

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию Шиховцева Максима Юрьевича
«ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ И
ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ЮЖНОГО

ПРИБАЙКАЛЬЯ», представленной на соискание ученой степени

кандидата географических наук по специальности

1.6.18 – науки об атмосфере и климате

Диссертационная работа Максима Юрьевича Шиховцева посвящена исследованию атмосферы Южного Прибайкалья: малых газовых и аэрозольных примесей, синоптических процессов, мезо- и микрометеорологических параметров в его атмосфере, процессов переноса примесей на побережье и акваторию Южного Байкала. Основной **целью работы** заявлено изучение и оценка возможных изменений состояния атмосферы над акваторией Южного Байкала под влиянием природных и антропогенных факторов с применением современных автоматических методов. Для достижения поставленной цели решались **следующие задачи:**

- 1) развить и адаптировать методы автоматического мониторинга газовых и аэрозольных примесей на опорных станциях мониторинга атмосферы «Иркутск», «Листвянка»;
- 2) Изучить влияние синоптических ситуаций, мезо- и микрометеорологических факторов в атмосфере над Южным Байкалом на процессы переноса и рассеивания малых газовых и аэрозольных примесей;
- 3) Оценить влияние экстремальных природных явлений, местных и региональных антропогенных источников на концентрации малых газовых и аэрозольных примесей в Южном Прибайкалье на основе данных многолетних натурных наблюдений с высоким временным разрешением, с применением методов статистической обработки данных и математического моделирования;
- 4) Изучить химический состав твердых и жидких атмосферных выпадений. Выявить влияние трансграничного переноса. Получить картину пространственного распределения антропогенного аэрозоля в Южном Прибайкалье.

Актуальность работы обусловлена: усиливающейся проблемой экосистемных изменений природных объектов, связанных с увеличивающейся антропогенной нагрузкой, в первую очередь, через атмосферу как наиболее быстрый и прямой путь доставки загрязняющих веществ от источника загрязнения; воздействием экстремальных природных явлений (лесные пожары) и антропогенных выбросов, расположенных на побережье озера Байкал и на пути основного переноса воздушных масс; слабо развитой системой государственного

мониторинга атмосферы в Байкальском регионе, недостаточно отвечающей современным требованиям (существующая система не ведет контроль в удаленных районах, подверженных влиянию атмосферного загрязнения); возрастанием антропогенной нагрузки в связи с развитием промышленности в регионе, расширением инфраструктуры туристско-рекреационных территорий прибрежной зоны и увеличением частоты лесных пожаров, которые уже приводят к необратимым процессам в некоторых районах озера. Ко всему этому имеется обширный научно-исследовательский задел со стороны Лимнологического института, четверть века активно участвующего в международной программе ЕАНЕТ, показывающей, что наиболее сильно подвержена загрязнению через атмосферу Южная котловина Байкала и роль атмосферы в формировании отдельных элементов всей экосистемы Байкала весьма значима. Все это определяет необходимость постоянного контроля за поступлением химических веществ в окружающую среду региона и их трансформацией на пути в водные объекты. Предполагается, что ответить на данные вопросы в настоящее время можно на основе проведения комплексных теоретических исследований и натурных измерений.

Научная новизна работы определяется тем, что она представляет собой первое комплексное исследование, в котором объединены натурные, аналитические и модельно-статистические методы, позволившие изучать количественное содержание малых газовых и аэрозольных примесей, а также их динамику в атмосфере Южного Прибайкалья, а именно:

1. Разработан оригинальный методический подход, позволяющий создавать новую или оптимизировать существующую систему мониторинга и проводить многофакторную оценку состояния атмосферного воздуха;

2. Расширена существующая сеть мониторинга за малыми газовыми и аэрозольными примесями в атмосфере Южного Байкала. В дополнение к существующим опорным станциям «Иркутск» и «Листвянка» добавлены две новые: «Патроны» и «Танхой». Станции оборудованы современными low-cost сенсорами и газоанализаторами, позволяющими в режиме реального времени с высокой дискретностью измерений (5 минут) контролировать аэрозольные частицы (PM10 и PM2,5) и малые газовые примеси (SO₂, NO₂, NO);

3. Впервые получены сезонные, недельные и суточные вариации содержания малых газовых и аэрозольных примесей в атмосфере Южного Байкала. Анализ проводился на основе многолетних экспериментальных данных с высоким временным разрешением. В результате исследования были выявлены природные и антропогенные факторы, которые влияют на формирование областей загрязнения в атмосфере исследуемого региона;

4. Исследован механизм переноса антропогенных примесей в воздушном бассейне Южного Байкала, от крупных источников загрязнения атмосферы Иркутской области и Республики Бурятия.

Для решения поставленных задач использовался комплексный подход, основанный на совместном использовании математической обработки данных (факторный анализ данных, траекторный анализ и геостатистическая обработка данных) и натурных данных (наблюдений за содержанием малых газовых и аэрозольных примесей, химическим составом атмосферных осадков и снежного покрова).

На защиту выносятся **следующие положения:**

1. Методический подход, направленный на создание оптимизированной сети мониторинга и проведения многофакторной оценки состояния атмосферы в Южном Прибайкалье;

2. По результатам экспериментальных и численных исследований установлены закономерности суточных, недельных и сезонных вариаций содержания малых газовых и аэрозольных примесей в атмосфере Южного Прибайкалья;

3. По результатам экспериментальных и численных исследований установлено влияние мезо- и микрометеорологических особенностей на содержание примесей и уровень загрязнения атмосферы в воздушном бассейне Южного Прибайкалья.

Достоверность результатов обеспечена большим объемом отобранного материала, полученного с использованием апробированных методик и поверенных измерительных инструментов. Камеральная обработка материала проведена по единой методике с использованием сертифицированного оборудования, а также международных образцов для оценки качества химических анализов. Расчет обратных траекторий движения воздушных масс проводился с помощью траекторной модели HYSPLIT, разработанной Лабораторией воздушных ресурсов Американской национальной администрации по исследованию океана и атмосферы (NOAA) с использованием данных реанализа GDAS.

Несомненен высокий **личный вклад автора**, который принимал активное участие на всех этапах настоящего исследования: постановка задач, поиск возможных способов их решения, экспериментальные и численные исследования, и, конечно, обсуждение полученных результатов. Все представленные результаты в диссертационной работе получены автором самостоятельно или при непосредственном участии в коллективе соавторов. Автор самостоятельно готовил доклады и представлял их на конференциях и симпозиумах. Ему принадлежит основная роль в подготовке публикаций по представленной теме исследований.

Очевидна **практическая значимость** работы: методический подход, предложенный в работе, и полученные при его апробации результаты могут быть

использованы при оценке влияния атмосферы на загрязнение вод Байкала, притоков озера, почвенного покрова центральной экологической зоны (ЦЭЗ) Байкальской природной территории (БПТ). Материалы могут быть востребованы в работе природоохранных ведомств, для экологического мониторинга и оценки влияния антропогенного фактора на различные экосистемы БПТ. Они могут использоваться при преподавании дисциплин: «Охрана окружающей среды» в высших учебных заведениях экологической направленности. Результаты исследований микро- и мезометеорологических особенностей могут быть полезны для понимания природы и механизмов влияния метеопараметров на процессы трансформации и переноса примесей от антропогенных источников. Полученные результаты нашли применение в исследовании роли атмосферных выпадений на водные и наземные экосистемы бассейна озера Байкал и идентификации источников загрязнения атмосферы. В дальнейшем они могут быть использованы для прогноза изменения экологической обстановки в случае размещения крупного промышленного производства в отдельных районах Восточной Сибири.

Результаты работы докладывались автором с 2020 по 2024 г. на 15 конференциях разного уровня по всей стране, не раз - на семинарах Лаборатории гидрохимии и химии атмосферы ЛИН СО РАН и секциях Ученого Совета ЛИН СО РАН.

Работа вполне логично структурирована: состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы более 300 ссылок; всего 180 страниц.

Во **введении** обоснована актуальность исследований, сформулированы цель и задачи, научная новизна и практическая значимость работы, приведены сведения о структуре и объеме работы и защищаемых положениях.

Первая глава посвящена анализу проблемы аэрозольного загрязнения атмосферы и постановке задач исследования. Описано влияние аэрозольных частиц на окружающую среду: здоровье живых организмов, климат и иные абиотические условия среды. Представлены источники поступления аэрозольных частиц в атмосферу и особенности химического состава твёрдых частиц в зависимости от их происхождения. Рассмотрены современные методы анализа уровня загрязнения атмосферы и влияние метеорологических условий на уровень загрязнения.

Вторая глава излагает предложенный автором оригинальный методический подход, направленный на создание оптимизированной сети мониторинга и проведения многофакторной оценки состояния атмосферы. Подход базируется на совместном использовании натурных наблюдений с высоким временным разрешением: содержании аэрозольных и газовых примесей, а также химического состава твердых и жидких атмосферных выпадений, снежного покрова с последующей математической обработкой данных. Применение предложенной методики адаптации автоматического мониторинга газовых и аэрозольных примесей на примере южной части Центральной Экологической зоны озера Байкал

рассматривается в подразделах 2.8.1-2.8.6. В 2.8.1 проанализированы основные стационарные антропогенные источники загрязнения атмосферы в пределах Центральной Экологической зоны озера Байкал и ближайших крупных городах. В 2.8.2 проведена инвентаризация существующей сети наблюдения за состоянием атмосферы в пределах Южного Прибайкалья. В 2.8.3 дана краткая физико-географическая характеристика района исследования. В 2.8.4 проанализированы циркуляционные и климатические условия в Южном Прибайкалье. Описан температурный и ветровой режим региона, сезонные особенности турбулентности в пограничном слое атмосферы Южного Прибайкалья и особенности регионального и трансграничного переноса воздушных масс. В 2.8.5 представлено пространственное распределение примесей в снежном покрове исследуемого района.

Третья глава представляет результаты натурных измерений содержания твердых частиц (PM₁, PM_{2,5} и PM₁₀) в атмосфере Южного Прибайкалья. Исследованы межгодовые и сезонные вариации на станциях «Листвянка» (с 2021 г.), «Патроны» и «Танхой» (с 2023г.), особенности суточных ходов на примере станции «Листвянка». Рассмотрено применение современных low-cost сенсоров для определения концентрации аэрозольных примесей в атмосфере Южного Прибайкалья.

Глава 4 посвящена анализу содержания SO₂, NO и NO₂ в атмосфере Южного Прибайкалья на основе непрерывных с высоким временным разрешением измерений на трех станциях: «Иркутск» (с 2021 г.), «Листвянка» (с 2021 г.), и «Танхой» (с 2023 г.) газоанализаторами фирмы ОПТЕК (Санкт-Петербург). Рассмотрено влияние структуры воздушных движений на микрофизические свойства атмосферы над ст. Листвянка, а также микрометеорологических особенностей атмосферы на концентрацию примесей в атмосфере над этой станцией. Подробно исследована временная изменчивость оксидов серы и азота в атмосфере западного и восточного побережья Южного Байкала в летний период 2023 г., а также этих антропогенных м.г.с. в атмосфере городов-источников Южного Прибайкалья по данным государственной службы мониторинга.

В **Заключении** достаточно подробно сформулированы основные выводы из проведенных исследований.

Большим достоинством работы является основанность её на собственном экспериментальном материале и очевидное непосредственное участие автора в выполнении этих экспериментов, но и, в тоже время - полномасштабное привлечение современных статистических методов математического анализа, мирового архива с использованием расчётной модели траекторного анализа HYSPLIT NOAA для интерпретации результатов.

Тем не менее, отмечу пару основных вопросов-замечаний по содержательной части работы:

1. При зонировании траекторий по секторам для прогнозирования воздействия дальнего переноса в п.2.8.4 не увидел оценок расстояния, на какое удаление обратной траектории каждого из 16 типов переноса сохраняется этот приписываемый им тип? Делались ли такие оценки надежности идентификации дальнего источника для каждого направления переноса? Или, проще говоря, до какого удаления и с какой вероятностью действует такая типизация траекторий?

2. На рис.3.5. представлены две корреляционные матрицы с разным временным разрешением. Меняется ли статистическая обеспеченность и значимость коэффициента корреляции для этих случаев, а если нет, то какова вообще статистика случаев? Думаю, что эту информацию надо указывать при представлении подобных результатов, чтобы не возникало недоумения от красивой графической интерпретации статистических оценок.

Орфография и стиль изложения работы на достаточно высоком соответствующем уровне. Встречаются иногда пунктуационные ошибки, сбои в нумерации и страниц, которые, впрочем, не искажают восприятие материала.

Обобщая вышесказанное, считаю, что диссертационная работа Шиховцева М.Ю. «ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНЫХ И ГАЗОВЫХ ПРИМЕСЕЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ», является вполне законченным актуальным научным исследованием, соответствующим требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пункт 7, абзац 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней), соответствует направлениям 1, 3 и 14 Паспорта научной специальности 1.6.18. «Науки об атмосфере и климате». Автореферат соответствует содержанию работы. Несмотря на отмеченные замечания, следует констатировать, что диссертация в целом выполнена на высоком научном и методическом уровне, и ее автор, Шиховцев Максим Юрьевич, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.18. «Науки об атмосфере и климате».

Официальный оппонент

Симоненков Денис Валентинович

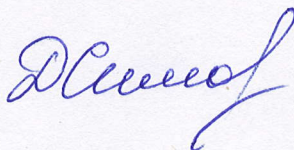
Кандидат физико-математических наук, Старший научный сотрудник Лаборатории климатологии атмосферного состава Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева Сибирского отделения Российской академии наук (ИОА СО РАН)

Адрес: 634055, Россия, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

+79521538857, e-mail: simon@iao.ru

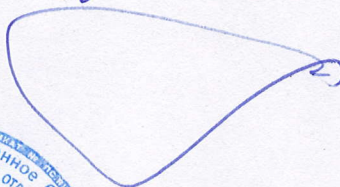
Я, Симоненков Денис Валентинович, даю своё согласие на включение своих персональных данных в документы, связанных с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку

«28» марта 2025 г.



Д.В.Симоненков

Подпись Д.В.Симоненкова заверяю,
Ученый секретарь ИОА СО РАН, к.ф.-м.н.



Т.Е.Кураева

