

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ИНСТИТУТ МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИМКЭС СО РАН)

УДК 551.594

*На правах рукописи*

Оглезнева Мария Викторовна

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ  
АТМОСФЕРЫ ЮГА СИБИРИ

Специальность 1.6.18 – Науки об атмосфере и климате

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург – 2026

**Научный руководитель:** **Пустовалов Константин Николаевич**  
кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения РАН, ведущий научный сотрудник

**Официальные оппоненты:** **Елисеев Алексей Викторович**  
доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», ведущий научный сотрудник

**Юсупов Игорь Евгеньевич**  
кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», ведущий инженер

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Воейкова»

Защита диссертации состоится «02» апреля 2026 года в 16:00 на заседании диссертационного совета 24.2.365.02 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» по адресу 195196, г. Санкт-Петербург, пр. Малоохтинский, д. 98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет» и на сайте совета: <https://www.rshu.ru/university/dissertations/>

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник

В. А. Лобанов

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы** Атмосферно-электрические процессы, протекающие в приземном слое атмосферы, имеют важное значение для функционирования Глобальной электрической цепи (ГЭЦ). В приземном слое электрическое состояние среды описывается электродным эффектом, для которого одной из главных задач является оценка концентраций положительных и отрицательных аэроионов, напряженности электрического поля. Несмотря на проведенные многочисленные исследования, здесь остаётся несколько не до конца решённых вопросов.

I. В атмосфере во взвешенном состоянии находится большое количество веществ и частиц, для многих из которых не определены механизмы взаимодействия с лёгкими ионами, необходимые для создания параметризации, используемой в моделях погоды и климата.

II. Недостаточно экспериментальных данных для подтверждения доминирования биогенного (связанный с летучими органическими соединениями и атмосферными ионами) механизма образования ионов в ненарушенных экосистемах, таких как тропические леса или лесные районы в умеренных широтах.

III. С точки зрения атмосферного электричества, болота остаются малоизученными объектами из-за сложностей мониторинга и высокой влажности, активного выделения метана и углекислого газа, насыщения органикой, а также переменчивости уровня грунтовых вод и микроклимата. В настоящее время площадь водно-болотных угодий составляет более 257,2 млн. га (около 6 % от всей поверхности суши), при этом ежегодно в мире заболачивается около 660 км<sup>2</sup> поверхности.

IV. Мониторинг электрических величин в основном производится на равнинных и прибрежных территориях, из-за чего горные зоны остаются слабо изученными. Горные ландшафты занимают около 30 % от всей поверхности суши и оказывают значительное влияние на климат и погоду, а, следовательно, и на ГЭЦ.

V. Недостаток данных долговременных комплексных измерений атмосферно-электрических величин, зависящих от местных условий, ограничивает точность физико-математического описания ГЭЦ, используемого в современных климатических и прогностических моделях. Существующие параметризации требуют верификации на основе надёжных натуральных данных.

Таким образом, для оценки изменчивости концентрации лёгких ионов и электропроводности приземного слоя нужно учитывать влияние местного рельефа и метеорологических условий, а также получение надежных эмпирических данных.

Перечисленные факторы формируют актуальность проведённых исследований.

**Объектом исследования** является электрическое состояние приземного слоя атмосферы.

**Предмет исследования** – влияние метеорологических условий и геометрических особенностей рельефа на изменчивость электропроводности воздуха и концентраций лёгких ионов в приземном слое атмосферы.

**Целью работы** является оценка пространственно-временной изменчивости полярных концентраций лёгких ионов и полярных электропроводностей воздуха на юге Сибири, обусловленной спецификой местных метеорологических условий и геометрических особенностей рельефа.

Для достижения цели работы поставлены и решены следующие **задачи**.

1. Выбор типов ландшафтов, репрезентативных для юга Сибири, которые будут анализироваться в рамках диссертационного исследования.
2. Выполнить целенаправленные экспериментальные измерения атмосферно-электрических и метеорологических величин на типичных ландшафтах юга Сибири (болото: топь, низкий и высокий рям; высокогорная котловина; горный хребет и сопка; долины рек и окрестности водопадов; селитебные территории), а также провести их первичную обработку.
3. Оценить пространственно-временную изменчивость электрических величин для основных типов рельефа юга Сибири в условиях «хорошей погоды» на основе данных наблюдений и численного моделирования.
4. Выявить основные факторы, влияющие на изменчивость содержания ионов воздуха в условиях «хорошей погоды».
5. Оценить изменчивость полярных электропроводностей воздуха и концентрации лёгких ионов под влиянием осадков и сопутствующих синоптических условий.

**Исходные данные и методы исследования** В работе использовались данные мониторинга градиента потенциала электрического поля, полярных электрических проводимостей воздуха, концентраций лёгких ионов, основных метеорологических величин (температура и влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, характеристики осадков, облачность и атмосферные явления) в приземном слое атмосферы, данные визуальных наблюдений облачности и атмосферных явлений за 2006–2025 гг., полученные в ГО ИМКЭС, а также данных, полученных в результате экспедиционных измерений 2015, 2019–2024 гг. (Томская область, Республика Бурятия, Республика Алтай, Республика Тыва, Республика Хакасия). Дополнительно были использованы данные метеорологических наблюдений сети Росгидромета, а также данные дистанционного зондирования Земли. При решении поставленных задач использовались следующие методы: метод полевых исследований и наблюдений; статистический анализ; математическое моделирование; картографический метод. Обработка данных и визуализация результатов расчётов проводились в среде MATLAB, GNU Octave и QGIS.

**Научная новизна работы состоит в следующем.** Впервые проведены измерения концентраций лёгких ионов на основных типах болотных микроландшафтов и выявлены закономерности внутрисезонной динамики концентрации лёгких ионов для них.

Впервые установлены соотношения концентраций лёгких ионов различных полярностей, обусловленные типичными геометрическими формами горного

рельефа (горные сопки, склоны, хребты; узкие горные долины и котловины; протяженные котловины).

На основе экспериментальных данных определены граничные условия для ливневых осадков, приводящие к «взрывному» повышению отрицательной электропроводности воздуха.

Установлено, что фронтальные ливневые осадки приводят к увеличению отрицательной электропроводности, в то время как, внутримассовые ливни такого эффекта не оказывают.

**Научная и практическая значимость работы.** Полученные оценки зависимости концентрации лёгких ионов от геометрических особенностей рельефа могут быть использованы для улучшения качества моделей глобальной электрической цепи, электродного слоя, а также применены для параметризации электрических процессов и валидации в глобальных и региональных моделях погоды и климата.

Результаты, представленные в работе, были получены в рамках следующих проектов и грантов: 1) Базовый проект СО РАН № IX.135.1.1. «Закономерности природно-климатических изменений на Азиатской территории России» (2017–2020 гг.); 2) Базовый проект СО РАН № 121031300154-1 «Закономерности изменения и взаимодействия основных компонентов климатической системы Азиатской территории России» (2020–2025 гг.); 3) Грант Президента РФ № МК-489.2020.5 «Мезомасштабные конвективные комплексы над юго-востоком Западной Сибири: условия образования, траектории перемещения, структура и сопутствующие явления» (2020–2021 гг.); 4) Грант РНФ № 22-27-00482 «Оценка фонового содержания аэроионов как важного фактора формирования окружающей среды для типичных природных и антропогенных ландшафтов юга Сибири» (2022–2023 гг.).

#### **На защиту выносятся защищаемые положения**

1. Ливневые осадки фронтального генезиса с интенсивностью более 5 мм/ч при диаметре капель больше 4 мм приводят к «взрывному» росту концентрации лёгких ионов и электропроводности воздуха, увеличивающейся в несколько десятков – сотен раз.
2. Для основных типов болотных ландшафтов впервые определены закономерности внутрисезонной изменчивости концентрации лёгких ионов от интенсивности эманации летучих органических соединений болотной растительностью.
3. В горных ландшафтах, в условиях «хорошей погоды», соотношение концентраций лёгких ионов различных полярностей определяется геометрическими формами рельефа: а) в положительных формах рельефа (горный хребет, сопка) концентрации положительных ионов превышают концентрацию отрицательных; б) в отрицательных формах (узкая горная долина и котловина) – обратное соотношение.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Обоснованность и достоверность полученных результатов обеспечивается за счёт использования стандартных методов и процедур при решении поставленных задач, а также

накопленными многолетними данными экспериментальных измерений. Данные измерений не противоречат результатам других экспериментов, произведенных по подобной методике в пересекающихся областях, а также использующих иные технические средства.

Результаты работы были представлены и прошли обсуждение на семинарах ИМКЭС СО РАН, на региональных, всероссийских и международных научных конференциях в период с 2018 по 2025 гг., основные из которых представлены ниже.

Междунар. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук» (Томск, 2018). Междунар. Конф. «Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития (SEWAN)» (Томск, 2018; Санкт-Петербург, 2021). Сибирское совещание и шк. молодых ученых по климато-экологическому мониторингу (Томск, 2019, 2021, 2023, 2025). Междунар. симп. «Атмосферная радиация и динамика (МСАРД)» (Санкт-Петербург, 2019, 2025). XXVI Всероссийская научная конференция «Распространение радиоволн» (Казань, 2019). Всерос. научн. конф. «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды» (Санкт-Петербург, 2020, 2025). Междунар. конф. и шк. молодых ученых «ENVIROMIS» (Томск, 2020, 2022, 2024). Междунар. симп. «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (Москва, 2020, 2021, 2023; Санкт-Петербург, 2024; Томск, 2022, 2025). Всерос. Конф. с междунар. участием «Динамика и взаимодействие геосфер Земли» (Томск, 2021). Всерос. конф. по атмосферному электричеству (Санкт-Петербург, 2023). Всерос. конф. «Глобальная электрическая цепь» (Борок, 2021, 2023). Междунар. науч.-практ. конф., посвященная сохранению научного наследия и развитию идей А. Л. Чижевского (Калуга, 2022, 2024). Конф. «Аэрозоли Сибири» (Томск, 2022, 2025).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 9 статей в изданиях из перечня научных изданий ВАК РФ и международных баз рецензируемых журналов (Scopus, WoS), в соавторстве опубликованы разделы в 2 монографиях. Всего по результатам работы опубликовано 53 научных работ, сделано 43 доклада.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из Введения, 4 глав, Заключение и Списка литературы из 141 наименований. Работа изложена на 130 страницах.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертации, описана новизна исследования, научная и практическая значимость, защищаемые положения и личный вклад автора.

**Глава 1** посвящена обзору литературы по теме исследования: описаны теоретические основы исследования лёгких ионов и полярных электропроводностей воздуха в приземном слое атмосферы. **Раздел 1.2** посвящен обзору исследований по электрическому состоянию приземного слоя под воздействием метеорологических факторов. В **разделе 1.3** описываются

исследования, связанные с электрическим состоянием приземного слоя атмосферы в различных физико-географических условиях.

Во второй главе описаны пункты наблюдений и их аппаратное обеспечение, методика отбора и обработки данных измерений, приведены результаты наблюдений в геофизической обсерватории ИМКЭС в условиях «хорошей погоды». В разделе 2.1 описывается оборудование для регистрации метеорологических и атмосферно-электрических величин, проводимых в обсерватории. Стационарные измерения проводились в ГО ИМКЭС с 2006. В разделе 2.2 описаны пункты экспедиционных измерений и общая методика проведения полевых наблюдений. Натурные наблюдения проводились в 11 пунктах период с 2019 по 2024 гг. Карта расположения стационарных и экспедиционных пунктов наблюдения (ПН) представлена на рис. 1.

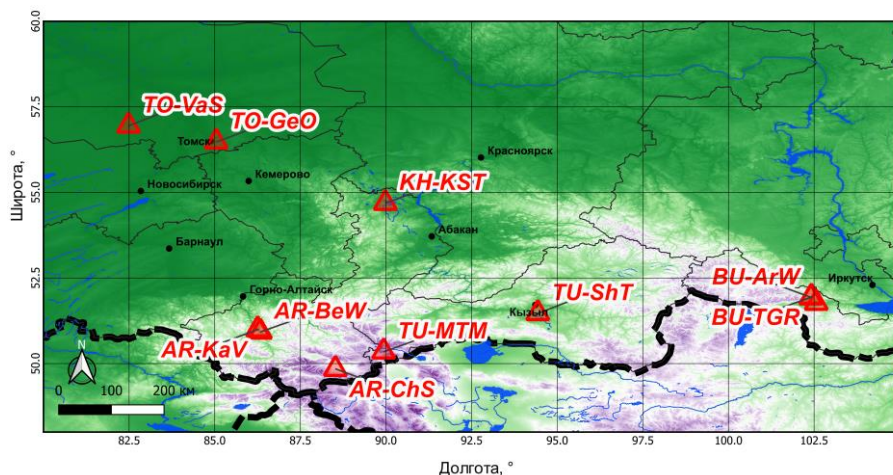


Рисунок 1 – Карта-схема расположения пунктов наблюдений

Раздел 2.3 диссертации содержит описание вспомогательных источников информации, в число которых входят метеорологические данные сети Росгидромета, синоптические карты и данные спутникового зондирования. Их применение позволяет решать задачи идентификации типов облачности и детектирования прохождения атмосферных фронтов и воздушных масс над исследуемой территорией.

Раздел 2.4 посвящен оценке изменчивости лёгких ионов в условиях «хорошей погоды». Исследование было основано на данных измерений лёгких ионов ( $n_{\pm}$ ) и градиента потенциала электрического поля ( $\nabla\phi$ ), метеорологических величинах, полученных в тёплый период (май–сентябрь) в ГО ИМКЭС за 2014–2016 гг.

Отбор данных производился в соответствии с условиями «хорошей погоды» (количество облаков не более 5 баллов; отсутствуют нижняя облачность и облака вертикального развития; нет гроз, осадков, тумана, мглы, и других атмосферных явлений, средняя скорость ветра не более 6 м/с). Кроме того, было

введено дополнительное условие – значения  $n_{\pm}$  исключались, если  $\nabla\varphi$  был больше 1000 В/м или меньше –500 В/м, так как такие значения не характерны для указанных выше условий.

Гистограмма распределения изменчивости лёгких ионов имеет асимметричное распределение, близкое к степенному (рис. 2). Высокая повторяемость малых концентраций указывает на существование условий с интенсивной рекомбинацией ионов. Резкий спад в распределении ионов при высоких концентрациях может свидетельствовать об относительно редких событиях высокой скорости ионизации, связанные с локальными процессами или метеорологическими условиями. «Тяжелый хвост» в правой части графика указывает на наличие выбросов или редких значений в этой области.

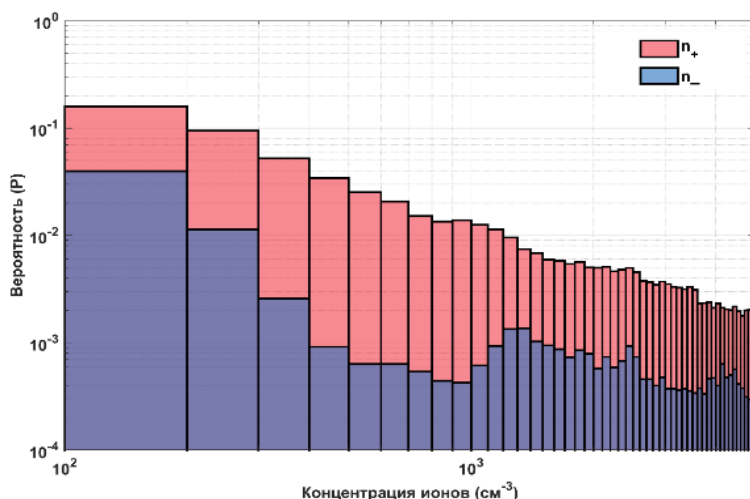


Рисунок 2 – Диаграмма распределения медианных концентраций положительных и отрицательных ионов в условиях «хорошей погоды»

При этом наибольшая повторяемость концентраций как положительных, так и отрицательных ионов наблюдается в диапазоне 10–500 см<sup>-3</sup>. Медианная концентрация положительных ионов преобладает над отрицательными 10<sup>3</sup> и 10 см<sup>-3</sup>, соответственно. Диапазон изменчивости для положительных ионов составляет около 1,1·10<sup>4</sup> см<sup>-3</sup>, для отрицательных – 750 см<sup>-3</sup>.

Распределение концентрации отрицательных ионов имеет несколько мод, предположительно связанных с изменением метеорологических условий. При сравнительном анализе изменчивости ионов от метеорологических величин, наибольшее влияние в условиях «хорошей погоды» имело изменение направления ветра. Особенно важно его учитывать в городских условиях, т.к. адвекция воздуха из промышленного района будет приводить к увеличению концентраций аэрозоля и, следовательно, способствовать снижению  $n_{\pm}$ .

Распределения медианных значений  $n_{\pm}$  в зависимости от направления ветра, как следует из диаграммы (рис. 3), показало, что наибольшие концентрации



ионов отмечаются при северном и северо-восточном направлениях для отрицательных и положительных ионов, соответственно.

Предположительно, это связано с тем, что на момент измерений (2014–2016 гг.) с севера, северо-востока Томск не был застроен, что позволяло поступать чистым Арктическим воздушным массам с севера. При южном и юго-восточном направлениях часто отмечается приход теплых, запыленных масс с территории Центральной Азии, особенно при развитии циклонов, когда его теплый сектор находится над территорией исследования, что способствует процессу стока ионов на аэрозоль и снижению концентрации ионов. Восточные направления ветра часто связаны с установлением местных антициклонов, которые с восточных окрестностей Томска приносят загрязненный воздух от расположенных там крупных полигонов отходов и животноводческих комплексов.

Суточные вариации концентрации лёгких ионов представлены на рис. 4. Четко прослеживается выраженный суточный ритм с минимумами в предрассветные часы (03–05 ч) для отрицательных и в (14–17 ч) – для положительных ионов, а максимумом – в 21–23 ч.

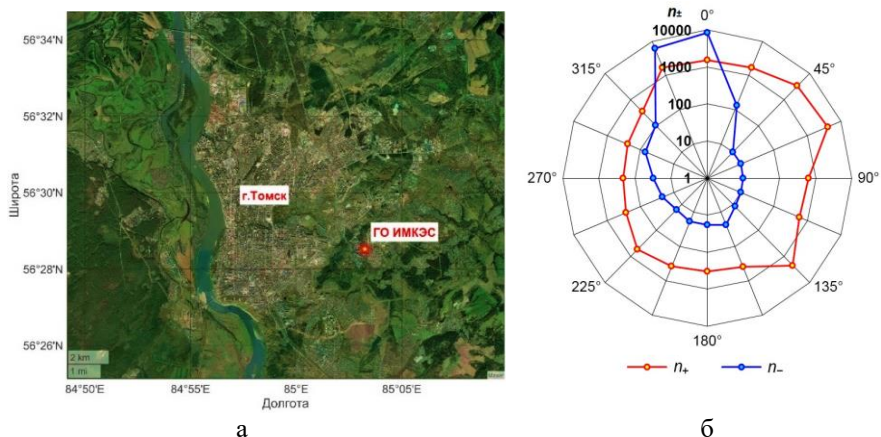


Рисунок 3 – Карта-схема расположения ГО ИМКЭС (а) и диаграмма распределения медианных значений  $n_{\pm}$  (в  $\text{см}^{-3}$ ) в зависимости от направления ветра

Концентрация положительных ионов ( $n_{+}$ ) превышает концентрацию отрицательных ( $n_{-}$ ) на протяжении всех суток, что характерно для приземного слоя атмосферы. Снижение концентраций ионов обоих полярностей после 02 ч возможно связано с действием инверсий. С июля по сентябрь в Томске часто наблюдаются инверсионное распределение температуры (при этом влажность остаётся низкой) как в ночные, так и в утренние часы, что способствует накоплению аэрозольных частиц. Это, в свою очередь, способствует оседанию на них легких ионов, а значит и снижению их концентрации в приземном воздухе. Утренний рост концентраций отрицательных ионов начинается после 06 ч и достигает пика к 21 ч, что связано с развитием турбулентности.

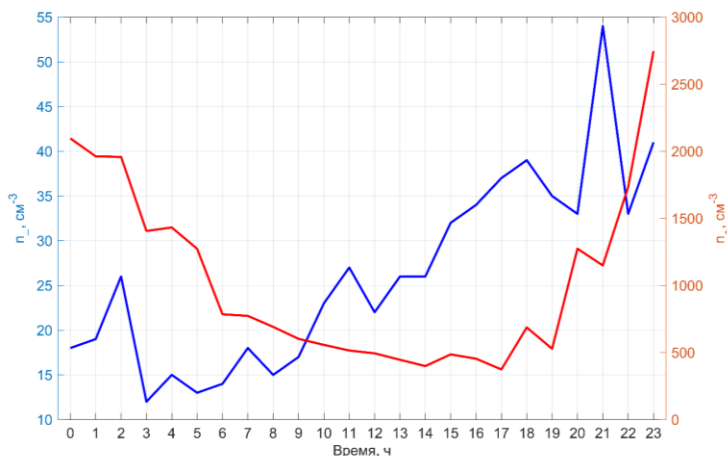


Рисунок 4 – Среднесуточная изменчивость  $n_{\pm}$  в условиях «хорошей погоды»

**В главе 3** основными вопросами являются: оценка изменчивости электропроводности воздуха и концентрации лёгких ионов под воздействием водного аэрозоля различного происхождения: ливни, водопады.

**В разделе 3.1** приводится методика отбора и обработки данных электропроводностей воздуха, измеренных в ГО ИМКЭС с 2018 по 2019 годы по следующим категориям:

- прохождение внутримассовой конвективной облачности с осадками;
- прохождение холодных фронтов с осадками;
- прохождение фронтов окклюзий с осадками;
- другое (теплые фронты, вблизи «точки окклюзии»).

Определение категорий облачности производилось по спутниковым изображениям, также привлекались данные о напряженности электрического поля и данные о плотности потока капель различного диаметра.

На следующем этапе из выбранных данных были исключены все случаи, когда максимальная интенсивность осадков не превышала 5 мм/ч. Из-за отсутствия у «Электропроводность-2» автокалибровки и автоматического восстановления места нуля, было принято учитывать не абсолютные значения электропроводности воздуха, а величину отклонения  $\lambda_{\pm}$  в % относительно невозмущенных условий, предшествующих прохождению фронта или внутримассовой облачности. Соответственно средневзвешенное  $\lambda_{\pm}$  в невозмущенных условиях, а также в период максимальной интенсивности осадков и рассчитывался эффект.

**В разделе 3.2** приведены результаты долговременных наблюдений  $\lambda_{\pm}$  влияния синоптических условий на электропроводность воздуха.

Всего за период наблюдений 2018–2019 гг. было отобрано 37 случаев прохождения фронтальной и внутримассовой облачности с различной интенсивностью осадков фрагмент таблицы представлен ниже (табл. 1).

Таблица 1. Связь электропроводности воздуха с синоптическими условиями.

№	Дата	Время начала	Эффект $\lambda_-$ (от невозмущенных значений $\lambda_-$ ) %, max	$\nabla\varphi$ , $\times 10^3$ В/м	$I$ , мм / ч	Синоптическая ситуация	Облачность и атмосферные явления
1	20.06. 2018	22.50	+ (666 %)	$-12,1 \div +11,0$	$5,0 \div 48,0$	ХФ циклона на Арктич. Ф.	<i>Cb</i> , <i>Ac</i> , <i>Ci</i> ; гроза
2	20.07. 2018	07.30	+ (3900 %)	$-8,2 \div 0,0$	$10,0 \div 90,0$	ХФ циклона на Арктич. Ф.	<i>Sc</i> , <i>Ac</i> ; осадков на ГМС Томск не отмечалось
3	28.07. 2018	13.40	+ (2500 %)	$-1,4 \div 2,7$	$5,0 \div 20,0$	ФО циклона на Арктич. Ф.	<i>Cb</i> , <i>Sc</i> , <i>As</i>

На примере двух случаев рассмотрим влияние осадков различного генезиса на электропроводность воздуха.

Типичный пример распределения электрических величин и характеристик осадков фронтальных *Cb*, проходивших над Томском 17 июня 2019 г. представлен на рисунке 5. Во время выпадения интенсивных осадков фронтального происхождения происходит «взрывной» рост  $\lambda_-$ , при этом положительная электропроводность изменяется незначительно (стрелки 1, 2, соответственно). Прекращение потока капель приводит к релаксации отрицательного объемного заряда в течение ~5 минут (стрелки 3 и 5). Размер капель в случаях осадков с эффектом роста  $\lambda_-$  и без него составляет 0,5–7 мм и 0,5–4 мм соответственно. При этом резкий рост  $\lambda_-$  зарегистрирован при диаметре капель более 4 мм и высокой интенсивности осадков (около 20 мм/ч.). Для остальных случаев прохождения фронтальных *Cb* с осадками в подавляющем большинстве случаев, изменчивость регистрировалась только у отрицательной электропроводности. Для  $\lambda_+$ , рост незначителен или отсутствовал.

Случай прохождения *Cb* внутримассового происхождения представлен на рисунке 6. Не смотря на высокую интенсивность (более 15 мм/ч), но при диаметре капель менее 4 мм рост  $\lambda_{\pm}$  не отмечался. В других подобных ситуациях быстрого и значительного роста  $\lambda_{\pm}$  зарегистрировано не было.

По данным, представленным в табл. 1 и на рис. 7, показано, что случаи с эффектом роста  $\lambda_-$  и его отсутствием для фронтальных ливневых дождей составляют 95 % и 5 % соответственно, а для внутримассовых ливневых дождей – 13 % и 87 % соответственно. В 22 случаях (49 %) наблюдался значительный, весьма кратковременный рост отрицательной электропроводности, в 15 случаях (33 %) увеличение  $\lambda_-$  не зафиксировано, а 8 случаях (18 %) имела место неопределенная ситуация, когда вариации отрицательной электропроводности нельзя было определить однозначно. Во всех случаях *Cb*, относящихся к внутримассовой облачности, «взрывного» роста отрицательной электропроводности зарегистрировано не было, в то время как все случаи «взрывного» роста  $\lambda_-$  связаны с фронтальными *Cb*.

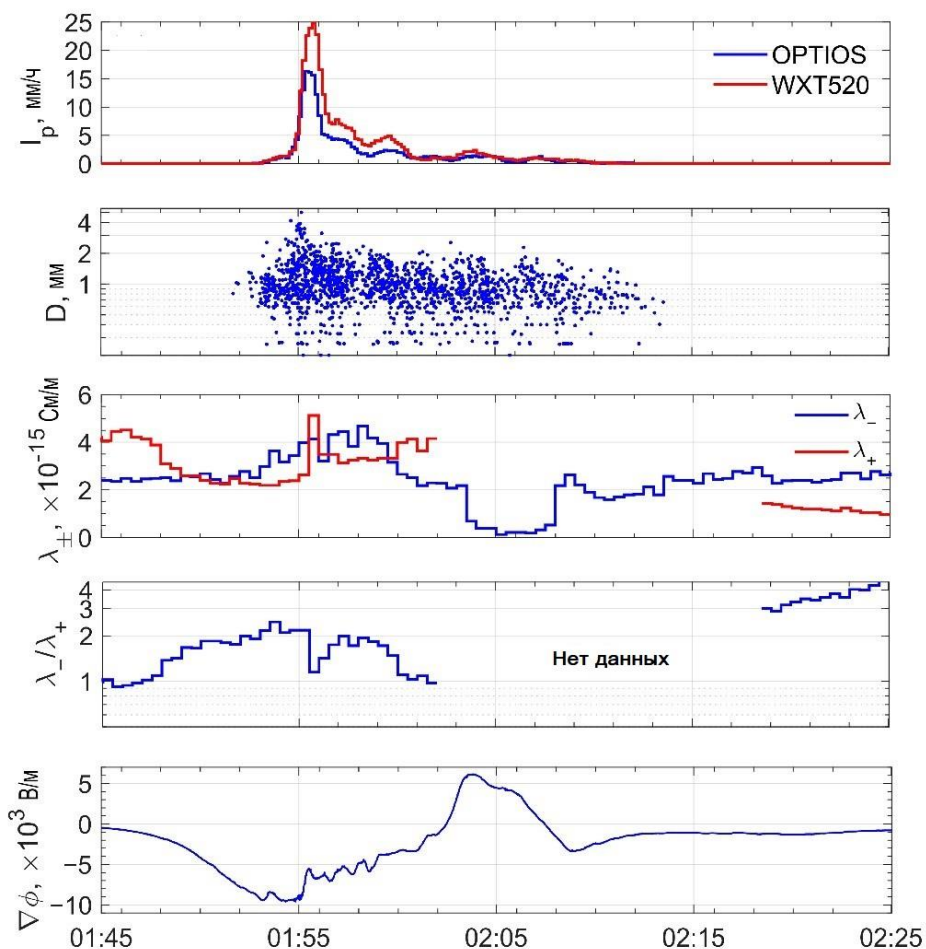


Рисунок 5 – Распределение атмосферных электрических величин и характеристик фронтальных осадков 17 июня 2019 г. На графиках (сверху вниз) показано изменение интенсивности осадков  $I_p$ , плотности капель в координатах «время — диаметр капель»  $D$ , электропроводности  $\lambda_{\pm}$ , коэффициента электропроводности  $\lambda_-/\lambda_+$  и градиента потенциала ( $\nabla\phi$ ).

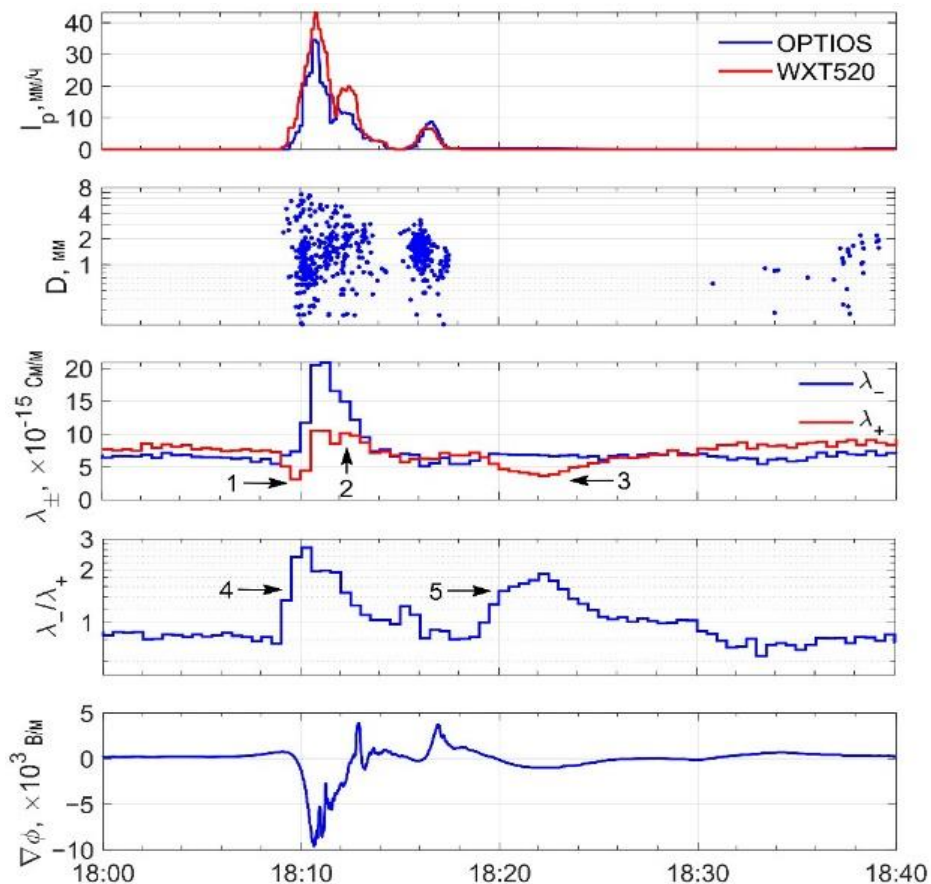


Рисунок 6 – Распределение атмосферных электрических величин и характеристик внутримассовых осадков за 23 июня 2019 г. На графиках (сверху вниз) показано изменение интенсивности осадков  $I_p$ , плотности капель в координатах «время – диаметр капель»  $D$ , электропроводности  $\lambda_{\pm}$ , коэффициента электропроводности  $\lambda_-/\lambda_+$  и градиента потенциала ( $\nabla\phi$ )

Таким образом, анализ данных показывает: а) что изменчивость электропроводности в приземном слое принципиально различна для фронтальных ливней и внутримассовых ливней; б) осадки фронтального происхождения при диаметре капель более 4 мм и высокой интенсивности более 5 мм/ч способствуют «взрывному» росту отрицательной электропроводности, внутримассовые – такого эффекта не оказывают.

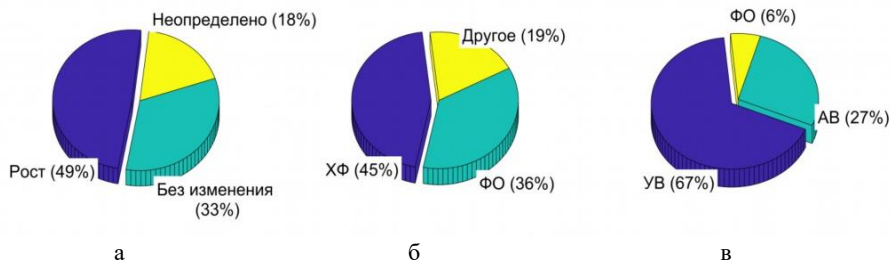


Рисунок 7 – Соотношение повторяемостей различных типов изменения  $\lambda$  при выпадении ливневого дождя (а), а также синоптических условий, при которых отмечался (б) и отсутствовал (в) значимый рост  $\lambda$

В разделе 3.3 приведены оценки влияния квазистационарных источников легких ионов – водопадов. Для оценки влияния характеристик водопадов были проведены экспедиционные измерения в августе 2020 г. у безымянного водопада вблизи курорта Аршан (Республика Бурятия) и в июле 2023 г. у вdp. Бельтертуок вблизи пос. Куюс (Республика Алтай). Измерения ионов производилось в условиях «хорошей» погоды в течение 20 минут с частотой дискретизации 1 с. Датчики размещались на штативе-треноге на высоте 1 м над подстилающей поверхностью, сопло было направлено перпендикулярно потоку. На разном удалении от водопада было проведено 9 измерений (рис. 8).

Детально рассмотрим полученные оценки на примере вdp. Бельтертуок. Распределение (рис. 9) имеет степенной вид, наибольшая повторяемость приходится на концентрации в пределах  $1000 \text{ см}^{-3}$  для лёгких ионов обоих полярностей. Концентрация ионов вблизи водопада изменялась в пределах  $0,3 \div 0,8 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$  для положительных и  $2,9 \div 13 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$  для отрицательных ионов.

Кроме ионов параллельно измерялись концентрации аэрозольных частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ . Карта распределения ионов и аэрозольных частиц представлена на рисунке 8. Наибольшая изменчивость наблюдается для концентраций отрицательных ионов, при этом концентрация положительных ионов у самого водопада также повышается, но весьма ограниченно по пространству, пространственная неоднородность связана с траекториями воздушного потока, которые обычно следуют вдоль русла реки, а также описывается его геометрией.

Особый интерес представляет многомодальный характер распределения концентраций отрицательных ионов ( $n_-$ ) и частиц  $PM_{2,5}$  (в), что указывает не на случайную изменчивость, а на переключение системы между несколькими устойчивыми состояниями.

Анализ массовой концентрации аэрозольных частиц демонстрирует чёткое различие в поведении фракций. Данные по  $PM_{10}$  (г) показывают более широкий разброс и повышенную медианную концентрацию, что непосредственно связано с локальным поступлением в воздух крупнодисперсной водяной взвеси, содержащей частицы почвы и глины, характерные для горных рек.

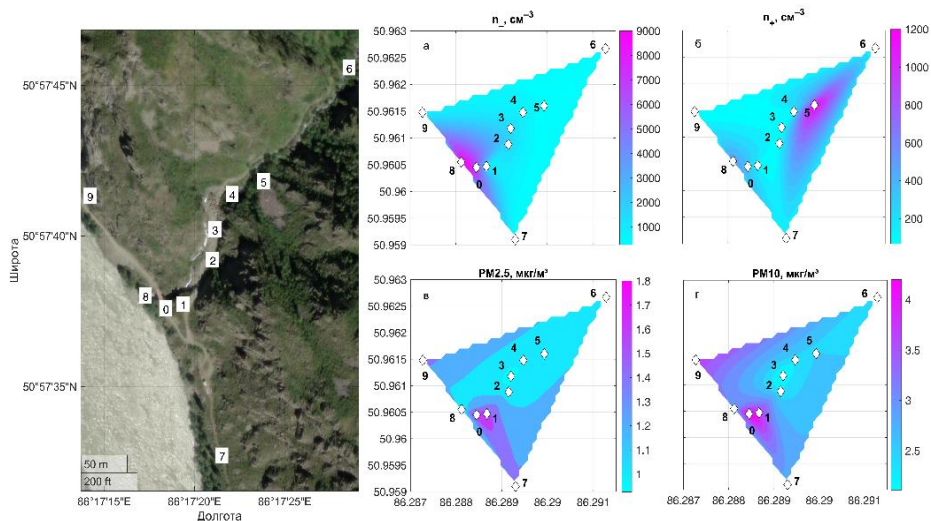


Рисунок 8 – Карта-схема точек измерений (левая панель) и интерполированное пространственное распределение концентрации положительных (а) и отрицательных (б) ионов, рассчитанное по данным измерений, а также концентрации аэрозольных частиц  $\text{PM}_{2.5}$  (в) и  $\text{PM}_{10}$  (г)

Наиболее важным выводом является взаимосвязь, выявленная через форму распределений: многомодальность в данных по  $\text{PM}_{2.5}$  и отрицательным ионам, вероятно, свидетельствует о постоянном динамическом процессе коагуляции. В данном процессе лёгкие аэроионы активно осаждаются на поверхности мелко-дисперсных частиц  $\text{PM}_{2.5}$ , приводя к их укрупнению и переходу во фракцию  $\text{PM}_{10}$ . Таким образом, представленные данные количественно описывают не только статическое состояние воздуха, но и ключевой механизм трансформации аэрозолей в уникальных условиях ионизированного микроклимата водопада.

Проведенный регрессионный анализ показывает (рис. 10), что коэффициент детерминации  $R^2$  между содержанием отрицательных ионов от расстояния равен 0,56 для точек измерений, находящихся в русле реки и 0,304 для всех точек, где были проведены измерения.

Для положительных легких ионов такая зависимость отсутствует ( $R^2 \sim 0,002$  и 0,015 соответственно). Схожая картина наблюдается и у водопада вблизи пос. Аршан – для всех ПН  $R^2 = 0,26$ , а для ПН в русле реки –  $R^2 = 0,58$ .

Концентрации ионов существенно различаются в зависимости от положения точки измерений относительно источника лёгких ионов. У водопада Бельтергуюк концентрация  $n^+$  варьировалась в диапазоне  $0,3\text{--}0,8 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$ , а отрицательных —  $2,9\text{--}13 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$ . В районе безымянного водопада в Аршане зафиксированы значения  $n^+ 0,8\text{--}1,0 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$  и  $n^- 10\text{--}13 \times 10^3 \text{ см}^{-3}$ .

Выраженная изменчивость характерна для концентраций отрицательных ионов, что обусловлено спецификой механизмов ионизации, при которых мелкие капли заряжены отрицательно, а положительные крупные частицы

быстро опускаются вниз. При этом концентрации положительных ионов у водопадов демонстрируют весьма ограниченное по пространству увеличение.

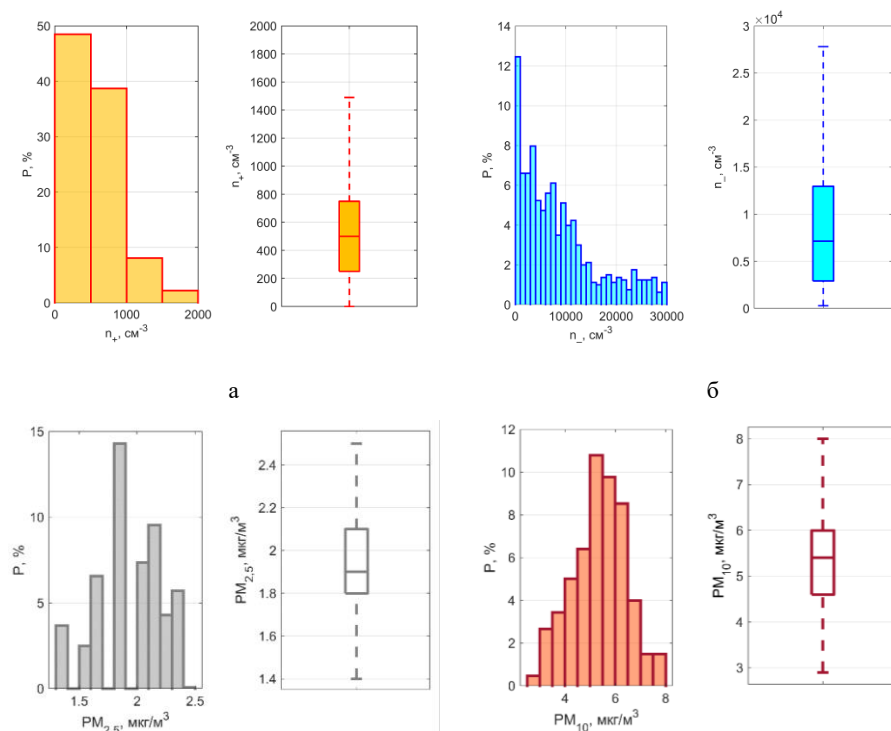


Рисунок 9 – Гистограмма распределения (слева) и диаграмма размаха (справа) для значений концентрации положительных (а) и отрицательных (б) ионов, а также массовая концентрация аэрозольных частиц  $PM_{2.5}$  (в) и  $PM_{10}$  (г), в условиях «хорошей погоды» в ПН-1 (точка 8 – нижний каскад водопада)

Вблизи водопадов наблюдаются высокие концентрации отрицательных лёгких ионов, которые быстро снижаются до фоновых концентраций значений через несколько десятков метров, в случае с водопадом Бельтертуок и до сотни метров от водопада в Аршане.



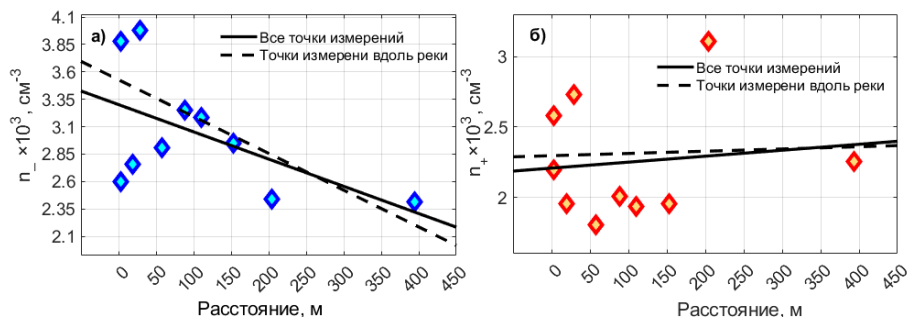


Рисунок 10 – График распределения концентрации лёгких ионов отрицательной (а) и положительной (б) полярности в зависимости от расстояния до вдп. Бельтертуюк

Таблица 2. Коэффициенты ( $a$ ,  $b$ ) уравнения линейной регрессии  $y = a \cdot x + b$  и детерминации ( $R^2$ ) для зависимостей концентраций лёгких ионов от расстояния  $x$  [м].

	Все точки для $n_-$	Точки вдоль реки, $n_-$	Все точки, $n_+$	Точки вдоль реки, $n_+$
$a$	-0,0025	-0,0034	0,0004	0,00016
$b$	3,3	3,5	2,21	2,3
$R^2$	0,304	0,536	0,015	0,002

Полученные результаты демонстрируют существенную роль водных гидрометеоров как непрерывных природных источников заряженных частиц – лёгких ионов (и соответствующего изменения электропроводностей) и могут быть использованы для дальнейших исследований влияния природных факторов на электродинамику приземного слоя атмосферы, а также для валидации электрических процессов в моделях погоды.

**Глава 4** посвящена вопросам, связанным с исследованием изменчивости концентрации лёгких ионов для типичных болотных и горных ландшафтах. В разделе 4.1 представлены результаты полевых измерений, проведенных на ландшафтном профиле нативного верхового болота, а также на участках леса с минеральными почвами. Исследование проводилось в летние месяцы 2020–2021 гг. на северо-восточном отроге Большого Васюганского Болота – Бакчарском болоте. Поскольку используемое оборудование имеет ограничения, измерения проводились вдоль профиля Бакчарского болота с околополуденных часов и до захода солнца. Счётчики аэроионов устанавливались на штативы на высоте 1 м перпендикулярно основному переносу. Измерения концентраций лёгких ионов проводилось в течение 10 мин с дискретностью 1 с. Метеорологические величины измерялись в течение 1 мин в середине такта измерений ионов. Расположение точек наблюдений на территории исследования показано на рис. 11.

Точки измерений были расположены на территории стационара, а также в лесоболотной зоне (в лесу и на болотном ландшафтном профиле на северо-восточной границе Васюганского болота). По своей сути выбранный нами ландшафтный профиль представляет собой натурную модель, отражающую реальные природные условия развития типичных болотных экосистем на

территории южной тайги Западной Сибири. Ландшафтный профиль пересекает основные виды болотных фитоценозов: заболоченный высокорослый смешанный лес в периферийной части болотного массива, высокий рям, низкий рям и осоково-сфагновую топь.



Рисунок 11 – Расположение маршрутных пунктов наблюдения на топографической карте: 1 – осоково-сфагновая топь, 2 – низкий рям, 3 – высокий рям, 4 – заболоченный высокорослый смешанный лес в периферийной части болотного массива; 5 – поляна на границе сухого и заболоченного участков леса, 6 – высокорослый смешанный лес, 7 – стационар «Васюганье»

Медианная концентрация лёгких ионов изменяется в пределах  $750\text{--}850\text{ см}^{-3}$  для  $n_{+}$  и  $200\text{--}700\text{ см}^{-3}$  для  $n_{-}$ . На большинстве точек измерений преобладали положительные ионы (рис. 12). Отмечается, что с уменьшением обводнённости почвы, по направлению от топи к заболоченному лесу, медианные значения концентрации положительных ионов снижаются с  $1000$  до  $750\text{ см}^{-3}$ , а отрицательные, наоборот, возрастают более чем в 3 раза. Также противоположно изменяются значения дисперсии у обоих полярностей ионов. При этом практически во всех пунктах наблюдений эпизодически наблюдалась также очень низкая концентрация ионов – около  $10\text{ см}^{-3}$ , являющаяся нижним пределом чувствительности счётчика.

Иная ситуация наблюдалась на ландшафтах с относительно сухой подстилающей поверхностью (точки измерений 5–7). Концентрации ионов обоих полярностей, как и их дисперсии, возрастают при удалении от болота. При этом измерения на стационаре 7 показали, что концентрация отрицательных аэроионов на селитебной территории в населённом пункте более чем в 3 раза ниже концентрации в лесу. Несмотря на то, что в поселке проживает около 10 жителей, аэрозольная загрязнённость в населенном пункте выше, чем на болоте.

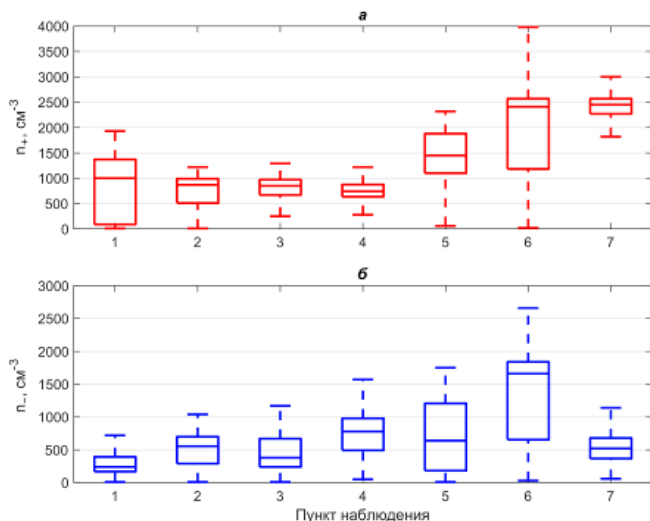


Рисунок 12 –  
Изменчивость  
содержания  
положительных (а) и  
отрицательных (б)  
аэроионов в пунктах  
наблюдения по  
данным измерений в  
2020–2021 гг.

График зависимости концентрации положительных лёгких ионов от отрицательных, измеренных в различных типах ландшафтов, представлен на рисунке 13.

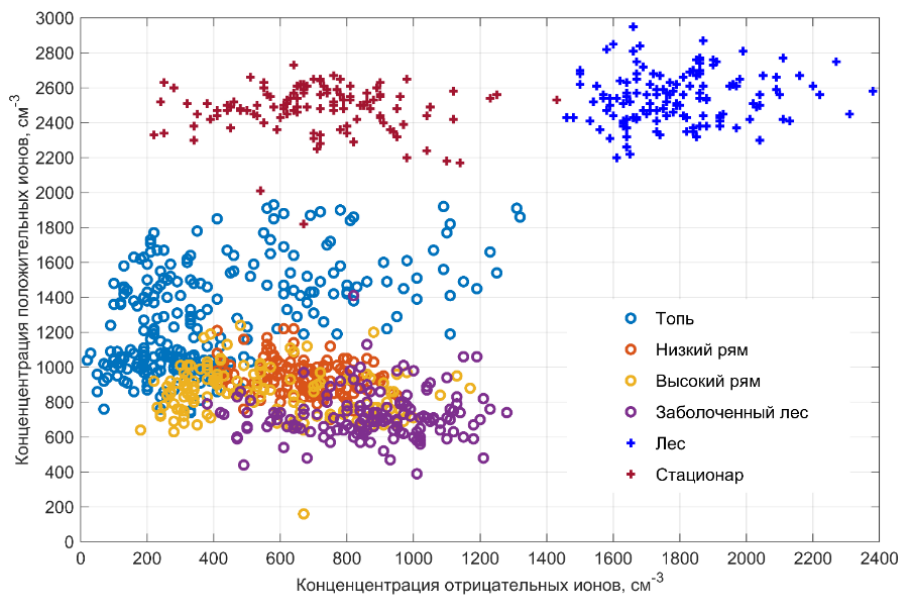


Рисунок 13 – Диаграмма рассеяния концентраций положительных и отрицательных лёгких ионов в пунктах наблюдений по данным измерений на ландшафтном профиле Бакчарского болота в 2020–2021 гг.

Данная визуализация демонстрирует существенные различия между болотными (увлажненными) ландшафтами и ландшафтами на минеральном грунте и позволяют выявить четкую кластерную структуру, а также общие закономерности и различия между этими экосистемами. Наблюдаются три основных группы точек.

I. Плотное скопление в области низких концентраций обоих типов ионов, соответствующие болотным ландшафтам (нативные, переувлажненные территории с высоким уровнем болотных вод, небольшой (по массе), по сравнению с минеральными ландшафтами, растительностью).

II. Высокие положительные и относительно низкие концентрации отрицательных лёгких ионов (стационар, расположенный на территории с минеральным грунтом и низкой антропогенной нагрузкой).

III. Область высоких концентраций ионов обоих полярностей (лес с большим видовым разнообразием растительности на минеральном грунте).

**В разделе 4.2** представлены исследования, включающие проведение измерений  $n_{\pm}$ , основных метеорологических величин и отбор образцов растительности на низком рьяе с их последующим хроматографическим анализом для качественной и количественной оценки содержания летучих органических соединений (ЛОС) в биомассе, которая бы позволила опосредованно судить о связи ЛОС с лёгкими ионами. Большая скорость выделения и высокая реакционная способность ЛОС, в частности терпенов, обуславливают их сильнейшее влияние на газовый и аэрозольный состав приземной атмосферы в пределах различных лесных сообществ, в том числе и болотных экосистем.

Для оценки влияния ЛОС на аэроионы в течение мая, июня, августа и сентября 2021 г. были проведены одновременные измерения счётных концентраций аэроионов с помощью двух приборов на двух близкорасположенных участках (удалении друг от друга не более 7 м) в низком рьяе и отборы образцов растительности (*Pinus sylvestris* L.) на одном из них. Участок I был относительно открытым, сосны находились на расстоянии нескольких метров от прибора. На участке II измерения проводились в плотном пологе сосен, здесь же отбирались образцы – по три сосновых лапки с каждого дерева. Всего было использовано семь сосен, располагавшихся вокруг измерительного прибора.

Близкорасположенные участки были выбраны исходя из определения шероховатости подстилающей поверхности (в нашем случае – высота сосен), ниже которого, скорость ветра равна 0, а перемешивание ниже этого уровня имеет место только за счет турбулентные пульсаций. Путь смещения  $I$  [м] над шероховатой поверхностью определяется уравнением:  $I = \chi(z+z_0)$ , где  $\chi$  – число Кармана ( $\sim 0,4$ ),  $z_0$  – параметр шероховатости (по лабораторным данным  $z_0 = \varepsilon/30$ , где  $\varepsilon$  – средняя высота неровностей поверхности [м]).

В итоге получим значение пути смещения для низкого рьяа: если  $z_0 = 0,1$  м,  $z = 3$  м,  $\chi = 0,4$ , то  $I = 1,24$  м. Расстояние между участками в 5,6 раз больше пути смещения для участков с плотным расположением сосен для низкого рьяа. Таким образом, выбранная дистанция между участками достаточна для

адекватной оценки концентраций ионов в зависимости от влияния растительности.

На рис. 14. показаны результаты этих измерений. Как видно, на участке I концентрации положительных и отрицательных аэроионов в мае более чем в 5 раз выше, чем на участке II. В июне наблюдается схожая картина, но разница между концентрациями аэроионов на двух участках уменьшается. Кроме того, в июне отмечается более сильный разброс значений концентраций аэроионов обеих полярностей на участке I. В августе концентрации аэроионов обеих полярностей ещё более возрастают и выравниваются на обоих участках.

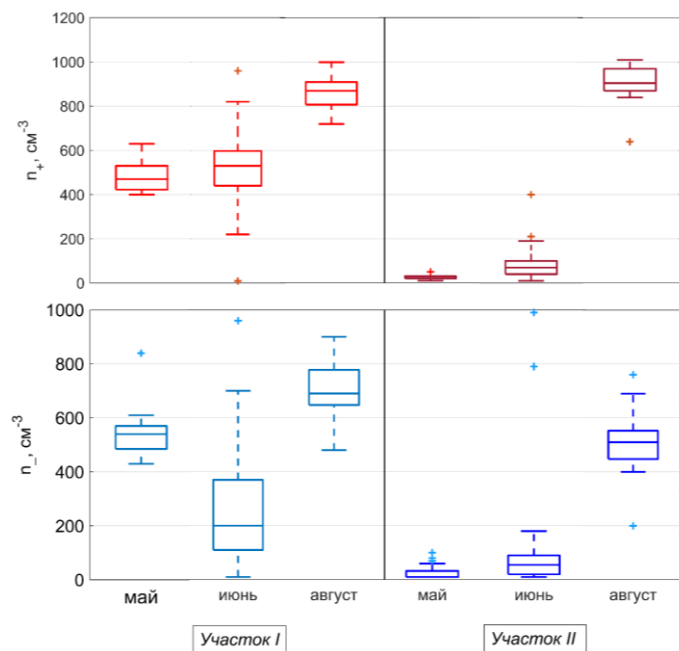


Рисунок 14 –  
Изменение  
концентраций  
положительных  
(а) и  
отрицательных  
(б) аэроионов на  
двух близко  
расположенных  
участках в  
пределах низкого  
ряма по данным  
измерений в мае,  
июне и августе  
2021 г.

Наиболее насыщены эфирным маслом оказались лапки сосны, отобранные в июне (2,25 мл), которые в 2 раза больше содержали масла, чем отобранными в августе и сентябре (1,22 и 1,53 мл соответственно). Качественный состав эфирных масел, экстрагированных во все месяцы отбора довольно единообразен. Общими компонентами эфирных масел являются 10 монотерпенов, причем большинство из них присутствовали на протяжении всех месяцев исследований.

Ландшафты и экосистемы ландшафтного профиля отличаются произрастающей здесь растительностью. В растительном покрове низкого ряма преобладает сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) – один из основных источников выделения в атмосферу ЛОС, которые, в свою очередь, в ходе фотохимических реакций могут приводить к образованию мелкодисперсного аэрозоля, или выступать самим в качестве молекулярных кластеров. Эти частицы и кластеры являются стоком для лёгких ионов и, в зависимости от их

размера, формируют средние и тяжёлые ионы. Одной из возможных причин наблюдаемого различия между концентрациями аэроионов, зарегистрированных в начале и конце вегетационного периода, а также на двух участках на низком рьяе, является различная интенсивность взаимодействия аэроионов и ЛОС, в частности терпенов. Концентрация ЛОС в воздухе зависит от интенсивности эманации терпенов из растений, в частности из сосновой хвои, имеющей выраженную сезонную изменчивость, и количества хвойных на разных ландшафтных участках с различной площадью и плотностью покрытия территории.

На основе проведённых измерений получены оценки пространственно-временной изменчивости концентрации аэроионов в различных лесных и болотных ландшафтах. Отмечено, что с увеличением заболоченности наблюдается снижение концентрации аэроионов. Однако в течение вегетационного периода на всех ландшафтах она возрастает.

Результаты хроматографического анализа образцов лапок сосны показали определенную зависимость содержания летучих органических соединений, входящих в состав биомассы сосны, от фазы вегетационного периода. Это позволило подтвердить гипотезу о наличии взаимосвязи аэроионов с летучими органическими соединениями. И всё же данное утверждение требует более детального и комплексного исследования.

**В разделе 4.3** описывается закономерности пространственного распределения ионов в горных ландшафтах. Электрическое состояние атмосферы сильно варьируется в зависимости от различных региональных и локальных факторов. Поэтому для полного понимания функционирования глобальной электрической цепи и её связи с современными изменениями климата необходимы наблюдения и анализ изменчивости электрических параметров атмосферы в разных регионах Земли.

При проведении экспедиционных измерений были выбраны открытые однородные участки с характерным для данной местности ландшафтом, не подверженные антропогенному воздействию, и получены оценки средних значений и изменчивости атмосферно-электрических величин (рис. 1). На каждом из выбранных участков проведены измерения основных атмосферно-электрических и метеорологических величин, содержания аэрозолей и уровня гамма-фона в условиях электрически невозмущённой атмосферы. Кроме того, была проведена видеозапись состояния неба и измерения солнечной радиации в ультрафиолетовом и видимом диапазонах. Наблюдения на каждом участке длились от 4 до 7 дней. В целом полученные оценки можно считать репрезентативными для этих территорий и выбранного сезона года.

В целом рельеф исследуемых территорий можно аппроксимировать простыми геометрическими формами – *парабола* (горный склон, сопка – рис. 15а; горная речная долина – рис. 15б); *трапеция* (высокогорная котловина – рис. 15в). В первом случае, важным условием является превышение высоты склона (несколько км), над поперечным сечением (десятки, сотни м), во втором, наоборот, горизонтальная протяженность (десятки, сотни км) котловины над хребтами (1,5–2 км).

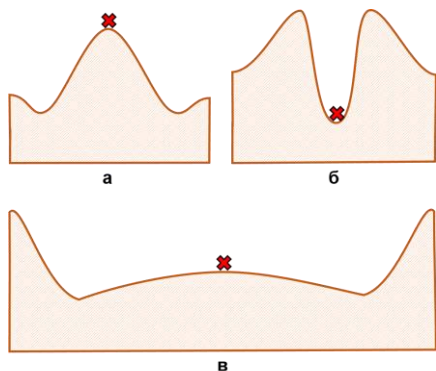


Рисунок 15 –  
Аппроксимация типов  
рельефа исследуемых  
горных территорий  
простейшими  
геометрическими  
формами: хребет (а),  
долина реки (б),  
высокогорная котловина  
(в)

Для интерпретации изменчивости и корреляции метеорологических и электрических величин для разных мест наблюдений данные измерений были синхронизированы и рассчитаны часовые значения за интервал регистрации.

При увеличении абсолютной высоты средние значения концентраций положительных легких ионов в общем увеличиваются, отрицательных наоборот, уменьшаются (рис. 16). Кроме высоты значительное влияние на их изменчивость оказывают также геометрические особенности территории в месте наблюдения. Отмечено, что в V-образной узкой речной горной долине (рис. 15б) концентрация ( $\sim 3500 \text{ см}^{-3}$ ) отрицательных ионов превосходит концентрацию ( $2100 \text{ см}^{-3}$ ) положительных в течении всего периода измерений. В суточном ходе прослеживалась следующая особенность – «взрывное» увеличение концентрации отрицательных ионов в период, когда солнечные лучи достигали дна долины, где проводились измерения.

Суточная изменчивость ионов на исследованных ландшафтах преимущественно определяется выходом радиоактивных газов и изменением солнечной радиации, а также температурой воздуха, которые в совокупности влияют на изменения интенсивности конвективных потоков и турбулентности, обуславливающих перераспределение радионуклидов и аэрозольных частиц. Амплитуда суточного хода максимальна в горах и минимальна в котловинах, где процессы перемешивания и накопления сглаживают разницу между днем и ночью. Форма кривой радикально отличается. В горах — это классический однопиковый ход, повторяющий ход солнечной радиации с минимумом днем и максимумом в вечернее и ночное время. В котловинах — сложная, двухпиковая форма с возможным ночным максимумом, управляемая динамикой приземного слоя. В узкой долине более сглаженный ход, но со сдвинутым ближе к полудню утренним максимумом для отрицательных ионов, причем этот максимум соответствует не периоду восхода Солнца, а солнечному терминатору. В узкой долине терминатор солнца создает очень четкую и быстро движущуюся границу свет-тьнь на дне котловины, в отличие от более плавного и растянутого перехода в сумеречной зоне на открытой плоской местности, создавая горно-долинную циркуляцию.

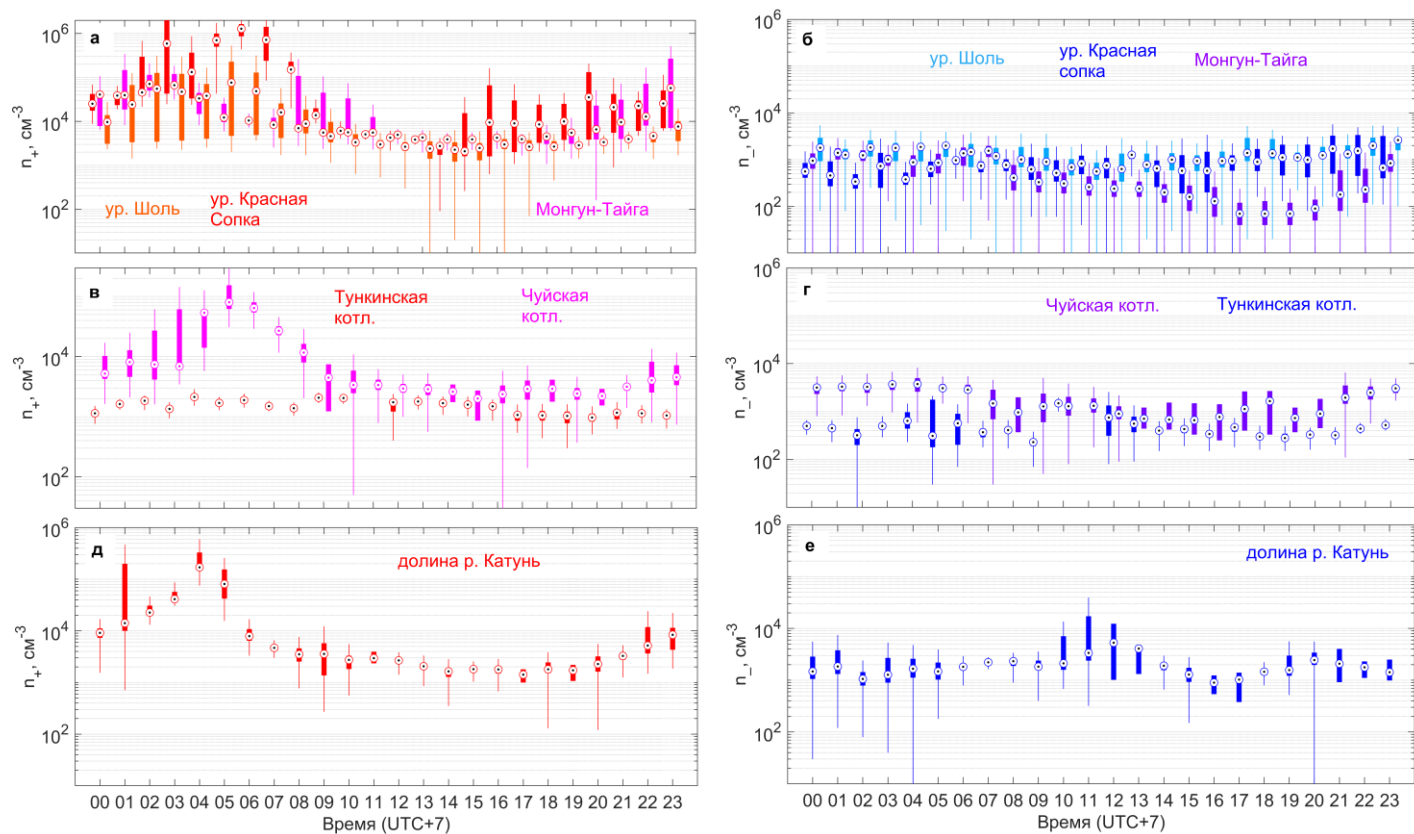


Рисунок 16 – Суточная изменчивость среднечасовых значений концентрации ионов за весь период измерений в условиях «хорошей погоды» в пунктах наблюдений, горные склоны, возвышенности, хребты (а, б), протяженные горные котловины (в, г), узкое горное ущелье (д, е)



Классический электродный эффект работает в предположении однородного, вертикального и постоянного во времени электрического поля над плоской, однородной поверхностью.

В узкой долине поле неоднородно и без четкой вертикальной составляющей по нескольким причинам: 1) силовые линии электрического поля огибают вогнутую форму рельефа, сгущаясь на гребнях и разрежаясь на дне; 2) на склонах долины поле имеет значительную горизонтальную составляющую; 3) создается боковой дрейф ионов вдоль склонов (ионы, рожденные на склоне, могут уноситься вглубь долины или к её центру, а не строго вверх, нарушая формирование положительного заряда).

Даже слабые долинно-склоновые бризы (ночной сток холодного воздуха со склонов, дневной подъем) эффективно перемешивают и переносят ионы, не давая им установиться в равновесное состояние. Таким образом, классическое преобладание положительного заряда будет нарушено. Кроме того, в долинах протекают горные реки, с высокой скоростью течения, порогами, и могут способствовать генерации отрицательного заряда и приводить к преобладанию отрицательного заряда в приземном слое.

Горный ландшафт может является главным модулятором ионизационного состояния приземного слоя атмосферы, определяя не только абсолютный уровень концентраций, но и фазу, амплитуду и саму форму суточной динамики.

**В Заключение** представлены основные результаты диссертации.

Исследованы закономерности пространственно-временного распределения изменчивости концентраций положительных и отрицательных ионов для типичных ландшафтов юга Западной Сибири. Установлено, что распределения изменчивости лёгких ионов во всех пунктах наблюдений имеют степенной вид.

Определены граничные условия, приводящие к взрывному повышению концентрации ионов, основанные на уникальных экспериментальных данных размера капель (диаметр больше 4 мм) и интенсивности жидких ливневых осадков фронтального происхождения (более 5 мм/ч).

Водопады являются источником большого количества отрицательных лёгких ионов, а их распределение в пространстве во многом определяется геометрией и удаленностью от водопада. Коэффициент детерминации ( $R^2$ ) между содержанием отрицательных ионов и расстоянием до водопада и равен 0,56 для точек измерений, находящихся в русле реки и 0,304 для всех точек измерений.

В болотных ландшафтах выявлен внутрисезонный ход концентраций лёгких ионов, зависящий от уровня заболоченности территории и вегетационной активности. С уменьшением обводнённости почвы, по направлению от топи к заболоченному лесу, медианные значения концентрации положительных ионов снижаются с 1000 до 750 см<sup>-3</sup>, а отрицательные, наоборот, возрастают более чем в 3 раза – от 250 до 800 см<sup>-3</sup>.

В узкой речной горной долине концентрация отрицательных ( $\sim 3500$  см<sup>-3</sup>) ионов была выше положительной (2100 см<sup>-3</sup>) в течении всего периода измерений. В других типах рельефа – на склонах хребтов, равнинах или в широких горных котловинах концентрация положительных ионов всегда была выше отрицательных.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи в журналах, включенных в перечень ВАК и международные базы данных (Scopus, WoS):*

1. Nagorskiy P.M., Zhukov D.F., Kartavykh M.S., **Oglezneva M.V.**, Pustovalov K.N., Smirnov S.V. Properties and structure of mesoscale convective systems over Western Siberia according to remote observations // Russian Meteorology and Hydrology. – 2022. – V. 47, № 12. – P. 934–941.
2. **Оглезнева М.В.**, Веретенникова Е.Э., Нагорский П.М., Пустовалов К.Н., Сат А.А., Смирнов С.В. Пространственно-временная изменчивость содержания аэроионов в приземном слое атмосферы над основными ландшафтами Бакчарского болота в периоды вегетации по данным полевых измерений в 2020-2021 гг. // Геосферные исследования. – 2022. – № 4. – С. 135–148.
3. Pustovalov K.N., Nagorskiy P.M., **Oglezneva M.V.**, Smirnov S.V. The electric field of the undisturbed atmosphere in the South of Western Siberia: A case study on Tomsk // Atmosphere. 2022 – V. 13. – P. 614.
4. Pustovalov K., Nagorskiy P., **Oglezneva M.**, Sat A., Smirnov, S. The electric state of the surface atmosphere in the mountain–steppe landscapes of Southern Siberia according to the measurement data in the Khakass–Tyva expedition in 2022 // Atmosphere 2024 – V. 15. – P. 27.
5. Пустовалов К.Н., Нагорский П.М., **Оглезнева М.В.**, Сат А.А., Смирнов С.В. Сравнительный анализ изменчивости невозмущённого электрического поля в горных и степных ландшафтах на юге Сибири по данным экспедиционных измерений // Гидрометеорология и экология. – 2024. – Вып. 75. – С. 234–250.
6. Симонова Г.В., Маркелова А.Н., Нагорский П.М., Пустовалов К.Н., **Оглезнева М.В.**, Давыдкина А.Е. Влияние мезомасштабных конвективных систем на изотопный состав атмосферных осадков в Томске // Оптика атмосферы и океана. – 2024. – Т. 37, № 9. – С. 729–735.
7. Пустовалов К.Н., Нагорский П.М., **Оглезнева М.В.**, Смирнов С.В. Изменчивость приземного электрического поля под влиянием метеорологических условий по данным наблюдений в г. Томске // Оптика атмосферы и океана. – 2024. – Т. 37, № 08. – С. 681–687.
8. Connected variations of meteorological and electrical quantities of surface atmosphere under the influence of heavy rain / Kal'chikhin V., Kobzev A., Nagorskiy P., **Oglezneva M.** [et al.] // Atmosphere. – 2020. – V. 11, № 1. – P. 1–11. DOI: 10.3390/atmos1111195.
9. **Оглезнева М. В.**, Нагорский П. М., Пустовалов К. Н., Сат А. А., Смирнов С. В. Электрическое состояние приземного слоя атмосферы в Горном Алтае по данным экспедиционных измерений в 2022–2023 гг. // Геосферные исследования. – 2025. – № 4. – С. 135–148.

### *Монографии:*

1. Pustovalov K., Nagorskiy P., Oglezneva M., Smirnov S. Book Chapter. The Atmospheric Electric Field under Fair-Weather Conditions in the South of Western Siberia based on Observations in Tomsk in 2006–2020 / Earth and its Atmosphere: 2nd Edition. – Hyderabad, India: Vide Leaf, 2022. – P. 1–37. ISBN: 978-93-92117-33-6 URL: <https://videleaf.com/product/earth-and-its-atmosphere-2nd-edition/>.
2. Природно-климатические процессы на территории Сибири в конце XX – начале XXI века: монография / гл. ред. Е. А. Головацкая. – Новосибирск: СО РАН, 2025 г. – 170 с.