

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Ивановой Татьяны Константиновны «Гранулированный реагент на основе серпентиновых минералов для извлечения металлов из техногенных растворов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7. Технология неорганических веществ

### Актуальность темы диссертационной работы

Расширение сферы применения серпентинитов является актуальной задачей поскольку способствует снижению объема накопленных серпентинсодержащих отходов. Извлечение цветных металлов из сточных вод горно-металлургических предприятий представляет собой значимую экологическую и экономическую задачу, учитывая большой объем стоков и высокие концентрации металлов.

Цель диссертационной работы заключалась в получении гранулированного магнезиально-силикатного реагента на основе серпентиновых минералов для очистки высокозагрязненных техногенных растворов от соединений металлов с получением ликвидных утилизируемых продуктов. Термоактивированные серпентиновые минералы представляют собой комплексный магнезиально-силикатный реагент, который обладает кислотонейтрализующей способностью и может быть применен в качестве реагента для осаждения цветных металлов из растворов. В работе изучены серпентиновые минералы с различной структурой, включая лизардиты (Хабозерское и Ковдорское месторождения, Мурманская обл.), антигорит (Печенгское рудное поле, Мурманская обл.) и хризотил (Халиловское месторождение, Оренбургская область).

В настоящее время в литературе отсутствуют данные, связанные с очисткой кислых высококонцентрированных растворов гранулированным магнезиально-силикатным реагентом на основе серпентиновых минералов с возможностью получения осадков, обогащенных по одному из металлов.

### Общая характеристика диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка цитируемой литературы. Работа изложена на 173 страницах, содержит 31 таблицу, 49 рисунков. Список цитируемой литературы насчитывает 259 источников.

**Во введении** представлено общее описание исследовательской работы, обоснована актуальность темы, определены цели и задачи, дана характеристика объектов исследования и формулировка научной новизны, практической значимости и основных положений, выносимых на защиту.

**В первой главе** рассмотрены вопросы, связанные с особенностями состава и структуры серпентиновых минералов, а также процессы, происходящие при обжиге серпентиновых минералов. Приведены сведения о вяжущих свойствах минералов и о методах получения гранулированных материалов с использованием турболопастных

смесителей-грануляторов. Приведен обзор технологий удаления тяжелых металлов из промышленных сточных вод, в том числе серпентиновыми минералами.

**Во второй главе** дана характеристика объектов и применяемых методов исследования.

**В третьей главе** исследовано влияние температуры обработки на состав и оптические характеристики продуктов термической деструкции серпентинового минерала хризотила с высоким содержанием железа. Исследования выполнены с целью обоснования способа контроля условий обжига, а также свойств термосерпентина, путем визуальной оценки цвета получаемого продукта.

**Четвертая глава** посвящена разработке гранулированного материала на основе термоактивированных серпентинов. В главе рассмотрено влияние структурных особенностей серпентинов на процесс гидратации термоактивированных форм и на образование магнезиально-силикатного вяжущего на их основе.

**В пятой главе** рассмотрен процесс гранулирования магнезиально-силикатного реагента с помощью смесителя-гранулятора ТЛ-020. Изучено влияние скоростного режима гранулирования и процесса опудривания на свойства гранулированного магнезиально-силикатного реагента на основе серпентинов.

**Шестая глава** посвящена очистке высококонцентрированных модельных и реальных растворов подотвальных вод ПАО «Гайский ГОК» гранулированным магнезиально-силикатным реагентом. Предложена схема эксперимента, дана характеристика очищенной воды и полученных осадков соединений металлов.

**В седьмой главе** предложены способы утилизации отработанного магнезиально-силикатного реагента. Исследовано применение отработанного магнезиально-силикатного реагента в качестве мелиоранта для ремедиации подзола техногенной пустоши и влияния добавки отработанного магнезиально-силикатного реагента на технические свойства пеносиликатов.

**В заключении** сформулированы основные выводы по диссертационной работе.

**Автореферат** соответствует структуре и содержанию диссертационной работы.

#### **Обоснованность и достоверность защищаемых научных положений и выводов диссертации**

Все защищаемые научные положения и выводы диссертации Ивановой Т.К. опираются на теоретическую базу и результаты экспериментов.

Научные положения, выводы и рекомендации основаны на лабораторно-аналитических исследованиях с привлечением комплекса современных физических и физико-химических методов с применением аттестованных методик. Для проведения исследований использовалось современное оборудование центра коллективного пользования ИХТРЭМС КНЦ РАН и КИЦСМИ.

По теме диссертации автором опубликовано 18 печатных работ, 4 из которых — в журналах, рекомендуемых ВАК РФ. В журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, опубликовано две статьи. По результатам исследований получено два патента. Результаты работы Т.К. Ивановой в достаточной мере апробированы: доведены до сведения широкой научной общественности и обсуждены на различных научных конференциях, что подтверждает их обоснованность и достоверность.

### **Новизна результатов диссертационного исследования**

Выявленные Ивановой Т.К. закономерности позволили получить наиболее существенные результаты, определяющие научную новизну диссертационного исследования:

1. Разработан метод экспресс-контроля процесса обжига серпентиновых минералов с высоким содержанием железа.

2. Изучены закономерности образования магнезиально-силикатного вяжущего на основе термоактивированных серпентиновых минералов и воды; получен гранулированный реагент.

3. Показана возможность применения гранулированного магнезиально-силикатного реагента на основе серпентинов для очистки кислых высококонцентрированных техногенных растворов от металлов с получением осадков, обогащенных по одному из компонентов.

4. Отработанный магнезиально-силикатный реагент на основе серпентиновых минералов использован в качестве мелиоранта для восстановления техногенно нарушенных земель.

5. Отработанный магнезиально-силикатный реагент на основе серпентиновых минералов использован в качестве добавки в шихту для получения теплоизоляционных пеностекольных материалов.

Таким образом, результаты исследований Ивановой Т.К. демонстрируют потенциал использования магнезиально-силикатного реагента на основе серпентинов для решения различных экологических и технологических задач.

**Вклад автора** состоял в выполнении всех этапов работы, а именно: формулировке проблем, постановке целей и задач, планировании и проведении экспериментальных исследований, обосновании методических подходов и проведении анализа экспериментальных материалов, интерпретации результатов, подготовке отчетов и публикаций.

### **Практическая значимость диссертационной работы**

Практическая значимость исследования определяется разработкой способа очистки высокозагрязненных техногенных растворов от алюминия, железа, меди, никеля и цинка гранулированным магнезиально-силикатным реагентом на основе термоактивированных

серпентиновых минералов с получением ликвидных утилизируемых продуктов. Отработанный серпентиновый реагент может быть использован в качестве мелиоранта для восстановления техногенно нарушенных земель, а также в виде добавки в шихту для улучшения свойств теплоизоляционных пеностекольных материалов.

**По работе можно сделать следующие замечания и рекомендации:**

1. С. 11-16. Приводятся подробные данные о структуре серпентинитовых минералов. Этот материал представляется избыточным, так как в работе структурных исследований не проводилось, а привязки особенностей структуры серпентинитов к технологическим параметрам термической обработки нет.

2. В тексте работы отсутствуют данные по предельно-допустимым концентрациям в объектах гидросферы и уровне токсичности металлов, содержащихся в водах Гайского ГОКа, подлежащих очистке, и аналогичных им. Данное обстоятельство является важным как с точки зрения оценки опасности образующихся в шламонакопителях стоков, так и с точки зрения необходимой степени их очистки для дальнейшего размещения в объектах гидросферы или внутреннего использования. Кроме того, можно было бы составить материальный баланс по выделению.

3. Описанная методика эксперимента по очистке стоков и модельных растворов представляется весьма сложной, трудно реализуемой при масштабировании для условий работы конкретной станции нейтрализации стоков.

Было бы гораздо проще и понятнее проводить эксперименты по известным методикам, аналогичным снятию изотерм адсорбции в статических условиях как отдельно по каждому компоненту в модельных растворах, так и по их комбинации при очистке образцов реальных стоков. В таком случае анализом таких показателей, как рН, концентрация компонентов в растворе, концентрация компонентов в осадке, концентрация компонентов в гранулах реагента через стандартные интервалы времени можно было бы получить не только кинетические кривые распределения компонентов по фазам вплоть до состояния равновесия, но и фиксировать характерные значения рН. Аналогичные работы было бы целесообразно провести и по определению фильтрующей способности в динамических условиях.

4. В работе не приводятся ныне действующие технологические схемы по очистке подотвальных вод с использованием известкового молока или кальцинированной соды. Такая информация была бы необходима для выработки технических решений по предлагаемому методу очистки с использованием существующего на предприятиях оборудования. Наличие схем позволило бы дать не только техническую оценку предлагаемому методу, но и оценить капитальные вложения в необходимую реконструкцию.

5. По тексту диссертации на странице 80, последний абзац, впервые встречается упоминание о дифференциальной сканирующей калориметрии, хотя до этого на

страницах 70 и 72 использовано сокращение «ДСК» без пояснения содержания аббревиатуры. Кроме того, на странице 48 при описании физико-химических методов исследования, а именно, дифференциально-термического анализа на приборе STA409... ничего не сказано о ДСК. Также, первое использование аббревиатуры ДТА встречается на странице 17, без пояснения, а словосочетание «дифференциально-термический анализ» без приведения сокращения – на странице 48. Аналогичная ситуация и с аббревиатурой РФА в тексте диссертации.

6. На странице 81, первый абзац, использован термин «дигидроксилирование», хотя везде ранее и позже по тексту используется термин «дегидроксилирование»?

7. На странице 125 в таблице 7.1 в шапке столбика 1 - формула оксида «SiO<sub>2</sub>»?

8. На странице 14 автореферата, абзац 3, имеется словосочетание «...на рентгенограммах...»?

Замечания по пунктам 5-8 связаны, очевидно, с допущенными опечатками автора при наборе текста работы?

9. Из содержания работы не совсем понятно, а какие же ныне существующие отвальные серпентины, как отходы добычи и обогащения полезных ископаемых, могут быть использованы при производстве гранулированных реагентов? Халиловские хризотилы?

10. С. 18 п. 1.2.2. Автор пишет «Путем воздействия температуры можно изменить фазовый состав серпентинов...». Это заключение не является корректным, так как на самом деле изменяется фазовый состав продуктов разложения серпентинитов.

11. С.30. Автор допускает упрощённо-жаргонные названия загрязнителей сточных вод («...очистка растворов от меди и цинка...»). На самом деле речь идёт о катионах разного валентного состояния.

12. С. 66 п.3.4. Автор предлагает экспресс-метод контроля качества обжига по разнице цветовых характеристик обожжённого образца по сравнению с эталоном. Однако, в диссертации следовало бы больше внимания уделить метрологическим характеристикам методики (оценке погрешности измерений) и связи первопричин изменения цвета (соотношением различных валентных и координационных состояний катионов железа в образце) и функцией отклика: активностью при взаимодействии с кислыми растворами.

Приведённые в отзыве замечания не имеют принципиального характера и не снижают общей положительной оценки работы.

#### **Общая оценка диссертационной работы**

Диссертация Ивановой Татьяны Константиновны «Гранулированный реагент на основе серпентиновых минералов для извлечения металлов из техногенных растворов» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, обладающую внутренним единством содержания, научной новизной и практической значимостью и



## СВЕДЕНИЯ

об официальном оппоненте по диссертации Ивановой Татьяны Константиновны  
«Гранулированный реагент на основе серпентиновых минералов  
для извлечения металлов из техногенных растворов»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.6.7 – Технология неорганических веществ

**Фамилия, Имя, Отчество (полностью):** Нараев Вячеслав Николаевич

**Ученая степень:** доктор химических наук,

**Ученое звание:** профессор

**Научная специальность:** 02.00.04 - физическая химия

**Должность:** заведующий кафедрой технологии неорганических веществ

**Место работы:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный Технологический институт (технический университет)» (СПбГТИ(ТУ))

**Адрес места работы:** 190013, Россия, Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 24-26/49 литера А

**Телефон:** +7 (812) 494-92-68

**E-mail:** naraev@lti-gti.ru

**Список наиболее значимых публикаций в соответствующей научной области за последние 5 лет:**

1. Martinson K.D., Popkov V.I., Beliaeva A.D., Sakhno D.D., Beliaeva I.D., Belyak V.E., Nianikova G.G., Panteleev I.B., Naraev V.N. Synthesis, Structure, and Antimicrobial Performance of  $Ni_x Zn_{1-x} Fe_2 O_4$  ( $x = 0, 0.3, 0.7, 1.0$ ) Magnetic Powders toward *E. coli*, *B. cereus*, *S. citreus*, and *C. tropicalis* // *Water*. – 2022. – Vol. 14, №. 3. – DOI 10.3390/w14030454.

2. Александрова Ю.В., Постнов А.Ю., Нараев В.Н. Влияние порядка внесения соединений меди и цинка на каталитическую активность в реакции окисления CO // *Южно-Сибирский научный вестник*. – 2021. – № 6(40). – С. 173-178. – DOI 10.25699/SSSB.2021.40.6.017.

3. Kolesnikov A.S., Natorkhin M.I., Narayev V.N., Saipov A.A., Abdykarimova S.A. Review of the processing of minerals and technogenic sulfide raw material with the extraction of metals and recovering elemental sulfur by electrochemical methods // *Rasayan Journal of Chemistry*. – 2020. – Vol. 13, No. 4. – P. 2420-2428. – DOI 10.31788/RJC.2020.1346102.

4. Perevislov S.N., Slabov V.S., Panteleev I.B., Naraev V.N., Efimenko L.P., Zarembo V.I. Chemical Resistance of Liquid-Phase-Sintered Materials Based on  $Si_3N_4$ -BN // *Glass and Ceramics*. – 2020. – Vol. 76, №. 11-12. – P. 451-456. – DOI 10.1007/s10717-020-00221-8.

5. Тагандурдыева Н., Мальцева Н.В., Вишневская Т.А., Нараев В.Н., Постнов А.Ю. Алюмооксидный носитель для катализатора низкотемпературной изомеризации углеводородов // *Тонкие химические технологии*. – 2020. – Т.15 – №3. – С. 58-69.

6. Тагандурдыева Н. Нараев В.Н., Постнов А.Ю., Мальцева Н.В. Получение гидроксида алюминия –байерита методом осаждения // *Известия СПбГТИ(ТУ)*. – 2020. – №53(79). – С. 17-22.

