

Заключение диссертационного совета ГУ 212.224.03,
созданного федеральным государственным бюджетным образовательным
учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»
Минобрнауки России по диссертации на соискание
ученой степени кандидата наук
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 07.11.2019 № 8

О присуждении **Афанасовой Анастасии Валерьевне**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка эффективных технологических решений переработки золотосодержащих руд с учетом их критериев упорности» по специальности 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых принята к защите 29.08.2019 года, протокол №2 диссертационным советом ГУ 212.224.03 федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, дом 2; приказ ректора Горного университета от 25.06.2019 №836 адм.

Соискатель, Афанасова Анастасия Валерьевна, 1991 года рождения, в 2015 окончила федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»; аспирант очной формы обучения кафедры обогащения полезных ископаемых федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре обогащения полезных ископаемых в федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Александрова Татьяна Николаевна**, федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, кафедра обогащения полезных ископаемых, заведующая кафедрой.

Официальные оппоненты:

Орехова Наталья Николаевна, доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, профессор;

Поперечникова Ольга Юрьевна, кандидат технических наук, СП ЗАО «ИЗГОТОВЛЕНИЕ, ВНЕДРЕНИЕ, СЕРВИС» департамент технологических исследований, заместитель директора;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация - **федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук**, г. Новосибирск, в своем положительном отзыве, подписанном Кондратьевым Сергеем Александровичем, доктором технических наук, заведующим лабораторией обогащения полезных ископаемых и технологической экологии; Ростовцевым Виктором Ивановичем, доктором технических наук, в.н.с. лаборатории обогащения полезных ископаемых и технологической экологии; утвержденном Кондратенко Андреем Сергеевичем, кандидатом технических наук, директором; указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны эффективные технологические решения по переработке золотосодержащих руд с учетом их критериев упорности.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ по теме диссертационного исследования, из них 3 опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки, 4 опубликованы в рецензируемых

изданиях, индексируемых базами данных Scopus, Web of Science, 1 патент РФ на изобретение. Общий объем 3,9 печатных листа, в том числе 2,1 печатных листов соискателя. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Афанасова А.В. Анализ термогравиметрических данных углеродсодержащих материалов для обоснования технологий переработки. / А.В. Александров, А.В. Афанасова, Д.И. Крижановская // Современные тенденции в обогащении природного и техногенного сырья различного минерального состава. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) . – 2018. – №12 (специальный выпуск 56) . – 56с. – М.: Издательство «Горная книга». С. 35 - 43. **(ВАК)**

Личный вклад соискателя заключается в обосновании использования СВЧ-воздействия для переработки углеродсодержащего сырья на основании интерпретации данных термического анализа.

2. Афанасова А.В. Исследование прочностных свойств руды при проектировании циклов рудоподготовки / Н.В. Николаева, В.А. Таранов, А.В. Афанасова // Горный журнал, научно-технический журнал. – 2015. – № 12. – С. 9-13. **(ВАК, Scopus)**

Личный вклад соискателя заключается в экспериментальном исследовании кинетических закономерностей измельчения образцов руды.

3. Афанасова А.В. Исследование процесса флотации алюмосиликатов при переработке техногенного сырья / А.В. Афанасова, А.А. Бобракова // Комбинированные процессы переработки минерального сырья: теория и практика. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – Специальный выпуск № 19. – 288с. – М.: Издательство «Горная книга». С. 44 - 49. **(ВАК)**

Личный вклад соискателя заключается в получении адекватных математических моделей для прогнозирования основных технологических параметров процесса флотации техногенного сырья.

4. Афанасова А.В. Оценка упорности золотосодержащих руд на основе интерпретации данных термического анализа / Т.Н. Александрова, Г. Хайдэ, А.В. Афанасова // Записки Горного института. – 2019. – Т. 235. С. 30-37. (*Afanasova A.V. Assessment of refractory gold-bearing ores based on interpretation of thermal analysis data / T.N. Aleksandrova, G. Heide, A.V. Afanasova // Journal of Mining Institute. – 2019. – Vol. 235. P. 30-37.*) (**Web of Science**)

Личный вклад соискателя заключается в разработке методики определения дополнительных критериев упорности золотосодержащих руд на основе интерпретации данных комплекса термических методов анализа флотационных концентратов.

5. Афанасова А.В. Переработка углеродистых руд, содержащих ультрадисперсные металлы с использованием СВЧ – воздействия / А.В. Афанасова, Т.Н. Александрова, Н.В. Николаева // Международная многопрофильная научная геоконференция: Геодезия и Геология, 2018, Албена, Болгария. – Т.18. – С. 119 -124. (*Afanasova A.V. Processing of carbonaceous ores containing ultra-dispersed metals with using high-frequency current / A.V. Afanasova, T.N. Aleksandrova, N.V. Nikolaeva // International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management, 2018, Albena, Bulgaria. – Vol. 18. – P. 119 -124.*) (**Scopus**)

Личный вклад соискателя заключается в обосновании применения СВЧ-воздействия для укрупнения ультрадисперсного золота при переработке упорных благороднометалльных руд.

6. Афанасова А.В. Исследование углеродистой составляющей золотосодержащих руд методом термического анализа / Т.Н. Александрова, А.В. Афанасова, Г. Хайде, А. Кноблих // Инновационное развитие минерально-сырьевого комплекса: проблемы и перспективы: материалы XI Российско-Немецкой сырьевой конференции, 7–8 ноября 2018 г., Потсдам, Германия. – С. 459 - 466. (*Afanasova A.V. Investigation of the carbonaceous component of gold-bearing ores by means of thermal analysis / T.N. Aleksandrova, A.V. Afanasova,*

G. Heide, A. Knoblich // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects: Proceedings of the 11th Russian-German Raw Materials Conference, November 7–8, 2018, Potsdam, Germany. – P. 459 - 466.)
(Scopus)

Личный вклад соискателя заключается в интерпретации данных термического анализа продуктов флотационного обогащения.

7. Афанасова А.В. Частицы ультрадисперсных благородных металлов в сульфидных углеродистых рудах и перспективы их извлечения / Т.Н. Александрова, А.В. Афанасова // 29-й Международный конгресс по обогащению полезных ископаемых, 15–21 сентября 2018 г., Москва, Россия. – С. 2368 - 2376. (*Afanasova A.V. Fine-dispersed particles of noble metals in sulphide carbonaceous ores and its beneficiation prospects / T.N. Aleksandrova, A.V. Afanasova // IMPC 2018 - 29th International Mineral Processing Congress, September 15–21, 2018, Moscow, Russia. – P. 2368 - 2376.*) **(Scopus)**

Личный вклад соискателя заключается в проведении литературного обзора в области способов извлечения ультраразмерных благороднометалльных включений из сульфидных углеродистых руд, предложении использования СВЧ-обработки для укрупнения частиц золота.

8. Пат. 2648400 РФ. Способ извлечения ультрадисперсных частиц золота из упорных углеродистых руд. [Текст] / Александрова Т.Н., Афанасова А.В. - 2017109642; заявл. 22.03.2017; опубл. 26.03.2018, Бюл. № 9. – 9 с.

В диссертации Афанасовой А.В. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах соискателя, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Основные положения и результаты исследований освещались на международных и всероссийских научных и научно-практических конференциях и симпозиумах, в том числе: на XXIX Международном конгрессе по обогащению полезных ископаемых IMPC-2018 (г. Москва, 2018 г.), на 11-ой Российско-Германской сырьевой конференции (г. Потсдам, 2018 г.), на Международном

форуме-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2017 г.), на международной научно-практической конференции «Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья» (г. Санкт-Петербург, 2016 г.), 11-ом коллоквиуме молодых ученых Санкт-Петербург – Фрайберг (г. Фрайберг, 2016 г.), на всероссийской конференции с международным участием «Проблемы геологии и эксплуатации месторождений платиновых металлов» (г. Санкт-Петербург, 2016 г.), а также обсуждались на заседаниях объединенного научно-технического совета Санкт-Петербургского горного университета, на заседаниях кафедры обогащения полезных ископаемых и получили одобрение.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от старшего научного сотрудника лаборатории обогащения полезных ископаемых ФГБУН Института горного дела ДВО РАН, к.т.н. **А.В. Рассказовой**; старшего научного сотрудника ФГБУН Института проблем комплексного освоения недр им. Академика Н.В. Мельникова РАН, к.т.н. **М.В. Рязанцевой**; заместителя директора Высшей школы технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, профессора, д.т.н. **В.С. Курова**; заведующей отделом рудоподготовки и специальных методов исследований ОАО «Уралмеханобр», д.т.н. **Г.И. Газалеевой**; руководителя Научно-образовательного центра «НПК «Механобр-техника», д.х.н. **И.Д. Устинова**; профессора кафедры водного хозяйства, экологической и промышленной безопасности ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», доцента, д.т.н. **Л.В. Шумиловой**; ведущего научного сотрудника ГоИ КНЦ РАН, д.т.н. **В.Ф. Скороходова**; профессора кафедры обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», д.т.н. **Ю.П. Морозова** и доцента кафедры обогащения полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», к.т.н. **И.Х. Хамидулина**; директора Института проблем промышленной экологии Севера – обособленного подразделения ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр РАН», д.т.н. **Д.В. Макарова**; заведующего кафедрой обогащения полезных ископаемых и

охраны окружающей среды Иркутского национального исследовательского технического университета, д.т.н., профессора **К.В. Федотова**; зав. сектором технологической минералогии «Горного института Уральского отделения РАН» - филиала ФГБОУ Пермского ФИЦ РАН «ГИ УрО РАН», д.г-м.н. **А.Ф. Сметанникова**; зав. лабораторией ядерной спектроскопии Петербургского института ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ «Курчатовский институт», профессора, д.т.н. **И.А. Митропольского**.

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность выбранной темы, высокая степень проработки вопроса и профессиональный подход к решению поставленных задач, однако в некоторых из них имеются замечания:

В пункте 5 заключения указано, что извлечение золота на стадии металлургического передела увеличивается до 85,4%. Согласно таблице 4 данная цифра соответствует содержанию золота в сульфидном концентрате, а извлечение достигает 86,54 % (к.т.н. А.В. Рассказова).

Каким образом планируется осуществлять селекцию флотационных концентратов на продукты с высокой и низкой сорбционной активностью углеродистого вещества (к.т.н. А.В. Рассказова)?

На мой взгляд при формулировке практической значимости (стр. 6) 1-ый и 2-ой абзацы можно было бы объединить в одно положение (к.т.н. М.В. Рязанцева).

В пункте №5 заключения к автореферату я бы рекомендовала указать либо величину прироста извлечения золота в %, либо значение извлечения золота в опыте сравнения, в данном случае с 56,2 % до 85,4 % иначе трудно оценить полученный эффект (к.т.н. М.В. Рязанцева).

В автореферате отсутствуют пояснения почему для сульфидной флотации выбран используемый реагентный режим (д.т.н. В.С. Куров).

Не приведена информация что служило источником золота при определении сорбционной активности углеродистого вещества (д.т.н. В.С. Куров).

Коэффициент парной корреляции уравнения кинетики измельчения близок 1,0 (0,994), что практически невозможно в реальных экспериментах и говорят о недостаточности данных (автореферат, стр.10) (д.т.н. Г.И. Газалеева).

Анализ статистических моделей зависимости содержания и извлечения органического углерода в концентрат от выхода класса -71 мкм и расхода депрессора не включает стандартную проверку моделей на адекватность (критерий Фишера) и значимость коэффициентов (критерий Стьюдента) – стр. 12 автореферата (д.т.н. Г.И. Газалеева).

На рисунке 4, стр.13 автореферата отсутствуют условные обозначения (д.т.н. Г.И. Газалеева).

В автореферате (стр.16) правильно указан механизм образования трещин и дефектов под воздействием СВЧ, однако нет механизма укрупнения частиц золота (д.т.н. Г.И. Газалеева).

Целесообразно было привести в автореферате сведения о рабочей частоте используемой печи СВЧ (д.х.н. И.Д. Устинов).

Не указана марка СВЧ-печи и масса пробы при проведении исследований. Экономические показатели желательно было привести конкретные (д.т.н. Л.В. Шумилова).

Применение СВЧ-обработки рекомендовать для использования при переработке техногенного углеродистого сырья не корректно, в связи с тем, что исследования в данном направлении не проводились (д.т.н. Л.В. Шумилова).

Второе защищаемое положение следовало бы сформулировать в следующей редакции «Повышение извлечения золота за счет термической деструкции битума и укрупнения ультрадисперсных частиц благородных металлов достигается использованием СВЧ-обработки продуктов обогащения», что несомненно усилило бы его значение. СВЧ-обработка это только средство для повышения технологических показателей (д.т.н. В.Ф. Скороходов).

Часто используемый термин селекция руд и концентратов можно заменить на классификацию руд и концентратов, что будет больше отвечать терминологии дисциплины «Обогащение полезных ископаемых» (д.т.н. В.Ф. Скороходов).

На странице 12 автореферата диссертации утверждается, что извлечение золота для серии сульфидных флотационных концентратов ФК-1 составляет 46 %, что противоречит данным таблицы 2, в которой показатель по извлечению золота в сульфидных концентрат ФК-1 составляет 83,89 % (д.т.н. Ю.П. Морозов, к.т.н. И.Х. Хамидулин).

После проведенной оценки экономической эффективности разработанной принципиальной схемы переработки упорных золотосодержащих руд, получено, что увеличение себестоимости переработки возрастает только лишь за счет затрат на электроэнергию. А капитальные затраты на переоснащение или создание нового цеха не изменяют расчет экономической эффективности? (д.т.н. Ю.П. Морозов, к.т.н. И.Х. Хамидулин).

В заключении автореферата диссертации следовало бы описать в чем законченность данной научно-квалификационной работы или какая научно-практическая задача была решена (д.т.н. Ю.П. Морозов, к.т.н. И.Х. Хамидулин).

На странице 19 автореферата диссертации в п.5 заключения сказано, что извлечение золота на стадии металлургического передела увеличивается до 85,4 %. В таблице фигурирует цифра 86,54 % (д.т.н. Ю.П. Морозов, к.т.н. И.Х. Хамидулин).

В автореферате можно было бы кратко привести результаты расчетов технико-экономических показателей существующей и предлагаемой автором схем переработки упорных сульфидных золотосодержащих руд (д.т.н. Д.В. Макаров).

Возможно четвертое положение научной новизны ближе к практической значимости (д.т.н. К.В. Федотов).

Автором не учтены результаты исследований, связанных с изучением органического вещества в золотосодержащих породах и возможной связи с ним золота. Не упомянуты исследования, результаты которых свидетельствуют о существовании связи органического вещества и благородных металлов в соляных породах (в нерастворимом в воде остатке этих пород). Разработана технология извлечения этих металлов из отходов переработки соляных пород. Хотелось бы

отметить, что возможно с органическим веществом золотосодержащих руд исследованных авторов также может быть связано золото и другие благородные металлы. Иначе говоря, часть золота в исследованных рудах может быть связана с органическим веществом. Из этого следует, что возможен пересчет запасов золота в месторождениях, где наряду с золотом присутствует органическое вещество (д.г-м.н. А.Ф. Сметанников).

В автореферате диссертации хотелось бы видеть конкретный порядок проведения методики по определению критериев упорности для сульфидных руд благородных металлов (д.ф-м.н. И.А. Митропольский).

В таблице 3 указан расход воздуха в «м³ в час» при флотации, но не указан объем, через который его прокачивают, и размер (вес) пробы (д.ф-м.н. И.А. Митропольский).

Возможно ли применение модели (1) для прогноза требуемого класса - 71 мкм, по времени измельчения для полупромышленных и промышленных условий? (д.ф-м.н. И.А. Митропольский).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью оппонентов в соответствующей отрасли науки и наличием у них публикаций в сфере исследования, а также широкой известностью ведущей организации своими достижениями по соответствующей теме исследования отрасли наук и способностью определить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика определения дополнительных критериев упорности золотосодержащих руд на основе интерпретации данных комплекса термических методов анализа флотационных концентратов, реализация которой позволяет проводить селекцию руд и продуктов обогащения по упорности;

предложен способ укрупнения ультрадисперсных частиц золота за счет использования СВЧ-обработки, что позволяет повысить извлечение золота из упорных золотосодержащих руд и продуктов обогащения;

доказана перспективность использования полученных регрессионных зависимостей извлечения органического углерода в углеродистый и сульфидный флотационные концентраты от параметров флотации, позволяющие прогнозировать основные технологические параметры процесса;

уточнена классификация благороднометалльных руд по степени упорности, с введением дополнительных критериев упорности;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс методов исследований, включающий: анализ исходных образцов упорной золотосодержащей руды на обогатимость; аналитические, экспериментальные работы в лабораторных условиях, проведению минералогических исследований;

изложены аргументы, подтверждающие достоверность предложенной методики определения дополнительных критериев упорности;

раскрыты закономерности процессов флотационного обогащения упорных золотосодержащих руд с целью минимизации извлечения органического углерода в сульфидный концентрат;

изучены минералого-технологические особенности образцов исследуемых золотосодержащих руд;

проведена модернизация существующей схемы переработки упорных золотосодержащих руд, обеспечивающая повышение извлечение золота.

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

подтверждена разработанная методика по определению дополнительных критериев упорности на основе интерпретации данных термического анализа продуктов обогащения;

определены перспективы и область практического использования разработанной методики, а также особенности флотационного обогащения упорных золотосодержащих;

создана система практических рекомендаций по внедрению предполагаемой методики для разработки новых и модернизации существующих

горно-обогатительных комбинатов по переработке упорных благороднометаллических руд;

представлены рекомендации по применению СВЧ-обработки для повышения извлечения золота за счет термической деструкции битума и укрупнения ультрадисперсного золота.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены с использованием апробированных известных методик измерения на поверенном оборудовании на базе лаборатории кафедры обогащения полезных ископаемых и института минералогии Фрайбергской Горной Академии;

теория построена на проверяемых данных и фактах, согласующихся с опубликованными в открытом доступе экспериментальными данными других исследователей и ученых по теме диссертации;

идея базируется на анализа способов оценки упорности благороднометаллических руд, а также на результатах обобщения способов повышения извлечения золота их упорных руд и продуктов обогащения;

использовано сравнение полученные автором результатов с данными, полученными ранее другими исследователями;

установлена сходимость лабораторных испытаний с теоретическими исследованиями;

использованы современные методы сбора и обработки исходной информации, представительные совокупности данных с обоснованием подбора объектов наблюдений и измерений.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке и реализации задач исследования, обосновании научных положений; разработке методики определения дополнительных критериев упорности золотосодержащих руд для селекции флотационных концентратов по упорности; обработке и интерпретации экспериментальных данных комплекса термических методов анализа продуктов обогащения; получении адекватных математических моделей для прогнозирования основных технологических параметров процесса углеродистой

и сульфидной флотаций; разработке и обосновании эффективных технологических решений переработки упорных золотосодержащих руд с использованием СВЧ-воздействия для повышения извлекаемости золота.

На заседании 07.11.2019 года диссертационный совет принял решение присудить Афанасовой А.В. ученую степень кандидата технических наук за решение важной научно-практической задачи повышения извлечения золота из упорных сульфидных руд.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве - 15 человек, из них 4 – доктора наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из – 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за - 15, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Зам. председателя
диссертационного совета



Дубовиков Олег Александрович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Бодуэн Анна Ярославовна

07.11.2019 г.