

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«**СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**»

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Кафедра биофизики

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
биофизики

_____ _____
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 20 __ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Комплексный анализ снегового покрова урбанизированной территории города
Красноярска

03.04.02 Физика

03.04.02.10 Биофизика и медицинская инженерия

Руководитель	_____	д.б.н	Мучкина Е.Я.
Выпускник	_____		Чуяшенко Д.Е.
Рецензент	_____	к.б.н	Коротченко И.С.

Красноярск 2023

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Комплексный анализ снегового покрова урбанизированной территории города Красноярска» содержит 72 страницы текстового документа, 20 иллюстраций, 12 таблицы, 5 формул, 42 использованных источника.

ФЕРМЕНТАТИВНОЕ БИОТЕСТИРОВАНИЕ, КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СНЕГОВОГО ПОКРОВА, БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ, ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ.

Цель работы: показать чувствительность растворимой и иммобилизованной форм биферментных систем светящихся бактерий НАД(Ф)Н:ФМН-оксидоредуктаза-люцифераза к интегральной токсичности на основе комплексного анализа снегового покрова урбанизированной территории города Красноярска.

Задачи:

1. Охарактеризовать районы исследования по гидрохимическим показателям, концентрации элементов токсикантов и комплексной оценке степени загрязнения в пробах снеготалой воды.

2. Оценить степень токсичности снеготалой воды по ряду тест-объектов: Кресс-салат, Горох, *Chlorella vulgaris*, тест-система «Эколюм».

3. Показать реальный ответ растворимой и иммобилизованной форм биферментных систем и определить преимущества применения, опираясь на результаты комплексного анализа снегового покрова.

В результате исследования была дана оценка состояния функциональных зон урбанизированной территории Красноярска на основании результатов химического анализа и комплексных оценок загрязнения. Показана степень токсичности участков отбора по ряду тест-объектов. Показана чувствительность растворимой и иммобилизованной форм биферментных систем, а также определены преимущества данных форм ферментативного биотестирования.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	7
1.1 Современный взгляд к подходам биомониторинга водной среды	7
1.2 Билюминесцентные тест системы.....	14
1.3 Воздействие загрязнения воздуха на окружающую среду и здоровье	21
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.....	27
2.2 Гидрохимические показатели	28
2.2.1 Показатель жесткости: методика измерения титриметрическим методом с трилоном Б	28
2.2.2 Водородный показатель рН	29
2.2.3 Измерение массовых концентраций анионов. Методика с применением системы капиллярного электрофореза.....	29
2.2.4 Измерение массовой концентрации аммоний-иона	30
2.2.5 Измерение массовой концентрации фосфат-иона	30
2.2.6 Измерение массовой концентрации нитрит-иона	30
2.2.7 Определение массовой концентрации нефтепродуктов с применением концентратомера серии КН.....	31
2.2.8 Определение массовой концентраций фенолов (общих и летучих) экстракционно-фотометрическим методом	31
2.2.9 Определение массовой концентрации тяжелых металлов методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой	32
2.2.10 Растительные тест-системы для определения острой токсичности	33
2.2.11 Измерение оптической плотности культуры водоросли (<i>Chlorella vulgaris</i> Beiger) для определения острой токсичности	33

2.2.12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ИНТЕНСИВНОСТИ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ТЕСТ-СИСТЕМОЙ «ЭКОЛЮМ»	34
2.2.13 РАСТВОРИМАЯ БИФЕРМЕНТНАЯ СИСТЕМА СВЕЯЩИХСЯ БАКТЕРИЙ NAD(P)H:FMN-ОКСИДОРЕДУКТАЗА-ЛЮЦИФЕРАЗА	34
2.2.13 ИММОБИЛИЗОВАННАЯ БИФЕРМЕНТНАЯ СИСТЕМА NAD(P)H:FMN- ОКСИДОРЕДУКТАЗА-ЛЮЦИФЕРАЗА (РЕАГЕНТ - «ЭНЗИМОЛЮМ»)	35
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ	37
3.1 РЕЗУЛЬТАТЫ: ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	37
3.2 РЕЗУЛЬТАТЫ: БИОТЕСТИРОВАНИЕ	50
3.3 РЕЗУЛЬТАТЫ: ФИТОТЕСТИРОВАНИЕ	53
3.4 РЕЗУЛЬТАТЫ: РАСТВОРИМАЯ И ИММОБИЛИЗОВАННАЯ ФОРМЫ БИФЕРМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ	55
3.5 РЕЗУЛЬТАТЫ: СТАТИСТИКА	56
ВЫВОДЫ	63
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	66

ВВЕДЕНИЕ

Проблема загрязнения окружающей среды является глобальной экологической проблемой, и определяет необходимость её решения с учетом особенностей антропогенной нагрузки, климатических условий, характера ландшафта каждого региона.

Снежный покров является важным компонентом природной среды, играющим важную роль в гидрологическом цикле, климатических процессах и экосистемах. В заснеженных регионах мира изменения в снежном покрове могут оказать серьезное влияние на жизнь и здоровье человека, экономику и экологическую устойчивость.

Комплексный анализ снежного покрова, включающий в себя множество физических, химических и биологических параметров, является необходимым для понимания процессов, происходящих в заснеженных регионах, и оценки экологического состояния природной среды. Этот анализ может помочь выявить паттерны изменения снежного покрова во времени и пространстве, а также выявить особенности формирования снежного покрова в разных регионах.

Одной из главных проблем, сопутствующих комплексному анализу снежного покрова, является отсутствие единой методологии, обеспечивающей всесторонний подход к анализу и гарантирующей достоверность результатов. Кроме того, важным аспектом является разработка эффективных методов сбора и обработки образцов снежного покрова, а также выбор оптимальных параметров для проведения анализа. В условиях интенсивного загрязнения воздуха в урбанизированных территориях, снеготалая вода может служить индикатором токсичности, оценку которой предложено проводить с использованием современных методов биолюминесценции.

Впервые проведен комплексный анализ снегового покрова для оценки загрязнения урбанизированных территорий города Красноярск, а также для определения острой токсичности предложена батарея биотестов. Впервые для

определения токсичности проб снегового покрова применены биферментные системы светящихся бактерий.

Целью работы стало показать чувствительность растворимой и иммобилизованной форм биферментных систем светящихся бактерий НАД(Ф)Н:ФМН-оксидоредуктаза-люцифераза к интегральной токсичности на основе комплексного анализа снегового покрова урбанизированной территории города Красноярска.

С 7 по 63 страницу изъято в связи с авторскими правами.

ВЫВОДЫ

1. На основании комплексного анализа снеготалой воды на территории города Красноярска. Согласно значениям индекса ИЗВ₁₀, участки характеризуются следующим образом: на период 10.02.2023 года АПН «Ветлужанка», АПН «Покровка», АПН «Солнечный» соответствовали классу IV; АПН «Черемушки» и АПН «Свердловский» классу V. К концу декады уровень загрязнения увеличился, и оценка изменилась: АПН «Покровка», АПН «Солнечный» - класс V; АПН «Ветлужанка» и АПН «Черемушки» - класс VI; АПН «Свердловский» - класс VII.

2. По результатам фитотестирования на период 10.02.2023 все пробы снеготалой воды характеризовались средним загрязнением, что соответствует значениям всхожести от 20% до 60%. В течение декады зафиксировано снижение степени загрязнения в АПН «Покровка» и АПН «Солнечный» по реакции тест-культуры гороха, при том остальные точки отбора сохранили тот же уровень загрязнения. Применение тест-системы «Эколюм» не дало ответа. Реакция *Chlorella vulgaris* выявила наличие токсического действия на период 10.02.2023 в АПН «Черемушки» и АПН «Солнечный». На период 20.02.2023 все участки отбора имели токсическое действие.

3. Результаты анализа снеготалой воды на период 10.02.2023 с применением растворимой и иммобилизованной форм биферментной системы позволили охарактеризовать участки *селитебной зоны* - АПН «Покровка» и АПН «Солнечный» как «чистые». Остальные точки отбора характеризовались как «сильно загрязненные». По истечении декады, величина остаточного свечения снизилась для обеих форм ферментативного анализа. Более того, результаты иммобилизованной формы биферментной системы позволили классифицировать участок *селитебной зоны с автотранспортной нагрузкой* – АПН «Ветлужанка», как «чрезвычайно загрязненный»

На основании полученных результатов определены следующие преимущества ферментативного анализа:

1. Результаты реагента «Энзимолюм», содержащего совместно иммобилизованные в крахмальный носитель NADH:FMN-оксидоредуктазу, люциферазу и их субстраты, отличаются схожей чувствительностью с растворимой формой биферментной системы;

2. Только данные формы анализа из всех предложенных отвечают увеличению индекса загрязнения вод, что проявляется в угнетении остаточного свечения во вторую дату отбора;

3. Результаты покрыли весь диапазон классификации вод и выявили градацию от «чистой» до «сильно загрязненная».

4. Упрощенная процедура анализа: оперативность и небольшой объем пробы для проведения анализа, чем не могут похвастаться другие предложенные тест-объекты.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ИЗВ₁₀ – индекс загрязнения вод

АПН – автоматический пункт наблюдения

ФЭ – фитоэффект

ТКР – токсичная кратность разбавления

ПДК – предельно допустимые концентрации

ТМ – тяжелые металлы

ТЧ – тяжелые частицы

ЛОС – летучие органические соединения

ПАУ – полициклические углеводороды

EDTA – этилендиаминтетрауксусная кислота

DMSO – диметилсульфоксид

DMF – диметилформамид

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Zhou Q. et al. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem // *Analytica chimica acta*. – 2008. – Т. 606. – №. 2. – С. 135-150.
2. Фокина А. И. и др. Исследование закономерностей биоаккумуляции меди представителями автотрофных и гетеротрофных организмов // *Ученые записки Петрозаводского государственного университета*. – 2015. – №. 6 (151). – С. 50-55.
3. Филенко, О. Ф. Основы водной токсикологии / О. Ф. Филенко, И. В. Михеева. – Москва : Колос, 2007. – 144 с.
4. Xie L. et al. Mercury (II) bioaccumulation and antioxidant physiology in four aquatic insects // *Environmental Science & Technology*. – 2009. – Т. 43. – №. 3. – С. 934-940.
5. Варшал Г. М. и др. Изучение взаимодействий в системе ртуть-гумусовые кислоты как главных процессов, определяющих поведение ртути в природных водах. – Российский фонд фундаментальных исследований, 1996.
6. Zitoun R. et al. Copper toxicity to blue mussel embryos (*Mytilus galloprovincialis*): The effect of natural dissolved organic matter on copper toxicity in estuarine waters // *Science of the Total Environment*. – 2019. – Т. 653. – С. 300-314.
7. Gorny J. et al. Chromium behavior in aquatic environments: a review // *Environmental Reviews*. – 2016. – Т. 24. – №. 4. – С. 503-516.
8. Li D. et al. Individual and binary mixture effects of bisphenol A and lignin-derived bisphenol in *Daphnia magna* under chronic exposure // *Chemosphere*. – 2018. – Т. 191. – С. 779-786.
9. Silva E., Rajapakse N., Kortenkamp A. Something from “nothing” – eight weak estrogenic chemicals combined at concentrations below NOECs produce significant mixture effects // *Environmental science & technology*. – 2002. – Т. 36. – №. 8. – С. 1751-1756.

10. Warne M. S. J., Hawker D. W. The number of components in a mixture determines whether synergistic and antagonistic or additive toxicity predominate: The funnel hypothesis // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 1995. – Т. 31. – №. 1. – С. 23-28.
11. McRae N. K. et al. Oxidative stress in the galaxiid fish, *Galaxias maculatus*, exposed to binary waterborne mixtures of the pro-oxidant cadmium and the anti-oxidant diclofenac // *Environmental Pollution*. – 2019. – Т. 247. – С. 638-646.
12. Zhou D. M. et al. Adsorption and cosorption of cadmium and glyphosate on two soils with different characteristics // *Chemosphere*. – 2004. – Т. 57. – №. 10. – С. 1237-1244.
13. El Azzi D. et al. Adsorption of acetonifin, alachlor, Cd and Cu onto natural river suspended matter in the context of multi-pollutions: influence of contaminant co-presence and order of input into the aqueous solution // *Water*. – 2018. – Т. 10. – №. 9. – С. 1222.
14. Morillo E. et al. Glyphosate adsorption on soils of different characteristics.: Influence of copper addition // *Chemosphere*. – 2000. – Т. 40. – №. 1. – С. 103-107.
15. Morillo E. et al. The effect of dissolved glyphosate upon the sorption of copper by three selected soils // *Chemosphere*. – 2002. – Т. 47. – №. 7. – С. 747-752.
16. Wandiga S. O. et al. The effects of Mn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+} and Zn^{2+} ions on pesticide adsorption and mobility in a tropical soil. – 2009.
17. Pei Z. et al. Effect of copper on the adsorption of p-nitrophenol onto soils // *Environmental Pollution*. – 2006. – Т. 139. – №. 3. – С. 541-549.
18. Осинкина Т. В. Пресноводные двустворчатые моллюски семейства Unionidae как тест-объект в токсикологическом мониторинге состояния природных водоёмов // *Здоровье населения и среда обитания*. – 2013. – №. 6 (243). – С. 23-24.
19. Гордзялковский А. В., Макурина О. Н. Водные моллюски-перспективные объекты для биологического мониторинга // *Вестник Самарского государственного университета*. – 2006. – №. 7. – С. 37-44.

20. Кудряшева Н.С. Физико-химические основы биолюминесцентного анализа / Н.С. Кудряшева, В.А. Кратасюк, Е.Н. Есимбекова // Учебное пособие, - Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2002. - 154 с.
21. Кратасюк В.А. Бактериальная биолюминесценция и биолюминесцентный анализ / В.А. Кратасюк, И.И. Гительзон // Биофизика.- 1982.- Т. 27.- 6. – С. 937 - 953.
22. Кузнецов А.М. Изучение характеристик реагентов для биолюминесцентных биотестов / А.М. Кузнецов, Н.А. Тюлькова, В.А. Кратасюк, В.В. Абакумова, Э.К. Родичева // Сибирский экологический журнал; Красноярск, 1997. - № 5 - С. 459-465.
23. Гительзон И.И. Светящиеся бактерии / И.И. Гительзон, Э.К. Родичева, С.Е. Медведева и др. // Новосибирск: Наука, 1984.- 298 с.
24. Есимбекова Е. Н. и др. Биолюминесцентный экспресс-метод определения интегральной токсичности воды и загрязнения воздуха // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – №. 10 (159). – С. 122-127.
25. Есимбекова Е.Н., Торгашина И.Г., Кратасюк В.А. Сравнение иммобилизованной и растворимой биферментной системы НАДН:ФМН-оксидоредуктаза-люцифераза // Биохимия, 2009. Т. 74, Вып. 6. С. 853-859.
26. Manisalidis I. et al. Environmental and health impacts of air pollution: a review // Frontiers in public health. – 2020. – С. 14.
27. Eze I. C. et al. Long-term air pollution exposure and diabetes in a population-based Swiss cohort // Environment international. – 2014. – Т. 70. – С. 95-105.
28. F
29. Kelishadi R., Poursafa P. Air pollution and non-respiratory health hazards for children // Archives of Medical Science. – 2010. – Т. 6. – №. 4. – С. 483-495.
30. Mannucci P. M., Franchini M. Health effects of ambient air pollution in developing countries // International journal of environmental research and public health. – 2017. – Т. 14. – №. 9. – С. 1048.

31. Schneider S. H. The greenhouse effect: science and policy //Science. – 1989. – T. 243. – №. 4892. – C. 771-781.
32. Zhang L. et al. Short-term and long-term effects of PM_{2.5} on acute nasopharyngitis in 10 communities of Guangdong, China //Science of the Total Environment. – 2019. – T. 688. – C. 136-142.
33. Boschi N (Ed.). Defining an educational framework for indoor air sciences education. In: *Education and Training in Indoor Air Sciences*. Luxembourg: Springer Science & Business Media (2012).
34. Cheung K. et al. Spatial and temporal variation of chemical composition and mass closure of ambient coarse particulate matter (PM_{10-2.5}) in the Los Angeles area //Atmospheric environment. – 2011. – T. 45. – №. 16. – C. 2651-2662.
35. Richmond-Bryant J. et al. Estimation of on-road NO₂ concentrations, NO₂/NO_X ratios, and related roadway gradients from near-road monitoring data //Air Quality, Atmosphere & Health. – 2017. – T. 10. – C. 611-625.
36. Chen T. M. et al. Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects //The American journal of the medical sciences. – 2007. – T. 333. – №. 4. – C. 249-256.
37. Abdel-Shafy H. I., Mansour M. S. M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation //Egyptian journal of petroleum. – 2016. – T. 25. – №. 1. – C. 107-123.
38. Ebersviller S. et al. Gaseous VOCs rapidly modify particulate matter and its biological effects–Part 1: Simple VOCs and model PM //Atmospheric Chemistry and Physics. – 2012. – T. 12. – №. 24. – C. 12277-12292.
39. Kumar A. et al. Assessment of indoor air concentrations of VOCs and their associated health risks in the library of Jawaharlal Nehru University, New Delhi //Environmental Science and Pollution Research. – 2014. – T. 21. – C. 2240-2248.

40. Genc S. et al. The adverse effects of air pollution on the nervous system // *Journal of toxicology*. – 2012. – Т. 2012.
41. Erm A. et al. Optical and biological properties of Lake Ülemiste, a water reservoir of the city of Tallinn I: Water transparency and optically active substances in the water // *Lakes & Reservoirs: Research & Management*. – 2001. – Т. 6. – №. 1. – С. 63-74.
42. Eleni D., Dessinioti C., Christina V. A. Air pollution and the skin // *Front Environ Sci*. – 2014. – Т. 2. – С. 11.
43. РД 52.24.395-2017. Жесткость воды. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б : утвержден и введен в действие приказом Росгидромета от 12.01.2018 № 4 / разработано Федеральным государственным бюджетным учреждением «Гидрохимический институт» (ФГБУ «ГХИ»). – Москва, 2017.
44. ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97. Методические рекомендации по применению методики измерений рН проб вод потенциометрическим методом : утвержден и введен в действие Росприроднадзором от 21.02.2018 : введен впервые : дата введения 2018-07-28 / разработан ФГБУ "Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия" (ФГБУ "ФЦАО"). – Москва, 2018.
45. ПНД Ф 14.1:2:4.157-99. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций хлорид-ионов, нитрит-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природных, питьевых и очищенных сточных вод с применением системы капиллярного электрофореза «Капель» : утвержден и введен в действие ФБУ Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия 13.11.2015 / разработано ООО "Люмэкс-маркетинг". – Москва, 2014.
46. ПНД Ф 14.1:2:4.276-2013. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации аммиака и аммоний-ионов в питьевых, природных и сточных водах фотометрическим методом с

- реактивом Несслера : утвержден и введен в действие Росприроднадзором от 28.08.2013 / разработан аналитическим центром ЗАО «РОСА». – Москва, 2013.
- 47.ПНД Ф 14.1:2:4.112-97. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации фосфат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с молибдатом аммония : утвержден и введен в действие от 23.03.2011 / разработано ФБУ "Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия" Ростехнадзора (ФГУ "ФЦАО"). – Москва, 2011.
- 48.ПНД Ф 14.1:2:4.3-95. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нитрит-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса : утвержден и введен в действие Росприроднадзором от 23.03.2011 / разработано ФБУ "Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия" Ростехнадзора (ФГУ "ФЦАО"). – Москва, 2011.
- 49.ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000. Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах питьевых, природных и очищенных сточных водах методом ИК-спектрофотометрии с применением концентратометров серии КН : утвержден и введен в действие Росприроднадзором от 24.03.2017 / разработано ООО Производственно-экологическое предприятие ПЭП «СИБЭКОПРИБОР». – Москва, 2017.
- 50.ПНД Ф 14.1:2.105-97. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации летучих фенолов в природных и очищенных сточных водах фотометрическим методом после отгонки с водяным паром : утвержден и введен в действие Госкомэкологией России от 21.03.1997 / разработано ООО НПП "Акватест". – Москва, 2004.
- 51.ПНД Ф 14.1:2:4.135-98. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в

- пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой : утвержден и введен в действие Госкомэкологией России от 25.06.1998 / разработано ЗАО «Центр исследования и контроля воды» (ЦИКВ). – Москва, 2008.
- 52.ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04. Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления : утвержден и введен в действие от 10.10.2014 / разработано ФГОУ ВПО "Сибирский федеральный университет". – Москва, 2014.
- 53.МР 01.021-07. Методика экспрессного определения интегральной химической токсичности питьевых, поверхностных, грунтовых, сточных и очищенных сточных вод с помощью бактериального теста "Эколюм" : утвержден и введен в действие Роспотребнадзором от 15.06.2007 / разработано ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н.Сысина «РАМН», Московским государственным университетом им. М.В.Ломоносова, ФГУЗ «ФЦГиЭ» Роспотребнадзора. – Москва, 2007.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Кафедра биофизики

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
биофизики

Кротова *Кротова*
подпись инициалы, фамилия
« 16 » 06 . 2023 г.

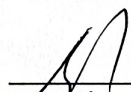
МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Комплексный анализ снегового покрова урбанизированной территории города
Красноярска

03.04.02 Физика


03.04.02.10 Биофизика и медицинская инженерия

Руководитель

 16.06.23 д.б.н


Мучкина Е.Я.

Выпускник

 16.06.23

Чуяшенко Д.Е.

Рецензент

 16.06.23 к.б.н

Коротченко И.С.

Красноярск 2023