«УТВЕРЖДАЮ»
Ректор РХТУ им. Д. И. Менделеева
д.х.н., профессор С.Н. Филатов

«24» марта 2026 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему: «Оптимизация фиторемедиационных технологий для ликвидации техногенных загрязнений» по научной специальности 1.5.15. Экология (технические науки) выполнена на кафедре ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития» Института химии и проблем устойчивого развития (ИПУР) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

В процессе подготовки диссертации Пищаева Ксения Витальевна, 02 января 1995 года рождения, была аспирантом кафедры ЮНЕСКО «Зелёная химия для устойчивого развития» Института химии и проблем устойчивого развития (ИПУР) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» в период с 01 сентября 2021 года по 31 августа 2025 года.

Диплом об окончании аспирантуры выдан федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» в 2025 году.

Научный руководитель – доктор технических наук по научной специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (химическая технология), профессор кафедры ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития» Института химии и проблем устойчивого развития (ИПУР) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» Макарова Анна Сергеевна.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Оптимизация фиторемедиационных технологий для ликвидации техногенных загрязнений» принято следующее заключение.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что за последние десятилетия возросли темпы развития промышленной деятельности, что привело к техногенным авариям и значительному загрязнению окружающей среды. Территории бывших горнодобывающих и химических промышленных предприятий и прилегающие к ним площади являются центрами загрязнений окружающей среды промышленными загрязнителями. Среди промышленных загрязнителей важное место занимают тяжелые металлы. Тяжелые металлы могут накапливаться в горизонтах почвы, поступать в поверхностные и подземные воды. Это приводит к постепенному изменению химического состава, нарушению единства геохимической среды и увеличению негативного воздействия на биотопы.

Для решения описанной выше проблемы предложены различные технологии. Однако большинство технологий несет в себе и ограничения, которые связаны с повторным загрязнением почв. Например, использование физических и химических технологий может приводить к вторичному загрязнению окружающей среды.

Преимуществом фиторемедиационных технологий является использование биологических процессов, которые снижают концентрации и/или биодоступность загрязняющих веществ и содействуют естественному восстановлению почв и водоемов биотопов. Исследования показывают, что фиторемедиационные технологии, являющиеся «мягкими» технологиями, имеют огромный потенциал для очистки окружающей среды.

Фиторемедиационные технологии являются экологически эффективными, неинвазивными и устойчивыми технологиями удаления тяжелых металлов из почв и водоемов, которые могут быть использованы в крупных масштабах. На основе того, что растения способны к сверхаккумуляции металлов, разрабатывается такая фиторемедиационная технология, как индуцирующая фиторемедиация, суть которой заключается в интенсивном поглощении металлов корнями и надземными органами растений с применением комплекса добавок с последующей переработкой растительной биомассы. Использование хелатирующих добавок может повысить эффективность этого процесса как за счет преобразования в биодоступные фракции в почве, так и за счет усиления скорости переноса металлов в растения.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Впервые предложены комплексы хелатирующих (дикалиевая соль оксиэтилидендифосфоновой кислоты, моноэтаноламинная соль дизамещенной 2,2'-(этилендитио)диуксусной кислоты, хелат железа-соль этилендиамин-N,N'-о-оксифенил-N, N'-диуксусной кислоты), росторегулирующих (индолил-3-масляная и гиббереллиновая кислоты, монокалийфосфат), функциональных (гумат калия,

диатомит, экзогенные фитогормоны, концентрат микроэлементов с добавлением CuK_2EDTA, MnK_2EDTA, ZnK_2EDTA) добавок, характеризующиеся высокими показателями поглощения (AF >1, рост биомассы) тяжелых металлов растениями, что позволяет защитить и сохранить биотопы;

2. Впервые предложено применение углеродного волокна на корнях растений в качестве носителя хелатирующих добавок (дикалиевая соль оксиэтилидендифосфоновой кислоты, динатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты) для водных объектов.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в разработке новых комплексов хелатирующих, росторегулирующих, функциональных добавок, позволяющих эффективно оптимизировать фиторемедиационные технологии для биотопов, расположенных на территории Российской Федерации, и в разработке оригинальных методик оптимизации фиторемедиационных технологий для ликвидации загрязнений окружающей среды тяжелыми металлами.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 9 публикациях в рецензируемых изданиях, из них 7 статей в журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus.

Результаты работы были представлены на международных и всероссийских конференциях и съездах, в том числе на: 3-й Всероссийской научно-практической конференции «Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения» (г. Саратов, 2021 г.); III международной научной конференции SEWAN (г. Санкт-Петербург, 2021 г.); V Конгрессе с международным участием и Конференции молодых ученых «ТЕХНОГЕН-2021» (г. Екатеринбург, 2021); Китайско-российском конкурсе инноваций и предпринимательства-2020 (г. Воронеж, 2020 г.); Всероссийской конференции с международным участием «Геохимия окружающей среды» (ГеОС-2022) (г. Москва, 2021 г.); XVIII Международном форуме-конкурсе студентов и молодых ученых (г. Санкт-Петербург, 2022 г.); XVI Международной научно-практической конференции «Образование и наука для устойчивого развития», посвященной 300-летию Российской академии наук (г. Москва, 2024 г.) и других.

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. Makarova A. S., Nikulina E. A., Tsirulnikova N. V., Avdeenkova T. S., **Pishchaeva K. V.** Potential of S-containing and P-containing complexones in improving phytoextraction of mercury by Trifolium repens L. // Saudi Journal of

Biological Sciences. – 2021. – Vol. 28, № 5. – P. 3037-3048. – DOI 10.1016/j.sjbs.2021.02.045 **(Scopus)**

2. Makarova A., Nikulina E., Avdeenkova T., **Pishchaeva K.** The improved phytoextraction of heavy metals and the growth of Trifolium repens L.: The role of K_2HEDP and plant growth regulators alone and in combination // Sustainability. – 2021. – Vol. 13, № 5. – P. 2432. – DOI 10.3390/su13052432 **(Scopus)**

3. Makarova A.S., Nikulina E.A., Tsirulnikova N.V., Avdeenkova T.S., **Pishchaeva K.V.**, Glinushkin A.P., Podkovyrov I.Y. Screening of various chemical additives, including S-containing complexion to enhance phytoextraction of mercury by white creeping clover (Trifolium repens L.) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 663, № 1. – P. 012041. – DOI 10.1088/1755-1315/663/1/012041 **(Scopus)**

4. Makarova A.S., Chelnokov V., Matasov A., Nikulina E.A., Golenko M.G., **Pishchaeva K.V.**, Romanova R.A., Fedoseev A.N.. Comparative evaluation of the efficiency of enhancing phytoextraction with heavy metals in Phaseolus vulgaris, Pisum sativum, Sinapis alba using a disubstituted potassium salt of oxyethylene diphysphonic acid // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – Vol. 866. – P. 012008. – DOI 10.1088/1755-1315/866/1/012008 **(Scopus)**

5. Makarova A, Nikulina E., Tsirulnikova N., **Pishchaeva K.**, Fedoseev A. Effect of monoethanolamine salt-containing dicarboxylic acid and plant growth regulators on the absorption and accumulation of mercury // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2022. – Vol. 29, № 5. – P. 3448-3455. – DOI 10.1016/j.sjbs.2022.02.035 **(Scopus)**

6. Makarova A., **Pishchaeva K.**, Chelnokov V., Matasov A., Saproshina A., Varbanov P. S. Evaluation of the effectiveness of the use of carbon fibres using salt of ethylenediaminetetraacetic acid for the purification of water bodies from heavy metals // Cleaner Engineering and Technology. – 2022. – Vol. 10. – P. 100549. – DOI 10.1016/j.clet.2022.100549 **(Scopus)**

7. A. S. Makarova, E. A. Nikulina, N. V. Tsirulnikova, K. V. Pishchaeva, and A. Y. Kushu. Phytoextraction of mercury-contaminated soils // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – P. 012018. – DOI 10.1088/1755-1315/1096/1/012018 **(Scopus)**

Публикации в прочих иданиях:

1. Никулина Е. А. Оценка эффективности использования K_2HEDP для рекультивации земель на территориях бывших полигонов твердых коммунальных отходов / Е.А. Никулина, А.С. Макарова, В.П. Мешалкин, В.В. Челноков, А.В. Матасов, **К.В. Пищаева**, А.В. Гарабаджиу // Российский химический журнал. – 2022. – Т. 66, № 3. – С. 79-87.

2. Лапин И.И. Исследование состава зол сжигания в качестве потенциального сырья для производства соединений / И.И. Лапин, Р.Д. Пичугов, М.М. Петров, **К.В. Пищаева**, М.А. Елхимов, Е.А. Пономарева // Успехи в химии и химической технологии. – 2022. – Т. 36, № 2(251). – С. 34-35.

Публичные доклады на международных научных мероприятиях *(конференциях, съездах, симпозиумах, конгрессах):*

1. Makarova A. S., Golenko M. G., **Pishchaeva K. V.** Comparative assessment of the effectiveness of enhancing phytoextraction with heavy metals by creeping clover (Latin Trifolium repens L.) by introducing various drugs that stimulate plant growth and development // Sustainable And Efficient Use Of Energy, Water And Natural Resources (SEWAN – 2021): III международная научная конференция SEWAN – 2021: сборник трудов, Санкт-Петербург, 19 – 24 апреля 2021 года. – Санкт-Петербург: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», 2021. – 369 с. – ISBN 978-5-7577-0647-4. – С. 150-151.

2. Кушу А. Ю. Исследование индуцированной фитоэкстракции ртути из почв растением Sinapis alba / А.Ю. Кушу, **К.В. Пищаева**, А.С. Макарова // Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований: труды V Конгресса с международным участием и Конференции молодых ученых «ТЕХНОГЕН-2021». – Екатеринбург: Институт металлургии УрО РАН, ООО Универсальная типография «Альфа Принт», 2021. – С. 319-321.

3. Кушу А. Ю. Исследование эффективности фитоэкстракции ртути из почв растением Lepidium sativum / А.Ю. Кушу, **К.В. Пищаева**, А.С. Макарова // Экологический мониторинг опасных промышленных объектов: современные достижения, перспективы и обеспечение экологической безопасности населения: сборник научных трудов по материалам 3-й Всероссийской научно-практической конференции. – Саратов: ООО «Амирит», 2021 – ISBN 978-5-00140-911-3. – 358 с. – С. 157-160.

4. **Пищаева К.В.** Использование биоремедиационных гибридных препаратов на основе микроэлементов и клеточных катализаторов для рекультивации, устойчивого развития растительности и востановления плодородия почв / **К.В. Пищаева**, А.В. Матасов // Китайско-российский конкурс инноваций и предпринимательства-2020, Юго-Западный регион: Материалы конференции-конкурса, Воронеж, 15 ноября – 05 декабря 2020 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2021. – С. 72-76.

5. Кушу А. Ю. Возможность химического индуцирования процесса фитоэкстракции ртути из почв / А.Ю. Кушу, **К.В. Пищаева**, А.С. Макарова //

Образование и наука для устойчивого развития: Материалы XIV Международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию со дня рождения профессора Г.А. Ягодина и 50-летию публикации доклада Римскому клубу «Пределы роста». В 2-х частях, Москва, 26 – 28 апреля 2022 года. Часть 1. – Москва: Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, 2022. – С. 100-103.

6. **Пищаева К. В.** Применение углеродных волокон с трилоном б для очистки вод от тяжелых металлов / **К. В. Пищаева** // Актуальные проблемы недропользования : тезисы докладов XVIII Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 15–21 мая 2022 года. Том 3. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2022. – С. 286-289.

7. **Pishchaeva K. V.,** Makarova A. S., Muradyan S. A. Phytoextraction as a modern method of bioremediation of heavy metals in various environments // Всероссийская конференция с международным участием «Геохимия окружающей среды» (ГеОС-2022), 23 – 26 августа 2022 г., Москва, Россия. Сборник тезисов. – ISBN 978-5-60455-796-9. – С. 51.

8. Харитонов А.Э. Анализ производства и использования гидропонных растворов с применением микроэлементов в хелатирующей форме / А.Э. Харитонов, **К.В. Пищаева** // Образование и наука для устойчивого развития: XV Международная научно-практическая конференция, посвященная Международному году фундаментальных наук в интересах устойчивого развития, Москва, 18 – 21 апреля 2023 года. – Москва: Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, 2023. – С. 208-210.

9. Харитонов А.Э. Разработка гидропонных растворов с применением микроэлементов в хелатирующей форме / А.Э. Харитонов, С.А. Мурадян, **К.В. Пищаева** // II Лавёровские чтения. Арктика: актуальные проблемы и вызовы: Сборник научных материалов Всероссийской конференции с международным участием, Архангельск, 13 – 17 ноября 2023 года. – Архангельск: ООО «Типография № 2», 2023. – С. 938-942.

10. Лебедева П. А. Разработка метода ликвидации мышьякового загрязнения на территории городского округа Усолье-Сибирское Иркутской области / П.А. Лебедева, А.С. Макарова, **К.В. Пищаева**, А.Н. Федосеев // Образование и наука для устойчивого развития: Материалы XVI Международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук. В 2-х частях, Москва, 16 – 19 апреля 2024 года. – Москва : Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, 2024. – С. 119-122.

11. Цуранова С.В. Использование фиторемедиации при кадмиевом загрязнении почв / С.В. Цуранова, А.С. Макарова, **К.В. Пищаева**, А.Н. Федосеев // Образование и наука для устойчивого развития: Материалы XVI

Международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию Российской академии наук. В 2-х частях, Москва, 16 – 19 апреля 2024 года. – Москва : Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева, 2024. – С. 192-194.

12. **Пищаева К. В.** Использование фитоэкстракции при мышьяково-кадмиевом загрязнении почв / **К. В. Пищаева**, С. В. Цуранова, П. А. Лебедева // Актуальные проблемы недропользования : тезисы докладов участников XIX Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых, Санкт-Петербург, 21–27 мая 2023 года / Санкт-Петербургский горный университет. Том 2. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2023. – С. 210-212.

Патенты

1. Патент № 2808836 C1 Российская Федерация, МПК CO5D 9/02, A01G 31/00. Способ получения концентрата питательного состава для выращивания сельскохозяйственных культур в гидропонных системах : № 2023117463 : заявл. 03.07.2023 : опубл. 05.12.2023 / К.В. Пищаева, С.А. Мурадян, С.Л. Булеева, А.А. Сапрошина ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 1.5.15. Экология (отрасль науки – технические) в части:

п. 4. Инженерная защита экосистем. Прогнозирование, предупреждение и ликвидация последствий загрязнения окружающей среды от техногенных аварий и катастроф на объектах горнодобывающей промышленности;

п. 7. Эколого-методические основы системы сохранения природных экосистем, системы защиты биотопов от деградации и загрязнения поллютантами.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Пищаевой Ксении Витальевны является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Пищаевой Ксении Витальевне; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном

государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему: «Оптимизация фиторемедиационных технологий для ликвидации техногенных загрязнений» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.5.15. Экология (технические науки).

Диссертация рассмотрена на заседании кафедры ЮНЕСКО «Зелёная химия для устойчивого развития» Института химии и проблем устойчивого развития (ИПУР), состоявшемся «26» декабря 2025 года, протокол № 5. В обсуждении приняли участие: к.х.н., доцент Кривобородов Е.Г.; д.т.н., профессор Малков А.В.; заведующий кафедрой, д.х.н., профессор Тарасова Н.П.

Принимало участие в голосовании 8 человек.

Результаты голосования: «за» - 8 человек, «против» - 0 человек, воздержались - 0 человек, протокол № 5 от «26» декабря 2025 года.

Председатель заседания
Заведующий кафедрой ЮНЕСКО
«Зеленая химия для устойчивого развития»
д.х.н., профессор Н.П. Тарасова

Секретарь заседания
Доцент кафедры ЮНЕСКО
«Зеленая химия для устойчивого развития»
к.х.н., доцент А.А. Додонова