

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.4
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 02.07.2025 № 4

О присуждении Горбачевой Александре Андреевне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Физико-химические параметры адсорбционных слоев олеата натрия и этоксилированных эфиров фосфорной кислоты» по специальности 1.4.4. Физическая химия принята к защите 02.07.2025, протокол заседания № 3, диссертационным советом ГУ.4 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 06.02.2023 № 152 адм, с изменениями от 31.03.2023 № 485 адм, от 30.06.2023 № 1006 адм, от 13.07.2023 № 1090 адм, от 03.11.2023 № 1638 адм, от 13.11.2024 № 1707 адм, от 07.04.2025 № 441 адм.

Соискатель, Горбачева Александра Андреевна, 29 сентября 1997 года рождения, в 2021 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 18.04.01. Химическая технология.

С 01.10.2021 года по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры общей и физической химии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре общей и физической химии и в научном центре «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Черемисина Ольга Владимировна**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-

Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра общей и физической химии, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

Суходолов Николай Геннадьевич – доктор химических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра коллоидной химии, доцент кафедры;

Пошвина Татьяна Александровна – кандидат химических наук, ООО «Алкорус Инжиниринг», ведущий специалист;
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)»**, г. Санкт-Петербург в своем положительном отзыве, подписанном Изотовой Светланой Георгиевной, кандидатом химических наук, доцентом, заведующим кафедрой физической химии, председателем заседания, Сивцовым Евгением Викторовичем, доктором химических наук, профессором, профессором той же кафедры, секретарем заседания, и утвержденном Шевчиком Андреем Павловичем, доктором технических наук, доцентом, ректором, указала, что физико-химический подход, основанный на анализе термодинамических характеристик формирования адсорбционных слоев и смешанных мицелл, позволяет обосновать синергетическое взаимодействие между олеатом натрия и этоксилатами фосфорной кислоты, обладающими одинаковым зарядом функциональных групп. Использование термодинамической модели адсорбционных равновесий позволяет устанавливать взаимосвязь между природой реагентов, величинами поверхностного натяжения, критической концентрацией мицеллообразования, что определяет ключевые физико-химические характеристики и структуру системы, а также влияние внешних факторов на равновесие.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы, в том числе в 2 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Общий объем – 3,25 печатных листов, в том числе 1,84 печатных листов - соискателя.

Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. Горбачева А.А. Термодинамические характеристики сорбции олеата натрия на поверхности раздела фаз вода-воздух / Горбачева А.А., Баландинский Д.А., Черемисина О.В., Пономарева М.А., Зайцев И.С. // Естественные и технические науки. - 2023. - № 1(176). – С. 28-37. (ВАК-МБД (СА (pt)), № 568 ред. 30.12.2022).

Соискателем проведен литературный анализ, определены термодинамические параметры образования адсорбционного слоя олеата натрия на поверхности раздела фаз «вода-воздух». Установлено, что процесс образования поверхностной пленки является самопроизвольным и протекает с поглощением тепла.

2. Черемисина О.В. Синергизм в бинарной системе анионных ПАВ из класса этоксифосфатов и жирных кислот / Черемисина О.В., Баландинский Д.А., Горбачева А.А., Малевинская К.А., Гилев М.А. // Естественные и технические науки. – 2025. - №1 (200). – С. 206-218. (ВАК-МБД (СА (pt)), № 593 ред. 31.12.2023).

Соискателем проведены тензиометрические исследования свойств анионоактивных ПАВ и их смесей, выполнена флотация апатита с использованием в качестве собирателя бинарной смеси на основе олеата натрия и этоксилированных эфиров фосфорной кислоты, а также осуществлены термодинамические расчеты. Полученные результаты подтвердили наличие синергетического взаимодействия компонентов смеси, что проявляется в снижении свободной энергии Гиббса адсорбции и отрицательных значениях параметра взаимодействия.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus:

3. Sergeev V.V. Interaction Features of Sodium Oleate and Oxyethylated Phosphoric Acid Esters with the Apatite Surface / Sergeev V.V., Cheremisina O.V., Fedorov A.T., Gorbacheva A.A., Balandinsky D.A. // ACS Omega. - 2022. - Vol. 7, No. 3. – pp. 3016-3023.

Сергеев В.В. Особенности взаимодействия олеата натрия и оксиэтилированных эфиров фосфорной кислоты с поверхностью апатита / Сергеев В.В., Черемисина О.В., Федоров А.Т., Горбачева А.А., Баландинский Д.А. // ACS Omega. - 2022. - Vol. 7, No. 3. – С. 3016-3023.

Соискателем выполнен анализ литературных данных, проведены тензиометрические исследования этоксилированных эфиров фосфорной кислоты и олеата натрия, а также флотационные испытания с использованием индивидуальных ПАВ и их смесей в качестве собирателей. Установлено, что бинарные смеси ПАВ демонстрируют более высокую флотационную активность по отношению к апатиту по сравнению с индивидуальными реагентами.

4. Cheremisina O.V. Synergistic effect of a mixture of ethoxyphosphoric esters and sodium oleate in aqueous solutions / Cheremisina O.V., Gorbacheva A.A., Balandinsky D.A., Yunizhou Luo, Ponomareva M.A. // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. - 2024. – Vol. 685. – PP. 1 - 10.

Черемисина О.В. Синергетический эффект смеси этоксифосфорных эфиров и олеата натрия в водных растворах / Черемисина О.В., Горбачева А.А., Баландинский Д.А., Инъчжоу Ло, Пономарева М.А. // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. - 2024. – Vol. 685. – С. 1 - 10.

Соискателем исследованы адсорбционные слои изучаемых поверхностно-активных веществ, определены термодинамические параметры их адсорбции на границе раздела фаз «вода-воздух» и проведены измерения краевых углов смачивания. Анализ экспериментальных данных выявил, что максимальный синергетический эффект при извлечении апатитового концентрата достигается при использовании смеси этоксилированного эфира и олеата натрия в мольном соотношении 3:7.

Публикации в прочих изданиях:

5. Горбачева А.А. Влияние смеси анионных поверхностно-активных веществ на флотацию апатита // Химия и химическая технология в XXI веке : Материалы XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посвященной 85-летию со дня рождения профессора А.В. Кравцова. Т. 1. Томск, 2023 год. – С. 385-386.

Соискателем проведены тензиометрические исследования этоксилированного эфира фосфорной кислоты (Фосфол-6) и олеата натрия, а также эксперименты по флотации апатит-нефелиновой руды с использованием индивидуальных анионных ПАВ и их смесей в качестве собирателей.

6. Горбачева А.А. Сорбция олеата натрия и оксиэтилированных эфиров фосфорной кислоты на поверхности раздела фаз // Международная научно-

практическая конференция им. Д.И. Менделеева: Материалы международной научно-практической конференции. Том 1. Тюмень, 2023. – С. 117-118.

Соискателем проведены исследования адсорбционных слоев анионных поверхностно-активных веществ на границе раздела фаз «вода-воздух» и сорбции на границе фаз «минерал-вода» в щелочной среде, построены изотермы поверхностного натяжения.

7. Черемисина О.В. Синергетический эффект поверхностно-активных веществ в процессе флотации апатитовых руд / Черемисина О.В., Горбачева А.А., Баландинский Д.А. // Актуальные проблемы технического и технологического обеспечения инновационного развития : Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. Стерлитамак, 2022. – С. 144-147.

Соискателем исследованы адсорбционные слои анионных поверхностно-активных веществ на границе раздела фаз «вода-воздух» и их флотационная активность. Выявлен флотационный синергетический эффект между этоксилированными эфирами фосфорной кислоты и олеатом натрия в щелочной среде.

8. Баландинский Д.А. Физико-химические особенности применения этоксилированных эфиров фосфорных кислот в составе композиции анионных ПАВ для повышения флотационного извлечения апатита / Баландинский Д.А., Горбачева А.А. // Актуальные проблемы недропользования : Тезисы докладов XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых. Том 1. Санкт-Петербург, 2022. С. 221-223.

Соискателем проведены тензиометрические исследования этоксилированный эфиров фосфорной кислоты и олеата натрия, а также флотационные испытания по использованию индивидуальных ПАВ и их смесей в качестве собирательного реагента; установлено, что бинарная смесь ПАВ с этоксифосфатом со степенью этоксилирования равной шести показывает более высокую флотационную активность.

Патенты:

9. Патент №2810351 Российская Федерация, МПК В03D 1/014 (2006.01); В03D 101/02 (2006.01); СПК В03D 1/014 (2023.08); В03D 2201/02 (2023.08). Состав реагентной смеси для флотации. Заявка №2023116330: заявл. 21.06.2023, опубл. 27.12.2023 / О.В. Черемисина, А.А. Горбачева, Д.А. Баландинский, В.В. Сергеев; патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II». – 8 с.

Соискателем проведены флотационные испытания четырехкомпонентных смесей ПАВ с различными мольными соотношениями, выявлен оптимальный состав собирательной смеси для апатитовых руд.

Апробация работы проведена на научно-практических мероприятиях с докладами:

- 1) Международная научно-практическая конференция имени Д.И. Менделеева (ноябрь 2022 года, г. Тюмень).
- 2) XXIV Международная научно-практическая конференция студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л.П. Кулёва и Н.М. Кижнера, посвященная 85-летию со дня рождения профессора А.В. Кравцова «Химия и химическая технология в XXI веке» (май 2023 года, г. Томск)
- 3) Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы технического и технологического обеспечения инновационного развития» (ноябрь 2022 года, г. Оренбург).
- 4) XVIII Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (15–21 мая 2022 года, г. Санкт-Петербург).

В диссертации Горбачевой Александры Андреевны отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: заместителя руководителя аппарата ПАО ФосАгро, к.т.н. **Б.В. Левина**; технолога ООО «НТЦ ТПТ», к.т.н. **А.А. Царевой**; профессора кафедры редких металлов и наноматериалов ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», д.х.н., профессора **В.Н. Рычкова**; директора департамента Кировского филиала АО «Апатит» по обогатительному производству, к.т.н. **А.И. Калугина**; с.н.с. кафедры медицинской химии и тонкого органического синтеза Химического факультета МГУ, к.х.н. **Д.А. Шульги**; профессора кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», д.т.н. **Т.В. Коньковой**; советника генерального директора ФИЦ КНЦ РАН, научного руководителя Института проблем промышленной экологии Севера, д.т.н., гл.н.с. **В.А. Маслобоева**; заведующего кафедрой химической термодинамики и кинетики СПбГУ, д.х.н., профессора **А.М. Тойкки**; доцента кафедры общей и неорганической химии СПбГУ, к.х.н., доцента

М.Ю. Скрипкина; доцента кафедры физической и коллоидной химии, к.х.н., доцента **Е.Ю. Демьянцевой;** главного научного сотрудника филиала ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова – НИЦ «Курчатовский институт», д.х.н. **О.Ю. Голубевой.**

В отзывах дана положительная оценка диссертационного исследования, отмечена актуальность выбранной темы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования, однако отмечен ряд замечаний:

1. В то же время далее автор возвращается к анализу влияния параметра взаимодействия $\beta(i)$ между молекулами ПАВ в мицелле на флотационную активность бинарной смеси по отношению к мономинеральной фракции фторапатита $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$. Однако на завершающем графике (рис. 13) приведена зависимость степени извлечения апатита от концентрации смеси ПАВ и отсутствует анализ и выводы о влиянии либо параметра взаимодействия, либо энтальпии смешения ПАВ на целевой показатель извлечения (**к.т.н. Б.В. Левин**);

2. Также необходимо обоснование в привязке к проведенным исследованиям и полученным термодинамическим величинам вывода о наибольшей селективности по отношению к фторапатиту бинарных смесей олеата натрия с фосфатами алифатических этоксилированных спиртов, а не с фосфатами этоксилированных ароматических соединений (**к.т.н. Б.В. Левин**);

3. На рисунке 13 представлена зависимость степени извлечения P_2O_5 в модельном флотационном опыте для мономинеральной фракции апатит-нефелиновой руды фактически от двух переменных: мольного отношения фосфатов этоксилированных спиртов к олеату натрия и концентрации бинарной смеси ПАВ. Для однозначного вывода об оптимальных параметрах собирательной смеси – ее концентрация и соотношение компонентов – необходимо привести индивидуальные зависимости или показать оптимум в 3хмерной системе координат (**к.т.н. Б.В. Левин**);

4. При анализе расчетных величин энергии Гиббса на межфазной границе сделан вывод о наименьших значениях энергии Гиббса для олеата натрия и ПАВ с бензольным кольцом в углеводородном радикале (Astolan PE40). Однако в дальнейшем из исследований степени извлечения P_2O_5 фосфаты этоксилированных ароматических соединений исключены. Необходимо дать пояснение (**к.т.н. Б.В. Левин**);

5. В тексте автореферата не объяснено, почему образование мицелл всех ПАВ, кроме олеата натрия, характеризуется практически одинаковыми

значениями энергии Гиббса. С чем связано отличие термодинамических характеристик мицеллообразования олеата натрия? (к.т.н. А.А. Царева);

6. Почему был выбран представленный в работе набор этоксилированных эфиров для изучения физико-химических параметров? В тексте автореферата стоило привести краткое описание и основные отличия выбранных ПАВ (к.т.н. А.А. Царева);

7. Необычный формат автореферата затрудняет осмысление проделанной работы (д.х.н. В.Н. Рычков);

8. В автореферате очень скупо изложен материал по испытаниям, проведенным на Кировском филиале АО «Апатит». Нет данных об испытаниях в опытном или укрупненном вариантах. Нет сведений о результатах таких испытаний и актах, подтверждающий положительный эффект. В тексте автореферата имеется фраза о том, что получен акт внедрения, подтверждающий намерение использования результатов работы на Кировском филиале АО «Апатит». Этот документ не может быть актом внедрения. Это акт о намерениях, поскольку реально результаты работы не внедрены (д.х.н. В.Н. Рычков);

9. Не представлена информация о влиянии рН среды (например, рН 9 и 11) на физико-химические параметры изученных реагентов и собирательной смеси в целом (к.т.н. А.И. Калугин);

10. Не проработано какие из рассмотренных в работе параметров и/или критериев могут применяться в реальных условиях реагентного отделения обогатительной фабрики (к.т.н. А.И. Калугин);

11. Было бы хорошо дополнить экспериментальное и теоретическое рассмотрение, выполненное в работе, результатами молекулярного моделирования для систем «жидкость-воздух». На текущем уровне это вполне доступно, в отличие от моделирования полного процесса флотации. Результаты такого моделирования могут дополнительно подтвердить или опровергнуть гипотезы автора, а также дать новые мысли для развития работы. Это можно отнести к перспективам развития работы (к.х.н. Д.А. Шульга);

12. В тексте автореферата проведена связь между параметрами синергии взаимодействия ПАВ в бинарной системе и степенью извлечения фторапатита. Безусловно, эта зависимость является важной для описания образования и устойчивости пены. Однако в сложной реалистичной флотационной системе более важными факторами могут оказаться процессы, происходящие на границе раздела «жидкость-твердое», в частности, факторы, определяющие селективность взаимодействия собирателей (молекул ПАВ) с доступными поверхностями различных минералов в

питании флотации. Рассмотрение этого обширного вопроса в рамках кандидатской работы неоправданно расширило бы рамки самой работы. Однако исследование таких вопросов в совокупности с полученными в рамках данной работы результатами позволило бы выйти на новый уровень понимания и управления процессами флотации. Указанное направление можно отнести к перспективам развития работы (**к.х.н. Д.А. Шульга**);

13. Вопрос связи параметра синергизма в ПАВ и флотационных свойств в автореферате представлен несколько скомкано. В частности, не приведены экспериментальные значения для степени извлечения монокомпонентных составов ПАВ при тех же концентрациях, чтобы можно было наглядно видеть, что синергетический эффект влияет на степень извлечения. Для исследованных смесей ПАВ даны только единичные точки, хотя подразумевается, что исследуется зависимость степени извлечения от концентрации смеси ПАВ. Хотелось бы большего согласования текста в автореферате и иллюстрации в этом вопросе (**к.х.н. Д.А. Шульга**);

14. В тексте автореферата отсутствует обоснования выбора значения pH , равным 10. Будут ли изменяться параметры адсорбции и мицеллообразования в кислых или нейтральных средах? (**д.т.н. Т.В. Конькова**);

15. Почему именно энтропийный вклад, а не энтальпийный, является определяющим мицеллообразование? (**д.т.н. Т.В. Конькова**);

16. Исследования проведены при $pH=10$, обоснования выбора щелочной среды в тексте автореферата не приводится. Как будет влиять изменение pH в диапазоне 5—12 на синергизм бинарных смесей ПАВ (**д.т.н. В.А. Маслобоев**);

17. Желательно было бы оценить экономическую эффективность применения собирателей на основе бинарных ПАВ с эффектом синергизма по сравнению с индивидуальными ПАВ (**д.т.н. В.А. Маслобоев**);

18. Использование отмеченных выше экспериментальных методик явно недостаточно отражено в тексте автореферата (или вообще не описано). В ряде случаев рецензенту приходится «расшифровывать», где расчетные и где экспериментальные результаты (**д.х.н. А.М. Тойкка**);

19. В автореферате практически не описывается методика определения поверхностного натяжения, точность результатов, хотя именно по этим данным определялись многие другие физико-химические параметры систем (**д.х.н. А.М. Тойкка**);

20. В тексте много фактических и стилистических погрешностей, от этого страдает и ясность описания. Например, автор пишет: «Все энтальпии образования мицелл характеризуются незначительным выделением тепла».

Фраза выглядит так, что тепло выделяется из энтальпии (!) (д.х.н. А.М. Тойкка);

21. В автореферате не приведены химические составы изучаемых этоксилированных эфиров фосфорной кислоты – встречаются лишь упоминания степени этоксилированности, наличия бензольного кольца.... Незнание точного состава сильно усложняет понимание материала (к.х.н. М.Ю. Скрипкин);

22. Странно описан выбор стандартного состояния (с. 11). «За стандартное состояние принято удельное поверхностное давление и активность растворенного вещества, выраженной на единицу объема фазы...». Здесь должны быть конкретные численные значения (к.х.н. М.Ю. Скрипкин);

23. Заключение, изложенные в последнем абзаце основного текста (с.13) представляются весьма важными, однако при рассмотрении рис. 13 возникает вопрос о правомерности сделанного заключения: ведь варьируется не только качественный и количественный состав смеси ПАВ, но и концентрация. Возможно, меньшая степень извлечения композицией, содержащей PE55, это чисто концентрационный эффект? Да и различия между четырьмя композициями укладываются, судя по графику, в пределы погрешности (к.х.н. М.Ю. Скрипкин);

24. Целью работы было установление взаимосвязи между термодинамическими характеристиками межфазных процессов и флотационной активностью анионных ПАВ. Хотелось бы, чтобы один из выводов отвечал поставленной цели (к.х.н. М.Ю. Скрипкин);

25. Обращает на себя внимание некоторая небрежность при написании автореферата: Автор часто допускает достаточно вольную трактовку физико-химических параметров и их обозначений: энтальпийные эффекты считаются тождественными тепловым эффектам, в тексте одни и те же величины обозначаются то G , то ΔG (например, пояснения к уравнению (9) на с 14; текст на с. 17) и т.п. (к.х.н. М.Ю. Скрипкин).

26. Автореферат перегружен общеизвестными теоретическими представлениями и зависимостями как физико-химических параметров адсорбции, так и теории регулярных растворов. Отсутствует обоснование выбора критических параметров (рН, ионная сила раствора), как изменение этих параметров повлияют на воспроизводимость результатов и интерпретацию механизмов адсорбции (к.х.н. Е.Ю. Демьянцева);

27. Мало внимания уделено дисперсности образованных бинарных систем, хотя именно это параметр ответственен за флотационную активность реагентов (кинетику образования флотационного комплекса, удельную

поверхность раздела фаз, адгезию частиц к пузырькам воздуха) (к.х.н. Е.Ю. Демьянцева);

28. Из автореферата не ясно, почему степень извлечения P_2O_5 (рисунок 13) приводится при разных концентрациях бинарных смесей. Это затрудняет анализ флотационной эффективности реагентов (к.х.н. Е.Ю. Демьянцева);

29. Может ли наличие примесей различной природы, присутствующих в реальных условиях снизить эффективность предлагаемых смесей (к.х.н. Е.Ю. Демьянцева);

30. В тексте автореферата приводится формула для расчета площади поперечного сечения молекулы ПАВ на границе раздела фаз, однако не указано какая именно поверхность имеется в виду, и кроме того не приводятся ссылок на источники и обоснования применимости данной формулы. Как была получена константа 10^{-16} ? (д.х.н. О.Ю. Голубева);

31. В тексте автореферата не приводятся структурных формул исследуемых этоксилированных эфиров фосфорной кислоты, что усложняет понимание работы (д.х.н. О.Ю. Голубева);

32. Каким образом были выбраны температуры для исследования реагентных композиций? И насколько точной является оценка величины изменения энтропии по уравнению изобары химической реакции без учета зависимости энтальпии реакции от температуры? (д.х.н. О.Ю. Голубева).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы и их компетентностью в области диссертационного исследования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая научная идея определения термодинамических характеристик образования адсорбционных слоев и смешанных мицелл анионных ПАВ, позволяющая обосновывать возникновение синергизма между олеатом натрия и этоксилированными эфирами фосфорной кислоты с одинаковым зарядом функциональных групп;

предложен физико-химический подход выбора компонентов собирательной смеси, основываясь на термодинамических параметрах образования адсорбционных слоев на границе раздела фаз «вода-воздух» и смешанных мицелл бинарной смеси анионных ПАВ;

доказана перспективность использования предлагаемой идеи на обогатительных предприятиях, перерабатывающих апатит-нефелиновую руду;

введен алгоритм определения синергетического эффекта между анионактивными поверхностными веществами для достижения высокой селективности флотационного обогащения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказаны** положения, расширяющие современные представления об изучаемом явлении и составляющие основу нового физико-химического подхода к выбору эффективных собирательных смесей во флотационном методе обогащения, что существенно повышает селективность процесса; применительно к проблематике диссертации результативно **использован** комплекс независимых экспериментальных методов анализа свойств и состава веществ, а также методы математической обработки полученных результатов;
- изложены** результаты расчета термодинамических параметров адсорбционных слоев и смешанных мицелл на основе олеата натрия и этоксилированных эфиров фосфорной кислоты;
- раскрыты** закономерности формирования смешанных и индивидуальных мицелл с преобладающим вкладом энтропийного фактора, что позволило разработать методику прогнозирования синергетического эффекта при флотации апатита без проведения дополнительных флотационных испытаний;
- изучено** влияние природы этоксилированных эфиров фосфорной кислоты на термодинамические параметры межфазных процессов;
- проведена** модернизация существующего подхода установления реагентного режима флотационного обогащения апатитовых руд.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- разработаны и внедрены** результаты комплексного подхода выбора состава собирательной смеси в инновационную деятельность Кировского филиала АО «Апатит» (акт о внедрении от 10.12.2024 б/н);
- определены** перспективы практического использования результатов диссертационного исследования по выбору эффективной собирательной смеси для горно-обогатительных предприятий;
- создан** методический инструментарий для прогнозирования эффективности работы собирательной смеси на основе анионных поверхностно-активных реагентах;
- представлены** предложения по дальнейшему совершенствованию физико-химического подхода, позволяющие разработать программное обеспечение для автоматизированного прогнозирования синергетических эффектов на основе термодинамических данных.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на сертифицированном оборудовании, достоверность полученных данных подтверждается большим объемом экспериментальных и теоретических исследований, воспроизводимостью полученных результатов и их сопоставимостью с литературными данными;

теория построена на модели Розена регулярных растворов, расчетах термодинамических параметров поверхностных слоев; полученные результаты исследований согласуются с опубликованными результатами отечественных и зарубежных исследователей;

идея базируется на установлении термодинамических закономерностей синергизма в бинарных смесях анионных ПАВ (олеата натрия и этоксилированных эфиров фосфорной кислоты) для научно обоснованного подбора высокоэффективных реагентных композиций при флотационном обогащении апатитовых руд, позволяющего заменить эмпирический подход расчётными методами и сократить затраты на разработку технологических режимов;

использованы экспериментальные методы, модель Розена и термодинамические расчёты для выявления синергизма в смесях ПАВ;

установлено соответствие полученных результатов поставленной цели исследования и отсутствие противоречий выводов и рекомендаций соискателя положениям теоретико-методологической базы по теме диссертации;

использованы современные методы сбора, обработки и анализа отечественной и зарубежной литературы по теме исследования.

Личный вклад соискателя состоит в постановке цели и формулировке задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной литературы по теме исследования; выборе методов и инструментов исследования; проведении экспериментальных исследований по измерению поверхностного натяжения, ККМ и адсорбционных характеристик индивидуальных ПАВ и их смесей; обработке полученных экспериментальных данных, расчете термодинамических параметров адсорбции и мицеллообразования; установлении корреляции между структурой этоксилированных эфиров (длина цепи, степень этоксилирования) и их флотационной активностью.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Горбачева А.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию научной, теоретической и практической значимости полученных результатов диссертации.

На заседании 02 июля 2025 года диссертационный совет принял решение присудить **Горбачевой Александре Андреевне** ученую степень кандидата технических наук за исследование бинарных смесей на основе анионных ПАВ и разработку термодинамической модели прогнозирования их флотационной эффективности.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук (по специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета

Карапетян
Кирилл Гарегинович

Герасимов
Андрей Михайлович

02.07.2025