Шламы во флотационном процессе. – М.: Недра, 1969. – 245 с.
3. Бутова С. А. Флокулянты. Свойства. Получение. Применение. М.: Стройиздат, 1997. – 143 с.

3. Бутова С. А. Флокулянты. Свойства. Получение. Применение. М.: Стройиздат, 1997. – 143 с.

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Примечание
Литературный обзор по тематике исследований	25.02.2021	Выполнено
Экспериментальная часть. Произвести необходимые лабораторные исследования, касающиеся темы диссертации	30.05.2021	Выполнено
Подготовка магистерской диссертации к печати	10.06.2021	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименование разделов	Консультанты, Ф.И.О (уч.степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Литературный обзор	д.т.н., доцент Капралова В.И.	12.03.2021	
Экспериментальная часть	д.т.н., доцент Капралова В.И..	30.05.2021	
Нормоконтролер	д.т.н., доцент Капралова В.И.	10.06.2021	

Научный руководитель _____ 
(подпись)

Капралова В.И.

Задание принял к исполнению обучающийся _____ 
(подпись)

Кудайберген А.К.

Дата

«___» _____ 2020 г.

АНДАТПА

Бұл магистрлік диссертация тапсырмадан, кіріспеден, 3 тараудан тұратын эксперименттік бөлімнен, қорытындыдан, дереккөздер мен қосымшалар тізімінен тұрады. Жұмыс 47 бетті, 9 сурет, 10 кесте және 65 дереккөзді қамтиды.

$\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$ және $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ қатынастағы алюмосиликатты флокулянттар алынды. $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$ қатынаста дайындалған флокулянттың 0,2-ден 0,5 мг/г аралығындағы шығыны флокуляциялық қасиет көрсетпейтіні анықталды. Оның шығынын 1,0 мг/г-ға дейін арттыру қатты бөлшектердің флокуляциялану процесіне ықпал етіп, сұйық фазаның мөлдірленуіне алып келді. Тазартылған қабаттың мөлдірлігі 300 сек уақытында 70% құрайды. $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ қатынаста дайындалған, шығыны 1,0 мг/г құрайтын флокулянттың белсенділігі, шығыны 0,5 мг/г d-Floc-4003 органикалық флокулянттының флокуляциялық белсенділігіне жақын және 82% құрайды.

$\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ қатынастағы алюмосиликатты флокулянттың жұқа шламның көлеміне байланысты қоюлану процесіне әсері зерттелді. Тұндыру жылдамдығы пульпадағы қатты заттың көлеміне байланысты екендігі және қатты заттың мөлшері 35% - дан 55% - ға дейін ұлғайған кезде, 1 мг/г қатынастағы флокулянтты пайдалану, тұндыру жылдамдығын 0,027 м/сағ-тан 0,012 м/сағ-қа дейін төмендететіні көрсетілді.

Алюмосиликатты флокулянт компоненттерін пульпаға жеке-жеке енгізу кезіндегі шлам бөлшектерінің қоюлану процесі зерттелді және сұйық шыныны енгізу, пульпаны араластыру және соңынан алюминий сульфатын енгізу, қоюлану процесінің уақытын едәуір қысқартатындығы анықталды. Процесс 35% және 55% қатты бөлшектерден тұратын пульпа үшін 10-12 минутты құрайды. Бұл ретте қатты бөлшектерді тұндыру, құрамы 55% болған жағдайда 0,26 м/сағ және құрамындағы қатты бөлшектер көлемі 35% болғандағы тұндыру жылдамдығы 0,54 м/сағ көрсетті. Сәйкесінше пульпаға бөлек араластырылып дайындалған алюмоносиликатты флокулянтты енгізген жағдайда тұндыру жылдамдықтары сәйкесінше 0,012 м/сағ және 0,027 м/сағ-қа төмендеді.

Сазды шламдарды қоюлау процесінде алюмосиликатты флокулянтты қолданудың технологиялық шарттары оңтайландырылды.

АННОТАЦИЯ

Данная магистерская диссертация состоит из задания, введения, экспериментальной части из 3-х глав, заключения, списка источников и приложения. Работа изложена на 47 страницах, включает 9 рисунков, 10 таблиц и 65 источников.

Получены алюмосиликатные флокулянты с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$ и $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$. Установлено, что флокулянт с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$ при норме расхода от 0,2 до 0,5 мг/г практически не проявляет флокулирующих свойств в данных условиях. Увеличение его расхода до 1,0 мг/г способствует процессу флокуляции твердых частиц пульпы и приводит к небольшому осветлению жидкой фазы, прозрачность осветленного слоя которой при времени испытаний 300 сек составляет 70%. Показано, что флокулирующая активность флокулянта с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ при норме расхода 1,0 мг/г близка к флокулирующей активности органического флокулянта D-Floc-4003 при его норме расхода 0,5 мг/г, и составляет 82%.

Изучено влияние алюмосиликатного флокулянта с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ на процесс сгущения тонких шламистых классов в зависимости от их количества и показано, что скорость осаждения твердой фазы зависит от содержания твердого в пульпе и уменьшается при увеличении содержания твердого от 35% до 55% от 0,027 м/час до 0,012 м/час при расходе флокулянта 1 мг/г.

Изучен процесс сгущения шламистых частиц при отдельном дозировании в пульпу компонентов алюмосиликатного флокулянта и показано, что введение в пульпу жидкого стекла, перемешивание пульпы и последующее введение сульфата алюминия значительно сокращает время процесса сгущения, которое для пульп, приготовленных на образцах с содержанием твердого 35% и 55%, составляет 10-12 минут. При этом скорость осаждения твердых частиц, составляет 0,26 м/час при содержании твердого 55% и 0,54 м/час при содержании твердого 35% в отличие от 0,012 м/час и 0,027 м/час соответственно в случае введения в пульпу алюмосиликатного флокулянта, полученного смешением и вызреванием золя в отдельном смесителе.

Оптимизированы технологические условия применения алюмосиликатного флокулянта в процессе сгущения тонких глинистых шламов технологических пульп.

ANNOTATION

This master's thesis consists of a task, an introduction, 3 chapters, a conclusion, a bibliography and application. The work is presented on 47 pages of typewritten text, includes 9 figures, 10 tables. The list of references contains 65 titles.

Aluminosilicate flocculants were obtained with the ratio $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$ and $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$. It was found that a flocculant with a ratio $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$ at a flow rate of 0.2 to 0.5 mg/g practically does not exhibit flocculating properties under these conditions. An increase in its consumption to 1.0 mg /g contributes to the process of flocculation of solid pulp particles and leads to a slight clarification of the liquid phase, the transparency of the clarified layer of which is 70% at a test time of 300 seconds. It is shown that the flocculating activity of the flocculant with a ratio of $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ at a flow rate of 1.0 mg /g is close to the flocculating activity of the organic flocculant D-Floc-4003 at its flow rate of 0.5 mg/g and is 82%.

The effect of an aluminosilicate flocculant with the ratio $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ on the thickening process of fine slurry classes depending on their amount was studied and it was shown that the solid phase deposition rate depends on the solid content in the pulp and decreases with an increase in the solid content from 35% to 55% from 0.027 m/h to 0.012 m/h at a flocculant consumption of 1 mg/g.

The process of thickening of slime particles during separate dosing of the components of the aluminosilicate flocculant components into the pulp was studied and it was shown that the insertion of liquid glass into the pulp, mixing of the pulp and subsequent introduction of aluminum sulfate significantly reduces the time of the thickening process, which is 10-12 minutes for pulps prepared on samples with a solid content of 35% and 55%. At the same time, the precipitation rate of solid particles is 0.26 m/h at a solid content of 55% and 0.54 m/h at a solid content of 35%, in contrast to 0.012 m/h and 0.027 m/h, respectively, in the case of introducing an aluminosilicate flocculant into the pulp obtained by mixing and maturing the sol in a separate mixer.

The technological conditions for the use of an aluminosilicate flocculant in the process of thickening thin clay slurries of technological pulps have been optimized.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	11
1. Литературный обзор	15
1.1 Современные методы обогащения окисленных и тонковкрапленных руд	15
1.2 Флотационный метод обогащения и его характеристика	16
1.3 Виды флокулянтов	17
1.4 Флокулянты на основе неорганических полимеров	20
1.5 Реагенты на основе жидкого стекла, используемые в процессах обогащения	25
1.6 Анализ проведенного литературного обзора	26
2 Методики и методы исследований	28
3 Основные результаты работы и их обсуждение	31
3.1 Изучение гранулометрического состава исходной пробы медной руды месторождения Бозшаколь	31
3.2 Исследование флокулирующих свойств органических флокулянтов	32
3.3 Исследование процесса флокуляции тонких глинистых шламов неорганическим алюмосиликатным флокулянтом	35
Заключение	42
Список использованных источников	44
Приложение	48

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей магистерской диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

ГОСТ – государственный стандарт

МОН – Министерство образования и науки

РК – Республика Казахстан

СНГ – содружество независимых государств

СПАВ – синтетические поверхностно-активные вещества

ПАА – полиакриламид

АК – активная кремниевая кислота, неорганический флокулянт

АКФК – алюмокремниевый флокулянт-коагулянт

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

мг – миллиграмм

см – сантиметр

л – литр

г – грамм

мм – миллиметр

мкм – микрон, 10^{-6} м

м – метр

ИК – инфракрасная спектроскопия

отн.% – относительные проценты

масс.% – массовые проценты

г – год

т – тонна

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Одним из основных и наиболее совершенных методов обогащения минерального сырья является флотация. Она применяется при обогащении более 90% добываемых руд цветных металлов, большого количества руд редких, черных, благородных металлов и неметаллических полезных ископаемых [1-2]. Однако качество флотационных концентратов в последнее время существенно снижается из-за вовлечения в переработку труднообогатимых, в частности, тонковкрапленных руд, образующих при их переработке большое количество шламов, оказывающих отрицательное влияние на флотационный процесс [3-5].

Образующиеся при переработке тонко вкрапленных руд шламы подразделяют на первичные и вторичные [6]. Образование первичных шламов зависит от наличия в полезных ископаемых глин, первичных оксидов, хрупких минеральных включений и др. Вторичное шламообразование связано с такими операциями обогащения как дробление и измельчение, так как у тонковкрапленных руд взаимное прорастание извлекаемых и породообразующих компонентов сочетается с очень малыми размерами полезных включений, достигающих микрон, и полное раскрытие возможно лишь при условии измельчения всей руды до размеров частиц 0,04 – 0,02 мм [4; 6]. Но даже при флотации руд, содержащих относительно крупные включения полезных минералов, оптимальное измельчение обычно характеризуется содержанием в пульпе 65-85% класса минус 0,074 мм [4; 6]. Однако большинство добываемых сегодня в Казахстане руд требует гораздо более глубокого измельчения – до 25-30 мкм, а иногда – до 5-10 мкм и менее [3-5], что приводит к потере с тонкими шламами значительной части вскрытых мономинеральных зерен, содержащих обогащаемые металлы.

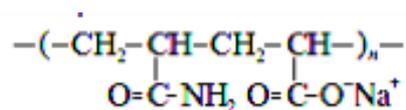
Другим отрицательным моментом накопления тонких шламов в производственных водах обогатительных фабрик является их негативное влияние на процесс разделения твердой и жидкой фаз, что обуславливает недостаточное качество осветленной воды. В результате возникает проблема организации замкнутого водного цикла, также очень актуальная для горно-обогатительных предприятий, которые все больше ощущают дефицит используемой пресной воды.

Одним из перспективных способов повышения эффективности процессов разделения твердой и жидкой фаз (сгущение шламов, осветление воды, фильтрование) является применение флокулянтов различной природы.

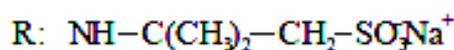
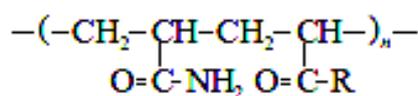
В настоящее время производится большое число синтетических органических высокомолекулярных флокулянтов [7-9], из которых наиболее широкое практическое применение получил полиакриламид (ПАА), который получают в результате обработки акрилонитрила 85% раствором серной кислоты с последующей полимеризацией акриламида [10]. Выпускаемый ПАА имеет молекулярную массу $(1-6) \cdot 10^6$ и хорошо растворяется в воде.

Концентрированные растворы ПАА представляют собой гелеобразную массу, а разбавленные водные растворы характеризуются значительной вязкостью [10].

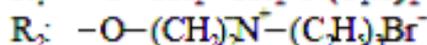
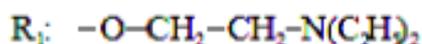
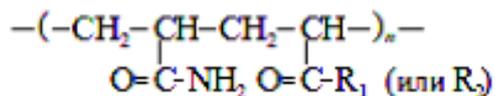
Анионные флокулянты наиболее эффективны при обработке положительно заряженных дисперсий сточных вод хвостов флотации, при обогащении и регенерации полезных ископаемых [11]. К ним относятся сополимер акриламида с акриламидом натрия [12]:



Сополимер акриламида с 2-акриламидо-2 метилпропансульфонатом натрия [12]:



Катионные флокулянты наиболее эффективны для отрицательно заряженных дисперсий при очистке сточных вод, загрязненных органическими продуктами, для концентрирования и обезвоживания осадков. К ним относятся сополимер акриламида с N,N – диэтиламиноэтилметакрилатом (R₁) или его четвертичной солью (R₂) [12]:



В связи с тем, что токсичность ПАА очень велика, то с целью ее понижения на основе ПАА разработаны флокулянты типа Magnafloc LT (с пониженной токсичностью), анионного и катионного типа – сополимеры полиакриламида с молекулярной массой от 10 до 20 млн а.е.м., которые в зависимости от ионности содержат 95-98% полиакриламида и 2-5% сополимеров [10; 13].

К недостаткам высокомолекулярных полимерных флокулянтов следует отнести узкий диапазон их эффективной работы и достаточно высокую стоимость. К тому же все они являются импортными реагентами и их производство в Казахстане отсутствует.

Флокулирующее действие органических полимерных молекул на твердой поверхности в большинстве случаев сводится к гидрофобизации поверхности, повышая флотационный эффект [11]. Близким к этому действием является закрепление неорганических реагентов на твердой поверхности коллоидных частиц. Однако этот процесс более сложный и многие его особенности и детали не могут считаться достаточно изученными. Наиболее распространенным неорганическим флокулянтом является активная кремниевая кислота (АК),

получаемая путем конденсации низкомолекулярных кремниевых кислот или их труднорастворимых солей. АК обладает высокими флокулирующими свойствами, примерно одинаковыми с ПАА, и в то же время значительно дешевле его [14-15]. Растворы АК не относятся к стандартным растворам или продуктам с определенными свойствами, выпускаемыми промышленностью, а готовятся путем обработки жидкого стекла различными реагентами непосредственно перед употреблением [14]. Приготовление АК состоит из трех стадий [14]:

- разложение силикатов натрия с выделением кремниевых кислот (активация жидкого стекла);
- полимеризация (поликонденсация) кремниевых кислот с образованием высокомолекулярных продуктов (созревание активной кремниевой кислоты);
- разбавление полученной активной кремниевой кислоты с целью предотвращения дальнейшей полимеризации и гелеобразования.

Сырьем для получения АК служит силикат натрия (жидкое стекло) и активатор. В качестве активатора применяют: серную кислоту, сульфаты аммония или алюминия, гидросульфаты или гидрокарбонаты и др. [13-16]

Следует отметить, что реагенты на основе жидкого стекла доступны и широко применяются при селективной флотации минералов различных типов руд, в частности при селективной флотации несulfидных минералов, для депрессии силикатных шламов при sulfидной флотации окисленных руд, при флотации серных, графитовых и других руд, а также для флокуляции шламистых частиц хвостовых вод обогатительных фабрик [17-19].

Несмотря на наличие всех предпосылок развития производства импортозамещающих неорганических флокулянтов (наличие сырья и предприятий по производству составляющих компонентов) для процесса сгущения тонких шламов и осветления хвостовых вод обогатительных фабрик, данные реагенты в нашей стране практически не используются из-за отсутствия разработок по их производству и применению.

Целью данной магистерской диссертации является изучение процесса получения неорганического алюмосиликатного реагента и исследование его влияния на процесс сгущения тонких глинистых шламов в зависимости от количества шламистых фракций, количества и способа подачи реагента.

В задачи работы входят:

- изучение гранулометрического состава руды месторождения Бозшаколь;
- тестирование флокулирующих свойств органических флокулянтов типа D-Fluc, применяемых при флотации минерального сырья, и выбор флокулянта сравнения;
- получение алюмосиликатного флокулянта по методике Кульского;
- исследование влияния алюмосиликатного флокулянта на процесс сгущения тонких глинистых шламов в зависимости от количества шламистых фракций, количества и способа подачи реагента.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые исследовано влияние алюмосиликатного флокулянта на процесс сгущения тонких глинистых шламов в зависимости от количества шламистых фракций,

количества и способа подачи реагента и показано, что раздельное дозирование в пульпу компонентов алюмосиликатного флокулянта значительно сокращает время процесса сгущения. При этом скорость осаждения твердых частиц увеличивается на порядок в отличие от случая введения в пульпу алюмосиликатного флокулянта, полученного смешением и вызреванием золя в отдельном смесителе.

Результаты работы апробированы на международной конференции «Сатпаевские чтения – 2021»:

Құдайбергел А.Қ., Капралова В.И. Исследование процесса сгущения тонких глинистых шламов неорганическим алюмосиликатным флокулянтот/Сб. Трудов Сатпаевских чтений «Сатпаевские чтения – 2021». – апрель, 2021, том II. – С.299-302.

1 Литературный обзор

1.1 Современные методы обогащения окисленных и тонковкрапленных руд

Обогащение полезных ископаемых осуществляется с помощью ряда последовательных операций, составляющих схему обогащения. В начале производится дробление и измельчение исходного материала с целью доведения его до размеров, пригодных для существующих обогатительных процессов и аппаратов, а также для разделения сростков и образования частиц индивидуальных минералов [20-22].

Дробление и измельчение осуществляется в несколько стадий, между которыми может производиться выделение готового продукта для уменьшения ненужного переизмельчения. Для дробления применяются дробилки, доводящие материал до крупности 20—30 мм. Тонкое измельчение осуществляется в мельницах. Выделение продуктов нужной крупности производится с помощью грохотов для крупных зёрен и классификаторов для мелких зёрен [23].

Собственно обогащение осуществляется с использованием различных физических и физико-химических свойств минералов. Чисто внешние различия, например, в цвете и блеске разделяемых кусков, используются для рудоразборки с помощью автоматических аппаратов. Различие в естественной и наведённой радиоактивности минералов положено в основу радиометрического обогащения [21].

При разной плотности разделяемых минералов применяются многообразные методы гравитационного обогащения, использующие различие в скорости движения частиц в водной или воздушной среде под действием гравитационных или центробежных сил. К этим методам относятся: отсадка, обогащение в тяжёлых суспензиях, концентрация на столах, обогащение на шлюзах [21-22].

Различие в физико-химических свойствах поверхности разделяемых минералов лежит в основе флотационного метода обогащения [2; 21-22]. Если минералы обладают различной магнитной восприимчивостью, то их разделяют магнитной сепарацией. При различии в электрических свойствах (электрической проводимости, диэлектрической проницаемости, способности заряжаться при трении) минералы разделяют электрической сепарацией [21].

Если руды содержат минералы, изменяющиеся при высокой температуре, например выделяющие кристаллизационную воду, CO_2 , меняющие магнитную восприимчивость, плотность, растрескивающиеся и т.п., то их можно подготовить к последующему обогащению посредством обжига. В ряде случаев обжиг применяется и для удаления вредных примесей. Различие зёрен по крупности, форме, хрупкости и коэффициент трения позволяет разделить их по этим признакам. Однако такие процессы менее эффективны. Все перечисленные методы обогащения полезных ископаемых применяются каждый в отдельности и в разных сочетаниях. Наибольшее распространение имеют гравитационный и флотационный методы [2; 21].

При наличии в полезном ископаемом загрязняющих примесей (главным образом глинистых) в схему обогащения включают промывку [21]. Полученные в результате применения мокрых методов обогащения полезных ископаемых концентраты подвергаются обезвоживанию. Крупнозернистые продукты обычно обезвоживаются на грохотах и дренированием с последующей сушкой. Мелкозернистые продукты вначале сгущают, затем фильтруют и сушат [21].

1.2 Флотационный метод обогащения и его характеристика

Флотация в настоящее время является основным и наиболее совершенным методом обогащения полезных ископаемых. Она применяется при обогащении более 90% добываемых руд цветных металлов, большого количества руд редких, черных, благородных металлов и неметаллических полезных ископаемых [2; 21; 24-25].

Основными направлениями совершенствования и интенсификации процесса флотации являются оптимизация физико-химических и физико-механических условий флотации [25]. Сущность проблемы совершенствования реагентных режимов и оптимизации физико-химических условий в циклах коллективной и селективной флотации заключается в получении определенного соотношения химически закрепившегося и физически сорбированного реагента на поверхности флотируемых и депрессируемых минералов, что достигается за счет регулирования электронных переходов, состава продуктов и скорости взаимодействия реагентов на минеральной поверхности и в объеме пульпы [25].

Повышение качества концентратов при флотации труднообогатимого сырья возможно только на основе удаления труднофлотируемой части в виде промежуточного продукта с последующей доводкой его до требуемых кондиций традиционными или химико-металлургическими способами. Сосредоточение части ценных компонентов в промежуточном продукте позволяет резко поднять качество и эффективность переработки выделяемых селективных концентратов [24-25]. Однако использование данного способа ведет к усложнению технологических схем переработки и соответственно, ее удорожанию.

Получение качественных концентратов осложняется еще и тем, что во флотационной пульпе присутствуют тонкие шламистые частицы. Поскольку флотационная активность шламовых частиц зависит от степени их гидрофобности, то уменьшение толщины гидратных слоев на минеральной поверхности должно повышать флотоактивность шламовых частиц [6]. Одним из возможных методов воздействия на структуру и состояние гидратных слоев на поверхности минеральных частиц является применение неорганических электролитов при флотации. К примеру, флотация сульфидов (галенита, сфалерита) в растворе хлористого натрия и бутилового ксантогената способствует улучшению диффузии анионов ксантогената к поверхности частиц тонко измельченных сульфидных минералов и увеличению количества закрепившегося на них собирателя, что приводит к повышению степени извлечения шламовых частиц [24].

Одним из способов устранения вредного влияния тонких шламистых фракций на процесс обогащения труднообогатимых руд цветных металлов

является процесс обесшламливания пульпы [26-27]. Однако глубокое обесшламливание обычно сопровождается большими потерями полезного компонента с глинистой фракцией руды [28]. С целью глубокой очистки минеральной поверхности от тонких глинистых шламов применяют различные методы механического воздействия: оттирка, звуковые, ультразвуковые колебания и др [2, 21].

Одним из эффективных методов, используемых при обогащении окисленных руд является процесс флокуляции шламистых фракций [29], который можно применять как самостоятельно, так и в сочетании с предварительной сульфидизацией окисленной части минералов. При этом в качестве флокулянтов применяют самые разнообразные высокомолекулярные химические соединения. Большинство авторов [30-31] подразделяет их на три группы: неорганические полимеры, природные высокомолекулярные соединения и синтетические органические полимеры [31-35].

Повышение эффективности флотации шламов пирротина, с которыми связаны основные потери редких и благородных металлов, может быть достигнуто за счет укрупнения частиц путем их селективной флокуляции. В качестве возможных флокулянтов авторами [32] были рассмотрены полностью и частично гидрофобные полимеры.

1.3 Виды флокулянтов

На сегодняшний день одним из наиболее эффективных методов водоочистки от взвешенных веществ и сгущения глинистых шламов в процессах обогащения является физико-химический метод с использованием флокулянтов [7-8].

Флокулянты — это вещества, способствующие расширению оптимальных областей коагуляции при различных значениях (по температуре и кислотности среды), повышающие плотность и прочность образующихся хлопьев, увеличивающие надежность работы и пропускную способность очистных сооружений, снижающие расход коагулянтов. К данному классу соединений можно отнести природные и синтетические водорастворимые органические полимеры, а также некоторые неорганические вещества [7-8] (рисунок 1).

К группе природных флокулянтов относятся крахмал, производные целлюлозы, альгинат натрия, гуаровые смолы, флокулянты, получаемые микробиологическим синтезом и др. Преимуществами природных флокулянтов являются их практически полная безвредность. Однако эти вещества проявляют невысокие флокулирующие свойства [7-8].

К группе неорганических флокулянтов следует отнести активную кремниевую кислоту, представляющую собой частично структурированный раствор диоксида кремния, получаемый путем конденсации низкомолекулярных кремниевых кислот или их труднорастворимых солей [7-8].

Наиболее широкое распространение получили *синтетические полимерные флокулянты*, обладающие высокими флокулирующими свойствами, и используемые в малых дозах для очистки воды и осветления тонкодисперсных суспензий [8-9; 36].

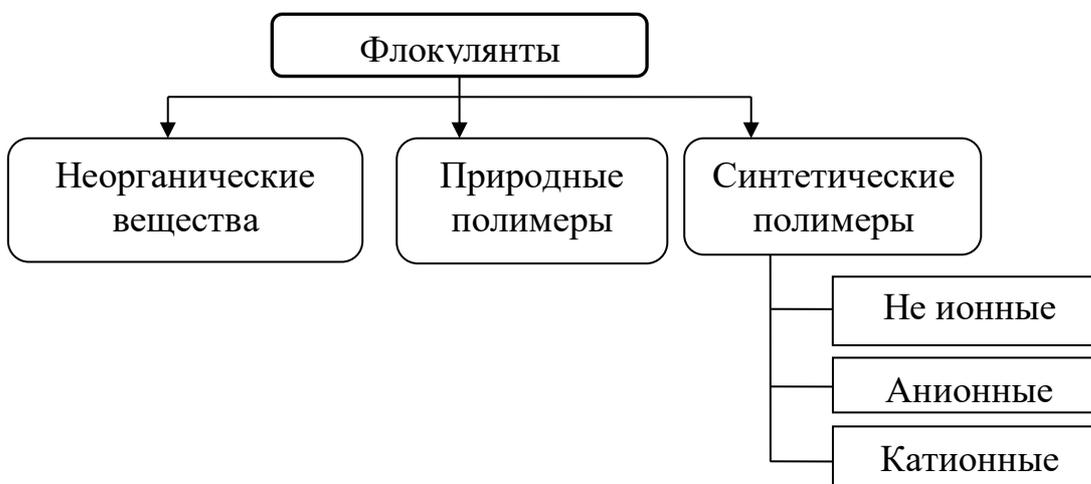


Рисунок 1- Виды флокулянтов

По сравнению с коагулянтами, применение флокулянтов имеет ряд преимуществ, таких как исключение вторичного загрязнения воды продуктами гидролиза коагулянтов, снижение коррозионной активности воды, сокращение количества образующегося осадка, а также повышение его способности к обезвоживанию. Кроме того, флокулянты способны к химическому взаимодействию с растворенными примесями сточных вод с образованием нерастворимых соединений [36].

Теория флокуляции была развита в период 1950 - 1964 гг. французским ученым Ла Мером. В соответствии с этой теорией процесс флокуляции протекает в две стадии [37]:

1. Полимерные молекулы адсорбируются несколькими своими фрагментами к поверхности взвешенных и коллоидных частиц, занимая часть этой поверхности. Вся поверхность частиц принимается за единицу, часть, занятая полимерами - θ ; оставшаяся часть - $(1-\theta)$.

2. На второй стадии происходит вторичная адсорбция, когда оставшиеся свободными фрагменты молекул полимера закрепляются на поверхности других частиц, связывая частицы полимерными мостиками. Это и есть собственно флокуляция.

Наличие на поверхности частиц адсорбированных крупных молекул приводит к тому, что процесс флокуляции начинается на значительно больших расстояниях, чем коагуляция, движение и вращение частиц увеличивает вероятность их столкновения. Увеличение сферы действия и вероятности столкновения приводят к тому, что скорость флокуляции значительно превышает скорость обычной коагуляции [37-38].

Выделяют два основных механизма процесса флокуляции: нейтрализационный и мостичный механизмы. Первый механизм всегда сопровождается компенсацией локальных зарядов на поверхности частиц за счет адсорбции на них противоположно заряженных повторяющихся звеньев макроиона полиэлектролита. При этом на поверхности происходит

формирование «мозаичной» структуры с большим числом контактов реагента с поверхностью частицы. Этот процесс характерен для одноименно заряженных полиэлектролитов [38].

Второй механизм объясняет процесс флокуляции образованием полимерных мостиков между дисперсными частицами и адсорбированным полиэлектролитом. При этом типе взаимодействия адсорбированные макромолекулы полимеров закрепляются на поверхности небольшим числом контактов, слабо деформируются и при этом могут содержать достаточно длинные петли и хвосты, образуя флокулы [38].

Наиболее широко распространенные синтетические органические флокулянты подразделяют на три вида: неионные, анионного и катионного типа [8].

К группе синтетических флокулянтов неионного типа относятся: полиакриламид, полиэтиленоксид, поливинилпиролон, поливиниловый спирт [8-9].

Флокулянты анионного типа - полиакрилат натрия, полистиролсульфоукислота. Анионные полимерные флокулянты могут содержать в цепи карбоксильную группу, сульфогруппу, а также фосфатную группу [8-9].

В таблице 1 представлены катионные флокулянты, выпускаемые в промышленных условиях:

Таблица 1 – Катионные флокулянты, выпускаемые промышленностью

Флокулянт	Функциональная группа	Молекулярная масса	Заряд	Оптимальная доза, мг/л
ВПК-101	$-N^+ (CH_3)_3 Cl^-$	$6 \cdot 10^4$	137	7-10
ПЭИ	$\equiv N, =N, -NH_2$	$3 \cdot 10^4$	+47	2-15
ППС	$\equiv N^+ (CH_3) \cdot (CH_3SO_4^-)$	$1 \cdot 10^6$	+41	5-7
ВПК-402	$=N^+ (CH_3)_3 Cl$	$3 \cdot 10^5$	+16	5
ПДМАЭМА	$-NH^+(CH_3)_2 \cdot (C_2H_5COO^-)$ $-N^+ (CH_3)_2 Cl^-$	$2 \cdot 10^6$ $6 \cdot 10^5$		5

Наиболее эффективными в процессах очистки воды считаются флокулянты катионного типа - полиэтиленимин (ПЭИ), полиакриамид (ПАА), ВА-2, ВА-3, ВПК-101, ВПК-402 и др. [8-9]

При флокуляции взвешенных частиц под действием синтетических флокулянтов возможны следующие механизмы [8]:

- сжатие двойного слоя, снижение агрегативной устойчивости частиц и, как следствие, объединение частиц под действием молекулярных сил;
- химическое взаимодействие макромолекул с веществами, входящими в состав суспензии, или с предварительно добавленными ионами гидролизующихся коагулянтов;

- формирование мостиков полимера между частицами суспензии вследствие закрепления молекулярных цепочек на поверхности частиц.

В настоящее время производится большое число неионогенных, анионных и катионных синтетических органических высокомолекулярных флокулянтов, из которых наиболее широкое распространение получил полиакриламид (ПАА) [10]. ПАА получают в результате обработки акрилонитрила 85% раствором серной кислоты с последующей полимеризацией акриламида [33]. Выпускаемый ПАА имеет молекулярную массу $(1-6) \cdot 10^6$ и хорошо растворяется в воде [10]. Концентрированные растворы ПАА представляют собой гелеобразную массу, а разбавленные водные растворы характеризуются значительной вязкостью. Полиакриламидные флокулянты получили широкое применение для очистки сточных вод химических и нефтехимических производств, в частности при очистке сточных вод от эмульгированных частиц нефтепродуктов и смол, сточных вод производств полистирольных пластмасс, поливинилхлорида, сульфатной целлюлозы и др [39; 31-32].

В связи с тем, что токсичность ПАА очень велика, то с целью ее понижения на основе ПАА разработаны флокулянты типа Magnafloc LT (с пониженной токсичностью), разновидностью которых являются флокулянты типа D-Floc, выпускаемые компаниями Water Treatments Ltd и Ciba Specialty Company (Великобритания). Например, флокулянты Magnafloc LT применяются в процессах осветления и фильтрации. воды, сгущения и обезвоживания осадков глинистых веществ; а D-Floc – при флотации нерудных минералов [40-42].

В работе [43] автором установлено влияние молекулярной массы полимера флокулянтов типа Magnafloc на показатели процесса сгущения шламов. Показано, что меньшая молекулярная масса позволяет флокулянту быстрее распределяться в пульпе и образовывать флокулы, что повышает показатели процесса сгущения. Так, при использовании флокулянта Магнафлок 355 содержание взвешенных частиц в сливе радиального сгустителя снизилось до 600-700 г/л по сравнению с флокулянтом Магнафлок 5250, применение которого обеспечивает содержание взвешенных частиц в сливе 900-1000 г/л. В процессе испытаний также отмечено уменьшение объема флотационной пены на поверхности сгустителя, что обусловлено меньшим анионным зарядом Магнафлок 355 по сравнению с Магнафлоком 5250.

1.4 Флокулянты на основе неорганических полимеров

Одним из перспективных направлений развития флотационных методов обогащения минерального сырья, и, в частности, снижения отрицательного воздействия тонких шламов на флотационный процесс, в настоящее время является развитие исследований, направленных на изучение процессов коагуляционного объединения или флокуляционного агрегирования тонких частиц под воздействием различных реагентов, в основе которых лежит механизм гидрофобных взаимодействий [44-46].

Анализ современного состояния решаемой проблемы свидетельствует также о том, что наиболее перспективными направлениями качественной

переработки труднообогатимых руд цветных металлов являются разработка технологии получения и использование новых эффективных импортозамещающих реагентов на основе отечественного сырья [46], в том числе неорганических флокулянтов, позволяющих интенсифицировать процесс сгущения тонких глинистых шламов, что позволит нивелировать их отрицательное влияние на флотационные процессы и обеспечить создание замкнутого водного цикла обогатительных фабрик.

Наиболее распространенным неорганическим флокулянтом является реагент, получаемый путем конденсации низкомолекулярных кремниевых кислот или их труднорастворимых солей, который называют активированной кремнекислотой (АК), и который представляет собой частично структурированный коллоидный раствор (золь) двуокиси кремния, отвечающий общей формуле $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Практические задачи, решаемые при приготовлении АК из жидкого стекла сводятся к получению достаточно полимеризованной кремнекислоты и к предотвращению застудневания полученного раствора [14].

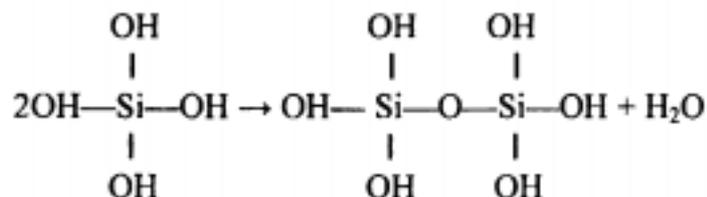
Силикатные растворы, в частности, растворимое жидкое стекло напрямую не используют в качестве неорганического флокулянта из-за неоднородности состава раствора, а также возможного гелеобразования при его хранении. Согласно работам Айлера [47], «растворимый кремнезем» включает монокремневую кислоту $\text{Si}(\text{OH})_4$, силикатные HSiO_3^- , SiO_3^{2-} , $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$ и т. д. и фторсиликатные ионы SiF_6^{2-} , при этом в зависимости от pH среды, преобладают те или иные формы растворимого кремнезема. При $\text{pH} > 13,6$ основными анионами силиката в растворе являются ионы SiO_3^{2-} . При понижении среды pH до 10,9 преобладают ионы $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$, а при pH 10,9 - 9,0 преобладают ионы полисиликатов, т.е. с понижением pH полимеризация кремнезема усиливается. При pH 10,9 - 13,6 образуются дисиликаты, при pH 9,0 - 10,9 - полисиликаты, а при $\text{pH} < 9$ в растворе остается лишь небольшое количество монокремневой кислоты.

АК представляет собой анионный полиэлектролит [47]. Степень полимеризации макромолекул (размер частиц) активной кремниевой кислоты, изоэлектрическая точка и свойства растворов АК зависят от способов их получения, продолжительности и условий хранения растворов и других факторов. Растворы АК не относятся к стандартным растворам, продуктам с определенными свойствами и не выпускаются промышленностью, а готовятся путем обработки жидкого стекла различными реагентами непосредственно перед употреблением [14].

В большинстве случаев сырьем для получения АК является жидкое стекло - водный раствор трисиликата натрия, содержащий 22,9-39,0 масс. % SiO_2 и 8,6-14,6 масс. % Na_2O . Состав силиката натрия выражают формулой $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, при этом молярное отношение $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ называют силикатным модулем (М). Для приготовления АК рекомендуется применять жидкие стекла с $M > 2,9$, а также использовать силикат кальция и трисиликат магния [14]. Для разложения силикатов натрия используют вещества, вытесняющие слабую кремниевую кислоту из ее солей: минеральные кислоты (HCl , H_2SO_4 и др.), диоксиды углерода и серы (CO_2 , SO_2), кислые соли (NaHSO_4 , NaHSO_3 , NaHCO_3), а также

соли, образующие кислоты в процессе гидролиза [Na_2SiF_6 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, AlCl_3 , FeCl_3 , FeSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и др.] [14]. В качестве активатора разложения жидкого стекла с успехом можно использовать хлор.

В результате разложения силикатов при добавлении указанных реагентов происходит нейтрализация раствора и снижение рН до 5-8, то есть достигаются условия, при которых реакция поликонденсации кремниевых кислот протекает с большей скоростью. Эту реакцию можно представить схемой [14]:



Скорость этой реакции возрастает по мере увеличения концентрации кремниевой кислоты (концентрация исходного жидкого стекла составляет обычно 1,5-2,0%), содержания некоторых ионов в системе (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+}) и температуры; она сложным образом зависит от значения рН раствора [14]. Существенное влияние на образование АК оказывает и характер перемешивания системы. Интенсивное перемешивание обеспечивает равномерное разложение силикатов и полимеризацию кислот во всем объеме раствора, а также препятствует образованию разветвленных структур и гелеобразованию. По завершении перемешивания раствора силиката с активатором система выдерживается в течение 0,5-2 часов для вызревания золь. Затем созревший золь разбавляют водой до содержания SiO_2 0,5-0,75% и используют в качестве рабочего раствора в течение 8-10 ч. Продолжительность созревания АК зависит от концентрации и значения рН раствора жидкого стекла после добавления реагента. Как правило, с увеличением концентрации SiO_2 и с понижением рН (в области рН > 7) время, необходимое для приготовления АК, сокращается [14].

Исходя из разнообразия реагентов-активаторов существует большое количество способов получения неорганических флокулянтов на основе АК.

Так, авторами [48] разработана технология получения нового реагента – алюмосиликатного флокулянта и определена технологическая целесообразность его использования совместно с алюмосодержащими коагулянтами при очистке природных и сточных вод.

Алюмокремниевый коагулянт-флокулянт АКФК пригоден для осветления и очистки вод хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для реагентной обработки оборотных и сточных вод предприятий транспорта и коммунального хозяйства, нефтеперерабатывающей, пищевой и машиностроительной промышленности. Он удаляет из жидкой фазы взвешенные и коллоидные вещества, нефтепродукты, СПАВ, липиды, ионы тяжелых металлов, радиоактивные вещества, существенно снижает удельное сопротивление фильтрации осадков [49]. При этом его доза может быть существенно ниже, чем у аналогов (например, сульфата алюминия). Кроме того, использование АКФК совместно с катионоактивными полимерами дает возможность очищать воду от таких загрязнителей (соли щелочных и щелочноземельных металлов), которые

не подвергаются очистке традиционными коагулянтами и флокулянтами [49]. Предельная концентрация АКФК в воде составляет 20 мг/л, что во много раз превышает предельную концентрацию алюмосодержащих коагулянтов. Высокая эффективность АКФК обусловлена с одной стороны, аддитивными (самостоятельными) свойствами компонентов композита, а с другой, формированием в результате химического взаимодействия алюмокремниевых цеолитоподобных структур с развитой межфазной поверхностью и повышенной адсорбционной способностью. Предполагаемая схема образования таких структур изображена на рисунке 2 [49].

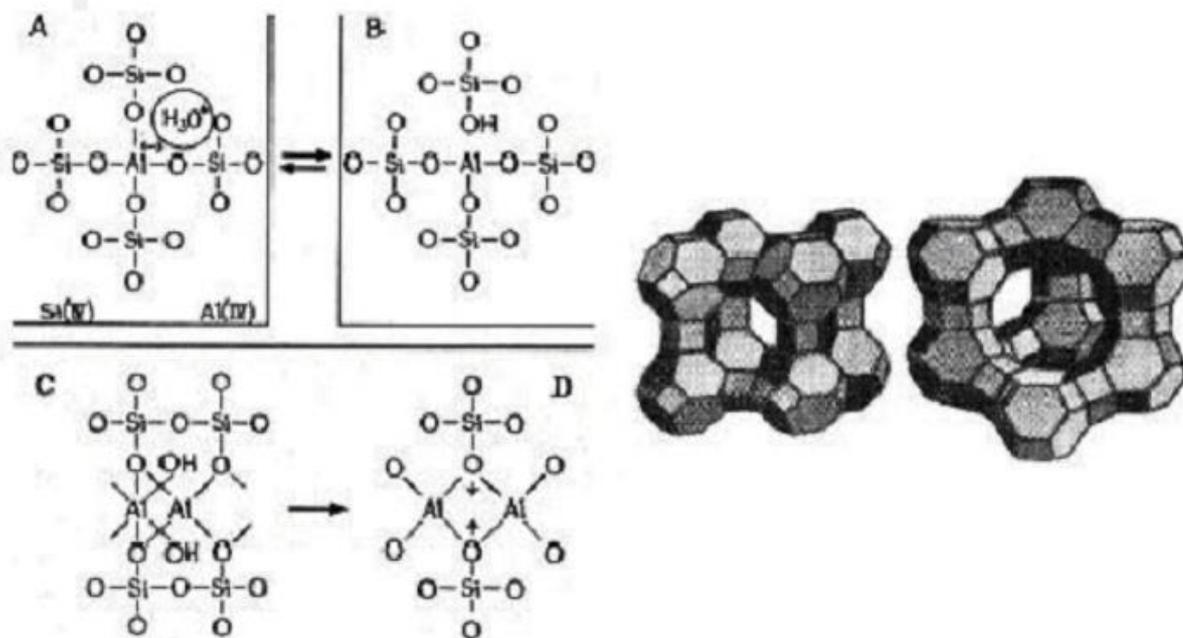


Рисунок 2 – Цеолитоподобные структуры и механизм их образования

Сущность изобретения авторов [50] заключается в том, что способ получения алюмосиликатного флокулянта включает приготовление смеси из гидратированного силиката натрия и кристаллогидрата сульфата алюминия, при этом исходные компоненты смешивают в сухом виде в соотношении (гидратированный силикат натрия : сульфат алюминия) = (7,14 : 4,0), при использовании полученную смесь активируют водой в соотношении (смесь : вода) = (1 : 6,62), величина частиц в смеси не должна превышать 0,5 мм, при этом затворение водой производят с рН 6,5 - 8,5 и общей щелочностью 4,7 - 5,3 мг экв/л, температурой 10 - 20°C, в условиях механического перемешивания с градиентом скорости не более 500 с⁻¹ в течение 0,75 - 1 ч.

Авторы [51] предлагают способ получения алюмосиликатного коагулянта для очистки сточных вод от взвешенных веществ путем переработки нефелина – отходов производства минеральных фосфорных удобрений.

В работе [52] предлагается использовать при очистке сточных вод от красителей природный алюмокремниевый коагулянт-флокулянт, получаемый на

основе алюмосиликатного сырья. Реагент сочетает в себе коагуляционную и флокуляционную активность, что обеспечивает высокую степень очистки воды.

Авторами [53] предлагается способ получения неорганического алюмокремниевого флокулянта-коагулянта и его использование для очистки воды в системах хозяйственно-питьевого и промышленного назначения. Для осуществления способа получения флокулянта-коагулянта проводят обработку алюмокремниевого сырья в водной среде серной кислотой, отделяют жидкую фазу от твердой и обезвоживают жидкую фазу. Обработку сырья ведут концентрированной 96%-ной серной кислотой при соотношении компонентов, обеспечивающих получение 20-30% водного раствора флокулянта-коагулянта. Обезвоживание полученного концентрированного водного раствора флокулянта-коагулянта с получением сухого продукта ведут упариванием под вакуумом при температуре ниже точки кипения воды или диспергированием в высокотемпературном потоке газа-теплоносителя. Способ очистки воды алюмокремниевым флокулянт-коагулянт ведут в присутствии активирующей добавки - воздуха с последующим отделением образующегося осадка. Алюмокремниевый флокулянт-коагулянт используют в виде порошка в количестве 50-100 мг/л или водного 0,1-2,0% раствора в количестве 25-100 мг/л. За счет увеличения концентрации раствора флокулянта-коагулянта и уменьшения количества отгоняемой влаги сокращаются энергозатраты, увеличивается срок хранения продукта до 6 месяцев, упрощается процесс, повышается степень очистки вод с 78% до 90% [53].

Заявлен [54] способ получения алюмосиликатного флокулянта, включающий приготовление растворов из силиката натрия и сульфата алюминия, отличающийся тем, что вначале приготавливают смесь и компоненты смешиваются в сухом виде в соотношении (гидратированный силикат натрия : сульфат алюминия) = (7,14 : 4,00), при использовании полученная смесь активируется водой в соотношении (смесь : вода) = (1 : 6,62), при этом величина частиц в смеси не должна превышать 0,5 мм, затворение смеси производится водой с рН 6,5 - 8,5 и общей щелочностью 4,7 - 5,3 мгэкв/л, с температурой 10 - 20°C, в условиях механического перемешивания с градиентом скорости не более 500с⁻¹ в течение 0,75 - 1 ч. [54].

В работе [55] рассмотрен способ получения алюмосиликата щелочноземельного металла, включающий механическую активацию и последующую термообработку смеси кислородсодержащих соединений щелочноземельного металла, алюминия и кремния, отличающийся тем, что в качестве кислородсодержащего соединения щелочноземельного металла используют силикат щелочноземельного металла, в качестве кислородсодержащих соединений алюминия и кремния используют гидроксид алюминия и гидротированный оксид кремния или алюмосиликат, взятые в стехиометрических количествах, активацию проводят в измельчительном аппарате в течение 1 ч в присутствии связанной или свободной воды, взятой в количестве 10-50 от массы смеси.

Авторами [56] предложен способ получения неорганического коагулянта-флокулянта, для осуществления которого проводят разложение

алюмосиликатсодержащего сырья серной или соляной кислотой с последующим выделением из реакционной массы полученного раствора и введением в него дополнительного реагента до получения целевого продукта. При разложении алюмосиликатсодержащего сырья в реакционную массу дополнительно вводят неорганическое фторсодержащее соединение. В качестве дополнительного реагента используют водный раствор неорганической соли трехвалентного металла. При этом в качестве неорганического фторсодержащего соединения используют фторид натрия, водный раствор фтористоводородной кислоты или гексафторкремниевой кислоты, натриевую соль гексафторкремниевой кислоты, а в качестве неорганической соли трехвалентного металла используют хлорид трехвалентного железа. Предложенный способ обеспечивает повышение эффективности очистки воды различного происхождения и состава при использовании полученного коагулянта-флокулянта [56].

1.5 Реагенты на основе жидкого стекла, используемые в процессах обогащения

Жидкое стекло ($\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$) - наиболее широко используемый регулятор флотации несulfидных и некоторых sulfидных руд [57-58]. Рабочие растворы применяемого при флотации технического жидкого стекла с модулем выше двух представляют собою сложную коллоидно-молекулярно-ионную систему. В них содержатся ионы OH^- , Na^+ , HSiO_3^- , SiO_3^{2-} , молекулы H_2SiO_3 и мицеллы, состоящие из ядра и окружающих его молекул и ионов кремниевой кислоты и гидроокислов. Полагают, что получившаяся в результате гидролиза монокремниевая кислота H_2SiO_3 образует в значительной части структуры $\text{Si}(\text{OH})_4$, которые, полимеризуясь, создают более сложные мицеллы. Флотационное действие растворимого жидкого стекла изучалось многими исследователями с учетом влияния природы минералов, концентрации регулятора, pH среды и раствора жидкого стекла, его температуры, времени контакта с рудной суспензией. Фактические данные и представления о механизме действия регулятора опубликованы в ряде работ [18; 27; 57-58]. Отмечено его депрессирующее действие на малахит, церуссит, апатит, пиролюзит, андалузит, кварц и многие другие минералы.

Флотационное действие силиката натрия разнообразно - от активирующего действия малых концентраций жидкого стекла (флюорит) до резкой депрессии теми же концентрациями (барит). Средние концентрации (до 1000 г/т) депрессируют минералы также с различной интенсивностью: весьма сильно — кальцит, слабо — шеелит, повеллит и другие. Наконец, есть минералы, на флотацию которых жидкое стекло действует слабо - гипс, полигалит. Установлено, что чем мельче частицы минерала, тем слабее депрессирует их та же концентрация регулятора [54].

Экспериментально установлена адсорбция компонентов жидкого стекла на ряде минералов [18; 27]. Интенсивность адсорбции близка к интенсивности депрессирующего действия. Устойчивость закрепления на отдельных минералах, по экспериментальным данным [54], также различна

и согласуется с интенсивностью депрессии. Физическими следствиями адсорбции силиката натрия на поверхности минеральных частиц является их гидрофилизация, выражающаяся в резком замедлении времени их прилипания к пузырьку воздуха.

Отмечается избирательность действия силиката натрия на флюорит и кальцит, характерная и для их флотации в его присутствии [59]. Меньшая устойчивость закрепления компонентов силиката натрия на поверхности флюорита согласуется и с данными о влиянии отмывки адсорбированного силиката на время прилипания. К числу физических следствий действия силиката натрия относится стабилизация минеральных суспензий. Она весьма интенсивна для флюорита и кальцита, хотя флотационное воздействие малых концентраций силиката натрия различно. Силикат натрия также существенно влияет на устойчивость пенного слоя [59].

Кислые растворы силиката натрия оказались еще более эффективными депрессорами для ряда минералов, чем щелочные. По данным А. И. Берлинского [58], весьма интенсивная депрессия кальцита наступает при расходах подкисленного силиката натрия, в 8—10 раз меньших, чем обычных щелочных его растворов (таблица 2).

Таблица 2 - Влияние подкисленного жидкого стекла (рН 1,1) на флотацию минералов олеиновой кислотой (300 г/т) [58]

Минералы	Расход силиката натрия, г/т	Извлечение минерала (-0,2+0,15 мм), %
Кальцит	0	97
	25	33
	60	0
Шеелит	0	87
	25	77
	60	66

Депрессия связана с интенсивной адсорбцией мицелл силиката натрия из его золя [60]. При переходе кислых микроучастков адсорбированного реагента на поверхности в щелочную зону (рН пульпы 9,5) при достижении рН 5—7 происходит образование геля, весьма сильно гидрофилизующего эти участки минеральной поверхности. Этот метод активации силиката натрия получил применение при флотации кальцито-шеелитовых руд на ряде фабрик. Интенсивное депрессирующее действие подкисленного силиката натрия было установлено и на других рудных комплексах [60].

1.6 Анализ проведенного литературного обзора

Из анализа научно-технической литературы и источников Интернета следует, что проблема использования флокулянтов в процессах интенсификации

обогачительных процессов, осветления воды и создания замкнутого водооборота обогачительных фабрик является важной и актуальной. При этом в качестве реагентов в настоящее время используют в основном органические соединения, которые импортируются из ближнего и дальнего зарубежья, что существенно удорожает процесс обогащения полезных ископаемых и ведет к расходу золото-валютных запасов нашего государства.

Неорганические реагенты на основе отечественного сырья, за исключением жидкого стекла, применяемого в качестве депрессора, практически не используются из-за отсутствия физико-химических и технологических основ их получения и применения.

2 Методики и методы исследований

2.1 Характеристика исходных материалов и методы анализа

Для проведения исследований в работе использовали следующие материалы:

1. Сульфат алюминия квалификации «ч»;
2. Ортофосфорная кислота, 85%-ная, квалификации «хч»;
3. Раствор трисиликата натрия (жидкое стекло) – ТУ 2386-001-5424507-2000.

Для получения ИК-спектров исследуемое вещество (0,7-1,0 мг) вводили в навеску бромистого калия (0,25 г) и после тщательного перемешивания прессовали в таблетку [61-62]. Запись инфракрасных спектров поглощения производили на Фурье спектрометре “Nicolett 5700” в области 400-3600 см⁻¹.

2.2 Методики исследования

2.2.1 Синтез флокулянта на основе активной кремнекислоты вели путем смешивания 1,5-2,0%-ных растворов жидкого стекла с активатором 2%-ным раствором сульфата алюминия при интенсивном перемешивании, обеспечивающим равномерное разложение силиката и полимеризацию кремниевых кислот во всем объеме раствора [14]. Перемешивание также препятствует образованию разветвленных структур и гелеобразованию. Активированный раствор выдерживали в течение определенного времени для созревания (20 минут) и затем разбавляли до 0,1% (в пересчете на SiO₂) для прекращения дальнейшей полимеризации кремниевой кислоты и сохранения флокулирующих свойств.

2.2.2 Флокулирующую активность полученных неорганических флокулянтов определяли на производственных пульпах, приготовленных путем смешения измельченной руды месторождения Бозшаколь с водой. В мерные цилиндры объемом 1 л наливали определенное количество пульпы и на ее поверхность медицинским шприцом без иглы вводили рассчитанное количество 0,1% раствора исследуемого флокулянта. Расчет производили на количество твердого в сгущаемой пульпы. Перемешивание осуществляли путем переливания пульпы из цилиндра с пульпой в пустой цилиндр 6-8 раз в зависимости от плотности пульпы или механическим перемешиванием. Затем включали секундомер и фиксировали скорость сгущения твердой составляющей пульпы по изменению положения границы осветленного слоя во времени. Качество осветления раствора при различных расходах флокулянта определяли по изменению интенсивности светопропускания осветленного слоя [64]. Для чего декантировали аликвоту осветленной части, помещали ее в кювету (l = 10 мм) и измеряли светопропускание при длине волны 670 нм на фотоэлектроколориметре КФК -3.

2.2.3. Флокулирующую способность исследуемых реагентов также изучали по эффективности расслоения рудных суспензий, которую определяли по скорости перемещения границы раздела фаз осадок – жидкость. Исследования проводили при определенном и постоянном отношении Т:Ж. Для испытаний навеску руды смешивали с водой и помещали в мерный цилиндр объемом 500 см³. На цилиндр с внешней стороны наклеивали вертикально узкую полоску

миллиметровой бумаги. В суспензию добавляли реагент, содержимое перемешивали многократным перевертыванием, затем ставили на стол и одновременно пускали секундомер. Через некоторое время появлялась ясно заметная граница осаждающейся твердой фазы, выше которой находится осветленный слой воды. На цилиндре отмечали границу оседающей твердой фазы и замечали продолжительность образования этого слоя. В дальнейшем наблюдали скорость опускания границы твердого и через определенные промежутки времени отмечали его границу. По результатам наблюдений строили график в координатах «высота слоя осветленной воды, мм – время осаждения твердого, минут (час)» (рисунок 3) [63].

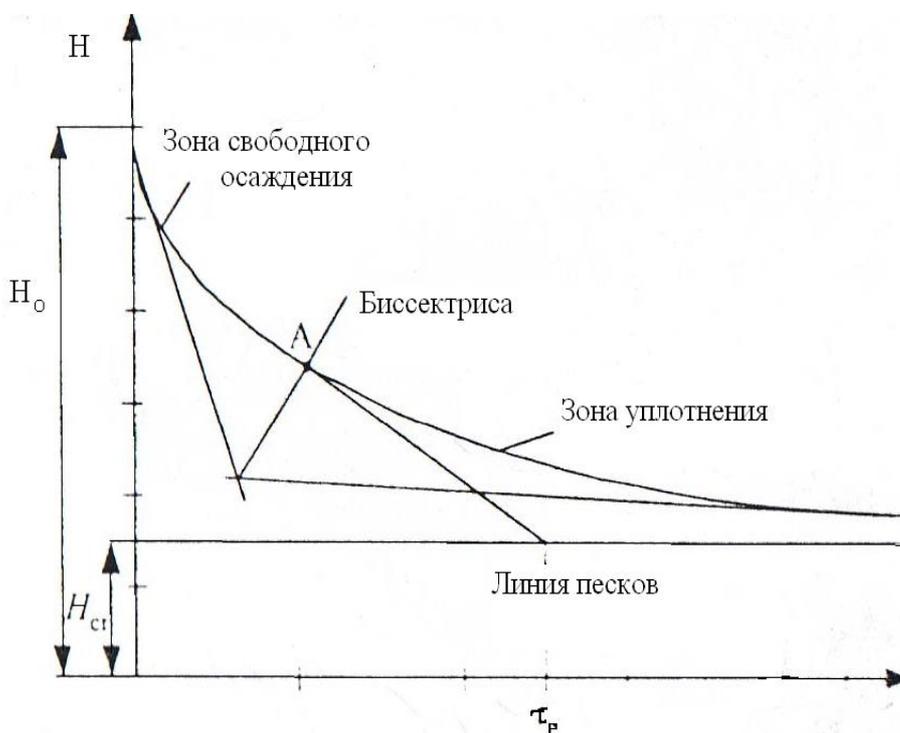


Рисунок 3 - Экспериментальная зависимость высоты осветленного слоя от продолжительности осаждения

На графике находили критическую точку A с помощью биссектрисы углов наклона кривой в зоне свободного осаждения и первоначальной стадии зоны уплотнения. В точке A проводят касательную до пересечения с линией песков, абсцисса которой даст расчетное время τ_p осаждения [63].

2.2.4 Гранулометрический состав подготовленных образцов исследования определяли методом ситового и седиментационного анализа по методике [65]. Для разделения по крупности зерен мельче 0,1 мм седиментационный анализ проводили методом декантации, для чего из класса мельче 0,074 мм отбирали пробы массой 25-50 г затем отобранную пробу высыпают в широкий цилиндр с водой и энергично перемешивают стеклянной палочкой с резиновым наконечником. Дают зернам осесть до определенной метки (за время,

рассчитанное по скорости падения частиц заданной крупности по закону Стокса) и сливают воду из цилиндра выше данной метки с помощью сифона. При этом из цилиндра с водой в стакан выносятся зерна мельче заданной (рассчитанной) крупности, которые не успели осесть до данной метки. Вначале рассчитывают время для наименьшей крупности. После первого сливания мелких зерен в цилиндр снова наливают воду до верхней метки, взбалтывают и перемешивают пульпу. Дают зернам осесть за заданное время и снова сливают воду до нижней метки. Операцию повторяют до тех пор, пока слив не станет чистым. Слитые в стакан продукты высушивают при 105°C и взвешивают, находят выход данного класса в процентах.

2.2.5 Флокулирующую активность неорганических флокулянтов, полученных в результате активации растворов жидкого стекла сульфатом алюминия при различных соотношениях $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ оценивали спектрофотометрическим методом [64] по зависимости эффективности осветления суспензии от концентрации флокулянта для чего декантировали аликвоту осветленной части, помещали ее в кювету ($l = 10$ мм) и измеряли прозрачность осветленной части (%) при длине волны 670 нм на фотоэлектроколориметре КФК -3.

3 Основные результаты работы и их обсуждение

3.1 Изучение гранулометрического состава исходной пробы медной руды месторождения Бозшаколь

Изучение гранулометрического состава осуществляли на образце технологической пробы медной руды месторождения Бозшаколь крупностью 100% минус 100 мкм, что соответствует крупности рудных продуктов, подвергаемых флотационному обогащению и сгущению на предприятии.

Изучение гранулометрического состава выполняли с использованием методов ситового и седиментационного анализов (глава 2).

Для выделения из подготовленных образцов классов крупностью – 100 + 71 мкм и – 71 + 50 мкм использовался мокрый рассев с отмывкой. Для дальнейшего разделения на классы крупностью менее 50 мкм использовали седиментационный анализ, основанный на различиях в скоростях падения частиц и подчиняющихся закону Стокса. Седиментационный анализ осуществляли в разбавленной суспензии, содержащей не более 1% твердого и при значениях чисел Рейнольдса $Re < 0,2$. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Гранулометрический состав руды месторождения Бозшаколь

Классы крупности, мкм	частный выход, %	суммарный по (+), %	суммарный по (-), %
– 100 + 71	7,41	7,41	100,0
– 71 + 50	14,81	22,22	92,59
– 50 + 30	16,67	38,89	77,78
– 30 + 20	12,96	51,85	61,11
– 20 + 10	22,22	74,07	48,15
– 10 + 0	25,93	100,0	25,93
Итого	100,0	–	–

Из результатов следует, что количество класса крупностью минус 71 мкм в руде месторождения Бозшаколь составило 92,59%, а количество класса минус 50 мкм - 77,78%. Количество тонких и шламистых классов крупностью менее 20 мкм в руде составило 48,15%, то есть, практически половина продукта представлена классами, которые трудно подвергаются осаждению без использования добавок флокулирующих реагентов.

На основании этого можно сказать, что данную технологическую пробу руды можно взять за основу в качестве объекта исследований по изучению процесса сгущения глинистых шламов алюмосиликатным флокулянтном, что позволит объективно оценить механизм, кинетику протекания и выявить общие закономерности процесса.

3.2. Исследование флокулирующих свойств органических флокулянтов

Прежде чем испытывать неорганический алюмокремниевый флокулянт мы провели исследование флокулирующих свойств флокулянтов типа D-Флос, выпускаемых компаниями Water Treatments Ltd и Ciba Specialty Company (Великобритания), которые в настоящее время имеются в компании “KazMinerals Bozshakol”.

Так как химический состав данных реагентов производители не расшифровывают, то нами был проведен ИК-спектроскопический анализ органических флокулянтов D-Флос-4003, D-Флос-5076, D-Флос-5505 (рисунки 4-6).

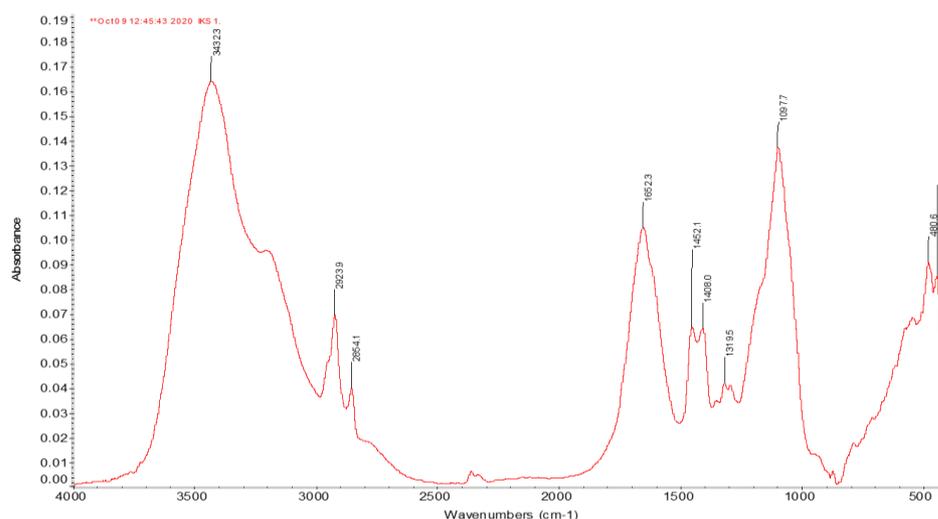


Рисунок 4 – ИК-спектр органического флокулянта D-Флос-4003

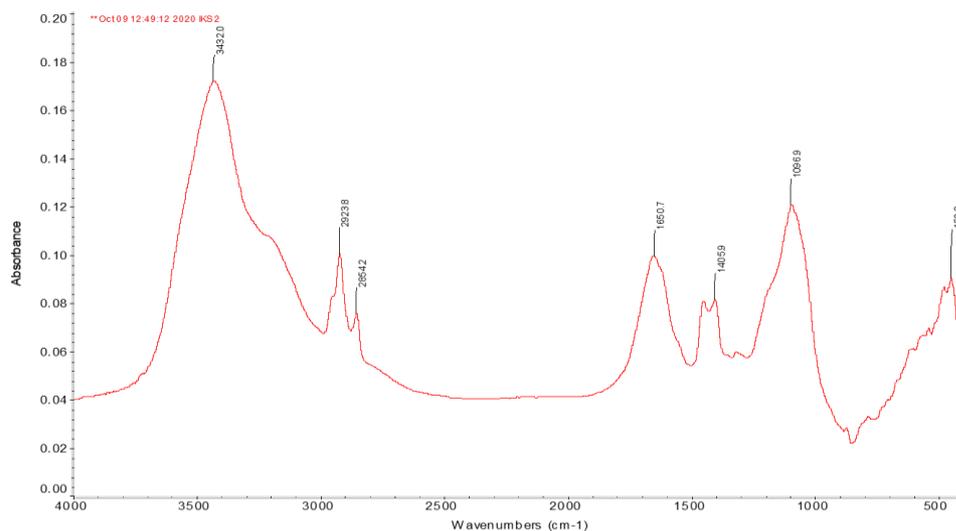


Рисунок 5 - ИК-спектр флокулянта D-Флос-5076



Рисунок 6 - ИК-спектр флокулянта D-Floc-5505

Установлено, что ИК-спектры всех реагентов содержат полосы поглощения валентных колебаний СН- и СН₃-групп (2800-2950 см⁻¹), карбоксильных групп СОО⁻ (1650 см⁻¹) и аминогрупп (1400-1450 см⁻¹), то есть они, содержат как анионные группировки – СОО⁻, так и аминогруппы – NH₂.

Тестирование флокулирующих свойств этих органических реагентов проводили, вводя определенное количество реагента в пульпу, приготовленную на технологической пробе руды в цилиндрах объемом 1000 см³ при соотношении Т:Ж = 1:10. Пульпу с реагентом перемешивали и затем во времени наблюдали процесс осаждения твердого в пульпе. Зависимость прозрачности осветленной воды от времени и концентрации органических флокулянтов исследовали с использованием фотоколориметра КФК-3 при длине волны 670 нм (глава 2). Результаты показаны в таблицах 4-5.

Из результатов следует, что эффективность процесса флокуляции твердых частиц пульпы в большей степени зависит от молекулярной массы используемого органического реагента, чем от его концентрации. Наиболее эффективен флокулянт с меньшей молекулярной массой D-Floc-4003, у которого высокая степень осветления воды или ее прозрачность – 89-90% отмечается уже через 180 сек при концентрации флокулянта 0,25-0,5 мг/г (таблицы 4-5). Прозрачность осветленного слоя воды в пульпе с добавкой флокулянта D-Floc-5076 практически совпадает с прозрачностью воды в осветленном слое пульпы без добавки реагентов, тогда как прозрачность осветленного слоя воды в пульпе с добавкой флокулянта D-Floc-5505 в 1,5 раза ниже, чем прозрачность воды в осветленном слое пульпы без добавки реагентов, то есть этот реагент практически не проявляет флокулирующих свойств по отношению к твердым частицам в данном случае.

Таким образом, проведенные испытания позволили отобрать органический флокулянт, по свойствам которого в дальнейшем будем оценивать

эффективность неорганического алюмокремниевого флокулянта - D-Floc-4003 при концентрации 0,25-0,5 мг/г.

Таблица 4 - Кинетика процесса флокуляции твердых частиц с использованием органических флокулянтов при концентрации реагентов – 0,25 мг/г

Время, сек	Прозрачность, %			
	Исходная пульпа без реагентов	Пульпа + D- Floc-4003	Пульпа + D- Floc-5076	пульпа + D- Floc-5505
60	12	62	20	20
120	37	81	27	29
180	45	89	38	32
300	53	90	52	45
600	58	92	58	49
900	63	92	65	55
1500	63	93	66	61
2100	64	93	70	65
3000	67	94	70	65
4200	73	94	73	66
5400	75	94	74	65

Таблица 5 - Кинетика процесса флокуляции твердых частиц с использованием органических флокулянтов при концентрации реагентов – 0,5 мг/г

Время, сек	Прозрачность, %			
	Исходная пульпа без реагентов	Пульпа + D- Floc-4003	Пульпа + D- Floc-5076	пульпа + D- Floc-5505
60	12	65	17	16
120	37	87	28	27
180	45	90	40	29
300	53	92	53	42
600	58	93	57	49
900	63	94	69	53
1500	63	95	70	59
2100	64	96	72	65
3000	67	97	72	67
4200	73	98	75	62
5400	75	98	76	60

3.3 Исследование процесса флокуляции тонких глинистых шламов неорганическим алюмосиликатным флокулянтom

Алюмосиликатный флокулянт готовили по методике Л.А.Кульского [13] путем смешивания 1 объема 2%-ного раствора, приготовленного из исходного жидкого стекла (плотность 1,33 г/см³, содержание SiO₂ 29,4%) с 1 объемом 2%-ного раствора сульфата алюминия – флокулянт №1 с соотношением SiO₂:Al₂O₃ =1:1 и флокулянт №2 с соотношением SiO₂:Al₂O₃ =1:2 путем смешивания 1 объема раствора жидкого стекла с 2 объемами 2%-ного раствора сульфата алюминия. Смесь оставляли на 20 минут для вызревания и затем разбавляли до 1 л дистиллированной водой (глава 2).

Исследование процесса флокуляции тонких шламистых классов неорганическим алюмосиликатным флокулянтom проводили при комнатной температуре на пульпе, приготовленной из технологической пробы руды с соотношением Т:Ж равным 1:10. Расход флокулянта рассчитывали на количество твердого в пульпе. Полученные данные показаны в таблице 6.

Таблица 6 - Кинетика процесса флокуляции твердых частиц с использованием органического и неорганического флокулянтов

Время, сек	Концентрация Al-Si флокулянта, мг/г	Прозрачность, %			
		Исходная пульпа без реагентов	Пульпа + D-Floc-4003, 0,5 мг/г	Пульпа + флокулянт №1 SiO ₂ :Al ₂ O ₃ =1:1	Пульпа + флокулянт №2 SiO ₂ :Al ₂ O ₃ =1:2
60	0,2	16	65	15	17
120		37	83	33	40
180		45	90	45	48
300		53	92	52	58
60	0,5	12	65	23	29
120		37	87	29	45
180		45	90	51	57
300		53	92	59	66
60	1,0	12	65	19	37
120		37	87	48	65
180		45	90	62	77
300		53	92	70	82

Из анализа полученных результатов (таблица 6) следует, что неорганический флокулянт №1 с соотношением SiO₂:Al₂O₃ =1:1 при норме расхода от 0,2 до 0,5 мг/г практически не проявляет флокулирующих свойств в данных условиях. Увеличение его расхода до 1,0 мг/г способствует процессу флокуляции твердых частиц пульпы и приводит к небольшому осветлению

жидкой фазы, прозрачность осветленного слоя которой при времени испытаний 300 сек составляет 70%.

Более эффективным из неорганических алюмосиликатных флокулянтов является флокулянт №2 с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ при норме расхода 1,0 мг/г. при которой прозрачность осветленного слоя воды за время испытаний составила 82% (таблица 6), что довольно близко к флокулирующей активности органического флокулянта D-Floc-4003 при норме расхода 0,5 мг/г, прозрачность осветленного слоя воды при использовании которого за время испытаний 300 сек составила 92%.

Исходя из полученных результатов, дальнейшие эксперименты проводили используя неорганический флокулянт №2 с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$. Было изучено влияние алюмосиликатного флокулянта на процесс сгущения тонких шламистых классов в зависимости от их количества. Для этого были приготовлены из технологической пробы руды пульпы с содержанием твердого 35% и 55%. Флокулирующую способность алюмосиликатного флокулянта №2 изучали по эффективности расслоения рудных суспензий, которую определяли по скорости перемещения границы раздела фаз осадок – жидкость (глава 2). Полученные результаты представлены в таблицах 7-9.

Таблица 7 – Зависимость высоты слоя осветленной воды от времени и концентрации алюмосиликатного флокулянта №2 при его добавке в пульпу с содержанием твердого 55%.

Время осаждения твердого, минут	Концентрация флокулянта, мг/г			
	0	0,25	0,50	1,00
Высота слоя осветленной воды, мм				
60	5	5	8	18
120	9	9	12	32
180	12	12	18	48
240	18	18	22	54
360	22	22	28	65
480	26	26	31	80

По результатам таблицы 7 были построены кинетические кривые, по которым рассчитана скорость осаждения твердых частиц в пульпе с содержанием твердого 55% (глава 2). В области концентраций флокулянта №2 0-0,25 мг/г:

$$0,029\text{ м}/9,2 \text{ час} = 0,003 \text{ м}/\text{час}$$

При концентрации флокулянта №2 0,05 мг/г:

$$0,032 \text{ м}/5 \text{ час} = 0,0064 \text{ м}/\text{час}$$

При концентрации флокулянта №2 1,00 мг/г:

$$0,084 \text{ м}/7 \text{ час} = 0,012 \text{ м}/\text{час}$$

Таблица 8 - Зависимость высоты слоя осветленной воды от времени и концентрации алюмосиликатного флокулянта №2 при его добавке в пульпу с содержанием твердого 35%.

Время осаждения твердого, минут	Концентрация флокулянта, мг/г			
	0	0,25	0,50	1,00
	Высота слоя осветленной воды, мм			
60	18	18	28	42
120	25	25	47	79
180	43	43	56	118
240	50	50	82	124
360	58	58	100	141
480	69	69	115	160

По результатам таблицы 8 были построены кинетические кривые, по которым рассчитана скорость осаждения твердых частиц в пульпе с содержанием твердого 35% (глава 2). В области концентраций флокулянта №2 0-0,25 мг/г:

$$0,08\text{ м} / 7,5 \text{ час} = 0,011 \text{ м/час}$$

При концентрации флокулянта №2 0,05 мг/г:

$$0,115 \text{ м} / 6,5 \text{ час} = 0,018 \text{ м/час}$$

При концентрации флокулянта №2 1,00 мг/г:

$$0,16 \text{ м} / 6 \text{ час} = 0,027 \text{ м/час}$$

Таблица 9 – Зависимость скорости осаждения твердой фазы алюмосиликатным флокулянтом с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ от его концентрации и содержания твердого в пульпе

Содержание твердого в пульпе, %	Концентрация флокулянта, мг/г			
	0	0,25	0,50	1,00
	Скорость осаждения, м/час			
55	0,003	0,003	0,0064	0,012
35	0,011	0,011	0,018	0,027

Проведенные исследования показали, что скорость осаждения твердой фазы неорганическим флокулянтом с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ при его расходе 0,25 мг/г из суспензии как с содержанием твердого 35%, так и 55% практически одинакова со скоростью осаждения твердых частиц из суспензии без добавок флокулянта (таблица 9).

Флокулирующая активность проявляется при расходе флокулянта 0,5 мг/г, и увеличивается с увеличением его концентрации до 1 мг/г. При этом скорость осаждения твердых частиц в пульпе, содержащей 55% твердого, увеличивается

в 4 раза и на порядок превышает скорость осаждения твердой фазы из суспензии без добавки флокулянта.

Из результатов также следует, что скорость осаждения твердой фазы зависит от содержания твердого в пульпе и уменьшается при увеличении содержания твердого от 35% до 55% от 0,027 м/час до 0,012 м/час при расходе флокулянта 1 мг/г.

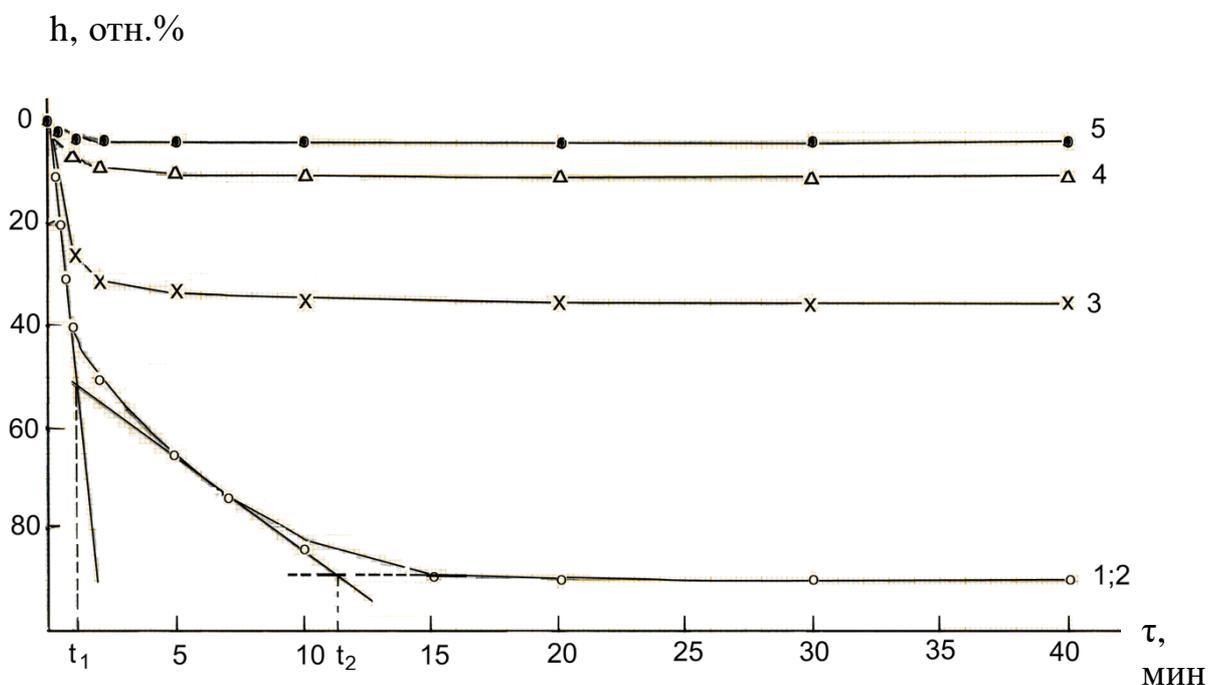
В проведенных экспериментах использовали алюмосиликатный флокулянт, процесс получения которого заключался в смешении исходных компонентов (жидкого стекла и сульфата алюминия) при соотношении $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$, вызревании полученного золя и его дозировании в пульпу. Из таблиц 7-8 следует, что процесс сгущения шламистых частиц приготовленным таким образом флокулянта протекает в течение довольно длительного времени – 6 – 8 часов.

Процесс приготовления алюмокремниевого флокулянта в промышленности будет происходить в типовых цилиндрических реакторах с мешалками, аналогичных по своему устройству цилиндрическим сгустителям. Учитывая это, было предложено совместить процесс получения флокулянта с процессом сгущения шламов, то есть дозировать компоненты флокулянта непосредственно в пульпу. Исследования проводили при комнатной температуре при соотношении Т:Ж = 1:10 на суспензиях, содержащих 35% и 55% твердого. Результаты исследований показаны на рисунках 7-8.

Из полученных результатов следует, что введение в пульпу жидкого стекла, перемешивание пульпы и последующее введение сульфата алюминия значительно сокращает время процесса сгущения, которое для пульп, приготовленных на образцах с содержанием твердого 35% и 55%, составляет 10-12 минут (рисунки 7 – 8). При этом скорость процесса осаждения твердых частиц, рассчитанная по кинетическим кривым 1 и 2 рисунков 7 – 8, на порядок выше (таблица 10), чем в случае введения в пульпу алюмосиликатного флокулянта, полученного смешением и вызреванием золя в отдельном смесителе.

Таблица 10 – Скорость осаждения твердых частиц технологических пульп в зависимости от количества тонких шламов и способа подачи флокулянта

Количество шламистых фракций в образце, %	Скорость осаждения, м/час		
	в пульпе без флокулянта	подача предварительно вызревшего золя, 1 мгSiO ₂ /г	Раздельная подача компонентов в пульпу, 1 мгSiO ₂ /г
55	0,003	0,012	0,26
35	0,011	0,027	0,54



Расход жидкого стекла в пересчете на SiO_2 (мг/г): 1 – 0,5; 2 – 1,0; 3 – 2,5; 4 – 5,0; 5 – без флокулянта. t_1 – время осаждения твердых частиц до критической точки; t_2 – полное время осаждения частиц и уплотнения осадка

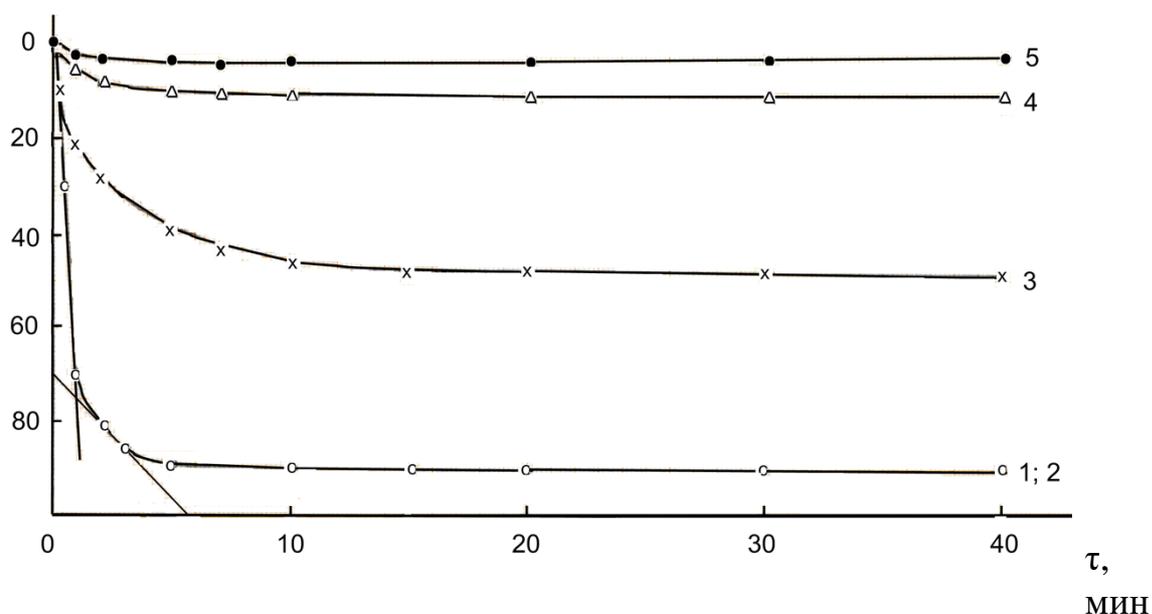
Рисунок 7 – Кинетические кривые процесса осаждения глинистых шламов из суспензии с содержанием твердого 55% алюмокремниевым флокулянт при подаче его составляющих непосредственно в пульпу

Из полученных результатов также следует, что оптимальным расходом раствора жидкого стекла является его расход в количестве 0,5 – 1,0 мг SiO_2 /г (рисунки 7 – 8, кривые 1 и 2). При этом высота осветленного слоя воды составляет 90 отн.%.

Увеличение расхода жидкого стекла ухудшает процесс сгущения шламов, что проявляется в отсутствии четкой границы раздела фаз Т – Ж и в уменьшении высоты осветленного слоя воды (рисунки 7 – 8, кривые 3 – 4). К аналогичному результату приводит и увеличение времени контакта раствора жидкого стекла с пульпой при его расходе 1,0 мг/г.

Результаты седиментационных опытов подтверждаются спектрофотометрическими исследованиями прозрачности осветленного слоя воды (рисунок 9), из которых следует, что максимальная степень осветления воды – 95% наблюдается в области концентраций 1 мг/г (в пересчете SiO_2) при соотношении $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ (рисунок 28 А, кривая 3). Увеличение расхода сульфата алюминия выше этого соотношения приводит к появлению в осветленном слое воды мелких белых хлопьев гидроксида алюминия, образующих довольно стабильную вторичную суспензию.

h, отн. %



Расход жидкого стекла в пересчете на SiO_2 (мг/г): 1 – 0,5; 2 – 1,0; 3 – 2,5; 4 – 5,0; 5 – без флокулянта

Рисунок 8 – Кинетические кривые процесса осаждения глинистых шламов из суспензии с содержанием твердого 35% алюмокремниевым флокулянтom при подаче его составляющих непосредственно в пульпу

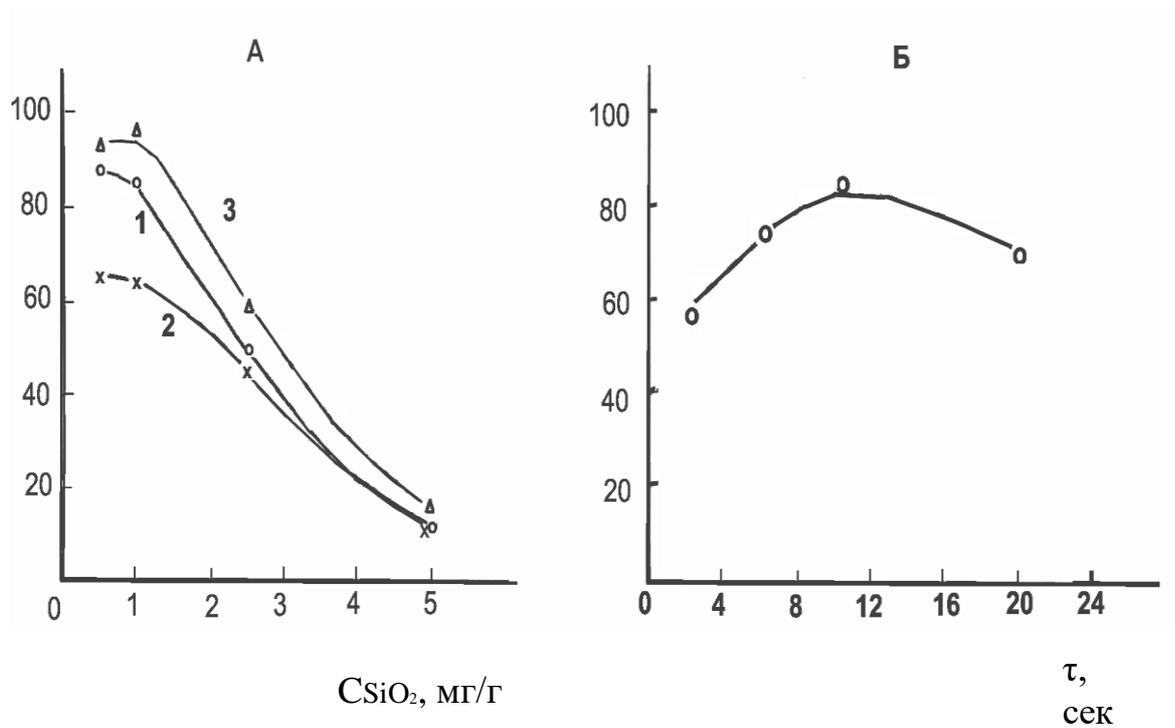
Повышение времени контакта жидкого стекла с пульпой снижает степень прозрачности воды осветленного слоя (рисунок 9 Б) и уменьшает высоту осветленного слоя воды, как и было отмечено ранее в седиментационных опытах (рисунки 7 – 8).

Таким образом, на основании проведенных исследований можно выбрать оптимальные технологические параметры процесса сгущения тонких глинистых шламов технологических пульп, используемых при обогащении окисленных руд цветных металлов, алюмосиликатным флокулянтom, которые заключаются в следующем:

- расход жидкого стекла – 0,5-1,0 мг SiO_2 /г; время контакта с пульпой 10-12 секунд;
- расход сульфата алюминия - 0,5-1,0 мг Al_2O_3 /г;
- процесс сгущения шламов совмещен с процессом получения флокулянта, то есть непосредственно в пульпу дозируется сначала раствор жидкого стекла, а через 10-12 секунд вводят раствор сульфата алюминия.

П, %

П, %



Соотношение $SiO_2:Al_2O_3$: 1 – 1:1; 2 – 1:0,5; 3 – 1:2

Рисунок 9 – Прозрачность осветленного слоя воды при сгущении глинистых шламов технологических пульп окисленных руд неорганическим флокулянтom в зависимости от расхода жидкого стекла (А) и времени его контакта (Б) с пульпой

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенной работе можно сделать следующие краткие выводы:

1. Изучение гранулометрического состава технологической пробы медной руды месторождения Бозшаколь показало, что количество класса крупностью минус 71 мкм в руде месторождения Бозшаколь составило 92,59%, а количество класса минус 50 мкм - 77,78%. Количество тонких и шламистых классов крупностью менее 20 мкм в руде составило 48,15%, то есть, практически половина продукта представлена классами, которые трудно подвергаются осаждению без использования добавок флокулирующих реагентов.

2. Тестирование флокулирующих свойств органических флокулянтов типа D-Флос показало, что эффективность процесса флокуляции твердых частиц пульпы в большей степени зависит от молекулярной массы используемого органического реагента, чем от его концентрации. Установлено, что наиболее эффективен флокулянт с меньшей молекулярной массой D-Флос-4003, у которого высокая степень осветления воды или ее прозрачность – 89-90% отмечается уже через 180 сек при концентрации флокулянта 0,25-0,5 мг/г, который и был выбран в качестве флокулянта сравнения.

3. По методике Л.А.Кульского были приготовлены алюмосиликатные флокулянты №1 с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$ и №2 с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$. Установлено, что флокулянт №1 с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$ при норме расхода от 0,2 до 0,5 мг/г практически не проявляет флокулирующих свойств в данных условиях. Увеличение его расхода до 1,0 мг/г способствует процессу флокуляции твердых частиц пульпы и приводит к небольшому осветлению жидкой фазы, прозрачность осветленного слоя которой при времени испытаний 300 сек составляет 70%.

4. Показано, что флокулирующая активность флокулянта №2 с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ при норме расхода 1,0 мг/г близка к флокулирующей активности органического флокулянта D-Флос-4003 при его норме расхода 0,5 мг/г, и составляет 82%.

5. Изучено влияние алюмосиликатного флокулянта с соотношением $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3 = 1:2$ на процесс сгущения тонких шламистых классов в зависимости от их количества и показано, что скорость осаждения твердой фазы зависит от содержания твердого в пульпе и уменьшается при увеличении содержания твердого от 35% до 55% от 0,027 м/час до 0,012 м/час при расходе флокулянта 1 мг/г.

6. Изучен процесс сгущения шламистых частиц при отдельном дозировании в пульпу компонентов алюмосиликатного флокулянта и показано, что введение в пульпу жидкого стекла, перемешивание пульпы и последующее введение сульфата алюминия значительно сокращает время процесса сгущения, которое для пульп, приготовленных на образцах с содержанием твердого 35% и 55%, составляет 10-12 минут. При этом скорость осаждения твердых частиц, составляет 0,26 м/час при содержании твердого 55% и 0,54 м/час при содержании

твердого 35% в отличии от 0,012 м/час и 0,027 м/час соответственно в случае введения в пульпу алюмосиликатного флокулянта, полученного смешением и вызреванием золя в отдельном смесителе.

7. Оптимизированы технологические условия применения алюмосиликатного флокулянта в процессе сгущения тонких глинистых шламов технологических пульп: норма расхода жидкого стекла – 0,5-1,0 мг $\text{SiO}_2/\text{г}$; время контакта с пульпой 10-12 секунд; затем подача сульфата алюминия при норме расхода 0,5-1,0 мг $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{г}$.

Оценка полноты решений поставленных задач. Все поставленные в работе задачи выполнены в полном объеме: получен алюмосиликатный неорганический флокулянт и изучена его флокулирующая активность в зависимости от способа получения, количества шламистых классов в пульпе и нормы расхода флокулянта. Показано, что дозирование компонентов флокулянта непосредственно в пульпу сокращает время процесса сгущения и увеличивает скорость сгущения на порядок.

Оценка достоверности полученных результатов. Все полученные результаты достоверны, так как выполнены с применением современных физических и физико-химических методов исследования (ИК-спектроскопия, фотометрия, седиментационный и ситовый анализы).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Абрамов А. А. Технология обогащения руд цветных металлов. - М. : Недра, 1983. - 358 с.
- 2 Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотационные методы обогащения. – М. : Недра, 1981. – 338 с.
- 3 Абишев Д.Н., Еремин Ю.П. Обогащение тонковкрапленных руд – приоритетное направление горно-металлургического комплекса //Промышленность Казахстана. – 2000. - №2. – С.96.
- 4 Абишев Д.Н., Еремин Ю.П., Райвич И.Д. Некоторые концептуальные аспекты научно-технологического обеспечения обогатительной отрасли горно-металлургического комплекса Республики Казахстан //Сб. трудов «Комплексная переработка минерального сырья». – Алматы: Изд. РГП «НЦ КПМС РК», 2002. – С.39.
- 5 Абишев Д.Н., Еремин Ю.П., Петров А.А. Пути развития научных исследований в области обогащения минерального сырья //Комплексное использование минерального сырья. – 1994. - №2. – С.30.
- 6 Классен В.И., Недоговоров Д.И., Дебердеев И.Х. Шламы во флотационном процессе. – М.: Недра, 1969. – 245 с.
- 7 Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты процесса очистки воды. - Л.: Химия, 1987. - 208 с.
- 8 Бутова С. А. Флокулянты. Свойства. Получение. Применение. М.: Стройиздат, 1997. – 143 с.
- 9 Гандурина Л.В. Органические флокулянты в технологии очистки природных и промышленных сточных вод и обработки осадка. Аналитический обзор. – Москва: ФГУП НИИ ВОДГЕО, 2002.
- 10 Савицкая М.Н., Холодова Ю.Д. Полиакриламид. – Киев: Техника, 1969. – 179 с.
- 11 Субботин В.В., Петухов В.Г. Исследование влияния эффективности действия флокулянтов при обогащении угольного шлама/Вестник МГТУ им. В.Г.Носова. – 2014, №2. – С.20-24
- 12 Вейцер Ю.И., Минц Д.М. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки воды. - М., 1975. - 273 с.
- 13 Narkis Nava, Rebhum Menahem. Flocculation in present of organic macromolecules of natural water and secondary effluents.//Water Sci. and Technol. - 1997 – т.36, № 4. - С. 85.
- 14 Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды. - Киев:Наукова думка, 1991 год. - 569 с.
- 15 Фролов Ю.Г., Шабанова Н.А., Павлов А.И. Получение и свойства высококонцентрированных зольей поликремневой кислоты/ Сб. трудов МХТИ им. Д.И. Менделеева. – М., 1979. - №107. – С.49-55.
- 16 Лысов В.А., Вильсон Е.В., Бутко А.В., Бутко Д.А., Литвинов А.И. Аллюмосиликатный флокулянт в процессах водоподготовки и водоочистки // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. - №11. - С. 5-6.

17 Никифоров К.А., Скобеев М.К. О физико-химических основах влияния солей поливалентных металлов на депрессирующее действие жидкого стекла // Физико-химические методы исследования и технология процессов обогащения. Труды Иркутского политехнического института. Иркутск, 1967. Вып. 33. - с. 68-77.

18 Басманов В.А. Об использовании свойств жидкого стекла во флотации минералов // Обогащение руд горно-химического сырья. – Тр. ГИГХС. – М., 1950. – Вып. 1. – с. 28-32.

19 Побережнюк Г.И., Лапатухин И.В., Орел М.А. Очистка сточных вод и водооборот при флотации шеелитовых руд //Цветные металлы. - 1983, № 9. - С.103 -106.

20 Абрамов А. А. Технология обогащения руд цветных металлов. - М.: Недра, 1983. - 358 с.

21 Адамов Э.В. Технология руд цветных металлов, учебник. - Москва, 2001. - 470 с.

22 Jan Drzymala. Mineral Processing. Foundations of theory and practice of minerallurgy . - Wroclaw, 2007. - 502 p.

23 Перов В.А., Андреев Е.Е., Биленко Л.Ф. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых.- М.: Недра, 1990. - 301 с.

24 Конев В. А. Флотация сульфидов. - М. : Недра, 1985. 221 с.

25 Чантурия В.А., Вигдергауз В.Е., Шрадер Э.А., Данильченко Л.М., Марченкова Т.Г., Саркисова Л.М., Кунилова И.В. Прогрессивные (экологически значимые) технологии переработки медно-цинкового минерального сырья техногенных месторождений: проблемы и решения // Инженерная экология, 2004, № 5.- С. 3-11.

26 Кантемиров М.Д. Изучение динамики слоевого низкотемпературного хлорирования гранулированной вольфрамсодержащей глинистой породы // Технологическая оценка минерального сырья. - Алма-Ата, 1981. - С. 105-116.

27 Стрельцын В.Г., Сухова Э.Б., Гайченко Г.И. Об условиях обогащения шеелит-сульфидных руд с различной степенью окисления // Обогащение руд. - 1980., № 2. - с. 15-17.

28 Барский Л.А., Кононов О.В., Ратмирова Л.И. Селективная флотация кальцийсодержащих минералов. - М., 1979. – 232 с.

29 Очистка производственных сточных вод и утилизация осадков. / В.Д. Гвоздев, Б.С. Ксенофонтов - М.: Химия, 1988. - 112 с

30 Александрова Л.Д., Борц М.А., Степанова Д.И. О флокулируемости антрацитовых шламов//Химия твердого топлива. - 1976, №3. - С 12 - 15.

31 Саркисова Л.М. Повышение эффективности переработки отходов флотационного обогащения медно-цинковой руды на основе применения сочетаний реагентов собирателей и флокулянтов.- М.: «Обогащение полезных ископаемых», 2008.-134 с.

32 Радивинский М.Б., Пучков А.И. Исследование реологических свойств осадка гидроокиси железа в присутствии флокулянта полиакриламида//ЖПХ. – 1973. - Т.46, №1. – С.57- 60.

33 Коростелева Е.А., Дымарчук Н.П. Способ получения эффективного полиакриламидного флокулянта//ЖПХ. – 1976. – Т.49, №6. – С. 1055 - 1059.

34 Заявка 97102000/25. РФ. Вещество для обработки сточных вод / Пичугин А.М., Шпилева И.И; опубл.20.01.99.

35 Вигдергауз В.Е., Шрадер Э.А., Саркисова Л.М., Морозов Ю.П., Данильченко Л.М., Вишкова А.А., Кузнецова И.Н., Дорофеев А.И. Интенсификация флотации шламов хвостов обогащения медно-цинковых руд/ НИП №02-05-64225. - Институт проблем комплексного освоения недр РАН. – 2002.

36 Гетманцев С. В. Очистка производственных сточных вод коагулянтами и флокулянтами. - М.: АСВ, 2008. – 178 с.

37 Куликов Н. И. Теоретические основы очистки воды: конспект лекций. - Харьков: Донб. нац. акад. гр-ва и архитектуры, 2009.

38 Шачнева Е.Ю. Физико-химия адсорбции флокулянтов и синтетических поверхностно-активных веществ на сорбенте СВ-1-А. дисс....канд. хим. наук. – 2011, Махачкала. - 139 с.

39 Шачнева Е.Ю. Применение флокулянтов серии АК-631 для флокуляционной очистки сточных вод промышленных предприятий/ Вода и экология: проблемы и решения. – 2017, № 4 (72). – С. 62-71.

40 Ульрих Е.В. Применение нанополимеров на углеобогатительных фабриках/Современные наукоемкие технологии. – 2013, №3. – С 90-91

41 Шевченко Т.В., Ульрих Е.В. Влияние сшитых катионных флокулянтов на процессы седиментации и уплотнения осадков гидрофильных суспензий. // Химическая промышленность. – 2004. – Т.81. - № 11. – С. 563 – 565.

42 Шевченко Т.В., Ульрих Е.В., Яковченко М.А. Применение сверхвысокомолекулярных флокулянтов в процессах обогащения угля. // Химическая промышленность сегодня. – 2004. - № 11. – С. 38 – 41.

43 Фролов Д.В. Исследование и обоснование подходов к оптимизации процессов сгущения угольных шламов/Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018, №2. – С.61-69.

44 Пчелин В.А. Гидрофобные взаимодействия и природа дисперсной среды//Коллоидный журнал. – 1972. - Вып.2. – Т.34. – С.437.

45 Елисеев Н. И., Яшина Г. М., Борисков Ф. Ф. и др. // Современное состояние и перспективы развития теории флотации. - М. : Наука, 1979. - С. 232-237.

46 Отчет № 0199РК00191. ДГП ГНПОПЭ «Казмеханобр» Синтез новых малотоксичных селективных реагентов, выявление механизма их действия и создание на этой основе технологических схем и режимов обогащения. – Алматы, 2002.

47 Айлер Р.К. Химия кремнезема. В 2-х т.- М.: Мир, 1983. - 784 с.

48 Силос И.В., Ким В.Е., Лисюк Б.С., Макаров Н.А., Захаров В.И. Способ получения алюмосиликатного коагулянта./ Патент РФ № 2088527, Бюл.24, 1997.

49 И.М. Астрелин, В.А. Запольский, С.В. Лысенко Исследование процесса получения смешенного коагулянта из отходов производства/ Ж. прикл. Химии. - 1999,62, №11, с. 2611-2613

50 Лысов В.А., Вильсон Е.В., Бутко А.В., Бутко Д.А., Литвинов А.И. Алюмосиликатный флокулянт в процессах водоподготовки и водоочистки // Водоснабжение и санитарная техника, 2002, №11, С. 5-6.

51 Патент РФ № 2225838. Способ получения алюмосиликатного коагулянта/ Кручинина Н.Е., Турниер В.Н., Лисюк Б.С. и др. Оpubл. 20.03.2004, БИ №3 .

52 Тимашева Н.А., Габленко В.М., Аммар Шалбак, Ле Туан Шон Использование алюмокремниевого флокулянта-коагулянта для очистки сточных вод от синтетических красителей /Успехи в химии и химической технологии. – 2008, т.ХХII. №13 (93). – С.69-70.

53 Патент РФ 2388693С2 Способ получения алюмокремниевого флокулянта-коагулянта/Кудрявцев П.Г., Недугов А.Н., Рябов В.А., Волкова М.А. и др. Оpubл. 05.10.2010, БИ № 11

54 <https://findpatent.ru/patent/217/2174106.html>

55 Патент РФ № 2078037. Способ получения алюмосиликата//Аввакумов Е.Г., Девяткина Е.Т., Косова Н.В., Ляхов Н.З. Оpubл. 27.04.97. БИ № 4.

56 Патент РФ № 2471720. Способ получения коагулянта-флокулянта//Кузнецов В.А., Кучеров А.А., Корешкова Т.В., Каликин А.Б., Курова Н.В., Кучеров А.М., Наумов В.Н., заявл. 10.12.2010, опубл. 20.06.2012

57 Медведева Л.В., Хуршудов В.А., Дудко М.П., Лыгач В.Н., Ладыгина Г.В. Флотационные реагенты. - М.: Химия, 2001. – 175 с.

58 Берлинский А.И., Шинкаренко Н.М. О рациональном использовании жидкого стекла во флотационном процессе./Сб. трудов ЦНИГРИ. - 1964, №1. – С.33- 37.

59 Голов В.М., Стрельцов В.Е. Обогащение флюоритовых руд с применением реагентов. - М: Промстройиздат,1969. – С.15- 18.

60 Вигдергауз В.Е., Шрадер Э.А., Саркисова Л.М., Морозов Ю.П., Данильченко Л.М., Вишкова А.А., Кузнецова И.Н., Дорофеев А.И. Интенсификация флотации шламов хвостов обогащения медно-цинковых руд/ НИП №02-05-64225. - Институт проблем комплексного освоения недр РАН. – 2002.

61. Болдырев А.И. Инфракрасные спектры минералов. – М.: Наука, 1976. – 376 с.

62. Плюснина И.И. Инфракрасные спектры минералов. – М.: МГУ, 1977. – 175 с.

63. Зверевич В.В. и др. Основы обогащения полезных ископаемых, М., Недра, 1985.

64. Унифицированные методы анализа вод/Под ред.проф. Ю.Ю.Лурье. – М.: Химия, 1973. – 612 с.

65. Митрофанов С.И., Барский Л.А., Самыгин В.Д. Исследование полезных ископаемых на обогатимость. – М. : Недра, 1974. – 277 с.

"САТПАЕВ ОҚУЛАРЫ - 2021"

СӘТБАЕВ ОҚУЛАРЫНЫҢ

ЕҢБЕКТЕРІ

II Том

ТРУДЫ

САТПАЕВСКИХ ЧТЕНИЙ

"САТПАЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ - 2021"

Том II

PROCEEDINGS

SATPAYEV'S READINGS

"SATPAYEV READINGS - 2021"

II volume

УДК 001
ББК 42
С21

- Сыздыков А.Х. – И.о. Проректор по науке и инновациям, **председатель оргкомитета**
- Рысбеков К.Б. – Директор Института геологии, нефти и горного дела, **заместитель председателя оргкомитета**
- Бекботаева А.А. – Заведующий кафедрой «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», **ответственный исполнитель**
- Елемесов К.К. – Директор Института металлургии и промышленной инженерии
- Сейлова Н.А. – Директор Института кибернетики и информационных технологий
- Туйебахова З.К. – Директор Института химических и биологических технологий
- Омарбеков Б.О. – Директор Института промышленной автоматизации и цифровизации
- Куспангалиев Б.У. – Директор Института архитектуры и строительства
- Субалова М.А. – Директор Института управления проектами
- Саренова А.С. – Директор Института базового образования
- Узбаева Б.Ж. – Директор Научной библиотеки
- Баудагулова Г.Т. – Специалист минералогического музея кафедры ГСПиРМПИ, **ответственный секретарь конференции**

«ҚҰЛТТЫҚ МЕМЛЕКЕТТІК КІТАП ПАЛАТАСЫ»
ХАЛЫҚАРАЛЫҚ СТАНДАРТТЫҚ КІТАП НӘМІРІ (ISBN)
ӘМБЕБАП ОНДЫҚ ЖІКТЕУ, КІТАПХАНАЛЫҚ – БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ЖІКТЕУ,
ШТРИХ – КОД БЕРІЛДІ
«НАЦИОНАЛЬНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ КНИЖНАЯ ПАЛАТА РК»
ПРИСВОЕНЫ (ЗАРЕГИСТРИРОВАНЫ) МЕЖДУНАРОДНЫЕ
УНИФИЦИРОВАННЫЕ ДЕСЯТИЧНЫЕ КЛАССИФИКАТОРЫ
БИБЛИОТЕЧНО – БИБЛИОГРАФИЧЕСКОГО ДЕЛА
УНИФИЦИРОВАННЫЙ КОД

С21

«Сатпаевские чтения -2021»: сборнике представлены материалы конференции Сатпаевские чтения.

— Алматы: КазНУТУ имени Сатпаева, 2021.

ISBN 978-601-323-246-1

ISBN 978-601-323-247-8

Конференция посвящена празднованию 30-летия независимости Казахстана, обобщению опыта развития горно-геологической, металлургической, химической отраслей, машиностроения, строительства, коммуникаций, а также развитию творческого и интеллектуального потенциала обучающихся и молодых ученых университета. Конференция будет способствовать подготовке нового поколения лидеров, способных решать глобальные задачи устойчивого развития, узнаваемости университета и популяризации научных исследований.

ISBN

УДК 001
ББК 42

ISBN 978-601-323-246-1
ISBN 978-601-323-247-8

С21
Иман

© Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева

This field of research has been greatly advanced and expanded in the last decade due to the global focus on sustainable and renewable resources.

Keywords. *Silicon dioxide, silica, rice husk, rice husk ash, porosity.*

УДК 628.1

А.К.Кудайберген

Научный руководитель – В.И.Капралова, профессор, доктор технических наук, доцент Satbayev University – Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева, Казахстан, г. Алматы

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СГУЩЕНИЯ ТОНКИХ ГЛИНИСТЫХ ШЛАМОВ НЕОРГАНИЧЕСКИМ АЛЮМОСИЛИКАТНЫМ ФЛОКУЛЯНТОМ

Аннотация. *Изучено влияние неорганического алюмосиликатного флокулянта на процесс сгущения тонких глинистых шламов. Установлено, что введение в пульпу неорганического алюмосиликатного флокулянта повышает скорость процесса сгущения тонких шламов в 2 – 3 раза при содержании тонких шламистых классов 35 и 55 масс.% соответственно. Показано, что оптимальной концентрацией неорганического алюмосиликатного флокулянта, обеспечивающей наиболее высокую скорость процесса сгущения шламистых фракций является его расход 1,0 мг/г. Также показано, что скорость осаждения твердых частиц алюмосиликатным флокулянтом практически одинакова со скоростью их осаждения органическим флокулянтом D-Floc-4003 при его расходе 0,02-0,05 мг/г. Увеличение расхода органического флокулянта в 3 раза повышает скорость осаждения на порядок.*

Ключевые слова. *Тонкие глинистые шламы, сгущение, алюмосиликатный флокулянт.*

Одним из основных и наиболее совершенных методов обогащения минерального сырья является флотация. Она применяется при обогащении более 90% добываемых руд цветных металлов, большого количества руд редких, черных, благородных металлов и неметаллических полезных ископаемых [1-2]. Однако качество флотационных концентратов в последнее время существенно снижается из-за вовлечения в переработку труднообогатимых, в частности, тонковкрапленных руд, образующих при их переработке большое количество шламов, оказывающих отрицательное влияние на флотационный процесс.

Различают два вида шламов: первичные и вторичные. Образование первичных шламов зависит от наличия в полезных ископаемых глин, первичных оксидов, хрупких минеральных включений и др. Вторичное шламообразование связано с такими операциями обогащения как дробление и измельчение, так как у тонковкрапленных руд взаимное прорастание извлекаемых и породообразующих компонентов сочетается с очень малыми размерами полезных включений, достигающих микрон, и полное раскрытие возможно лишь при условии измельчения всей руды до размеров частиц 0,04 – 0,02 мм [3]. Но даже при флотации руд, содержащих относительно крупные включения полезных минералов, оптимальное измельчение обычно характеризуется содержанием в пульпе 65-85% класса минус 0,074 мм [3]. Однако большинство добываемых сегодня в Казахстане руд требует гораздо более глубокого измельчения – до 25-30 мкм, а иногда – до 5-10 мкм и менее [4-6], что приводит к потере с тонкими шламами значительной части вскрытых мономинеральных зерен, содержащих обогащаемые металлы.

Другим отрицательным моментом накопления тонких шламов в производственных водах обогатительных фабрик является недостаточное качество осветленной воды, из которого возникает проблема организации замкнутого водного цикла, также очень актуальная для горно-обогатительных предприятий, которые все больше ощущают дефицит

используемой воды. На обогатительных предприятиях процесс сгущения шламов, а также очистку сточных вод для использования их в качестве оборотных, проводят различными, в основном, импортными органическими реагентами, которые характеризуются не только высокой стоимостью, но и токсичностью [7].

Сгущение шламистых частиц возможно проводить неорганическими полимерами, являющимися производными так называемой активной кремнекислоты, которая получается путем активации растворов жидкого стекла кислотными реагентами и широко применяется в процессах водоподготовки и водоочистки [8-10].

Несмотря на наличие всех предпосылок развития производства импортозамещающих неорганических флокулянтов (наличие сырья и предприятий по производству составляющих компонентов) для процесса сгущения тонких шламов и осветления хвостовых вод обогатительных фабрик, данные реагенты в нашей стране практически не используются из-за отсутствия разработок по их производству и применению.

Исходя из изложенного, целью данной работы является исследование флокулирующей активности неорганического алюмосиликатного реагента на процесс сгущения тонких глинистых шламов в зависимости от количества шламистых фракций и количества реагента.

Предварительно был изучен гранулометрический состав руды месторождения Бозшаколь и показано, что количество класса крупностью минус 71 мкм в руде месторождения Бозшаколь составило 92,59 %, а количество класса минус 50 мкм – 77,78 %. Количество тонких и шламистых классов крупностью менее 20 мкм в руде составило 48,15 %, то есть, практически половина продукта представлена классами, которые трудно подвергают осаждению без обязательного использования добавок флокулирующих реагентов.

Также предварительно, чтобы выбрать эффективный флокулянт сравнения, было проведено тестирование флокулирующих свойств органических флокулянтов типа D-Floc: D-Floc-4003, D-Floc-5076, D-Floc-5505. Тестирование флокулирующих свойств этих реагентов проводили, вводя определенное количество флокулянта в пульпу, приготовленную на технологической пробе руды в цилиндрах объемом 1000 см³. Пульпу с реагентом перемешивали и затем по времени наблюдали процесс осаждения твердого в пульпе. Зависимость прозрачности осветленной воды от времени исследовали с использованием фотоколориметра КФК-3 при длине волны 670 нм. Было установлено, что эффективность процесса флокуляции твердых частиц пульпы зависит от молекулярной массы используемого органического реагента. Наиболее эффективен флокулянт с меньшей молекулярной массой D-Floc-4003, у которого высокая степень осветления воды или ее прозрачность – 90% отмечается уже через 180 сек после начала процесса осаждения. Данный флокулянт и был выбран для сравнения при исследовании флокулирующей активности неорганического алюмосиликатного реагента.

Алюмосиликатный флокулянт готовили по методике Л.А.Кульского [8] путем смешивания 2 объемов 2 %-ного раствора, приготовленного из исходного жидкого стекла (плотность 1,33 г/см³, содержание SiO₂ 29,4%) с 1 объемом 2 %-ного раствора сульфата алюминия. Смесь оставляли на 20 минут для вызревания и затем разбавляли до 1 л дистиллированной водой.

Исследование процесса флокуляции тонких шламистых классов неорганическим алюмосиликатным флокулянтом проводили при комнатной температуре на пульпах, содержащих 35% и 55 % тонких шламистых фракций, приготовленных из технологической пробы руды с соотношением Т:Ж равным 1:10. Расход флокулянта рассчитывали на количество твердого в пульпе. Эффективность процесса флокуляции оценивали по скорости перемещения границы раздела фаз «осадок-раствор».

Показано, что скорость процесса флокуляции твердых частиц неорганическим алюмосиликатным флокулянтом из приготовленных пульп, зависит как от расхода добавляемого флокулянта, так и от количества тонких шламистых классов (таблица).

Установлено, что скорость процесса осаждения частиц твердой фазы в исходных пульпах без добавок флокулянтов колеблется от 0,006 м/час (при содержании тонких классов 55 %) до 0,016 м/час (при содержании тонких классов 35 %). Введение в пульпу неорганического алюмосиликатного флокулянта повышает скорость процесса сгущения тонких шламов в 2 – 3 раза при содержании тонких шламистых классов 35 и 55 масс.% соответственно. Показано, что оптимальной концентрацией неорганического алюмосиликатного флокулянта, обеспечивающей наиболее высокую скорость процесса сгущения шламистых фракций является его расход 1,0 мг/г.

Скорость осаждения твердых частиц технологических пульп в зависимости от количества тонких шламов и природы и расхода флокулянта

Природа и расход флокулянта, мг/г	Содержание шламистых фракций, масс.%	
	35	55
	Скорость осаждения твердых частиц, м/час	
Без реагентов	0,016	0,006
Al-Si-флокулянт, 0,2	0,018	0,007
Al-Si-флокулянт, 0,5	0,023	0,011
Al-Si-флокулянт, 1,0	0,033	0,017
D-Floc-4003, 0,02	0,024	0,018
D-Floc-4003, 0,05	0,030	0,024
D-Floc-4003, 0,15	0,310	0,295

Из полученных результатов также следует, что процесс сгущения тонких шламистых фракций неорганическим алюмосиликатным флокулянтom протекает с более низкой скоростью, по сравнению с процессом сгущения в присутствии органического флокулянта D-Floc-4003, при этом расход последнего на порядок ниже (таблица). Тем не менее можно сказать, что при расходе флокулянта D-Floc-4003 в диапазоне 0,02-0,05 мг/г скорость осаждения твердых частиц практически одинакова со скоростью осаждения их алюмосиликатным флокулянтom

Учитывая тот факт, что на приобретение импортного флокулянта D-Floc-4003, расходуются золотовалютные запасы, а алюмосиликатный флокулянт готовится на месте применения из отечественных прекурсоров, можно сказать, что применение неорганического флокулянта целесообразно как с экономической, так и экологической точек зрения, поскольку его составляющие – соединения кремния и алюминия входят в большую часть различных природных пород и минералов, в отличие от токсичных соединений на основе полиакриламида, являющегося составной частью большинства органических флокулянтов.

Список литературы

- 1 Абрамов А. А. Технология обогащения руд цветных металлов. - М. : Недра, 1983. - 358 с.
- 2 Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотационные методы обогащения. – М. : Недра, 1981. – 338 с.
- 3 Классен В.И., Недоговоров Д.И., Дебердеев И.Х. Шламы во флотационном процессе. – М.: Недра, 1969. – 245 с.
- 4 Абишев Д.Н., Еремин Ю.П. Обогащение тонковкрапленных руд – приоритетное направление горно-металлургического комплекса //Промышленность Казахстана. – 2000. - №2. – С.96.
- 5 Абишев Д.Н., Еремин Ю.П., Райвич И.Д. Некоторые концептуальные аспекты научно-технологического обеспечения обогатительной отрасли горно-металлургического комплекса Республики Казахстан //Сб. трудов «Комплексная переработка минерального сырья». – Алматы: Изд. РГП «НЦ КПМС РК», 2002. – С.39.

6 Абишев Д.Н., Еремин Ю.П., Петров А.А. Пути развития научных исследований в области обогащения минерального сырья // Комплексное использование минерального сырья. – 1994. - №2. – С.30.

7 Запольский А.К., Баран. Коагулянты и флокулянты процесса очистки воды. - Л.: Химия, 1987. - 208 с.

8 Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды. - Киев: Наукова думка, 1991 год.

9 Фролов Ю.Г., Шабанова Н.А., Павлов А.И. Получение и свойства высококонцентрированных зелей поликремневой кислоты/ Сб. трудов МХТИ им. Д.И. Менделеева. – М., 1979. - №107. – С.49-55.

10 Лысов В.А., Вильсон Е.В., Бутко А.В., Бутко Д.А., Литвинов А.И. Алумосиликатный флокулянт в процессах водоподготовки и водоочистки // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. - №11. - С. 5-6.

Kudaibergen A.K. Kapralova V.I.

Study of thickening process of fine clay sludge with inorganic aluminosilicate flocculant

The influence of inorganic aluminosilicate flocculant on the thickening process of thin clay sludges has been studied. It was found that the introduction of inorganic aluminosilicate flocculant into the pulp increases the rate of thickening of thin sludges by 2-3 times with content of thin sludge classes 35 and 55 wt%, respectively. It has been shown that the optimal concentration of the inorganic aluminosilicate flocculant, which provides the highest rate of thickening of the slime fractions, is its consumption of 1.0 mg/g. It has also been shown that the rate of precipitation of solid particles by an aluminosilicate flocculant is almost the same as the rate of their deposition by an organic flocculant D-Floc-4003 at a flow rate of 0.02-0.05 mg/g. Increasing the consumption of organic flocculant by 3 times increases the deposition rate by an order of magnitude.

Keywords. Thin clay slimes, thickening, aluminosilicate flocculant.

Құдайбергін А.Қ. Капралова В.И.

Дисперстілігі төмен сазды шламдарды бейорганикалық алуминосиликат флокулянтпен тұндыру процесін зерттеу

Дисперстілігі төмен сазды шламдарды тұндыру процесіне бейорганикалық алумосиликат флокулянттың әсері зерттелді. Құрамы 35 және 55% дисперстілігі төмен шламнан тұратын пульпаға бейорганикалық алумосиликатты флокулянтты енгізу, тұндыру жылдамдығын сәйкесінше 2-3 есе арттыратыны анықталды. Шлам фракцияларының ең жоғары тұндыру жылдамдығын қамтамасыз ететін бейорганикалық алумосиликатты флокулянттың оңтайлы концентрациясы 1,0 мг/г болып табылады. Сондай-ақ, бейорганикалық алумосиликатты флокулянттың қатты бөлшектерді тұндыру жылдамдығының шегі органикалық D-Floc-4003 флокулянттың шығыны 0,02-0,05 мг/г болғандағы тұндыру жылдамдығымен сәйкес келетіндігі көрсетілген.

Органикалық флокулянттың шығынын 3 есеге арттыру тұндыру жылдамдығын айтарлықтай жоғарылатады.

Түйінді сөздер. Дисперстілігі төмен шламдар, тұндыру, алумосиликатты флокулянт.

УДК 66.018.8

А.Б.Қалұова, В.Ә.Отарова

1 оқу жылы магистранттары, 7М07110 – Химиялық процестер және химиялық материалдардың өндірісі

Ғылыми жетекшілері - Ш.Н. Кубекова¹, қауымдастырылған профессор, техникалық ғылымдарының кандидаты, доцент

Р.А. Қайынбаева², техникалық ғылымдарының кандидаты

¹Satbayev University, Қазақстан, Алматы қ.

²А.Б. Бектуров атындағы Химиялық Ғылымдар Институты, Қазақстан, Алматы қ. k.aibarsha@mail.ru, otarova.venera@mail.ru

ХИМИЯЛЫҚ РЕАГЕНТТЕР ҚАТЫСЫНДАҒЫ ӨШІРУ СҮЙІҚТЫҒЫНЫҢ МОДЕЛЬДІК ЕРІТІНДІЛЕРІНІҢ КОРРОЗИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ

Андапта. Ұсынылған жұмыста 25 пайыздық ас тұзы ($\rho = 1,16 \text{ г/см}^3$, $\rho_{\text{корр.}} = 0,103 \text{ мм/жыл}$) ағынды су мен теңіз суының 2:1 қатынасындағы қоспасы өшіру сұйықтығының