

**НАВОИЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ
НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

УДК 669.214

Шомуродов Бекзод Абдунабиевич

**Технология флотационного обогащения руд с применением новых
вспенивателей на основе местного сырья**

Специальность 5А520403 «Металлургия цветных и благородных металлов»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание степени магистра технических наук

Работа рассмотрена и допускается

к защите

И.о. зав. кафедрой «Металлургия»

_____ **Донияров Н.А.**

« ____ » _____ 2010 г.

Научный руководитель:

_____ **к.т.н. Хайдаров А.А.**

« ____ » _____ 2010 г.

НАВОИ-2010 г.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Узбекистан по разведанным запасам золота, урана, меди и других металлов занимает одно из ведущих мест в мире. В условиях независимости перед горно-металлургической отраслью Республики встал целый комплекс сложных проблем. Это, прежде всего, повышение требований к охране окружающей среды, рост потребности в цветных и благородных металлах, в том числе золота, серебра и меди, дефицит флотореагентов, требования к чистоте получаемого продукта и др.

Реализация программы локализации производства на местном сырье и задачи поисков источников импортируемых видов продукции являются актуальными в числе многих других отраслей и для действующих горнодобывающих предприятий.

В настоящее время в Республике действуют два предприятия, входящие в состав Алмалыкского горно-металлургического комбината (АГМК), на которых флотируются золотосодержащие и медные руды: Ангренская золотоизвлекательная фабрика (ЗИФ) и Алмалыкская медная обогатительная фабрика (МОФ), где в больших количествах используются дорогостоящие флотореагенты, ввозимые из-за рубежа. Замена их на продукты местного производства позволит сократить валютные затраты на импорт и рационально использовать местное сырье, в том числе отходы производства.

В этой связи разработка импортзамещающих реагентов – вспенивателей и изучение возможности их использования в практике флотационного обогащения руд является актуальной задачей.

Целью исследований является разработка новых реагентных режимов технологии флотации золотосодержащих и медных руд для эффективного применения импортзамещающих реагентов– вспенивателей, полученных на основе местного вторичного сырья.

Из указанной цели работы вытекает решение следующих задач:

– изучение химического состава и физико-химических особенностей вспенивателей Р-3 и Р-4 (поверхностная активность, смачивание, пенообразующие эффекты, устойчивость и дисперсность пены и т. д.);

– изучение флотационных свойств вспенивателей Р-3 и Р-4 и сравнение их со свойствами традиционного вспенивателя Т-80;

Научная новизна. Впервые разработаны новые реагентные режимы технологии флотации золотосодержащих и медных руд с применением импортзамещающих реагентов–вспенивателей Р-3 и Р-4, полученных на основе местного вторичного сырья, взамен режима технологии флотации с применением традиционного реагента Т-80.

Практическая ценность. Результаты исследований позволили рекомендовать новые импортзамещающие реагенты Р-3 и Р-4 в качестве вспенивателей при флотации золотосодержащих и медных руд. Применение этих реагентов приводит к снижению себестоимости продукции обогатительных фабрик при сохранении технологических показателей.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научно-технической конференции Ташкентского химико-технологического института в 2001-2004гг. и научно-практической конференции «Современные проблемы развития минерально-сырьевой базы Республики Узбекистан» в Институте минеральных ресурсов (ИМР) в 2001г.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 137 страницах машинописного текста и состоит из введения, 7 глав, заключения и приложений. Работа иллюстрирована 24 рисунками и 29 таблицами.

1. ФЛОТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ РУД И РОЛЬ РЕАГЕНТОВ – ВСПЕНИВАТЕЛЕЙ

Традиционная переработка сульфидных и др. руд включает две основные стадии технологических процессов: обогащение и металлургию. Обогащение руд осуществляется путем дробления, грохочения, сортировки, измельчения, гравитационной концентрации, флотации. металлургические способы обработки включают: цианирование, амальгамацию, обжиг, сорбционные методы извлечения ценных продуктов, гидрохлорирование, автоклавное окисление труднообъемлюемых минеральных форм [15].

В основе каждого из существующих методов обогащения полезных ископаемых лежит практическое использование различий в тех или иных свойствах, присущих разделяемым минералам. Наиболее древний метод обогащения, называемый ручной рудоразборкой, основан на чисто внешних различиях между минералами – цвет, блеск, спайность. В начале развития металлургии и горного дела рабочие, выполнявшие одновременно роль горняков и металлургов, были и обогатителями. Разбивая глыбы руды на куски, они, руководствуясь цветом и блеском, отбирали полезные минералы [74].

На рубеже XIX и XX веков возник и получил развитие наиболее универсальный метод обогащения полезных ископаемых – флотация, основанный на использовании различий физико-химических свойств поверхностей разделяемых минералов [8, 47].

Развитие научно-исследовательских работ по теории процесса привело к созданию ряда теорий и гипотез, относящихся к отдельным этапам флотационного процесса. Однако это не дало возможность построить общую теорию флотационного процесса. Тем не менее, нельзя недооценивать большого положительного значения уже созданных теорий и гипотез, облегчающих выбор направлений для экспериментальных поисков новых режимов флотации [88].

Флотация (всплывание) – метод обогащения полезных ископаемых, основанный на различии физико-химических свойств поверхности минералов смачиваться водой.

Одни минералы в тонкоизмельченном состоянии в водной среде под действием флотационных реагентов не смачиваются водой, прилипают к пузырькам воздуха, всплывая на поверхность пульпы, и отделяются от других минералов, поверхность которых смачивается водой, и которые не прилипают к пузырькам воздуха. Все минералы обладают большей или меньшей флотационной способностью.

Хорошо флотируются такие минералы, как графит, сера, тальк, уголь, молибденит, пирит, халькопирит и другие.

Способность минералов смачиваться водой можно изменять искусственно, применяя флотационные реагенты.

В принципе все минералы могут быть сфлотированы, если их поверхность будет для этого подготовлена. Если поверхность минералов смачивается водой, то к ней не сможет прилипнуть пузырек воздуха, и минерал не будет флотироваться.

Если же поверхность минерала не смачивается водой, то к ней легко прилипают пузырьки воздуха и комплекс минерал-пузырек всплывает на поверхность пульпы, т.е. минерал флотируется.

Путем подбора флотационных реагентов можно создать такие условия, при которых одни минералы будут флотироваться, а другие нет.

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 [83].

Широкое применение флотационного процесса объясняется большими преимуществами его перед другими методами: возможность перерабатывать бедные руды с низким содержанием металлов, комплексно перерабатывать

сложные полиметаллические руды, эффективно перерабатывать тонковкрапленные руды и др. [28, 33].

Современные флотационные режимы разделения минералов были созданы преимущественно эмпирическими методами. Вследствие сложности флотационного процесса, зависимости его от множества переменных факторов, развитие теории флотации происходит медленно.

Англичанин Уильям Хейнс [17] запатентовал способ разделения минералов, основанный на различии в поведении сульфидных минералов и пустой породы при обработке их маслами. Карри Эверсон [17] запатентовала метод, являвшийся развитием способа Хейнса и отличавшийся лишь тем, что К. Эверсон во флотационную пульпу прибавляла серную кислоту, чтобы увеличить различие в свойствах поверхностей частиц рудных минералов и пустой породы. Следующая ступень развития флотации была связана с исследованиями А.Ф. Каттермоля [17], который предложил и применил на центральном руднике Брокен-Хилл (Австралия), мыла, кислоты и щелочи для улучшения результатов обогащения руд.

Флотационный подход был запатентован братьями Бассель [17] из Дрездена для обогащения графитовых руд, он был основан на подаче газовых пузырьков в пульпу.

С открытием пенной флотации пленочная флотация была оставлена, так как её производительность была несравненно ниже, чем пенной.

За исключением метода С.В. Поттера [17], большинство других методов того времени требовало большого расхода масла. Однако при уменьшении количества масла, предусмотренного в раннем процессе А.Ф. Каттермоля [17], сульфидные минералы можно было сфлотировать, в то время как минералы породы оставались в пульпе.

Х.Л. Салмен, Х. Пиккард и Д. Боллот и затем Т.И. Гувер [17] предложили энергично перемешивать пульпу, как способ аэрации. Таким образом, возник современный пенный флотационный метод.

Флотация зависит от ориентированной адсорбции растворимого собирателя. Адсорбированная молекула состоит как бы из двух частей – одной частью она закрепляется на поверхности, а другая часть, направлена или ориентирована от поверхности. Эта внешняя часть адсорбированной молекулы и определяет флотационные свойства минерала, покрытого адсорбционной пленкой.

Харди впервые сформулировал принцип ориентации адсорбированных молекул. И. Ленгмюр и Н.К. Адам [17] выполнили фундаментальные исследования таких ориентированных молекул в пленках, особенно на поверхности воды.

Очень большое научное значение для понимания явлений капиллярности имели работы П.С. Лапласа, Т. Юнга и русского физика И.С. Громеки [81] по теории капиллярности, поверхностной энергии σ и гистерезисе смачивания.

В. Гиббс [17] сформулировал важный термодинамический принцип, относящийся к стабильности пен. Весьма существенным для флотационной теории явилось также представление о свободной энергии, введенное Г.Л. Гельмгольцем [2] при разработке им теории химических реакций, особенно теории гальванических элементов.

Особого внимания заслуживают работы И. Ленгмюра и В.Д. Гаркинса [17].

В частности, И. Ленгмюр отмечал, что еще не нашло достаточного теоретического объяснения образование на поверхности минеральных частиц тонких масляных пленок, благодаря которым происходит закрепление этих частиц на воздушных пузырьках, выносящих минералы на поверхность пульпы. Эта мысль И. Ленгмюра, относящаяся к самым важным проблемам флотации, подтверждает отсутствие в то время не только сколько-нибудь цельной теории флотации, но и понимания сущности флотационного процесса. Главной задачей, по мнению И. Ленгмюра, является рассмотрение флотации с позиций теории адсорбции и поверхностного натяжения. И. Ленгмюр выделял три класса явлений во флотации: образование и свойства

пены; омасливание минеральных частиц; адгезия омасленных минеральных частиц к воздушным пузырькам.

А.Ф. Таггарт и А.М. Годэн [20, 80] рассмотрели общие сведения о поверхностном натяжении, адсорбции на границе раздела фаз вода-воздух, относительно правильно проанализировали физико-химическую сторону процесса пенообразования. Вместе с тем, вопрос о механизме пенообразования был совершенно не затронут, и даже не поставлен, а собирательное действие было исследовано лишь по отношению к нерастворимым маслообразным реагентам.

Всеобщее признание получили исследования Я.К. Сыркина, Б. Трепнела, Б.В. Ильина и его школы [30, 75, 77] о скорости адсорбции, природе адсорбционных сил, их электрическом характере и о теории физической адсорбции.

Большим вкладом в развитие флотации явилась работа П.А. Ребиндера «Физико-химия флотационного процесса» [61]. Ссылаясь на введенное им самим понятие «угол смачивания» α , он предложил уравнение, характеризующее степень смачиваемой способности поверхности частиц водой:

$$f = \sigma_{г,ж} \cos(\theta + \alpha) \quad (1.1)$$

Весьма существенное значение для развития теории флотации имела работа академика А.Н. Фрумкина, [17] который дал кинетический анализ процесса образования конечного краевого угла и тончайшего остаточного гидратного слоя (пленочной фазы) под прилипшим к минеральной поверхности газовым пузырьком.

Развивая представления П.А. Ребиндера о возможности флотации при любом краевом угле, большем 0° , с учетом угла формы, М.А. Эйгелес [88] пришел к выводу о том, что частицы минералов флотационного размера могут прилипать к пузырьку при малом краевом угле смачивания, отличном от $60-90^\circ$.

О.С. Богдановым с сотрудниками [65] была сделана попытка, рассчитать вероятность флотации по величине произведения вероятности столкновения частиц с пузырьками W_1 и вероятности закрепления их на пузырьках W_2 .

Ученые экспериментально доказали, что адсорбционные слои поверхностно-активных веществ и, в частности, пенообразователей влияют на скорость подъема воздушных пузырьков. Это увеличивает возможность столкновения пузырьков с минеральными частицами и повышает вероятность флотации [65].

С термодинамических позиций и с учетом кинетики процесса прилипания было установлено следующее:

- причины и механизм образования комплекса минерал-пузырек (образование гидратных слоев на минерале и пузырьке);
- гидрофобизация минерала, как процесс снижения устойчивости гидратных слоев на его поверхности;
- кинетика и энергетика прорыва гидратных слоев с образованием тончайшего остаточного гидратного слоя на площади контакта пузырька с минералом и возникновение трехфазного периметра смачивания;
- зависимость толщины остаточного гидратного слоя от степени гидрофобности минерала.

Установление взаимосвязи между прилипанием минеральных зерен к пузырькам и свойствами тончайших водных прослоек их разграничивающих, позволяет рассматривать влияние отдельных факторов – природы минералов, реагентов и других – с точки зрения изменения ими свойств этих прослоек.

На основе этой взаимосвязи могут быть объединены в единое целое работы П.А. Ребиндера, И.Н. Плаксина, И.А. Каковского, М.А. Эйгелеса и др. [13, 61, 17, 88] в области взаимодействия реагентов с минералами; М.А. Эйгелеса, О.С. Богданова, В.И. Классена и др. [11, 34, 88] – по изучению механизма прилипания минеральных частиц к пузырькам; П.А. Ребиндера, Г.О.

Ерчиковского, Н.А. Алейникова, Д.Л. Талмуда и др. [31, 61] – по исследованию свойств флотационных пен и т.д.

Развитие практики флотационного обогащения в последующее время характеризовалось:

1. Значительным увеличением объема добычи полезных ископаемых. Если за первую половину XX столетия объем мировой добычи полезных ископаемых возрос в 3,4 раза, то по данным [45, 56] мировая добыча с 1950 до 1990г. возросла в 13,5 раз.

2. Повышением доли труднообогатимых руд в общем количестве перерабатываемого сырья. Непрерывное снижение содержания в обогащаемом сырье полезных компонентов поставило перед наукой следующие проблемы:

– разработка принципиально новых методов флотации, достаточно эффективных и рентабельных в новых условиях (например, методов эффективного разделения коллективных концентратов);

– создание новых высокоэффективных и недорогих флотационных реагентов;

– внедрение весьма высокопроизводительных флотационных машин с отличной от прежних гидродинамикой;

3. Приростом запасов за счет снижения бортового содержания.

4. Расширением ассортимента флотируемых полезных ископаемых. Если раньше флотации подвергали главным образом сульфидные руды цветных металлов, то теперь наряду с ними во все возрастающих масштабах стали флотировать каменные угли, растворимые соли, апатиты и фосфориты, руды редких металлов, а также олова.

Вовлечение в практику флотации все более широкого ассортимента флотируемых минералов различного состава и сложных минеральных комплексов предъявило к флотационной науке новые требования – изучение взаимодействия реагентов с минералами в условиях ранее изученных флотационных систем, изыскание новых реагентов.

5. Выдвижением проблем экологического характера на одно из первых мест. С ростом масштабов производства борьба с загрязнением промышленных сточных вод флотационными реагентами и тонкодисперсными твердыми частицами стала особенно актуальной.

6. Переходом от экстенсивного развития флотационного производства к интенсивному. Это означает, что развитие производства основывается уже не только на простом количественном его расширении, а прежде всего путем качественных изменений.

Работы, проведенные И.Н. Плаксиным, Р.Ш. Шафеевым и В.А. Чантурией [17], показали, что изменение концентраций носителей отрицательных и положительных зарядов влияют на поглощение и закрепление минералами отдельных флотационных реагентов. Использование этих ранее неизвестных закономерностей позволило предложить практике новые методы интенсификации флотационного процесса на основе электрохимического воздействия и фотонного излучения, которые уже в настоящее время применяют в промышленности.

Идея использования в целях интенсификации флотационного процесса возможности направленного изменения окислительно-восстановительного потенциала и электронных переходов во флотационных системах полностью подтверждена в ходе развития теории и практики флотации. Исследования, связанные с разработкой электрохимических методов интенсификации флотации, наметили пути управления электрохимическими явлениями в пульпе в зависимости от конкретных условий флотации и применительно к различным типам руд, что создало условия для широкого применения электрохимических методов во флотационной практике.

Исследования элементарного акта флотации и кинетики минерализации воздушных пузырьков показали весьма существенное значение для хода и конечных результатов флотации продолжительности контакта пузырьков с минеральными частицами, возрастающей с увеличением крупности минеральных частиц. На основе этих работ, в

частности, был создан принципиально новый и прогрессивный метод пенной сепарации, при котором увеличение продолжительности контакта пузырьков с минеральными частицами достигается подачей флотационного питания на пенный слой. Указанный метод особенно эффективен для флотации крупнозернистого материала.

Имеются монографии авторов [71, 88, 34, 19, 63, 81, 16, 4], которые полностью обобщают результаты флотации несulfидных и sulfидных минералов.

В работах [2, 14] исследована оптимизация процесса селективной флотации, а в работах [11, 12, 13, 65, 80] показаны результаты минерализации воздушных пузырьков и роли собирателей, пенообразователей и регуляторов во флотационном процессе. По разработке физико-химических основ разделения минералов с близкими физико-химическими свойствами имеется работа [62], а в области кинетики прилипания и взаимодействия минералов с реагентами при флотации работа [68].

Проанализировав материалы вышеуказанных монографий можно сделать следующие выводы: положения физической и коллоидной химии являются главными составляющими при изучении процесса флотации; имеются общие связи флотационного процесса с некоторыми разделами физики и химии; большая связь флотационной науки с кристаллохимией и минералогией.

Взаимосвязь флотационной науки с физической и коллоидной химией обусловлена адсорбционной способностью собирателей и пенообразователей по отношению к поверхностям разделов фаз твердое – вода и вода – воздух, которые определяют связь флотации с физической химией.

Механизм взаимодействия ионогенных и особенно анионных реагентов собирателей с минералами изучен в работах [18, 64, 77]. Показано, что между реагентами и минералами преимущественно протекают хемосорбционные процессы. Определение плотности адсорбционного слоя на поверхности

минералов с применением метода микроавторадиографии в единицах условного монослоя показало, что в ряде случаев имеет место полислоный характер адсорбционных покрытий, образованных на основе химического взаимодействия минералов с реагентами. Это дает основание считать, что хемосорбция является лишь первым этапом подобных взаимодействий, но она со временем и при известных условиях превращается в гетерогенную химическую реакцию.

Одним из основных вопросов теории флотации является объяснение повышения эффективности гидрофобизации минералов собирателями при переходе от гомологов с короткими углеводородными цепями к гомологам с более длинными цепями. Впервые это явление было объяснено в работах [61, 88]. Сущность его сводилась к тому, что с удлинением углеводородных цепей собирателя увеличивается энергия дисперсионного притяжения между этими цепями, что приводит к возрастанию устойчивости хемоадсорбционного слоя собирателя и, в свою очередь, к повышению гидрофобизирующего эффекта.

С теорией сорбционных процессов теснейшим образом связано возникновение принципиально нового метода флотации – флотации ионов и молекул. Сущность ионной флотации состоит в том, что сорбирующиеся на поверхности воздушных пузырьков поверхностно-активные соединения выбирают таким образом, чтобы их полярные группы были способны химически присоединять ионы из объема раствора, и тем самым достигается концентрирование на пузырьках и в ионном слое этих ионов и вынос их из раствора [38]. При этом можно рентабельно извлекать из раствора ионы при столь малых их концентрациях, которые совершенно неприемлемы для гидromеталлургических методов.

В работе Фрумкина [17] в свое время было показано, что под пузырьком, прилипшим к твердой поверхности, образуется остаточный гидратный слой весьма малой толщины, и была рассмотрена кинетика его образования. Между тем, дальнейшее развитие теории флотации (особенно, в

вопросе об образовании комплекса минерал – пузырек) сдерживается тем, что указанное направление не получило в физической химии дальнейшего развития.

Значительное повышение селективности и эффективности флотации достигается в результате модификации существующих и применения новых флотационных реагентов. Основные направления: замена токсичных реагентов на нетоксичные или менее токсичные; применение более селективно-действующих собирателей, пенообразователей, реагентов-модификаторов, хорошо разрушающихся при химической или термической обработке [1].

Для управления флотационным процессом применяются флотационные реагенты, обеспечивающие избирательную флотацию различных минералов, т. е. отделение полезных минералов друг от друга и от минералов пустой породы, а также способствующие образованию прочных пузырьков воздуха и всплыванию флотируемых минералов.

Применяемые в настоящее время флотационные реагенты отличаются большим разнообразием. Они представлены неорганическими и органическими соединениями различного состава, щелочами, кислотами, солями, продуктами переработки древесины, угля, кокса и т. п.

В зависимости от назначения флотационные реагенты делятся на три большие группы: собиратели, регуляторы (модификаторы), пенообразователи [82].

В пенной флотации всплывшие на поверхность пульпы пузырьки воздуха с минеральными частицами не сразу разрушаются, а, скапливаясь, образуют пену. Уже в слое пены происходит разрушение, слияние отдельных пузырьков и непрерывное пополнение ее поднимающимися из пульпы пузырьками. Таким образом, пена обладает некоторой устойчивостью и продолжительностью жизни, достаточной для того, чтобы увлеченный в нее избыток воды и нефлотирующихся минеральных частиц, в особенности

шламов, мог стечь вниз, за время, в течение которого пена находится на поверхности пульпы во флотомашине [58].

Вспениватели повышают дисперсность пузырьков воздуха и устойчивость флотационной пены. Реагенты-пенообразователи представляют собой гетерополярные поверхностно-активные органические вещества, способные адсорбироваться на поверхности раздела вода – воздух.

Присутствие вспенивателя в жидкой фазе флотационной пульпы повышает механическую прочность воздушных пузырьков, способствует сохранению их в дисперсном состоянии, увеличивая тем самым поверхность прилипания частиц флотируемого минерала и устойчивость флотационной пены.

В зависимости от эффективности действия пенообразователей при различных значениях рН пульпы (рис 1.1) они разделяются на кислые, основные, обладающие максимальными пенообразующими свойствами в щелочных пульпах, и нейтральные, применение которых при флотации практически не зависит от рН пульпы [22].

К кислым пенообразователям относятся реагенты двух видов: фенольные (крезол, ксиленол, фенолсодержащие древесные масла и др.) и алкиларилсульфонаты (детергенты, азоляты). В связи с тем, что флотация руд проводится главным образом в щелочных пульпах, в обогащательной практике кислые пенообразователи известны как слабые, но в большинстве своем довольно селективные реагенты.

Наиболее значительной по количеству и важности группой реагентов-пенообразователей являются нейтральные реагенты. Их целесообразно подразделить на три группы: реагенты, содержащие ароматические и алициклические спирты; реагенты, содержащие алифатические спирты; и реагенты, содержащие вещества с эфирными связями.

К первой группе реагентов относятся терпинеолсодержащие вещества, присутствующие в различных древесных маслах, и некоторые синтетические пенообразователи типа циклогексанола, диметилфенилкарбинола, синтетического терпинеола (терпинеоловое масло) и др.

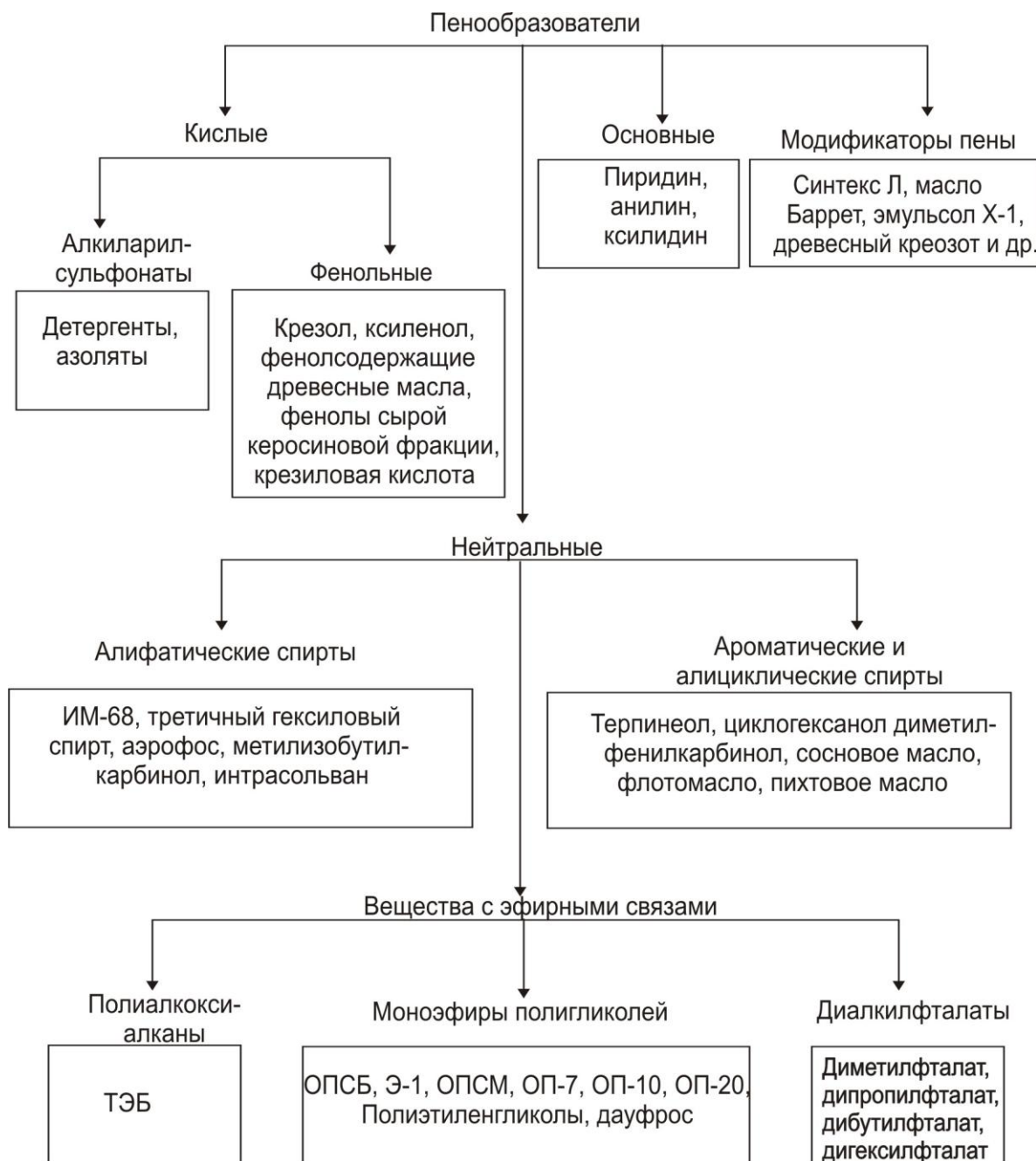


Рис. 1.1. Классификация реагентов-пенообразователей.

Ко второй группе относятся индивидуальные вещества или смеси спиртов, получаемые в качестве побочных продуктов при производстве различных химических соединений либо в результате специально организованного производства [82, 78, 52].

К реагентам, содержащим вещества с эфирными связями, относятся моноэфиры полипропиленгликолей, полиалкоксиалканы и диалкилфталаты. К числу основных пенообразователей, имеющих практическое значение,

относятся тяжелые пиридиновые основания, обладающие заметными пенообразующими свойствами в сильнощелочных средах.

Пенообразователи, выполняющие при флотации роль модификаторов пены, обычно применяются для предотвращения гашения пены, изменения ее устойчивости и структуры. К ним относятся алкилсульфаты, обладающие как собирательными, так и пенообразующими свойствами, и реагенты, относящиеся к моющим средствам – типа ОП [22].

Вспениватели по своему действию:

- способствуют образованию более мелких пузырьков воздуха, т.е. при прочих равных условиях диспергирование воздуха во флотомашине в присутствии этих веществ происходит интенсивно;

- препятствуют соединению отдельных мелких пузырьков;

- резко снижают скорость движения пузырьков, поднимающихся на поверхность пульпы;

- увеличивают прочность пузырьков и устойчивость пены, образовавшейся в результате подъема минерализованных пузырьков на поверхность пульпы [24].

Согласно литературным данным за последние годы было предложено для применения при флотации в общей сложности около 7500 реагентов [1, 52]. Среди них имеются реагенты из самых различных классов химических соединений, рекомендованных в качестве пенообразователей, регуляторов с различными функциями и, в особенности, собирателей. В области изыскания новых флотационных реагентов во всех странах, имеющих развитую химическую и обогатительную промышленность, ведутся весьма интенсивные исследования.

В настоящее время в качестве пенообразователей на обогатительных фабриках СНГ почти повсеместно применяют Т-80 (оксаль), в США и Канаде применяют «Дауфрос» и метилизобутилкарбинол (МИБК). В последние годы начали использовать новые реагенты серии Дауфрос-1012 и -1263. Эти реагенты имеют ограниченную растворимость в воде и создают более

устойчивую пену по сравнению с Дауфрос-250. В Японии применяют реагент Ньюпол-5М на основе полигликолей [52, 76, 67].

В табл. 1.1 представлен список традиционных вспенивателей, применяемых при флотации золотых, серебряных, медных, молибденовых и полиметаллических руд [11, 84, 73, 82].

Таблица 1.1.

Наиболее распространенные реагенты-вспениватели применяемые при флотации руд

Наименование реагента	Наименование руды, продукта обогащения	Предприятия
1	2	3
Аэрофлот-25	Пирротиновые золотосодержащие руды и руды, содержащие медь, свинец, цинк и др.	«Делнайт», «Паракала», «Домойко»
Терпинеол	Вольфрам-молибденовые	Сорская, Тырнаузская фабрики
ДС	Свинцово-цинковые	Текелийская фабрика
ОП-4	Апатитовые	«Апатит»
Дауфрос-250	Золото-мышьяковые, золото-пиритные и окисленные золотосодержащие медно-цинковые, медно-молибденовые, медно-свинцово-цинковые	«Делнайт», «Джайент», «Иеллоунайф», «Мак Интайр», «Экстол», «Гендерсон», «Пинто Вэлли», «Утимота», «Коминко Кон»
Сосновое масло	Сульфидные, полиметаллические, медно-цинковые, медно-молибденовые, висмут-молибденовые, свинцово-цинковые	«Кемпбел Чибугами», «Пачука Войгель-струйбулт», «Росен», «Каваяма», «Хитачи», Красноуральская, Сибайская, Карабашская, Рудоземская, Каджаранская фабрики,

1	2	3
AP-65	Висмут-молибденовые	«Гибралтар»
Ксиленол	Медно-молибденовые	«Клаймакс», «Гендерсон»
Аэрофлот 242	Шламистые и золото-пирротинные	«Делнайт»
Масло Баррет №14	Золото-мышьяковистая	«Джайнет», «Иеллоунайф»
Метилизобутил-карбинол	Свинцово-цинковые, медно-цинковые, медно-молибденовые, висмут-молибденовые	«Зинк Корпорейшн», «Микохата», «Фокс», «Бренда», «Гибралтар», «Сан-Джиованни»,
Смесь эфиров полиэтиленгликолей с n=2,3,4,5	Медно-свинцово-цинковые	Зырянская, Сибайская, Гайская фабрики
Флотомасло (отходы бутанола)	Медно-цинковые	«Микохата», Красноуральская, Кировоградская, Башкинская, Учалинская фабрики
T-80 (T-66)	Медно-молибденовые, свинцово-цинковые, золотосодержащие и др.	Джезказганская, Балхашская, Алмалыкская, Анзобская, Ангренская и др. фабрики
Крезол	Медно-цинковые, медно-свинцово-цинковые	Джезказганская, Карабашская, Красноуральская, Гайская, Лениногорская фабрики
ОПСБ	Медно-молибденовые	Каджаранская фабрика

Ниже приведены основные данные, характеризующие состав, свойства и условия применения основных вспенивателей, применяемых в промышленности, а также испытанных в промышленных или полупромышленных условиях и имеющих практическое значение при флотации руд [23, 52, 72, 73, 85].

T-80 (оксаль) – светло коричневая жидкость со слабым приятным запахом, умеренно растворимая в воде. Он предоставляет собой смесь кислородсодержащих соединений с преобладанием диоксановых спиртов (40-45%) и низким содержанием метилбутандиола. Содержание диметилдиоксана не более 1%. Температура вспышки не ниже 80° С.

Он характеризуется следующими показателями: плотность 1,06-1,08г/см³ при 20°С, массовая доля ОН – группы 23-36 %, эфирное число 1,5-4 мг КОН. Получается из масляного слоя высококипящих побочных продуктов производства диметилдиоксана. Внедрен на многих обогатительных фабриках при флотации сульфидных и золотосодержащих руд, а также при флотации нерудных ископаемых. Реагент рекомендован для флотации институтом «Гинцветмет».

Масло сосновое флотационное представляет собой прозрачную жидкость от светло-желтого до темно-желтого цвета с приятным скипидарным запахом. Его получают при переработке пневого осмола на канифольно-экстракционном заводе «Вахтан».

Сосновое масло применяют при флотации медных, медно-пиритных, медно-никелевых, цинковых и других руд. Применяется на многих обогатительных фабриках в качестве вспенивателя [23].

Крезол – это маслянистая жидкость темно-коричневого цвета, представляет собой техническую смесь орто-(35 – 40%), мета- (25 – 28%) и паракрезолов - (35–40%), нейтральных углеводов, фенолов, производных ксилола и высших ароматических углеводов.

Химическая формула крезола: $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$

При флотации монометаллических руд и труднофлотируемых минералов желательно применение сильных труднорастворимых, но хорошо эмульгированных пенообразователей. При получении и селекции коллективных концентратов, наоборот, целесообразно пользоваться более слабыми, хорошо растворимыми в воде пенообразователями, чтобы не осложнять процесс

Флотационного разделения применением повышенных расходов реагентов, а также удаления пенообразователя из сорбционного слоя с поверхности депрессируемого минерала [23, 83].

В Узбекистане на обогатительных фабриках при обогащении методом флотации широко используются импортные реагенты: реагент-собиратель бутиловый ксантогенат калия (БКК) и реагент-вспениватель Т-80 (оксаль). Эти реагенты приобретаются за валюту из России и Китая. Стоимость реагента БКК – 1190 долларов США, а вспенивателя Т-80 – 380 доллар США. В связи с дефицитом, высокой стоимости и ввоза из-за рубежа этих реагентов, а также для обеспечения обогатительных фабрик необходимо использовать местные ресурсы. Внедрение местных импортзамещающих реагентов позволит сделать независимой работу обогатительных фабрик, так как производителями местных реагентов могут являться сами фабрики.

Изучением литературных данных установлено, что в Узбекистане в частности в Институте химии АН РУз также велись работы по синтезу и разработке местных реагентов. У.К. Ахмедовым [7] разработаны и рекомендованы (совместно с СредазНИИПроЦветМет) новые составы для флотации несulfидных руд, которые позволили в основном цикле снизить расход жидкого стекла до 150г/т и повысили качество готового шеелитового концентрата, по сравнению с известным способом, до 56,5%. Кроме того, предложенный состав позволил упростить технологическую схему по сравнению с известной, сократил число перечисток в цикле доводки до одной. В работах С.Н. Аминова [5] показано, что полиоксиэтиловый эфир алкилфосфоновых кислот и алкилацетатпиридиний хлоридов в сочетании с ксантогенатом повысили извлечения золота в концентрат на 3-6%. Производные алкилфосфоновых и янтарных кислот, триэтаноламмониевая соль алкиларилсульфокислот проявляли высокую эффективность при флотации сурьмяных руд. В работах Р.Р. Махкамова [44] показано, что синтезированные поверхностно-активные вещества применялись при флотации сульфидных руд.

В ИМРе также испытывались различные реагенты, предложенные вспениватели СВК (стоки водные концентрированные), КО (кубовые остатки завода фурановых соединений) повысили извлечение ценных компонентов на 4,0-4,5%, но требовали высокого расхода при флотации.

Высокая стоимость применяемых импортных реагентов обуславливает необходимость изыскания других, недефицитных и более приемлемых, которые обеспечили бы достаточно высокие технологические показатели по извлечению ценных компонентов и по содержанию благородных металлов в концентрат.

Прогресс в области флотационного обогащения в значительной мере определяется совершенствованием реагентного режима, улучшением способов использования флотационных реагентов, разработкой и внедрением новых эффективных реагентов и их сочетаний.

Каждая золотосодержащая или медная руда при обогащении методом флотации требует разработки реагентного режима. Возможность регулирования флотации путем изменения реагентного режима процесса в значительной мере зависит от природы реагентов, их концентраций и энергетического состояния в растворе. Мерой последнего могут быть коэффициенты активности, отнесенные к выбранному стандартному состоянию. Регулирование реагентного режима имеет целью создание оптимальных условий разделения полезных минералов при флотации. Нами были разработаны новые реагентные режимы флотации золотосодержащих и медных руд с применением местных реагентов – вспенивателей, а также изучен механизм взаимодействия их с минералами.

В практике [78] флотации благородных металлов известно, что сивушные масла можно использовать в качестве вспенивателей, но образованные пены становятся не устойчивыми, для улучшения показателей по устойчивости пены необходимо модифицировать состав сивушных масел. Исходя, из этого сивушные масла обрабатывались отходами заводов «Капролактам» и серной кислотой.

Выводы по главе:

– для обогащения полиметаллических, сульфидных, золотосодержащих руд в основном применяется пенная флотация;

– флотация проводится с применением комплекса реагентов, среди которых важное место занимают вспениватели, которые, увеличивая диспергирование воздуха в процессе флотации, создают условия для эффективного извлечения полезных ископаемых;

– в настоящее время в качестве вспенивателей на обогатительных фабриках Узбекистана и СНГ применяют Т-80 (оксаль) и сосновое масло, а в США, Канаде и Японии применяют вспениватели типа: Аэрофлот, «Дауфрос», Ньюпол-5М и др.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРИМЕНЯЕМАЯ АППАРАТУРА

Для выполнения исследований применялись следующие методы:

– ИК-спектроскопия проведена согласно работе [10, 54];

– измерения поверхностного натяжения растворов, измерения краевых углов смачивания, измерения объема образуемой пены и скорости ее разрушения, изучение влияния рН раствора на пенообразование, изучение влияния различных реагентов-регуляторов на пенообразование, изучение влияния вспенивателей на диспергирование воздуха и крупность пузырьков проведено по методике [53].

– химический, спектральный, пробирный, рациональный, гранулометрический и минералогический анализы [46, 48, 47, 57];

– пенная флотация [12, 53];

Объектами исследования служили реагенты-вспениватели Р-3, Р-4 и традиционный вспениватель Т-80.

Исследования по измерению краевых углов смачивания проводились на самородном золоте, пирите, арсенопирите, кварце и кальците.

Для исследования влияния вспенивателей на флотируемость минералов использовались технологические пробы различных типов (сульфидные, смешанные, окисленные), отобранные на месторождениях Кызылалма, Балпантау, Аджибугут и Кальмакыр, а также монофракции сульфидов (пирит и арсенопирит), кварц и кальцит. Кроме того, при изучении краевого угла смачивания (КУС) использовался образец самородного золота. Для измерения КУС использовались штучные образцы мономинералов, отобранные из тех же проб. Площадь шлифа 2-3см².

Результаты химического и пробирного анализа средних проб руды и мономинералов приведены в главе 4.

Результаты минералогического и гранулометрического анализа руды месторождения Кызылалма приведены в главе 5.

Результаты полуколичественного спектрального анализа средних проб руды (Кызылалма, Балпантау, Аджибугут и Кальмакыр) и минералов (пирит и арсенопирит) приведены в табл. П.1.1 и табл. П.1.2.

Для экспериментов по флотации мономинералов использовалась флотационная машина конструкции института «МЕХАНОБР» (Санкт-Петербург) с камерой емкостью 0,125 дм³, а для флотации руды – лабораторные флотомашины марки 237 ФЛА и 240 ФЛА с камерами емкостью 3,0 и 1,0 дм³.

Поскольку главными минералами – концентраторами золота являются пирит и арсенопирит, основные закономерности кинетики флотации с новыми и традиционным реагентами изучались именно на этих минералах, а также на сульфидных, смешанных и окисленных золотосодержащих рудах [27].

Руда и хвосты гравитации измельчались в лабораторной шаровой мельнице 40МЛ, а мономинералы в фарфоровой ступке.

Мономинералы измельчались до крупности 100% кл. -0,074мм, а руда до крупности 85-90% класса -0,074мм. Для флотации использовали 50г мономинерала и 1000г руды. Во флотационных опытах варьировались расходы кальцинированной соды, бутилового ксантогената калия (БКК), вспенивателей Т-80, Р-3 и Р-4, а также реагентов-активаторов. Контроль процесса флотации осуществлялся по выходу мономинералов в пенный продукт, а в опытах с рудой – по содержанию золота и серебра в концентратах, промпродуктах, хвостах флотации [8, 9].

При измерениях использовались спектрофотометр SPECORD-75 IR, установки Ребиндера для определения поверхностного натяжения, измерения диаметра пузырьков и краевых углов смачивания и других физико-химических параметров [53, 59].

Продукты флотации анализировались на содержание золота и серебра, меди на атомно-абсорбционном спектрометре фирмы «Перкин – Элмер» и пробирным методом [9].

При анализе и очистке сточных вод объектом исследований работы являлись конечные продукты обогащения. Поскольку основным циклом схемы, представляющим интерес для испытаний новых реагентов, является цикл флотации, основное внимание уделялось флотоконцентратам и хвостам флотации.

Для изучения осветляемости пульпы использовался метод отстаивания в цилиндрах емкостью 1дм³. Обработка экспериментальных данных осуществлялась по методике МЕХАНОБРа (г.Санкт-Петербург) [73].

Контроль химического состава сточных вод до и после их очистки осуществлялся путём выполнения общих химических анализов проб воды с использованием методов пламенной фотометрии, колориметрии, объемных и весовых методов анализа [53].

3. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАГЕНТОВ – ВСПЕНИВАТЕЛЕЙ Р-3 И Р-4

3.1. Химический состав и физико-химическая характеристика реагентов Р-3 и Р-4.

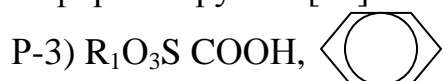
Реагенты Р-3 и Р-4 синтезированы в Ташкентском фармацевтическом институте под руководством проф. С.Н. Аминова. Для получения вспенивателя Р-3 кубовые остатки дистилляции бензойной кислоты разлагаем серной кислотой при температуре 120C^0 в течении 0,5ч. Полученную массу обрабатываем сивушным маслом при температуре 120C^0 в течении 3ч. Для получения Р-4 вместо сивушных масел загружается этаноламидсодержащие отходы завода «Электрохимпром». Реагенты Р-3 и Р-4 представляют собой вязкую темно-коричневую жидкость, легко растворимую в воде. Плотность их 1,8-1,9 г/см³. Водный раствор этих веществ имеет кислую реакцию.

Предлагаемые реагенты, условно называемые Р-3 и Р-4, получены из отходов химической и пищевой промышленности республики.

Вспениватель Р-3 синтезирован из отходов завода «Капролактам», «Ташкентвино» и серной кислоты, а вспениватель Р-4 из отходов завода «Капролактам», «Электрохимпром» и серной кислоты.

Исходные отходы (кубовые остатки) содержат бензойную кислоту, фталевую кислоту, смолы и другие примеси, а отходы «Ташкентвино» – сивушные масла содержат пропиловый, изобутиловый (первичный), амиловый и другие высшие спирты [32].

Основным компонентом реагента Р-3 является моноалкиловый эфир сульфобензойной кислоты, структурная формула которого состоит из ароматического кольца, углеводородных радикалов, карбоксильной и сложноэфирной группы [43]:



где, $\text{R}_1\text{-C}_{10}\text{H}_{21}\text{-C}_{12}\text{H}_{25}$;

В отличие от Р-3 вспениватель Р-4 представляет собой этаноламид моноалкилового эфира сульфобензойной кислоты:



где, $R_2-H_2N-CH_2-CH_2-OH$;

В табл. 3.1 приведена физико-химическая характеристика этих реагентов [40].

В табл. 3.2 показаны полосы поглощения, а на рис. 3.1а, б, в – приведены инфракрасные спектры P-3 и P-4, а также реагента Т-80 (оксаль).

Таблица 3.1.

Физико-химическая характеристика вспенивателей P-3 и P-4

Реагент	Показатели					
	показатель преломления n_D^{20}	плотность, г/см ³	поверхностное натяжение МН/м 1% р-р	пенообраз. способность 1% р-р V мл	оптич. плотность 1% р-р	вязкость 1% р-р г/см·сек
P-3	1,6483	1,9	28,34	265	1,72	1,1072
P-4	1,5233	1,8	30,26	240	1,56	1,0965

Таблица 3.2.

Полосы поглощения Т-80, P-3 и P-4

Вещество	Волновые числа, см ⁻¹			
	4000-3000	3000-2000	2000-1000	1000-0
Т-80	3855, 3633, 3172, 3051	2969, 2559, 2547, 2067	1891, 1567, 1340, 1230, 1027	867,673
P-3	3900, 3130, 3040	-	1900, 1790, 1630, 1570, 1460, 1300, 1200	900,770
P-4	4000, 3900, 3660, 3560, 3520, 3450, 3425, 3340, 3120, 3040	-	1900, 1840, 1800, 1700, 1680, 1650, 1580, 1470, 1375, 1300, 1245, 1210, 1160, 1120, 1015	950, 935, 900, 860, 780, 650

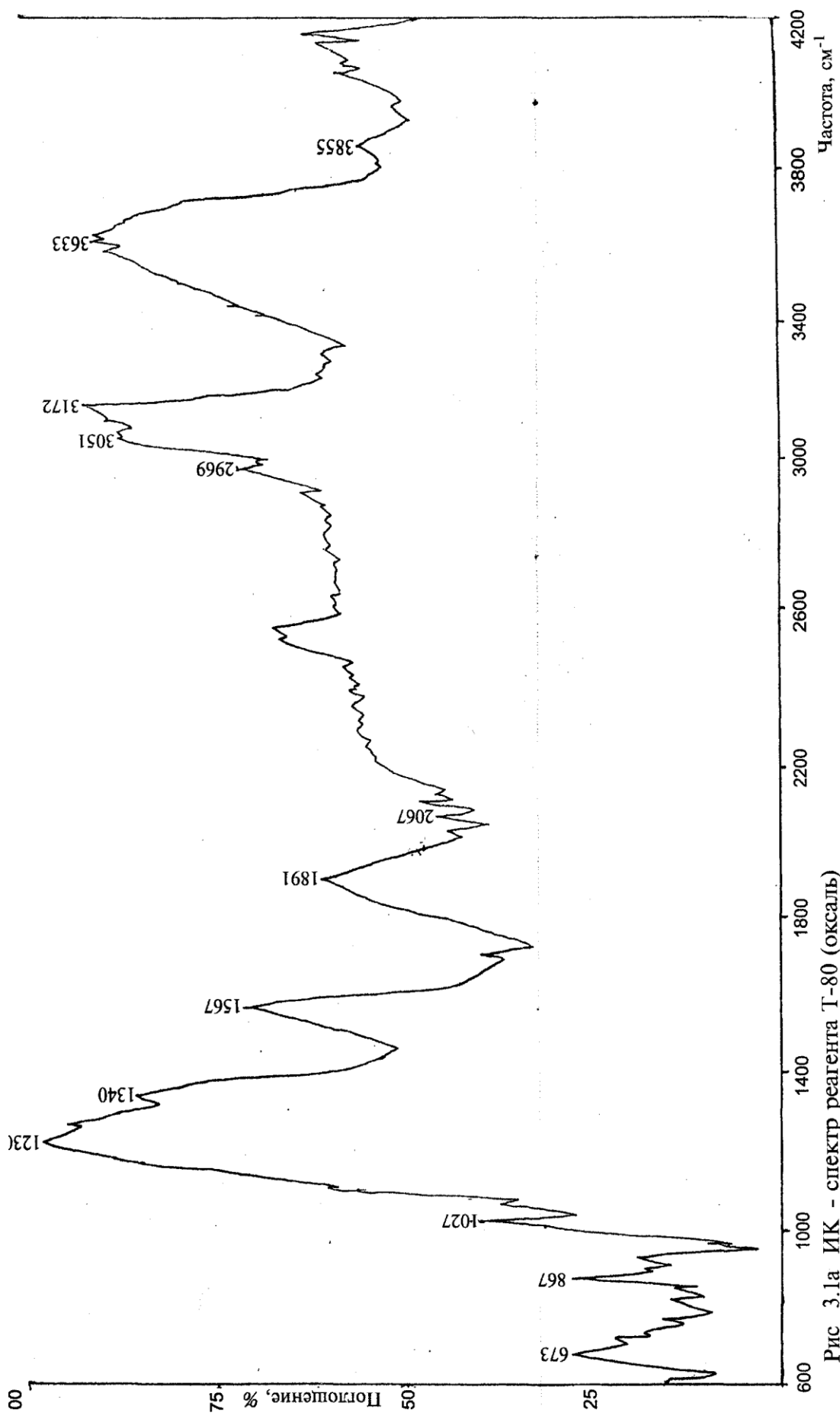


Рис 3.1а ИК - спектр реагента Т-80 (оксаль)

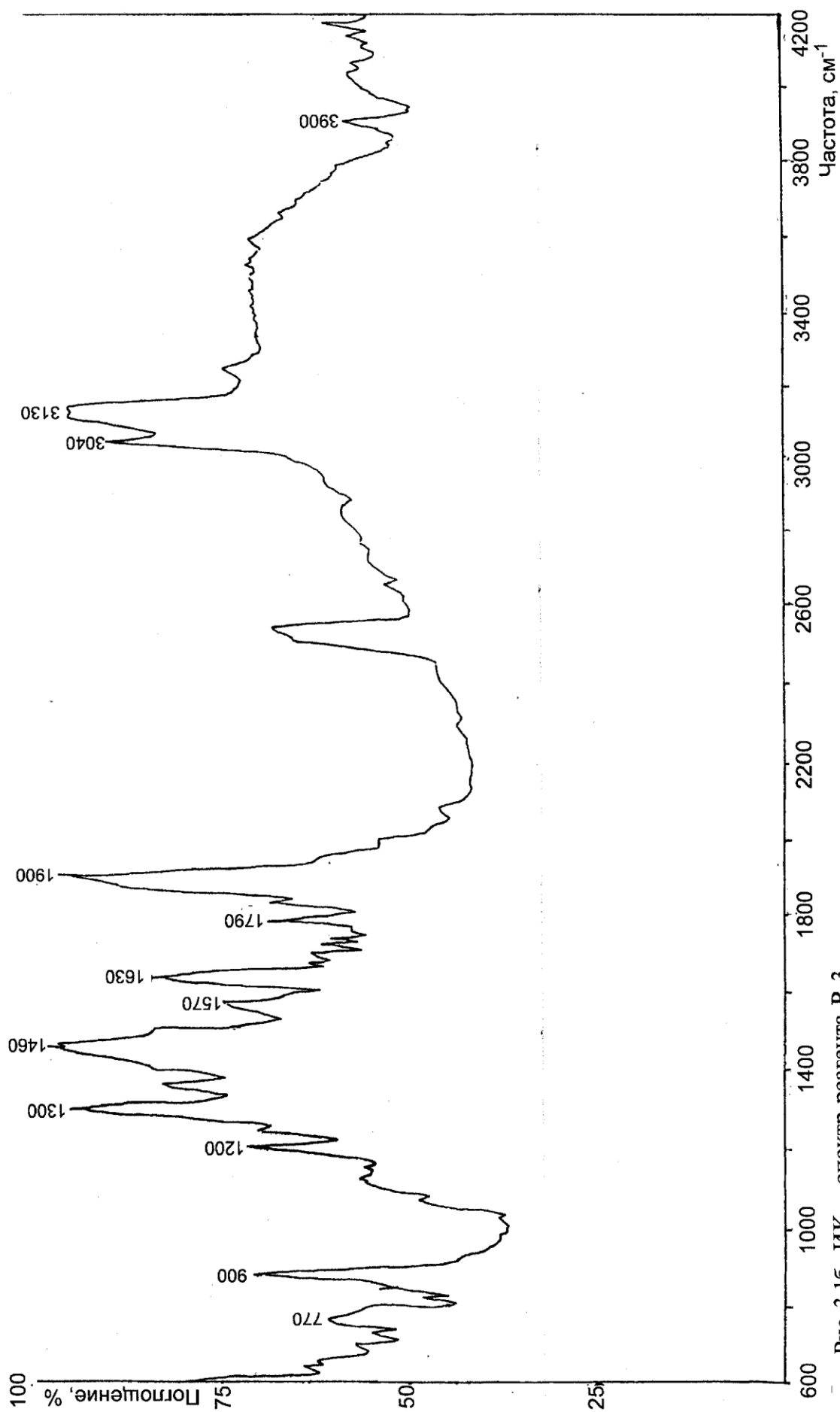


Рис 3.16 ИК - спектр реагента Р-3

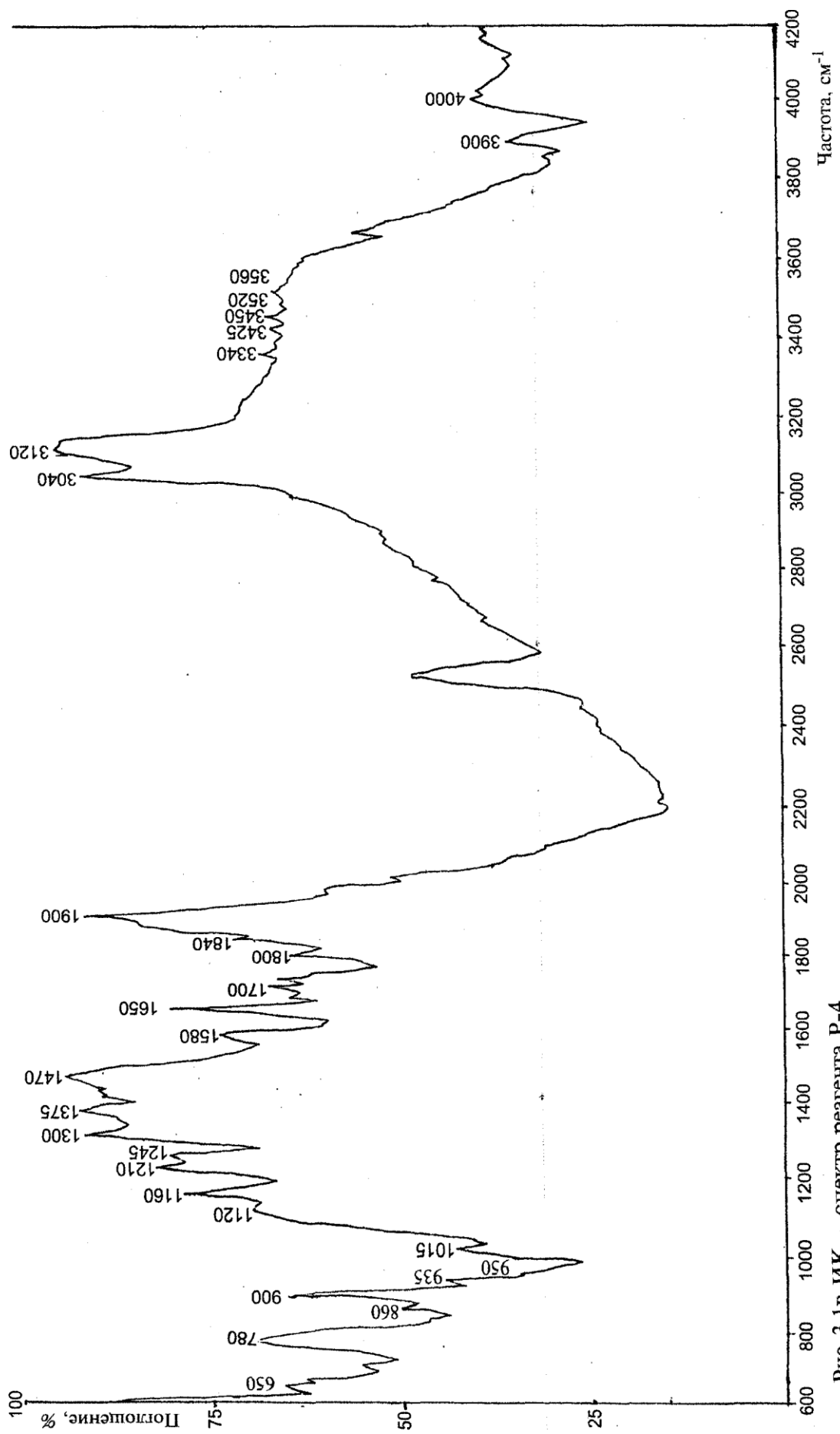


Рис 3.1в ИК - спектр реагента Р-4

В ИК-спектре Т-80 обнаружены полосы поглощения частотой 3855, 3633, 3172, 3051, 2969, 2559, 2547, 2067, 1891, 1567, 1340, 1230, 1027, 867, 673 см^{-1} . Частота 3633 см^{-1} относится к валентным колебаниям ОН⁻ не связанной молекулы воды. Полосы поглощения 3172 см^{-1} и 3051 см^{-1} соответствуют асимметричным и симметричным валентным колебаниям метиловой группы фуранового цикла. Об этом свидетельствует и наличие частоты 1567 см^{-1} . Полоса 2969 см^{-1} характеризует валентные колебания метиловой группы. Частоты 2067 и 1891 см^{-1} относятся к группе связи С=NH. Полосы 1567, 1340 и 1230 см^{-1} соответственно относятся к асимметричным и симметричным валентным колебаниям группы СОО⁻ и валентным колебаниям связи С-О. Три последние частоты 1027, 867, 673 см^{-1} характеризуют колебания С-О-С-О-С группы, связи С-С, и деформационные колебания группы СОО⁻ [7,50].

В ИК-спектрах Р-3 и Р-4 ряд полос совпадает. Например, 3900, 3040, 1900, 1300, 900, см^{-1} . Полосы 3660 и 3560 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям свободной группы воды ОН⁻. Полосы 3520, 3450, 3425, и 3340 см^{-1} соответственно отвечают валентным колебаниям димерной связи гидроксильной аминной группы, а полосы 3120 и 3040 см^{-1} характеризуют асимметричные и симметричные валентные колебания связи С-Н ароматических циклов. Полосы 1900, 1800, 1700 см^{-1} обусловлены валентными колебаниями карбонильных групп кетонов.

Полоса 1650 см^{-1} соответствует деформационным колебаниям связи ОН. Полосы при 1580 и 1470 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям SO_4^- и плоским деформационным колебаниям связи С-Н ароматических циклов. Низкочастотная полоса 650 см^{-1} отвечает колебанию сульфатного аниона.

3.2. Изотермы поверхностного натяжения водных растворов реагентов Т-80, Р-3 и Р-4.

Сравнение пенообразующей способности различных вспенивателей ориентировочно может быть произведено по изотермам поверхностного

натяжения, т.е. кривым, выражающим зависимость между поверхностным натяжением σ раствора вспенивателя и концентрацией C вспенивателя в растворе:

$$\sigma = f(C) \quad (3.1)$$

Для замера величины поверхностного натяжения использовалась установка Ребиндера [53].

Поверхностная активность пенообразователей и их способность понижать поверхностное натяжение воды являются весьма важной характеристикой. Способность пенообразователя увеличивать диспергирование воздуха в пульпе флотационных машин находится в определенной зависимости от свойств применяемых в качестве пенообразователей химических соединений понижать поверхностное натяжение воды – воздух [49, 80].

Для расчета поверхностного натяжения использовалось уравнение:

$$\sigma_1 = \sigma_2 h_1 / h_2 \quad (3.2)$$

На рис. 3.2 показано влияние концентрации вспенивателей Р-3, Р-4 и для сравнения Т-80 на величину поверхностного натяжения. Как видно из рис. 3.2, все три изучаемых вспенивателя в диапазоне концентраций 0-0,05% снижают поверхностное натяжение с 72,8 до 65,3-67,2 дин/см.

Традиционный вспениватель Т-80 уже при концентрации 0,0125% резко снижает поверхностное натяжение с 72,8 до 68,4 дин/см, затем кривая изотермы становится более пологой. Вспениватели Р-3 и Р-4 снижают поверхностное натяжение раствора менее резко, но до более низких значений 65,3 и 66,0 дин/см. Изотермы имеют более пологий вид, чем в случае использования Т-80. Судя по полученным результатам, Р-3 и Р-4 дают близкие в количественном отношении результаты с Т-80.

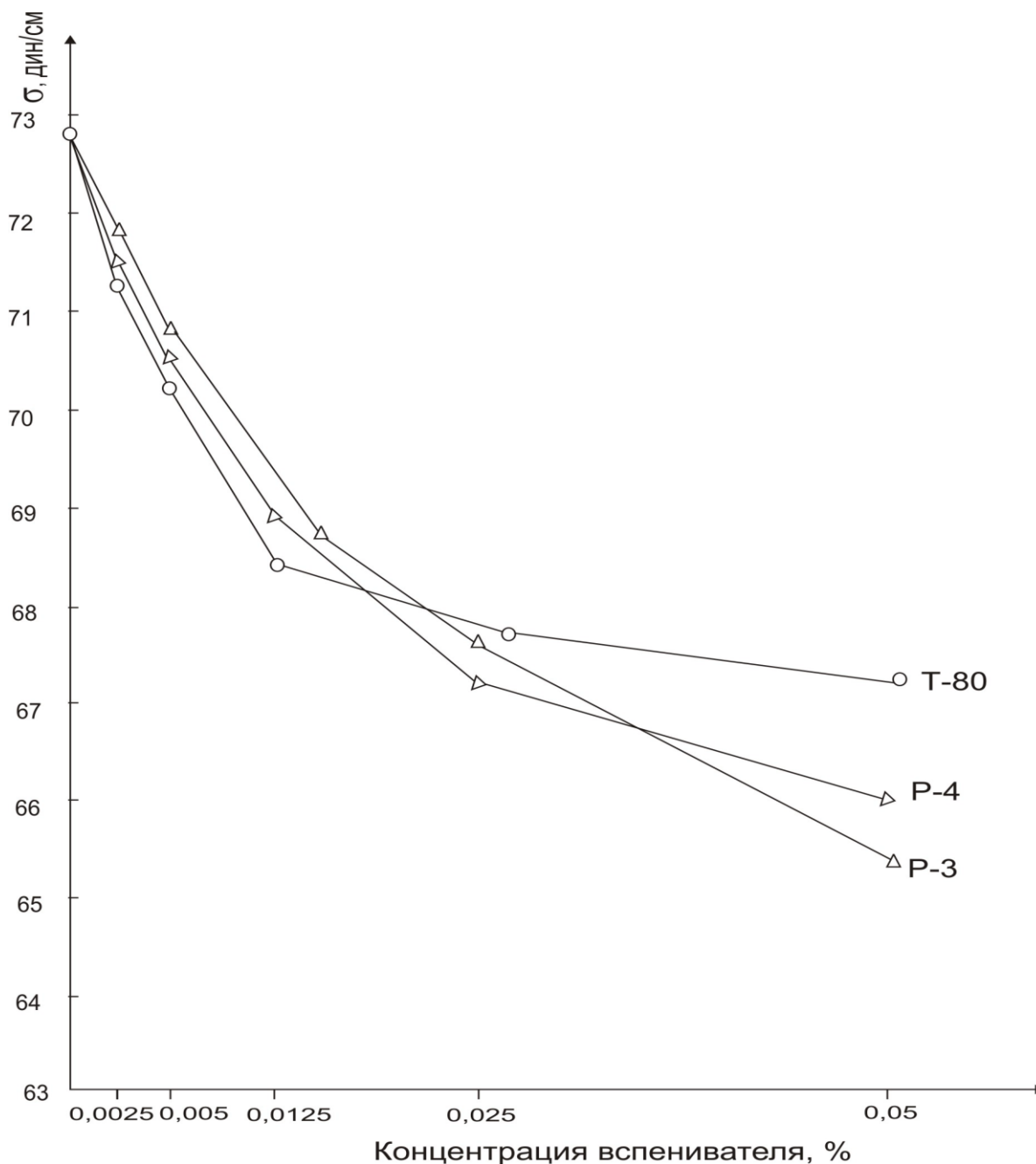


Рис 3.2 Влияние концентрации вспенивателя на величину поверхностного натяжения

3.3. Собирательные свойства, краевые углы смачивания.

Смачиваемость минеральной поверхности водой и влияние на нее адсорбционных слоев флотореагентов определяют количественно основную физико-химическую стадию всех процессов, происходящих при флотации минералов, в частности, прилипаемости частицы данного минерала к поверхности пузырька воздуха в пенной флотации [34, 36, 61].

Один из наиболее доступных непосредственным измерениям макрофизических показателей, характеризующих, смачиваемость или гидратированность поверхности минералов является краевой угол смачивания θ (КУС), который в определенной степени характеризует собирательные свойства поверхностно - активных веществ [12, 68, 69]. Проводились опыты по измерению краевых углов смачивания θ на установке, аналогичной установке Ребиндера [53]. Изменяя концентрацию реагента-вспенивателя получили изотермы смачивания выбранных для экспериментов минералов: самородного золота, пирита, арсенопирита, кальцита и кварца.

Перед нанесением капли раствора вспенивателя определенной концентрации шлиф минерала тщательно протирался спиртом.

Работа адгезии капли жидкости на твердой поверхности определяется вторым уравнением Лапласа:

$$W_{т.к} = \sigma_{ж,г} (1 + \cos \theta), \quad (3.3)$$

где, $W_{т.ж}$ - работа адегзии (смачивания растеканием);

$\sigma_{ж,г}$ - поверхностное натяжение на границе водной и газовой фаз;

θ - краевой угол смачивания.

Отсюда поверхностное натяжение на границе водной и газовой фаз можно определить, зная величину работы адгезии (теплоту смачивания):

$$\sigma_{ж,г} = \frac{W_{т,ж}}{1 + \cos \theta} \quad (3.4)$$

На рис 3.3а, 3.3б, 3.3в, 3.3г, 3.3д приведены изотермы смачивания самородного золота и исследуемых минералов растворами вспенивателей Т-80, Р-3 и Р-4 различной концентрации.

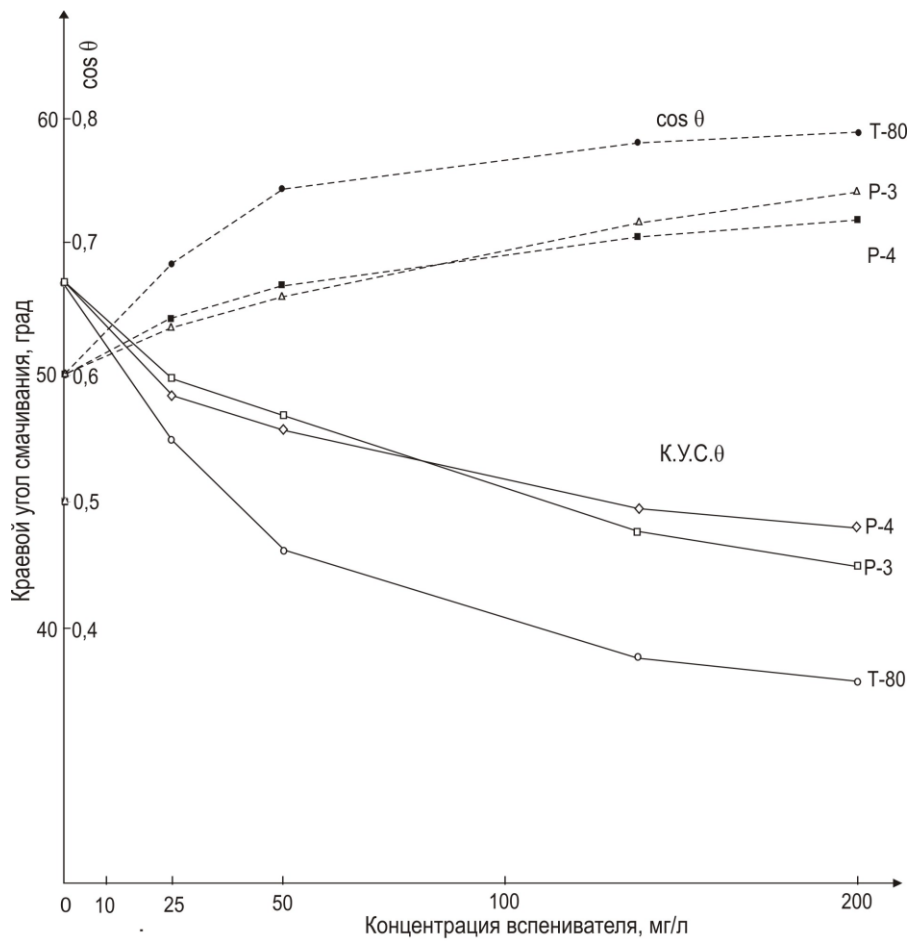


Рис 3.3а Влияние различных вспенивателей на краевой угол смачивания и $\cos \theta$ капли раствора на золоте

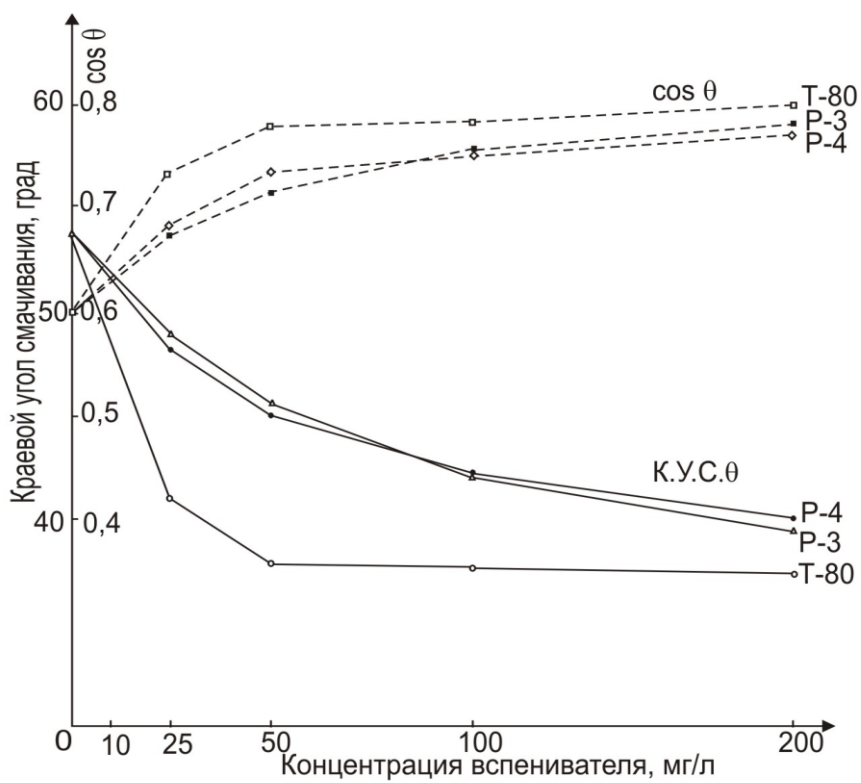


Рис 3.3б. Влияние различных вспенивателей на краевой угол смачивания и $\cos \theta$ капли раствора на пирите

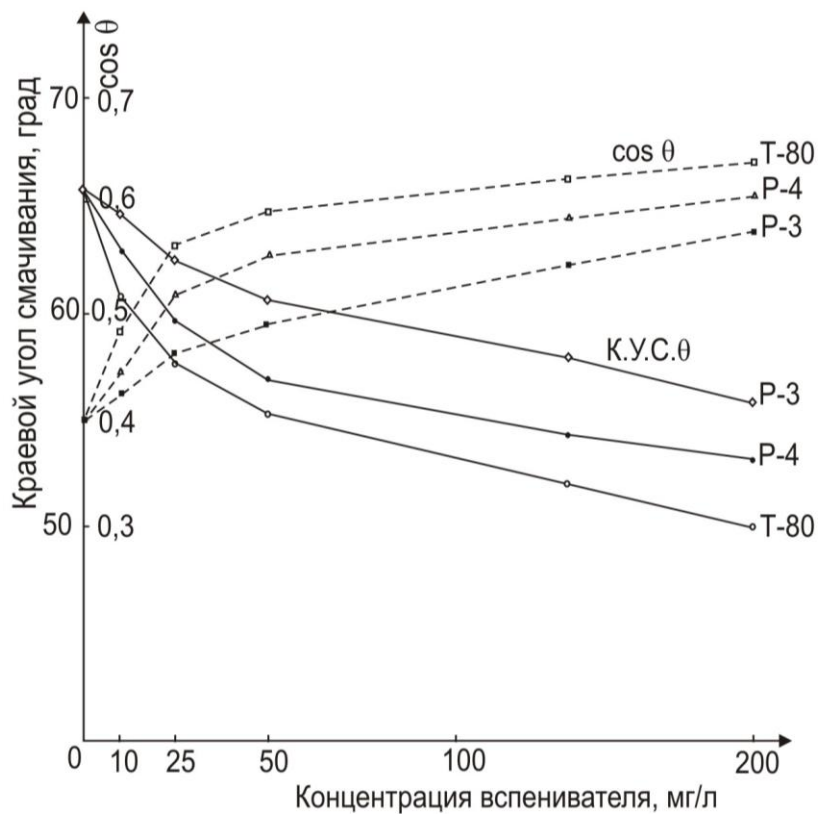


Рис 3.3в. Влияние различных вспенивателей на краевой угол смачивания и $\cos \theta$ капли раствора арсенопирите

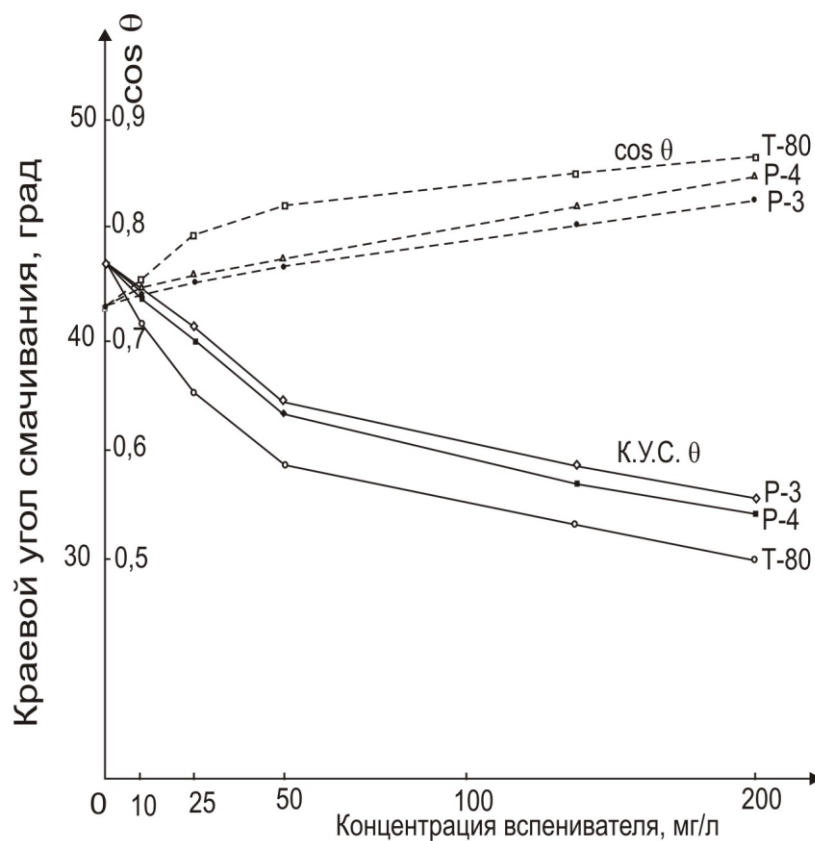


Рис 3.3г Влияние различных вспенивателей на краевой угол смачивания и $\cos \theta$ раствора на кальците

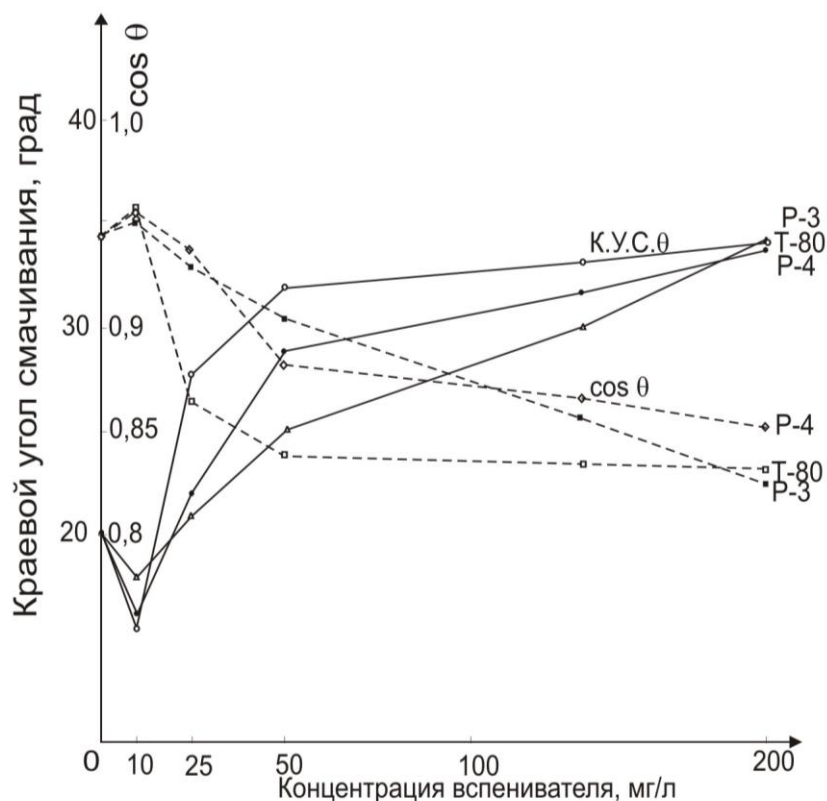


Рис 3.3д Влияние различных вспенивателей на краевой угол смачивания и $\cos\theta$ раствора на кварце

Максимальный КУС θ в дистиллированной воде определен для арсенопирита – 66° , для золота самородного и пирита – 53° , кальцита – $43,5^\circ$ и кварца – 20° . С повышением концентрации вспенивателя до концентрации 200 мг/л θ постепенно уменьшается по величине, а $\cos\theta$ наоборот повышается. Следует отметить, что из испытанных вспенивателей наибольший эффект наблюдается с Т-80, действие Р-3 и Р-4 на смачиваемость минералов примерно одинаково и несколько меньше, чем Т-80.

При исследовании влияния вспенивателей на КУС капли раствора на кварце при низких концентрациях наблюдается уменьшение θ , а затем при концентрациях выше 10 мг/л резкое увеличение θ и снижение $\cos\theta$ для всех испытываемых вспенивателей.

При колориметрическом измерении теплоты смачивания определяется полная энергия поверхности, равная по уравнению Гельмгольца – Гиббса [88];

$$W = Q_{ж,г} - T \frac{d\sigma_{ж,г}}{dT} \quad (3.5)$$

При термодинамическом анализе процесса прилипания Добреску [88] приходит к выводу, что возможность прилипания обусловлена соотношением:

$$Q \leq \sigma_{ж,г} - T \frac{d\sigma_{ж,г}}{dT} \quad (3.6)$$

где, θ – теплота смачивания минерала раствором реагентов;

$\sigma_{ж,г}$ – поверхностное натяжение на границе жидкость-воздух;

T – температура в градусах Кельвина.

Если учесть, что для воды $\frac{d\sigma_{ж,г}}{dT}$ равна 0,151 эрг/см²град; для 295⁰К (22⁰С):

$$T \frac{d\sigma_{ж,г}}{dT} = 44,5; \quad \text{а } Q \leq \sigma_{ж,г} - \frac{d\sigma_{ж,г}}{dT} \leq 117 \text{ эрг} / \text{см}^2 \quad (3.7)$$

Для проверки этих выводов нужны экспериментальные данные о теплотах смачивания минералов растворами реагентов. Измерение их при малых концентрациях реагентов связано с большими трудностями, поэтому имеющиеся данные относятся к растворам повышенных концентраций.

По данным Ю.Я. Голгера, В.И. Классена и Н.Ц. Рыскина [55, 33] изменения энтальпии, свободной энергии и потенциала Гиббса будут соответственно равны:

$$\Delta H = (T^{\text{II}} - T^{\text{I}})S + \frac{1}{3} A^{(г,т)} (\sigma_2^{(ж,т)} - \sigma_1^{(г,т)}) + \sum_j (\sigma_2^j A_2^j - \sigma_1^j A_1^j) + \sum_i (\mu_i^{\text{II}} - \mu_i^{\text{I}}) m_i \quad (3.8)$$

$$\Delta F = -(p_2^{(г)} - p_1^{(г)})V + \frac{1}{3} A^{(г,т)} (\sigma_2^{(ж,т)} - \sigma_1^{(г,т)}) + \sum_j (\sigma_2^j A_2^j - \sigma_1^j A_1^j) + \sum_i (\mu_i^{\text{II}} - \mu_i^{\text{I}}) m_i \quad (3.9)$$

$$\Delta G = \frac{1}{3} A^{(г,т)} (\sigma_2^{(ж,т)} - \sigma_1^{(г,т)}) + \sum_i (\mu_i^{\text{II}} - \mu_i^{\text{I}}) m_i + \sum_j (\sigma_2^j A_2^j - \sigma_1^j A_1^j) \quad (3.10)$$

Принято, что гетерогенная система состоит из твердого тела «т» со сферической поверхностью, жидкости «ж» и газа «г».

j – символ, обозначающий поверхности раздела жидкости «ж» со стенками сосуда, в который заключена система (например, флотомашина).

Этими же авторами [18] для приближенного расчета энергии теплоты и энтропии смачивания минералов водой использовались данные о гидратации ионов. Сделано предположение, что, адсорбция молекул воды описывается ион -дипольным взаимодействием [30].

При таком подходе неполное участие в гидратации иона, находящегося на поверхности, объясняется двумя причинами. Первая из них заключается во влиянии поля соседних ионов, выражающемся в существовании определенной «степени раскрытия» иона на поверхности α_1 . Вторая - состоит в том, что за счет частичной ковалентности связей в кристалле эффективный заряд атома обычно ниже его валентности. Это обстоятельство учитывается коэффициентом α_2 , определяемым как доля ионности связи или как отношение эффективного заряда атома к его валентности.

$$\text{Отсюда, } \Delta G_{\text{смач}} = f(\sum \Delta G_{\text{г.объемн.}}^i) = K\alpha_1 * \alpha_2 (\sum_i \Delta G_{\text{г.объемн.}}^i) \quad (3.11)$$

где, K – коэффициент пропорциональности.

Аналогично можно получить:

$$\Delta H_{\text{смач}} = K\alpha_1 * \alpha_2 (\sum_i \Delta H_{\text{г.объемн.}}^i); \quad (3.12)$$

$$\Delta S_{\text{смач}} = K\alpha_1 * \alpha_2 (\sum_i \Delta S_{\text{г.объемн.}}^i); \quad (3.13)$$

где, $\Delta H_{\text{смач}}$ и $\Delta S_{\text{смач}}$ – соответственно энтальпия и энтропия смачивания,

$\Delta H_{\text{г.объемн.}}^i$; $\Delta S_{\text{г.объемн.}}^i$ – соответственно энтальпия и энтропия гидратации i-го иона в растворе.

При оценке величины α_1 учитывалось, что поле электростатических зарядов обладает сферической симметрией. Смачиваемые частицы обычно представляют собой поликристаллические тела с беспорядочным расположением отдельных кристалликов у поверхности. Если радиус кривизны частицы по сравнению с молекулярными настолько велик, что поверхность частиц следует считать плоскостью, то можно принять, что в среднем поверхностные атомы «раскрываются» по грани куба. В этом случае $\alpha_1=1/6$.

Коэффициент α_2 для ионных кристаллов с достаточной точностью может быть определен по данным В.С. Урусова и О.Я. Самойлова [79, 70], полученным с использованием теплот сублимации. При расчете α_2 для минерала типа CaCO_3 в первом приближении использовались данные для оксидов металлов. Величина α_2 для пиритов в приближенном расчете может быть принята равной 0,2.

В табл. 3.3 сопоставлены экспериментальные данные разных авторов [20] с результатами расчетов теплот смачивания по теплотам гидратации соответствующих ионов при бесконечном разбавлении [29].

Таблица 3.3.

Результаты расчетов теплоты смачивания ΔH минералов водой и сопоставление их с экспериментальными данными

Минерал	Ионы	$\Delta H^i_{г. \text{объемн}}$ ккал/г-ион	Площадь поверхности, занимаемая одной молекулой, $\times 10^{-16} \text{ см}^2$	Число г-молей на 1 см^2 поверхности $\times 10^{-9}$	Расчетная ΔH без учета α_1 и α_2 , ккал/см ²		α_1	α_2	$\Delta H_{\text{смач.}} \times 10^3$, эрг/см ²		Ошибка	
					расчетная	экспериментальная **			абсолютная	относительная, %		
Пирит	Fe^{2+} S_2^{-2}	467 320*	14,58	1,14	37,6	0,167	0,2	1,260	1,105	+0,155	+14,0	
Кальци	Ca^{2+} CO_3^{2-}	386 127	19,8	0,839	18,1	0,167	0,6	1,820	2,280	-0,46	-20,2	

* ΔH гидратированного иона S_2^{2-} принимается равной ΔH гидратированного иона S^{2-} ;

** экспериментальные значения $\Delta H_{\text{смач}}$ взяты из сводки работы [79].

В уравнениях (3.11), (3.12) и (3.13) коэффициент пропорциональности K равен 1. При этом предлагаемый метод расчета позволяет правильно

оценить величины теплот смачивания как минералов с существенно ковалентной, так и минералов с существенно ионной связью.

Рассмотренный метод может позволить предсказать свойства ряда минералов с точки зрения их смачиваемости водой и привлечь для изучения этого явления материал, накопленный при изучении гидратации ионов.

По уравнению (3.13) можно также рассчитать энтропию смачивания и оценить смачивание минералов.

В табл. 3.4 приведены результаты расчетов энергии Гиббса ($\Delta G_{\text{смач}}$) и энтропии смачивания ($\Delta S_{\text{смач}}$) выбранных для исследований минералов (пирит, кальцит). Показаны также изменения энтропии, связанные со структурными изменениями воды при смачивании минералов ($\Delta S_{\text{Псмач}}$ и $\Delta S_{\text{Псмач}}^I$), рассчитанные по данным Г.А. Крестова [37]. Можно сделать вывод, что изменение энтропии, связанное со структурными изменениями воды при смачиваниях, по-видимому, может быть количественной мерой смачивания.

Таблица 3.4.

Результаты расчетов энергии Гиббса ($\Delta G_{\text{смач}}$) и энтропии ($\Delta S_{\text{смач}}$) смачивания минералов водой, а также изменения энтропии, связанные со структурными измерениями воды при смачивании ($\Delta S_{\text{П}}$ и $\Delta S_{\text{П}}^I$)

Минерал	Ионы	$\Delta H_{\text{г. объемн}}^I$ ккал/г-ион	Площадь поверхности, занимаемая одной молекулой, $\times 10^{-16} \text{ см}^2$	Число г-молей на 1 см^2 поверхности $\times 10^{-9}$	Расчетная ΔH без учета α_1 и α_2 , ккал/см ²		α_1	α_2	$\Delta H_{\text{смач.}} \times 10^3$, эрг/см ²		Ошибка	
					расчетная	экспериментальная **			абсолютная	относительная, %		
Пирит	Fe^{2+} S_2^{-2}	467 320*	14,58	1,14	37,6	0,167	0,2	1,260	1,105	+0,155	+14,0	
Кальцит	Ca^{2+} CO_3^{2-}	386 127	19,8	0,839	18,1	0,167	0,6	1,820	2,280	-0,46	-20,2	

3.4. Пенообразующая способность изучаемых реагентов.

Для характеристики реагента как пенообразователя, необходимо охарактеризовать его основное свойство – влияние на диспергирование воздуха, а также на характер пены и на её устойчивость [3, 83, 53].

Влияние на диспергирование воздуха можно оценить путем сравнения характеристик крупности пузырьков воздуха, проходящего через пульпу в единицу времени. Диаметр пузырьков определяется как среднее арифметическое их размеров, ограничивающих данную группу:

$$d_{cp} = (d_{min} + d_{max}) : 2 \quad (3.14)$$

На рис. 3.4 показана разбивка пузырьков воздуха по крупности для различных вспенивателей. Как видно из рис 3.4 для вспенивателей Р-3 и Р-4 характерно, что они образуют более крупные пузырьки (1,0-3,0мм), чем Т-80 (0,75-2,0мм). Поскольку максимумы кривых для Р-4 и Р-3 смещены вправо. Тем не менее, пузырьки, образованные с Р-3 и Р-4 достаточно мелкие, много пузырьков среднего размера, т.е. вспениватели Р-3 и Р-4 вполне могут заменять по этому показателю Т-80 с достаточной степенью эффективности.

Определения объема пены и ее устойчивости в зависимости от концентрации пенообразователя и других факторов является одним из важнейшим фактором для характеристики пенообразователей.

На рис. 3.5 и 3.6 приведены кривые зависимости объема пены, образовавшейся при различных значениях концентрации пенообразователя при различных рН раствора и времени разрушения пены при варьировании тех же факторов. При сравнительно низких значениях рН=7 традиционный вспениватель Т-80 образует сравнительно мало пены, которая быстро разрушается. В этих условиях более эффективны вспениватели Р-4 и особенно Р-3. При повышении рН до 8 картина меняется и уже Т-80 дает более обильную и устойчивую пену, Более эффективен Т-80 и при рН=8,5, устойчивость пены (время разрушения) примерно одинакова для всех вспенивателей.

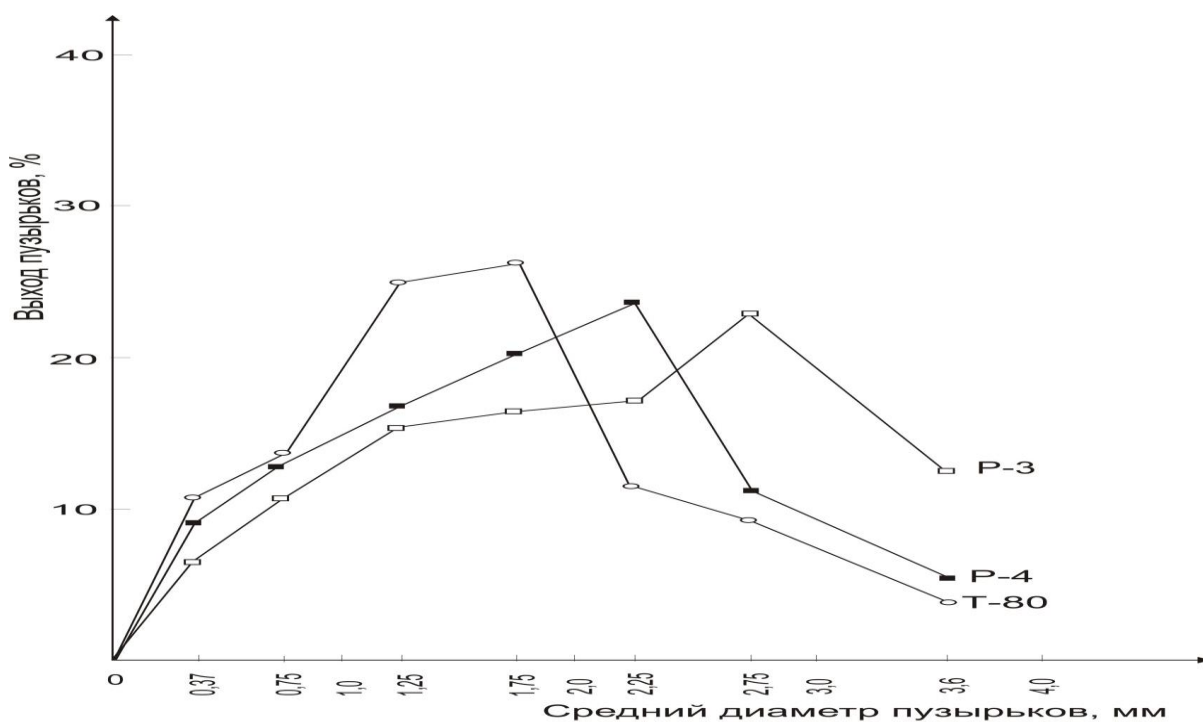


Рис 3.4 Кривые зависимости выхода пузырьков от их среднего диаметра

На рис. 3.7 и 3.8 приведены кривые влияния рН на объем пены и время её разрушения. При концентрации пенообразователя 100мг/л с Т-80 образуется примерно в 1,5 раза больше пены, чем с Р-3 и Р-4.

При концентрации 200мг/л этот показатель для всех вспенивателей выравнивается. Устойчивость пены, как это видно из рис. 3.8 примерно одинакова для одних и тех же значений концентрации пенообразователя.

На всех указанных кривых хорошо заметен участок от рН=8,5 до рН=10,5, когда изменение щелочности не влияет на пенообразующую способность реагента. При рН>10,5 этот показатель заметно снижается. Снижается также устойчивость пены, причем более резко, чем ее количество.

На рис. 3.9 показано влияние на пенообразование различных реагентов–регуляторов, применяемых при флотации золотосодержащих руд. Это в первую очередь щелочные агенты – сода кальцинированная, едкий натр, известь, сернистый натрий. Кроме того, испытывались также медный купорос и силикат натрия (жидкое стекло). Для удобства сравнения все кривые приведены отдельно для каждого вспенивателя, но на одном рисунке.

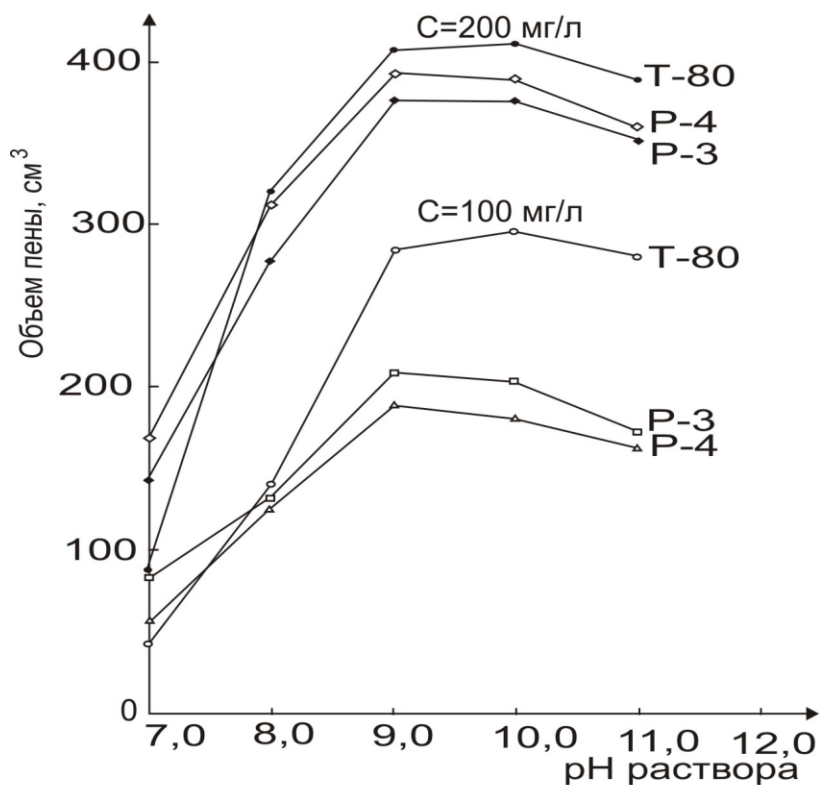


Рис 3.5 Влияние pH раствора на объем образуемой пены при различной концентрации вспенивателя

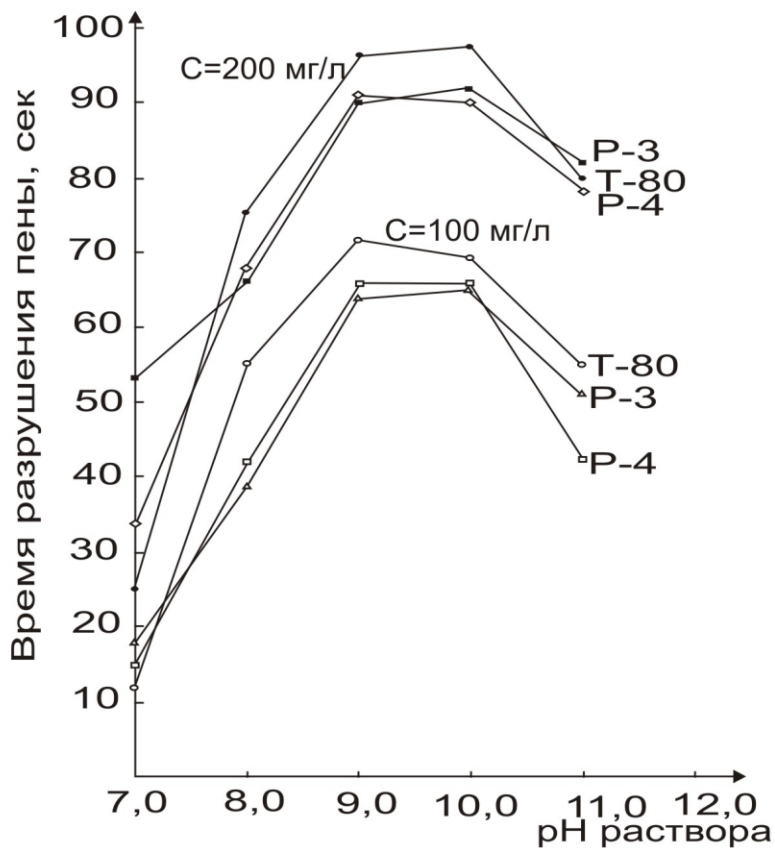


Рис 3.6 Влияние pH раствора на время разрушения пены при различной концентрации вспенивателя

Судя по характеру кривых можно сделать вывод, что медный купорос практически не влияет на образование пены. Мало заметно влияние соды, особенно при низких её концентрациях. Более сильно влияние гидроксидов натрия и кальция, особенно заметно влияние извести на пенообразование с Р-3. Сернистый натрий и особенно силикат натрия сильно уменьшают объем получаемой пены как при использовании Т-80, так и Р-3 и Р-4.

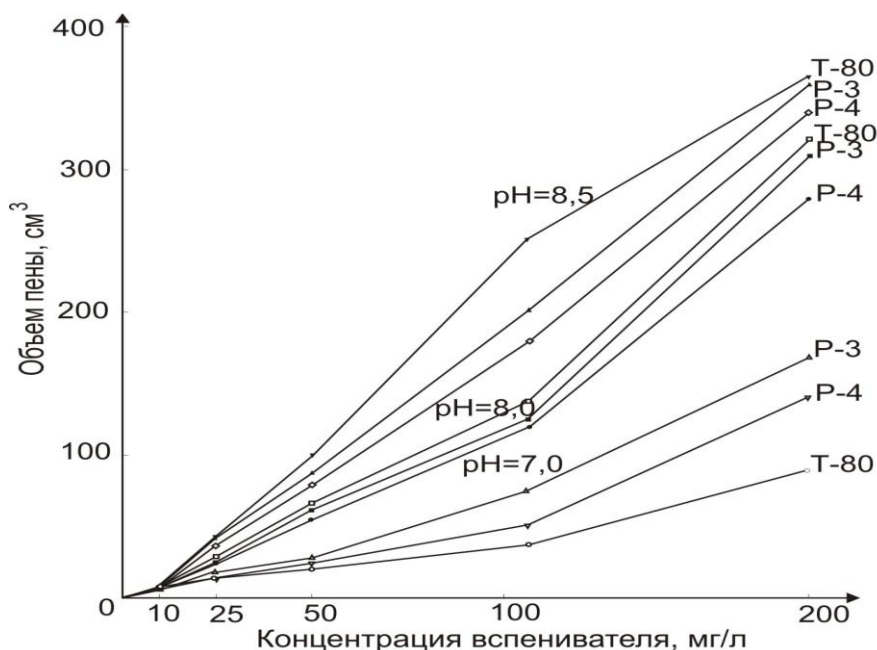


Рис 3.7 Влияние концентрации вспенивателя на объем образуемой пены при различных pH растворов

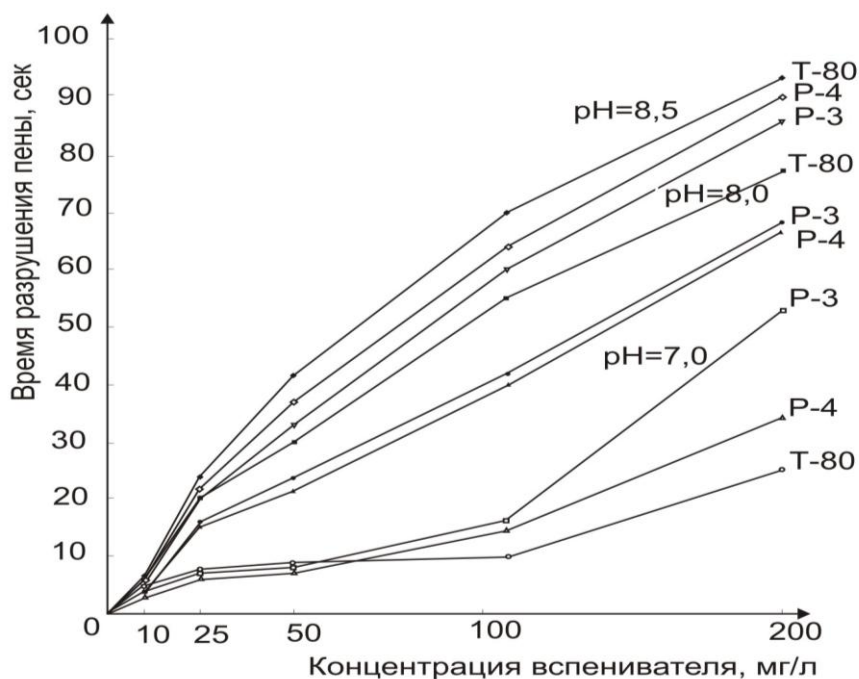


Рис 3.8 Влияние концентрации вспенивателя на время разрушения пены при различных pH растворов

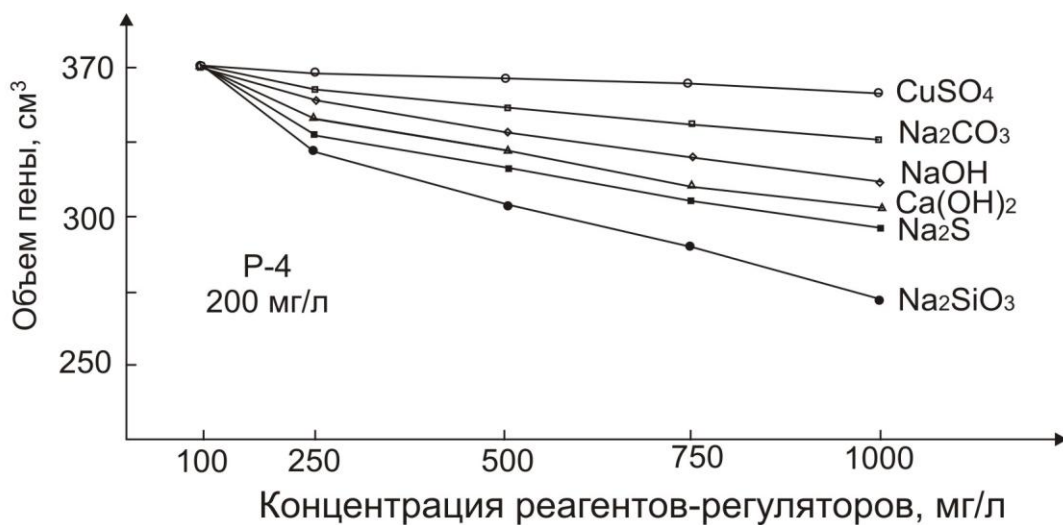
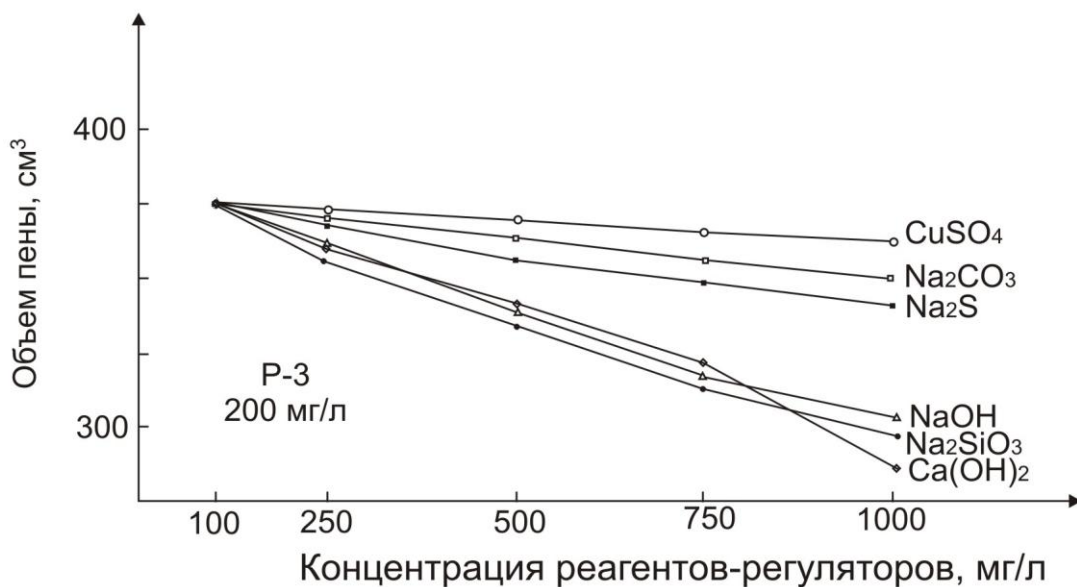
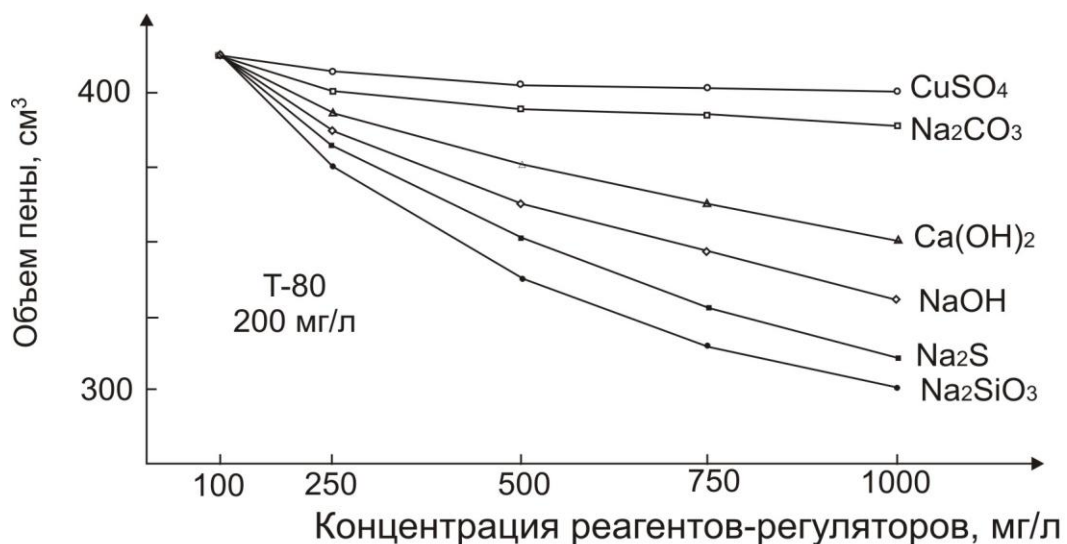


Рис 3.9 Влияние на пенообразование различных реагентов - регуляторов

Выводы по главе:

– вспениватели Р-3 и Р-4 синтезированы из отходов местного производства, основным компонентом этих реагентов является моноалкиловый эфир сульфобензойной кислоты (подтверждается ИК – спектрами);

– все три изучаемых вспенивателя Т-80, Р-3 и Р-4 в диапазоне концентрации 0-0,05% снижают поверхностное натяжение с 72,8 до 65,3-67,2 дин/см;

– вспениватели Т-80, Р-3 и Р-4 обладают слабыми собирательными свойствами, что подтверждено измерениями краевых углов смачивания на мономинералах (арсенопирите, пирите, кварце, кальците и самородном золоте);

– установлено что, вспениватели Т-80, Р-3 и Р-4 обладают способностью диспергировать воздух в пульпе и образовывать устойчивые пузырьки;

– при изучении влияния концентрации и рН раствора на пенообразование и время разрушения пены установлено, что полученные показатели с новыми вспенивателями Р-3 и Р-4, а также традиционного вспенивателя близки;

– показано что, медный купорос практически не влияет на образование пены; мало заметно влияние соды, особенно при низких её концентрациях; более сильное влияние гидроксидов натрия и кальция, особенно заметно влияние извести на пенообразование с Р-3; сернистый натрий, а также силикат натрия, уменьшают объем получаемой пены как при использовании Т-80, так и Р-3 и Р-4.

4. АНАЛИЗ И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

4.1. Анализ сточных вод флотационного процесса

Исследования по анализу и очистке сточных вод, установлению их солевого состава проводились в период, когда на фабрике осуществлялось снятие балансовых показателей схемы в различных реагентных режимах.

Целью этих исследований являлись отработка режимов выделения сточных вод, свободных от взвешенных частиц, определение условий очистки их от серы сульфидной, пригодных для последующего использования в оборотном водоснабжении [53].

Общая загрязненность сточных вод органическими веществами определялась по величине химического потребления кислорода (ХПК), необходимого для их полного окисления.

Очистку от ионов S^{2-} предполагалось вести железным купоросом и повышенной аэрацией пульпы.

В ходе анализа определялся солевой состав изучаемых вод и жидких фаз продуктов, проверялось соответствие содержаний вредных примесей в них предельно допустимым концентрациям ПДК вредных веществ в воде водоёмов промышленного водопользования [50].

В табл. 4.1. и 4.2 приведены результаты химического анализа технической воды и жидких фаз продуктов обогащения, выделенных в различные периоды испытаний.

Таблица 4.1

Результаты химического анализа жидких фаз продуктов технологической
схемы

Наименование компонентов	Содержание компонентов, мг/л			
	Техническая вода ИОМТЭ	Жидкая фаза слива мельницы 1	Жидкая фаза гравиконоцентрата	Жидкая фаза слива классификатора
рН	6,5	6,5	6,5	8,5
Сухой остаток	2950	3380	3000	3320
Общая минерализация	2906,3	3330,8	2812,3	3295,4
Катионы: K ⁺	13,0	33,0	28,0	24,0
Na ⁺	330,0	420,0	400,0	700,0
Ca ²⁺	360,0	360,0	290,0	130,0
Mg ²⁺	72,1	121,6	109,5	109,5
Fe _{вал}	320,0	330,0	118,8	140,0
Сумма катионов	1095,1	1264,6	946,3	1103,5
SO ₄ ²⁻	888,0	1200,0	1176,0	1481,8
Cl ⁻	540,0	540,0	425,5	390,1
1/2HCO ₃ ⁻	366,0	305,0	244,9	305,4
S ²⁻	-	1,2	1,6	1,6
Сумма анионов	1794,0	2046,2	1848,0	2178,9
SiO ₂	17,2	20,0	18,0	13,0
ХПК, мг О/л	8,0	20,0	16,0	20,0

Таблица 4.2

Результаты химического анализа жидких фаз флотоконцентратов и хвостов флотации, выделенных в различные периоды испытаний (в мг/л)

Наименование	БКК+Т-80		БКК+Р-3		БКК+Р-4	
	Флото-концентрат	Хвосты	Флото-концентрат	Хвосты	Флото-концентрат	Хвосты
рН	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Сухой остаток	3560	3510	3380	3210	3240	3120
Общая минерализация	3538,9	3497,9	3342,0	3173,1	3792,5	3690,2
Катионы: К ⁺	50,0	50,0	27,0	28,0	39,0	38,0
Na ⁺	675,0	675,0	700,0	700,0	700,0	700,0
Ca ²⁺	160,0	160,0	140,0	130,0	220,0	160,0
Mg ²⁺	54,7	54,7	109,5	109,5	144,0	120,0
Fe вал.	350,0	320,0	105,4	102,2	118,8	108,0
Сумма катионов	1289,7	1259,7	1081,9	1069,7	1221,8	1126,0
SO ₄ ²⁻	1329,6	1353,6	1608,0	1512,0	1872,8	1934,5
Cl ⁻	576,0	540,0	360,1	390,1	436,8	400,4
1/2HCO ₃ ⁻	305,0	305,0	244,9	187,3	244,0	219,6
S ²⁻	2,0	1,6	2,1	1,5	1,7	1,7
Сумма анионов	2212,6	2200,2	2245,1	2090,9	2555,3	2556,2
SiO ₂	10,0	8,0	12,0	11,0	15,4	8,0
БКК	0,5	-	0,3	-	-	-
Т-80	21,6	28,0	-	-	-	-
ХПК, мгО/л	22,0	30,4	18,0	17,5	20,5	21,0

Обращает на себя внимание высокое значение общей минерализации технической воды Ингичкинской ОМТЭ, на которой проводились испытания – 2906,3 мг/л. Это связано с присутствием в её составе высокоминерализованных шахтных вод, отличающихся повышенным содержанием солей кальция и магния.

Мокрое измельчение руды приводит к частичному растворению слагающих её минералов и увеличению общей минерализации водной вытяжки слива мельницы – 1 до 3342,0 мг/л.

Положительным моментом является отсутствие в сточных водах – жидкой фазе хвостов флотации – соединений мышьяка и сурьмы – что упрощает их очистку. Присутствие небольших количеств иона S^{2-} в количестве 1,5-2,1 мг/л предполагает необходимость кондиционирования сточных вод по этому компоненту. Кроме того, в жидкой фазе флотоконцентрата обнаружено присутствие бутилового ксантогената.

4.2. Очистка сточных вод от вредных примесей

Как видно из табл. 4.2, в жидкой фазе флотоконцентратов и хвостов контрольной флотации наблюдаются повышенные концентрации серы сульфидной, а также бутилового ксантогената и Т-80. Для очистки сточных вод от серы сульфидной применялась обработка их железным купоросом с одновременной аэрацией пульпы.

В табл. 4.3 приведены результаты такой очистки. Как видно из данных, приведенных в табл. 4.3, требуемое значение ПДК по содержанию ионов серы в очищаемых пульпах можно достичь при концентрации железного купороса 80 мг/л (расход 680 г/т). Таким образом, разработана схема очистки хвостовой пульпы от серы сульфидной при условии использования новых реагентов.

По данным выполненных анализов, при очистке от ионов серы, происходит также очистка ее от бутилового ксантогената (при использовании традиционных реагентов).

Таблица 4.3

Результаты очистки хвостовой пульпы, полученной при флотации с традиционными и новыми реагентами

Расход железного купороса		рН пульпы	Остаточная концентрация иона S ²⁻ , мг/л	Общие условия проведения эксперимента
мг/л	г/т			
Сточные воды с Т-80				
0	-	8,5	1,6	Объем пульпы на 1 опыт-250 мл Время агитации с аэрацией-20мин Время отстаивания-20мин
10	85	8,5	1,2	
20	170	8,4	0,6	
40	340	8,3	0,3	
60	510	8,1	0,15	
80	680	8,0	Не обнаружено	
Сточные воды с Р-3 (Р-4)				
0	-	8,5	1,5	То же
10	85	8,5	1,1	
20	170	8,4	0,5	
40	340	8,3	0,3	
60	510	8,1	0,1	
80	680	8,0	Не обнаружено	

Выводы по главе:

– показано, что техническая вода Ингичкинской ОМТЭ имеет высокоминерализованный состав, с повышенным содержанием солей кальция и магния;

– установлено, что ионы S²⁻ образуются в процессе измельчения руды и растворения минералов и флотореагентов; требуемое значение ПДК по содержанию ионов S²⁻ в очищаемых пульпах можно достичь при расходе

железного купороса 680г/т; в сточных водах отсутствуют соединения мышьяка и сурьмы;

– показано, что предлагаемые реагенты не образуют токсичных компонентов, их можно рекомендовать в качестве вспенивателей при флотации золотосодержащих руд;

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведением комплекса технологических, флотационных, физико-химических и др. исследований впервые научно обоснована возможность применения импортзамещающих реагентов – вспенивателей Р-3 и Р-4, полученных на основе местного сырья и отходов производства, в практике флотационного обогащения золотосодержащих и медных руд взамен традиционного пенообразователя Т-80.

Разработаны и определены условия применения реагентов–вспенивателей Р-3 и Р-4, обеспечивающие их оптимальную эффективность, выявлены физико-химические особенности поведения реагентов при флотации мономинералов и различных руд (сульфидные, смешанные, окисленные). Результатами полупромышленных испытаний подтверждены данные лабораторных исследований, реагенты – вспениватели Р-3 и Р-4 рекомендованы к применению в практике.

2. Определен химический состав вспенивателей Р-3 и Р-4. Показано, что их основными компонентами являются моноалкиловый эфир сульфобензойной кислоты и его производные, характеризующие их пенообразующую способность. Выявлено, что вспениватели Р-3 и Р-4 обладают поверхностно активными свойствами, обеспечивают диспергирование воздуха в жидкой фазе, образуя пузырьки оптимальной дисперсности, способствующей эффективной флотации.

3. Установлено, что оптимизация процесса флотации с применением вспенивателей Р-3 и Р-4, по разработанным в лаборатории технологическим режимам, зависит от разновидности руд и реагентов и имеет место при расходах пенообразователей в пределах 120-180г/т, собирателя –120-180г/т, регулятора рН среды –1500-3500г/т руды. Показано, что разработанные новые режимы технологии флотации с применением реагентов-вспенивателей Р-3 и Р-4 обеспечивают улучшение селективности флотации

по золоту и серебру, что приводит к повышению их извлечения в концентрат на 0,5-1,0% и 0,2-1,5%, соответственно.

4. Отмечено, что применение реагентов Р-3 и Р-4 взамен вспенивателя Т-80, позволяет сократить время флотации, а также расход соды на 0,5-1,0кг/т за счет расширения диапазона оптимального значения рН среды (7,0-10,5), что наряду с существенным снижением стоимости вспенивателей является одним из важных моментов, обуславливающих экономическую эффективность разработанной технологии.

5. Лабораторными испытаниями нескольких технологических проб золотосодержащих руд и медной руды показано, что реагенты Р-3 и Р-4 улучшают качество флотоконцентратов при практически одинаковых технологических показателях. Анализ сточных вод показал, что предлагаемые реагенты не токсичны и не образуют с компонентами пульпы токсичных соединений. Они могут применяться в промышленности без ущерба для здоровья трудящихся на обогатительных фабриках.

Список литературы

1. Абрамов А.А. Переработка, обогащения и комплексное использование твердых полезных ископаемых: Учебник для вузов. –М.: Издательство МГГУ. 2004 –510с.
2. Абрамов А.А. Теоретические основы оптимизации селективной флотации сульфидных руд. – М.: Недра. 1978. -280с.
3. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра. 1984. -383с.
4. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра. 1993. –422с.
5. Аминов С.Н. Синтез и коллоидно-химические свойства поверхностно-активных производных карбоновых, алкилфосфоновых и алкиларилсульфокислот. Автореф. диссертации докт. химических наук – М.: Московский химико-технологический институт. 2002. –25с.
6. Арнаутов Н.В. и др. Приближенный количественный спектральный анализ природных объектов. – Новосибирск: Наука. 1987. –103с.
7. Ахмедов У.К. Поверхностно-активные полиариламинокислоты и полиалкилакрилаты: синтез, свойства, применение.: Автореф. диссертации докт. химических наук – Т.: Ташкентский политехнический институт. 1988. – 31с.
8. Барский Л.А., Козин В.З. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых. – М.: Недра. 1978. -486с.
9. Барышников И.Ф. и др. Пробоотбирание и анализ благородных металлов. Справочник. – М.: Metallurgy (изд. 2-е, перераб. и доп.). 1978. - 432с.
10. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул (перевод с английского). – М.: Изд-во иностранной литературы. 1963. –59с.
11. Богданов О.С. и др. Вопросы теории и технологии флотации. – Ленинград: 1959. -395с.

12. Богданов О.С. и др. Теория и технология флотации руд. – М.: Недра. 1990. -363с.
13. Богданов О.С., Каковский И.А. Теоретические исследования флотационного процесса. – М.: Metallurgizdat. 1995. -73с.
14. Бочаров В.А., Рыскин М.Я. Технология кондиционирования и селективной флотации руд цветных металлов. – М.: Недра. 1993. –302с.
15. Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Геохимия золота. Ресурсы и технологии России: Справочное издание. – М.: РУДН, 2000. -431с.
16. Gardner J.R., Woods R. An Electrochemical Investigation of Contact Angle and Presence of Alkylxanthates. Eng., J.Chem. 1974. vol. 27, p. 2139-2148.
17. Глембоцкая Т.В. Возникновение и развитие флотации. – М.: Наука 1984. -112с.
18. Глембоцкий В.А. и др. Аполярные реагенты и их действия при флотации. – М.: Наука. 1968. -143с.
19. Глембоцкий В.А. Физико-химия флотационных процессов. – М.: Недра. 1972. -392с.
20. Годен А.М. Флотация. – М.: Госгортехиздат. 1959. -654с.
21. Гутер Р.С., Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. – М.: Наука. 1970. –432с.
22. Дуденков С.В. и др. Основы теории и практика применения флотационных реагентов. – М.: Недра. 1969. -390с.
23. Дуденков С.В. Флотационные реагенты пенообразователи. – М.: Цветметинформация, 1965. –52с.
24. Дуденков С.В., Шубов Л.Я. Обогащения руд цветных и редких металлов. – М.: Недра. 1976. -194 с.
25. Зеленов В.И. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд. – М.: Недра (Изд. 3-е перераб. и доп.). 1989. -303с.
26. Зеленов В.И. Методика исследования золотосодержащих руд. – М.: Недра. 1973. -302с.

27. Зырянов М.Н., Леонов С.Б. Хлоридная металлургия золота. – М.: “СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ”. 1997. -288с.
28. Ивановский М.Д. Обогащения руд и песков благородных металлов. – М.: Наука. 1971. 331с.
29. Измайлов П.А. Электрохимия растворов. – Харьков: Изд-во Харьковского университета. 1959. -178с.
30. Ильин Б.В. Природа адсорбционных сил. – М.: Госхимиздат. 1962. -132с.
31. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука. 1970. -104с.
32. Киверин М.Д., Смирнова М.Г. Органическая химия. – М.: Высшая школа. 1966. -231с.
33. Классен В.И. и др. Шламы во флотационном процессе. – М.: Недра. 1969. -158с.
34. Классен В.И., Мокроусов В.А. Введение в теорию флотации. – М.: Госгортехиздат. 1959. -636с.
35. Классен В.И., Мокроусов В.А. Введение в теорию флотации. – М.: Металлургиздат. 1953. -435с.
36. Клебанов О.Б. Реагентное хозяйство обогатительных фабрик. – М.: Недра. 1989. -222с.
37. Крестов Г.А. Термодинамическая характеристика структурных изменений воды, связанных с гидратацией ионов. //ЖСХ, 1962. №2 и №4.
38. Кузькин А.Ф. Гольман А.М. Флотация ионов и молекул. – М.: Недра. 1971. -132с.
39. Линчевский Б.В. Техника металлургического эксперимента. – М.: Металлургия. 1992. -240с.
40. Лодейшиков В.В. Техника и технология извлечения золота из руд за рубежом. – М.: Металлургия. 1973. -342с.
41. Марков Н.В. Научно-техническая революция: анализ, перспективы, последствия. – М.: Политиздат. 1973. -239с.

42. Масленицкий И.Н. и др. *Металлургия благородных металлов.* – М.: *Металлургия.* 1987. -432с.

43. Махкамов Р.Р. и др. Новые ПАВ в качестве вспенивателей при флотации сульфидных руд. // *Узбекский химический журнал.* 2001. №2. С. 36-39.

44. Махкамов Р.Р. Получение и коллоидно-химические свойства поверхностно-активных производных алкиленянтарной, малеиновой и бензойной кислот.: Автореф. диссертации докт. химических наук – Т.: ИОНХ АН РУз. 2002. –32с.

45. Меретуков М.А., Орлов А.М. *Металлургия благородных металлов.* – М.: *Металлургия.* 1991.- 451с.

46. Методика выполнения измерений массовой доли золота. МВИ-210. Утв. Узстандарт 2003г.

47. Методика выполнения измерений массовой доли порообразующих компонентов. МВИ-178.00-178.08. Утв. Узгосстандарт 2002г.

48. Методика выполнения измерений массовой доли серебра. МВИ-211. Утв. Узстандарт 2003г.

49. Методы исследования флотационного процесса. /Мелик-Гайказян В.И., Абрамов А.А. и др. – М.: *Недра.* 1990. -301с.

50. Милованов Л.В. *Очистка сточных вод предприятий цветной металлургии.* – М.: *Металлургия.* 1971. -167с.

51. Минаев Ю.А., Яковлев В.В. *Физико-химия металлургии.* – М.: МИСИС, 2001. -320с.

52. Минаева М.Г. и др. Реагенты применяемые при флотации сульфидных руд за рубежом. – М.: ЦНИИЦветмет экономики и информации. 1981. -48с.

53. Митрофанов С.И. и др. *Исследование полезных ископаемых на обогатимость.* – М.: *Недра.* 1974. -352с.

54. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. – М.: Мир. 1966. –431с.
55. Новые методы повышения эффективности обогащения полезных ископаемых. Голгер Ю.Я. и др. – М.: Наука. 1968. -95с.
56. Обогащения бедных руд. – М.: Наука. 1973. -160с.
57. Петровская Н.В. Самородное золото. – М.: Наука 1973. -347с.
58. Полькин С.И. и др. Технология обогащения руд цветных металлов. – М.: Недра. 1979. -80с.
59. Практикум по коллоидной химии: Учеб. пособие для хим.-техн. спец. вузов/ Баранова В.И., Бибик Е.Е., и др. под ред. Лаврова И.С. – М.: Высш. шк., 1983. –216с.
60. Разумов К.А., Перов В.А. Проектирование обогатительных фабрик. – М.: Недра. 1982. -518с.
61. Ребиндер П.А. и др. Физико-химия флотационного процесса. – М.: Metallургия. 1973. -230с.
62. Ревнивцев В.И. К вопросу о разделении минералов с близкими свойствами.: Автореф. диссертации канд. технических наук – М.: ВИМС. 1972. –21с.
63. Рей М. Некоторые практические и теоретические вопросы флотации руд. //Международ. конгресс по обогащению полезных ископаемых: Тез. докл. – Ленинград: Механобр. 1969. С. 373-386.
64. Роль газов и реагентов во флотационном процессе. Ребиндер П.А. – М.: Изд-во АН. 1950. С. 13-31.
65. Роль реагентов и газов в процессах флотации. Богданов О.С. – М.: Изд-во АН СССР, 1950. С.97-105.
66. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука. 1971. –192с.
67. Рябой В.И., Асончик К.М. Применение пенообразователей со слабыми собирательными свойствами. // Горный журнал. 2003. Специальный выпуск. С. 53-55.

68. Саградян А.Л., Крангачев Б.Г. Физико-химические методы исследования флотационного процесса. //Научные труды (теоретические предпосылки, методика исследований) часть 1. – Ереван. Айастан. 1980. – 266с.
69. Сазерленд К.Л., Уорк И. Принципы флотации. (Перевод с английского) – М.: Metallurgizdat. 1958. -411с.
70. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. – М.: Госхимиздат. 1959. -102с.
71. Современное состояние и перспективы развития теории флотации. Артамонова Л.А., Богданов О.С. и др. – М.: Наука. 1979. С. 143-147.
72. Современные реагенты для флотации руд. – М.: Цветметинформация, 1970. -18с.
73. Справочник на обогащение руд, том II. – М. 1974. -433с.
74. Стрижко Л.С. Metallургия золота и серебра. – М. МИСИС. 2001. - 336с.
75. Сыркин Я.К., Дяткина М.Е. Химическая связь и строение молекул. – М.: Госхимиздат. 1946. -439с.
76. Тарчевская И.Т. Флотация золота. //Горный журнал. 2000. №3. С.173-186.
77. Трепвел Б. Хемосорбция. – М.: Изд-во иност. лит., 1958. -357с.
78. Тропман Э.Б. и др. Новый реагент-пенообразователь для флотации руд цветных и благородных металлов. // Комплексное использование минерального сырья. 1998. №4 С.34-37.
79. Урусов В.С. Разработка некоторых методов определения эффективных зарядов атомов в молекулах и кристаллах.: Автореф. диссертации канд. хим. наук – М.: Институт геохимии и аналитической химии АН СССР им. Вернадского. 1966. -22с.
80. Физико-химические основы теории флотации. /Богданов О.С., Гольман А.М. и др. – М.: Наука. 1983. -264с.
81. Физико-химия флотационных процессов. – М.: Недра. 1972. -391с.

82. Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья: Справочник в 2-х книгах. /Шубов Л.Я., Иванков С.И. и др. под ред. Л.В.Кондратьевой. – М.: Недра. 1990. - Кн. 1. –400 с., Кн.2.-263с.

83. Флотационные реагенты. Горловский С.И., Шадрин А.В. – М.: Наука. 1986. С. 227-230.

84. Флотационные реагенты. Основные направления синтеза, изыскания и применения флотационных реагентов. Ревнивцев В.И., Рябой В.И. – М.: Недра. 1986. С. 5-18.

85. Хан Г.А. и др. Флотационные реагенты и их применение. – М.: Недра. 1986. -271с.

86. Чуянов Г.Г. Обезвоживание, пылеулавливание и охрана окружающей среды. – М.: Недра. 1987. –356с.

87. Шкуро В.Г., Попов Р.Л., Раннев Г.Г. Совершенствование методики экспериментальных работ по исследованию процесса флотации: Сб. науч. тр. Обогащение руд цветных металлов и золота. – Ташкент, 1971. –179с.

88. Эйгелес М.А. Основы флотации несulfидных минералов. – М.: Недра. 1964. -407с.