

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.7  
ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 24.09.2024 № 20

О присуждении Сучкову Денису Вячеславовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Утилизация гипсосодержащих отходов минерально-сырьевого комплекса» по специальности 1.6.21. Геоэкология принята к защите 09.07.2024, протокол заседания № 14, диссертационным советом ГУ.7 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 № 155 адм.

Соискатель, Сучков Денис Вячеславович, 9 августа 1996 года рождения, в 2020 году с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 05.04.06 Экология и природопользование.

С 01.10.2020 г. по настоящее время является аспирантом очной формы обучения кафедры геоэкологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре геоэкологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор **Литвинова Татьяна Евгеньевна**, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», кафедра общей и физической химии, профессор.

Официальные оппоненты:

**Маслобоев Владимир Алексеевич** – доктор технических наук, старший научный сотрудник, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский

научный центр Российской академии наук», советник генерального директора;

**Свергузова Светлана Васильевна** – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», кафедра промышленной экологии, профессор;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук**, г. Екатеринбург в своем положительном отзыве, подписанном **Корнилковым Сергеем Викторовичем**, доктором технических наук, главным научным сотрудником, **Славиковской Юлией Олеговной**, кандидатом экономических наук, старшим научным сотрудником лаборатории экологии горного производства, секретарем заседания и утвержденном **Соколовым Игорем Владимировичем**, директором, указала, что теоретическая ценность работы заключается в предложении инновационных подходов к переработке отходов, содержащих гипс, посредством карбонатной конверсии. Автор успешно идентифицировал и описал закономерности, которые влияют на эффективность данного процесса, что способствует углублению теоретических основ в области рециклинга техногенных минеральных ресурсов.

Соискатель имеет 12 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 5 работ, 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 3 статьях - в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus. Получен 1 патент.

Общий объем – 7,3 печатных листа, в том числе 5,1 печатных листа – соискателя.

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

1. Smirnov, Yu.D. Artificial soils for restoration of disturbed land productivity / Yu.D. Smirnov, A.S. Danilov, **D.V. Suchkov**, T.V. Goryunova // Eurasian Mining. – 2021. – PP. 92-96.

Смирнов, Ю.Д. Искусственные почвогрунты для восстановления продуктивности нарушенных земель / Ю.Д. Смирнов, А.С. Данилов, **Д.В. Сучков**, Т.В. Горюнова // Евразийское горное дело. – 2021. – С. 92-96. (ВАК МБД № 75 ред. 22.10.2021).

*Соискателем выполнен анализ материалов по теме исследования, а также проведены лабораторные исследования состава и свойств отходов и искусственных почвогрунтов на их основе.*

2. Литвинова, Т.Е. Химически осажденный фосфомел ( $\text{CaCO}_3$ ) как полезный продукт утилизации фосфогипса / Т.Е. Литвинова, **Д.В. Сучков**, С.А. Герасёв // Управление техносферой: электрон. журнал. – 2023. – Т.6. – Вып.3. – С. 435–450. (ВАК № 2651 ред.12.10.2023).

*Соискателем выполнены экспериментальные исследования по получения химически осажденного карбоната кальция, а также обработка полученных результатов и материалов по теме исследования.*

*Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:*

3. Litvinova, T.E. Lightweight ash-based concrete production as a promising way of technogenic product utilization (on the example of sewage treatment waste) / T.E. Litvinova, **D.V. Suchkov** // Journal of Mining Institute. – 2023. – Vol.264. – PP. 906-918.

Литвинова, Т.Е. Получение легкого золобетона как перспективное направление утилизации техногенных продуктов (на примере отходов водоотведения) / Т.Е. Литвинова, **Д.В. Сучков** // Записки Горного института. – 2023. – Т. 264. – С. 906-918.

*Соискателем проведен литературно-патентный обзор направлений использования отходов в строительстве, а также выполнены лабораторные и экспериментальные исследования по получению образцов золобетона.*

4. Litvinova, T.E. Comprehensive approach to the utilisation of technogenic waste from the mineral resource complex / T.E. Litvinova, **D.V. Suchkov** – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_331 // Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). – 2022. – № 6-1. – PP. 331-348. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_331.

Литвинова, Т.Е. Комплексный подход к утилизации техногенных отходов минерально-сырьевого комплекса / Т.Е. Литвинова, **Д.В. Сучков** – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2022\_61\_0\_331 // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-1. – С. 331-348.

*Соискателем выполнены анализ и оценка существующих направлений утилизации фосфогипса, а также экспериментальные исследования по конверсии отхода в карбонатных средах с обработкой результатов.*

5. Matveeva, V.A. Industrial processing of phosphogypsum into organomineral fertilizer / V.A. Matveeva, Yu.D. Smirnov, **D.V. Suchkov** – DOI: 10.1007/s10653-021-00988-x // Environmental Geochemistry and Health. – 2022. – Vol. 44(5). – PP. 1605-1618.

Матвеева, В.А. Промышленная переработка фосфогипса в органоминеральное удобрение / В.А. Матвеева, Ю.Д. Смирнов, **Д.В. Сучков** – DOI: 10.1007/s10653-021-00988-x // Экологическая геохимия и здоровье. – 2022. – Т. 44(5). – С. 1605-1618.

*Соискателем проведена оценка состояния окружающей среды в зоне гипсонакопителя по результатам лабораторных исследований проб подотвальных и поверхностных вод, а также выполнено эколого-экономическое обоснование предлагаемого способа утилизации отходов.*

*Публикации в прочих изданиях:*

6. **Сучков, Д.В.** Разработка технологии полезной утилизации многотоннажных отходов минерально-сырьевого комплекса (на примере фосфогипса) / **Д.В. Сучков** // Новые идеи в науках о Земле. Материалы XV Международной научно-практической конференции: в 7 т. – 2021. – С. 224-227.

*Соискателем выполнен критический обзор существующих подходов к утилизации фосфогипса путем его использования в строительстве, мелиорации и для производства новых веществ.*

7. **Сучков, Д.В.** Использование отходов минерально-сырьевого комплекса для получения продукции с заданными свойствами / **Д.В. Сучков** // Технологии переработки отходов с получением новой продукции. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. –2021. – С. 27-32.

*Соискателем обоснована возможность использования процесса промышленной карбонизации фосфогипса для снижения углеродного следа предприятия.*

8. **Сучков, Д.В.** Утилизация фосфогипса путем комплексной переработки на ряд товарных продуктов: проблемы и перспективы / **Д.В. Сучков** // Актуальные проблемы недропользования. Тезисы докладов XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых. – 2022. – С. 288-290.

*Соискателем обоснованы перспективы использования способа карбонатной конверсии фосфогипса для утилизации отхода с учетом физико-химических закономерностей, лежащих в основе процесса.*

9. **Сучков, Д.В.** Особенности комплексной переработки техногенного сырья на примере гипсосодержащих отходов минерально-сырьевого комплекса / **Д.В. Сучков** // Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, химия и биотехнология. Материалы Международной научной конференции. –2022. – С. 357-361.

*Соискателем выполнен обзор существующих технических решений по утилизации фосфогипса способом карбонатной конверсии, сделан вывод о проблеме мелкодисперсности получаемых кристаллов карбоната кальция.*

10. **Сучков, Д.В.** Фосфогипс как техногенное сырье для получения товарных продуктов с заданными свойствами / **Д.В. Сучков** // Современные тенденции развития химической технологии, промышленной экологии и экологической безопасности. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции с участием молодых ученых. –2022. – С. 69-72.

*Соискателем выполнены экспериментальные исследования карбонатной конверсии фосфогипса с выдачей рекомендаций о выборе условий конверсии для получения продукции (карбоната кальция) с заданными свойствами крупности.*

11. **Suchkov, D.V.** Features of integrated processing and utilization of mining wastes as a secondary resource / **D.V. Suchkov**, T.E. Litvinova, K.D. Shaykina // X International Siberian Early Career GeoScientists Conference. Proceedings of the Conference. – 2022. – P. 189-190.

**Сучков, Д.В.** Особенности комплексной переработки и утилизации горнопромышленных отходов в качестве вторичного ресурса / **Д.В. Сучков**, Т.Е. Литвинова, К.Д. Шайкина // X Международная Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле. Материалы конференции. – 2022. – С. 189-190.

*Соискателем обоснована возможность получения ряда ценных продуктов (карбоната кальция, сульфата аммония/щелочного металла, концентрата редкоземельных элементов) в результате утилизации фосфогипса способом карбонатной конверсии.*

12. **Сучков, Д.В.** Особенности процессов комплексной переработки и утилизации горнопромышленных отходов как вторичного ресурса (на примере фосфогипса) / **Д.В. Сучков**, К.Д. Шайкина // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXVI Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова. – 2022. – С. 328-330.

*Соискателем проведены экспериментальные исследования конверсии дигидрата сульфата кальция с использованием раствора карбоната натрия с обоснованием влияния ряда условий конверсии на крупность получаемого карбоната кальция.*

*Патент:*

13. Патент № 2800284 Российская Федерация, МПК G01N 1/28 (2023.05); G01N 2001/2893 (2023.05). Способ изготовления многокомпонентных образцов сравнения для рентгенофлуоресцентного анализа горных пород: № 2022129509: заявл. 15.11.2022 : опубл. 19.07.2023 / И.П. Сверчков, Ю.Д. Смирнов, М.А. Чукаева, А.А. Дука, Д.В. Сучков; заявитель СПГУ. – 19 с.: ил.

*Соискателем выполнена подготовка проб для приготовления многокомпонентных образцов сравнения, а также проведена обработка результатов рентгенофлуоресцентного анализа.*

Апробация работы проведена на всероссийских и международных научно-практических мероприятиях, где обсуждались основные положения и результаты исследований:

1. XXVI Международный симпозиум студентов и молодых ученых им. М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (апрель 2022 года, г. Томск), тема доклада: «Особенности процессов комплексной переработки и утилизации горнопромышленных отходов как вторичного ресурса (на примере фосфогипса)»;

2. Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых в рамках XVIII Большого географического фестиваля (апрель 2022 года, г. Санкт-Петербург), тема доклада: «Осуществление переработки промышленных отходов для получения товарной продукции с заданными свойствами»;

3. XVIII International Forum-Contest of Students and Young Researchers «Topical Issues of Rational Use of Natural Resources» (май 2022 года, г. Санкт-Петербург), тема доклада: «Utilization of phosphogypsum by integrated processing into a number of marketable products: problems and possibilities»;

4. Международная научная конференция «Рациональное использование природных ресурсов и переработка техногенного сырья» (июнь 2022 года, г. Алушта), тема доклада: «Особенности комплексной переработки техногенного сырья на примере гипсосодержащих отходов минерально-сырьевого комплекса»;

5. Международный научный симпозиум «Неделя горняка-2023» (февраль 2023 года, г. Москва), тема доклада: «Гипсосодержащие отходы минерально-сырьевого комплекса как вторичный материальный ресурс: перспективы утилизации».

В диссертации **Сучкова Дениса Вячеславовича** отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: доцента кафедры коллоидной химии Института химии СПбГУ, д.т.н. **Н.Г. Суходолова**; директора департамента экологии ОП ООО «РУСАЛ ИТЦ», к.т.н. **В.С. Бурката**; старшего научного сотрудника СПб ФИЦ РАН, к.т.н. **Е.В. Федорченко**; заведующего кафедрой инженерной радиэкологии и радиохимической технологии СПбГИ(ТУ), д.т.н. **А.В. Румянцева**; профессора кафедры инженерной химии и промышленной экологии СПбГУПТД, заместителя директора института прикладной химии и экологии по научной работе, д.т.н. **Р.Ф. Витковской**; главного научного сотрудника ФБУ «ДальНИИЛХ», д.б.н. **Л.Т. Крупской**.

Во всех отзывах дана положительная оценка диссертационной работы, отмечены актуальность темы, научная новизна и практическая значимость проведенных исследований. Вместе с тем, в отзывах содержатся следующие вопросы и критические замечания:

1. На стр. 7 указано, что ООО «Компания «ГрандПроект» приняла к использованию результаты работы для разработки рекультиванта. Какие перспективы промышленного применения, для каких конкретно целей может применяться продукт? (д.т.н. **Н.Г. Суходолов**);

2. На стр. 17 приведен вывод, что выход ФМ составляет 0,588 т на 1 т ФГ. Что происходит с 42 % ФГ? Затрачено на прохождение реакции или образуется новый отход? Что в таком случае делать с этим отходом? (д.т.н. **Н.Г. Суходолов**);

3. В том же абзаце говорится о потенциальном использовании фосфомела на металлургическом производстве ПАО «Северсталь». Насколько предприятие действительно заинтересовано в данном продукте? (д.т.н. **Н.Г. Суходолов**);

4. В чем заключается новизна предложенного метода утилизации фосфогипса по сравнению с существующими технологиями карбонатной конверсии? (к.т.н. **В.С. Буркат**);

5. Какие методы математического и компьютерного моделирования использовались для анализа процессов переработки фосфогипса в рамках диссертационной работы? (к.т.н. **В.С. Буркат**);

6. В автореферате не освещены вопросы технологического и аппаратурного решения процессов карбонатной конверсии фосфогипса. **(к.т.н. В.С. Буркат);**

7. Хотя работа охватывает широкий спектр аспектов, касающихся утилизации фосфогипса, было бы полезно более подробно рассмотреть возможные барьеры для внедрения предложенной технологии в промышленность. **(к.т.н. Е.В. Федорченко);**

8. В автореферате не приводятся объяснения отличий диффузионного процесса от кинетического, и как они связаны с крупностью получаемого осадка. **(к.т.н. Е.В. Федорченко);**

9. На рисунке 3 в подписи у оси абсцисс отсутствуют единицы измерения **(д.т.н. А.В. Румянцев);**

10. Одним из факторов, ограничивающих прямое использование фосфогипса в строительной индустрии в качестве весьма востребованного гипсового вяжущего, является присутствие в нем природных радионуклидов, в первую очередь дочерних продуктов ряда урана-238. В среднем активность фосфогипса только по радию-226 (источнику радона-222) составляет порядка 900 Бк/кг; для фосфогипсов ООО «ПГ Фосфорит» (г. Кингисепп, Ленинградская обл.) эта величина еще выше. Данная проблема упоминается автором в автореферате (стр. 4, первый абзац), но в дальнейшем не рассматривается. Учитывая низкую растворимость карбоната радия и возможность изоморфного замещения им кальция, можно ожидать, что конечный продукт предложенной автором технологии, фосфомел, будет иметь как минимум сходный уровень радиоактивности. Не отпугнет ли это потребителей? **(д.т.н. А.В. Румянцев);**

11. Как оценивалось снижение углеродного следа? **(д.т.н. Р.Ф. Витковская);**

12. Какие методы и оборудование использованы для оценки загрязнителей в сточных водах, мигрирующих из гипсонакопителей **(д.т.н. Р.Ф. Витковская).**

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается наличием исследований и публикаций по теме диссертационной работы, а также их компетентностью в сфере исследования, позволяющей оценить научную и практическую значимость работы.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработан** новый научный подход, развивающий научную концепцию снижения негативного воздействия от объектов размещения гипсосодержащих отходов минерально-сырьевого комплекса;



**предложены** рекомендации по осуществлению совместной утилизации фосфогипса и  $\text{CO}_2$ -содержащих дымовых газов путем конверсии в карбонатных средах;

**доказано** отсутствие полной изоляции гипсонакопителей от окружающей среды в условиях регионов зоны избыточного увлажнения вследствие миграции характерных загрязнителей – компонентов фосфогипса в подотвальные сточные воды и поверхностные водные объекты;

**введены** новые подходы к экспериментальному исследованию зависимостей степени превращения фосфогипса и/или крупности получаемого фосфомела от условий карбонатной конверсии;

**доказана** возможность получения легкофильтруемого фосфомела (карбоната кальция) с заданными свойствами крупности и высокой степенью превращения путем регулирования условий карбонатной конверсии фосфогипса;

**предложены** рекомендации по внедрению предлагаемого способа утилизации гипсосодержащих отходов с учетом расширения сырьевой базы  $\text{CaCO}_3$  за счет востребованности фосфомела с заданными свойствами крупности.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны** положения, вносящие вклад в расширение представлений о механизме и кинетике карбонатной конверсии фосфогипса, а также факторах, влияющих на крупность и степень превращения целевого продукта – фосфомела;

применительно к проблематике диссертации результативно **использован** комплекс существующих базовых методов исследования, включающий системный анализ проблемы обращения с гипсосодержащими отходами по данным литературно-патентного обзора; аналитические и экспериментальные исследования с использованием высокотехнологичной приборной базы научных центров «Оценка техногенной трансформации экосистем» и «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» Санкт-Петербургского горного университета; обработку данных и результатов с использованием средств и методов математического и компьютерного моделирования.

**изложены** научные аргументы, объясняющие влияние температуры на переход карбонатной конверсии фосфогипса из диффузионного в кинетический режим, и обосновывающие возможность получения фосфомела с заданными свойствами крупности;

**изучены** закономерности влияния параметров процесса карбонатной конверсии (температура, концентрация раствора, соотношение жидкой и

твердой фаз, продолжительность контакта фаз) на степень превращения фосфогипса и крупность получаемого фосфомела, а также причинно-следственные связи между условиями протекания процесса и показателями качества целевого продукта;

**проведена** оценка эффективности конверсии путем разработки методики определения степени превращения фосфогипса в карбонатных средах по остаточному содержанию серы в осадке фосфомела.

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

**разработан и внедрен** способ изготовления многокомпонентных образцов сравнения для рентгенофлуоресцентного анализа (подтверждено патентом на изобретение № 2800284); результаты исследования приняты к использованию ООО «Компания «ГрандПроект» при разработке проекта технической документации «Рекультивант на основе гипса» (получен акт о внедрении (использовании) результатов);

**определены** перспективы использования способа конверсии в карбонатных средах для обеспечения утилизации фосфогипса и снижения углеродного следа предприятий минерально-сырьевого комплекса;

**создана** система практических рекомендаций по организации технологического процесса карбонатной конверсии фосфогипса, обеспечивающего полную утилизацию отхода с получением товарной продукции;

**представлены** методические рекомендации по дальнейшему использованию фосфомела (карбоната кальция) с заданными свойствами степени крупности и высокой степенью превращения как продукции, перспективной для реализации на предприятиях химико-металлургического профиля.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** результаты получены на сертифицированном оборудовании, использованы апробированные методики измерения, реализованные на поверенном оборудовании в научных центрах «Оценка техногенной трансформации экосистем» и «Проблем переработки минеральных и техногенных ресурсов» Санкт-Петербургского горного университета, показана высокая воспроизводимость результатов в различных условиях;

**теория** построена на воспроизводимых данных и фактах и согласуется с опубликованными результатами отечественных и зарубежных исследований по теме диссертации;

**идея базируется** на анализе практики и обобщении передового опыта в области обращения с гипсосодержащими отходами и их использования в качестве вторичного сырьевого ресурса;

**использовано** сравнение полученных в рамках выполнения диссертационной работы экспериментальных данных с результатами, полученными другими исследователями в схожих условиях;

**установлена** сходимость результатов лабораторных исследований фосфогипса и экспериментальных испытаний его конверсии в карбонатных средах с теоретическими результатами, представленными в независимых работах по данной тематике;

**использованы** современные методы сбора и обработки информации, полученной на основании теоретических, лабораторных и экспериментальных исследований, а также представительные выборочные совокупности с обоснованием выбора в качестве объекта экспериментальных исследований модельных образцов на основе химически чистого дигидрата сульфата кальция.

**Личный вклад соискателя состоит в:**

постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе сведений по теме исследования; разработке программы и методологии экспериментальных исследований; непосредственном проведении лабораторных исследований с дальнейшей обработкой результатов; подготовке публикаций по результатам исследования и их апробации в рамках научных мероприятий.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

Соискатель Сучков Д.В. согласился с замечаниями, ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании **24.09.2024 г.** диссертационный совет принял решение присудить **Сучкову Д.В.** ученую степень кандидата технических наук за новые научно обоснованные технические и технологические решения проблемы снижения негативного воздействия от объектов размещения гипсосодержащих отходов, имеющей существенное значение для устойчивого развития промышленности и повышения эффективности использования сырьевых ресурсов страны.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 4 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 19 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета

24.09.2024 г.



Протосеня  
Анатолий Григорьевич

Афанасьев  
Павел Игоревич