

На правах рукописи



Стребкова Алёна Сергеевна

**ОЦЕНКА АЛЛЕРГОКОМФОРТНОСТИ ТЕРРИТОРИИ
АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

1.6.21 – Геоэкология (географические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Барнаул – 2026

Работа выполнена на кафедре природопользования и геоэкологии института географии ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», г. Барнаул.

Научный руководитель: **Ненашева Галина Ильинична**, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой физической географии и геоинформационных систем Федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Алтайский государственный университет», г. Барнаул

Официальные оппоненты: **Ямских Галина Юрьевна**, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой географии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск.

Кочубей Ольга Владимировна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник сектора изучения керна и седиментационного моделирования Санкт-Петербургского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт», г. Санкт-Петербург.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Иркутск.

Защита диссертации состоится «19» ноября 2026 года в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.039.01 по защите докторских и кандидатских диссертаций при ИВЭП СО РАН по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ИВЭП СО РАН и на сайте организации www.iwep.ru.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1, Диссертационный совет, факс (385-2) 24-03-96, e-mail: iwep@iwep.ru.

Автореферат разослан «____» _____ 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор географических наук, доцент



И.Д. Рыбкина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Преобразование природной среды в результате хозяйственной деятельности человека достигает масштабов, при которых экологические последствия становятся существенным фактором, определяющим качество условий проживания населения. Нарушение сложившихся биогеохимических циклов, трансформация растительного покрова и техногенная нагрузка на экосистемы обуславливают необходимость учета все большего числа показателей, используемых при оценке качества среды обитания. Среди таких показателей пыльца растений занимает важное положение, поскольку, с одной стороны, отражает состояние растительного покрова под воздействием антропогенных факторов, а с другой – выступает значимым фактором, влияющим на здоровье человека.

Всемирной организацией здравоохранения аллергические заболевания признаны одной из наиболее острых медико-социальных проблем XXI века (*Thompson et. al., 2020; Maruyama, 2021; Ильина, 2022*). В России от 12,7 % до 38 % населения страдает поллинозом (*Клинг, Зимина, 2023; Аралова и др., 2023*). В Сибирском федеральном округе на долю аллергического ринита в структуре аллергозаболеваемости приходится 33,2 % (*Назарова, Хаитов 2024*). В Алтайском крае распространенность аллергического ринита составляет 10,6 % (*Шахова и др., 2018*).

Проведение регулярных аэропалинологических исследований позволяет не только своевременно выявлять периоды наибольшего риска для чувствительных групп населения, но и разрабатывать меры профилактики, что в конечном итоге способствует снижению частоты аллергических реакций и улучшению качества жизни населения. В связи с этим создание национальных сетей аэропалинологического мониторинга является важной задачей для многих стран.

Актуальность настоящего исследования определяется необходимостью комплексного анализа аэропалинологической обстановки, выявления пространственно-временных закономерностей формирования пыльцевого фона и разработки методики оценки аллергокомфортности территории, учитывающей состав растительного покрова, метеорологические показатели, фенологические особенности аллергенных таксонов. Реализация данного подхода позволит создать основу для обеспечения безопасного пребывания населения в рекреационных зонах региона, учета потребностей лиц с повышенной чувствительностью к пыльце и развития превентивной системы информирования об аллергенной обстановке.

Цель диссертационной работы: оценить территорию Алтайского края по уровню проявления аллергокомфортности.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Проанализировать теоретико-методические подходы в области аэропалинологических исследований как основы изучения пространственно-временной динамики пыльцевых спектров.
2. Выявить пространственно-временную динамику пыльцевого спектра на основе многолетних данных стационарного аэропалинологического мониторинга в г. Барнауле и палинологического исследования седиментационным методом с использованием ловушки Таубера.
3. Установить статистические зависимости между метеорологическими показателями и характеристиками пыления основных аллергенных таксонов.
4. Разработать методику оценки аллергокомфортности территории, выполнить дифференциацию Алтайского края по уровню аллергокомфортности, и предложить рекомендации по снижению аэроаллергенной нагрузки на человека.

Объектом исследования является спектр аллергенной пыльцы территории Алтайского края.

Предмет исследования – пространственно-временные закономерности и условия формирования спектра аллергенной пыльцы в различных физико-географических районах, провинциях Алтайского края.

Материалы и методы исследования. В основу работы легли результаты многолетнего аэропалинологического мониторинга со стационарной точки г. Барнаул за период 2004 – 2025 гг.

Автором собраны и обработаны ежедневные материалы аэропалинологического мониторинга в количестве 300 проб за весенне-летние сезоны 2024, 2025 гг., а также результаты полевых исследований 2025 года, включающие 57 спорово-пыльцевых проб для анализа рецентных спектров. Метеорологические показатели для исследования базируются на массиве данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (среднесуточная температура, относительная влажность воздуха, количество осадков, скорость и направление ветра). Для пространственного анализа и верификации использованы многозональные спутниковые снимки Sentinel-2.

Для решения поставленных задач применяли следующие методы исследования: аэропалинологический метод – Pollen monitoring program (PMP) (*Hicks et al., 1996*), геоботанический метод (описание учетных площадок), методику выделения фаз сезона на основе температурных критериев, разработанных Н.Н. Галаховым (1959) и получивших развитие в исследованиях Н.В. Рутковской (1979), Л.Б. Филандышевой, Л.Н. Окишевой (2002), Н.Ф. Харламовой и др. (2005), О.Н. Барышниковой (2011). Пробоподготовку и микроскопирование полученных материалов выполняли с соблюдением методических рекомендаций (*Erdtman, 1943, Мейер-Меликян, 1999, Головкин 2004, Мазей, 2021*). Систематизацию полученных данных проводили с использованием статистических методов обработки (Statistica 12.0), методов геоинформационного анализа и методов дистанционного зондирования Земли, включая дешифрирование космоснимков, для визуализации статистических данных применяли пакет R ggplot. Построение диаграмм, отражающих процентный состав пыльцевых спектров, производили с использованием программного обеспечения TILIA.

Научная новизна заключается в комплексном анализе условий формирования аэропалинологического спектра территории Алтайского края, а также разработке методического подхода к оценке ее аллергокомфортности.

Впервые на основе многолетних (2004–2025 гг.) аэропалинологических исследований в г. Барнауле проанализированы особенности пыления 14 аллергенных таксонов, включая древесные и травянистые растения. Для каждого таксона определены ключевые характеристики пыления: основной период пыления (ОПП), его начало, окончание, продолжительность, даты максимальной суточной и суммарной сезонной концентраций пыльцевых зерен, что позволило выявить временную динамику и сезонные закономерности формирования пыльцевого спектра.

Впервые в границах физико-географических районов и провинций Алтайского края с использованием седиментационного метода (ловушки Таубера) проведены исследования рецентных спорово-пыльцевых спектров. На основе верификации полученных спектров путём их сопоставления с растительным покровом установлены количественные закономерности пространственного распределения пыльцевых зерен 14 аллергенных таксонов в различных ландшафтных зонах края – от засушливых степей до предгорий.

Предложен комплексный подход к оценке аллергокомфортности территории Алтайского края. Скорректирован термин «аллергокомфортность» с введением системы нормированных коэффициентов, позволяющих количественно оценить уровень благоприятности территории для населения с учетом воздействия пыльцевых аллергенов.

Теоретическая и практическая значимость. В работе обоснована и разработана методика интегральной оценки аллергокомфортности территории Алтайского края, базирующаяся на системе нормированных коэффициентов. Разработанный подход к её осуществлению может быть реализован в других субъектах Российской Федерации.

Предложенная модель оптимизации управленческих мероприятий по снижению аэроаллергенной нагрузки может быть использована в качестве информационной основы для профилактики поллинозов, включая информирование населения о сезонных пиках пыления аллергенных растений, а также для планирования лечебно-профилактических мероприятий в сфере здравоохранения. Материалы работы следует применять в деятельности учреждений санаторно-курортного комплекса и рекреационной сферы Алтайского края (Акт о внедрении

результатов исследования в деятельность ООО Санаторий «Эдем» (г. Белокуриха), акт о внедрении результатов в работу КГБУ «Санаторий Обь» (г. Барнаул) № 10-07/1 от 04.03.2026).

Разработанные и зарегистрированные базы данных: «Аэропалинологические спектры воздушной составляющей г. Барнаул за 2004-2024 гг.» (свидетельство № 2025625130 от 13.11.2025); «Перечень таксонов аллергенных растений и пыльцевых спектров по санаторно-курортным зонам Алтайского края» (свидетельство № 2025624566 от 20.10.2025); «Температурно-временные и феноиндикационные характеристики весенне-летнего сезона» (свидетельство № 2025625633 от 02.12.2025) могут использоваться научными и образовательными организациями в качестве методической основы при подготовке специалистов, ландшафтном обустройстве и популяризации научно-практических знаний среди населения в сфере здоровьесбережения.

Положения, выносимые на защиту:

1. Подход к оценке аэропалинологической обстановки среды обитания определяется как природными предпосылками, так и антропогенными факторами; виды и динамика аэропалинологической обстановки характеризуют территорию по уровню аллергокомфортности.

2. Региональный аэропалинологический спектр территории Алтайского края подчинен выраженной сезонной цикличности, проявляющейся в виде трех последовательных волн пыления, а качественный и количественный состав спектра детерминирован региональным составом растительности и характеризуется наличием 14 аллергенных таксонов, выступающих палиноиндикаторами каждой фазы весенне-летнего сезона.

3. Интегральная оценка аллергокомфортности, выраженная через систему нормированных коэффициентов, позволяет оценить территорию Алтайского края по уровню благоприятности условий для проживания населения и обеспечения рекреационного потенциала региона.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Междисциплинарные аспекты стратегии выживания человечества и разработка научных основ регулирования качества состояния окружающей среды (п. 3). Оценка экологического состояния и управление современными ландшафтами. Глобальные и региональные изменения ландшафтно - климатических условий среды обитания в антропоцене (п. 11). Научные основы организации геоэкологического мониторинга природно-технических систем и обеспечение их экологической безопасности, разработка средств контроля состояния окружающей среды (п. 14).

Степень достоверности и апробация результатов работы. Научные результаты получены в ходе работ по теме гранта РНФ № 24-27-20087 «Аллергокомфортность природной среды и аттрактивность рекреационных территорий юга Западной Сибири как основа развития лечебно-оздоровительного туризма» (2024-2025 гг.) (науч. рук. канд. геогр. наук Г.И. Ненашева).

Достоверность и обоснованность результатов подтверждаются применением комплексного подхода, сочетающего различные методы и методики, включающие полевые и мониторинговые исследования, лабораторный анализ проб и обработку данных официальной статистики по метеорологии. Статистическая обработка выполнена с расчетом средних значений, стандартного отклонения, ошибки среднего, коэффициента вариации и коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Математический анализ данных проводился с использованием программного обеспечения Microsoft Excel и Statistica 12.0, пространственный анализ данных – с использованием геоинформационной системы (QGIS 3.40.15).

Основные результаты по диссертации докладывались на международных и всероссийских научных конференциях: Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти д.г.н., профессора В.С. Ревякина (Барнаул, 2025); Международный алтаистический форум «Славяно-тюркский мир на пространстве Большого Алтая: история и современность» (Барнаул, 2025); Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Пространственное социально-экономическое развитие территорий: формирование комфортной среды и повышение качества жизни населения» (Ханты-Мансийск, 2026).

Личный вклад автора заключается в самостоятельной постановке цели и формулировке задач исследования, разработке программы полевых и лабораторных работ, выполнении

аэропалинологического мониторинга в г. Барнауле (2024–2025 гг.), организации и проведении экспедиционных исследований с установкой 57 почвенных ловушек Таубера на модельных участках физико-географических районов и провинций Алтайского края (*Винокуров, Цимбалей, 2016*). Автором осуществлены пробоподготовка, микроскопический анализ спорово-пыльцевых спектров, статистическая обработка многолетних метеорологических и аэропалинологических данных, разработка и апробация методики оценки аллергокомфортности территории края, анализ и теоретическое обобщение полученных результатов, формулировка выводов и рекомендаций, подготовка публикаций в рецензируемых научных изданиях.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 10 работ, в том числе 4 статьи в журналах из перечня ВАК и 3 свидетельства о регистрации баз данных.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 223 наименований, в том числе 55 на иностранном языке. Общий объем работы составляет 195 страниц текста, включая 30 рисунков, 6 таблиц, 7 приложений.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Подход к оценке аэропалинологической обстановки среды обитания определяется как природными предпосылками, так и антропогенными факторами; виды и динамика аэропалинологической обстановки характеризуют территорию по уровню аллергокомфортности.

Современные исследования подтверждают этиологическую роль пыльцы растений в развитии аллергических заболеваний (*Астафьева, Горячкина, 1998; Ильина и др., 2008; Бережанский и др., 2022*). Эффективная профилактика поллиноза невозможна без научно обоснованного представления о видовом составе аллергенных растений, сроках и интенсивности их пыления для каждой территории. Необходимую эмпирическую базу формирует аэропалинологический мониторинг. Для объективного контроля над аллергенным фоном была создана система станций аэропалинологического мониторинга, а также Общеевропейский банк аэропалинологических данных в рамках европейской аэропалинологической службы (European Aeroallergen Network, EAN). Развитые сети мониторинга функционируют в таких странах, как Германия, Швейцария, Франция, Испания, Италия, Польша и другие (*Шамгунова, Заклякова, 2010*).

В России начальный этап исследований основывался на гравиметрических пыльцеуловителях (Москва, Новосибирск). Внедрение волюметрических ловушек Хирста позволило получать количественные оценки содержания пыльцы в воздухе (*Северова, 2001*). Такие исследования организованы в Санкт-Петербурге (*Дзюба, 1999б*), Барнауле (*Ненашева, 2013*), Уфе (*Шаймухаметова, 2015*), Красноярске (*Ямских и др., 2015*), Петрозаводске (*Елькина, 2018*), Ростове-на-Дону (*Чурюкина, 2020*), Ставрополе (*Уханова и др., 2020*), Краснодаре (*Клименко и др., 2021, 2025*), Рязани (*Посевина и др., 2010, 2017; Карасева, Селезнева, 2022*), Самаре (*Манжос и др., 2022*) и других городах, что позволило выявить и описать региональные пыльцевые спектры.

Аэропалинологический мониторинг выступает как интегрирующая платформа, объединяющая данные о пыльце в атмосфере с факторами окружающей среды и их влиянием на здоровье населения. Природные предпосылки формирования аэропалинологической обстановки определяются структурой растительного покрова, климатическими условиями и фенологическими особенностями. В различных природных зонах формируются специфические рецентные спорово-пыльцевые спектры (СПС), отражающие текущий «пыльцевой дождь» (*Гричук, Заклинская, 1948; Ненашева, 2013; Носова, 2019*). Многочисленными исследованиями установлено, что сроки начала и окончания пыления, его интенсивность и продолжительность зависят от метеорологических показателей (*Emberlin et al., 2002; Zhang et al., 2015; Frisk et al., 2024*). Интенсивность пыления древесных пород положительно коррелирует с июльскими температурами предшествующего года, а травянистых – с температурами текущего или предшествующего сезона (*Носова и др., 2015*). Повышение глобальной температуры на 1 °C увеличивает содержание пыльцы берёзы на 20 %

(Ziska et al., 2019). Выявленные закономерности служат основой для разработки прогнозных моделей: прогноза суммарной годовой продукции пыльцы (Puc, 2012), суточных концентраций (Sofiev et al., 2006; Shokouhi et al., 2024), сроков начала пыления по суммам эффективных температур (Емелина и др., 2019; Корсакова и др., 2020), а также реконструкции дальнего транспорта пыльцы (Stein et al., 2015; Курятникова и др., 2022) (рис. 1).



Рисунок 1 – Аэропалинологический мониторинг как инструмент прогнозирования и оценки компонентов геосистемы

Антропогенные факторы вносят существенный вклад в формирование аэропалинологической обстановки. Антропогенное воздействие модифицирует естественный пылевой фон. Процессы формирования и развития пылевых зерен чувствительны к внешним факторам окружающей среды, поэтому угнетение генеративных органов растений в условиях антропогенного воздействия приводит к появлению большого количества тератоморфных пылевых зерен (Дзюба, 2007). Пыльца способна адсорбировать токсичные аэрозоли, выступая их переносчиком (Букатый и др., 2004; Суторихин, Самойлов, 2004). В условиях урбанизированных территорий важным антропогенным фактором выступает изменение микроклимата: формирование эффекта «теплового острова», увеличивающего сезонную аллергенную экспозицию. Кроме того, под воздействием поллютантов (SO₂, NO₂, CO, озон, твердые частицы) повреждается экзина и усиливается фрагментация пылевых зерен, что также повышает их аллергенный потенциал (Кобзарь, 2015, 2024; Reinmuth-Selzle et al., 2017). Антропогенная трансформация ландшафтов проявляется в интродукции аллергенных видов, изменении видового состава растительности, создании фрагментированных местообитаний, а также в значительном преобладании травянистой (прежде всего рудеральной) растительности, выступающей источником высоких концентраций пылевых зерен (Дикарева и др., 2023).

Формируемые в пределах территории спорово-пыльцевые спектры отражают особенности растительного покрова и условий пыления, что проявляется в их пространственно-временной неоднородности. Выявленные различия обусловлены совокупностью природных и антропогенных факторов и фиксируются в показателях состава, сроков и интенсивности пыления. Интерпретация этих данных требует учёта их взаимосвязи с компонентами геосистемы, поскольку отдельные характеристики пылевого спектра не позволяют в полной мере отразить аллергенную обстановку.

В этой связи оценка аэропалинологической ситуации основывается на комплексном подходе, объединяющем анализ природных и антропогенных факторов (рис. 2). Такой подход

обеспечивает переход от описания отдельных параметров к обобщению и позволяет рассматривать виды и динамику аэропалинологической обстановки как характеристику территории по уровню аллергокомфортности.

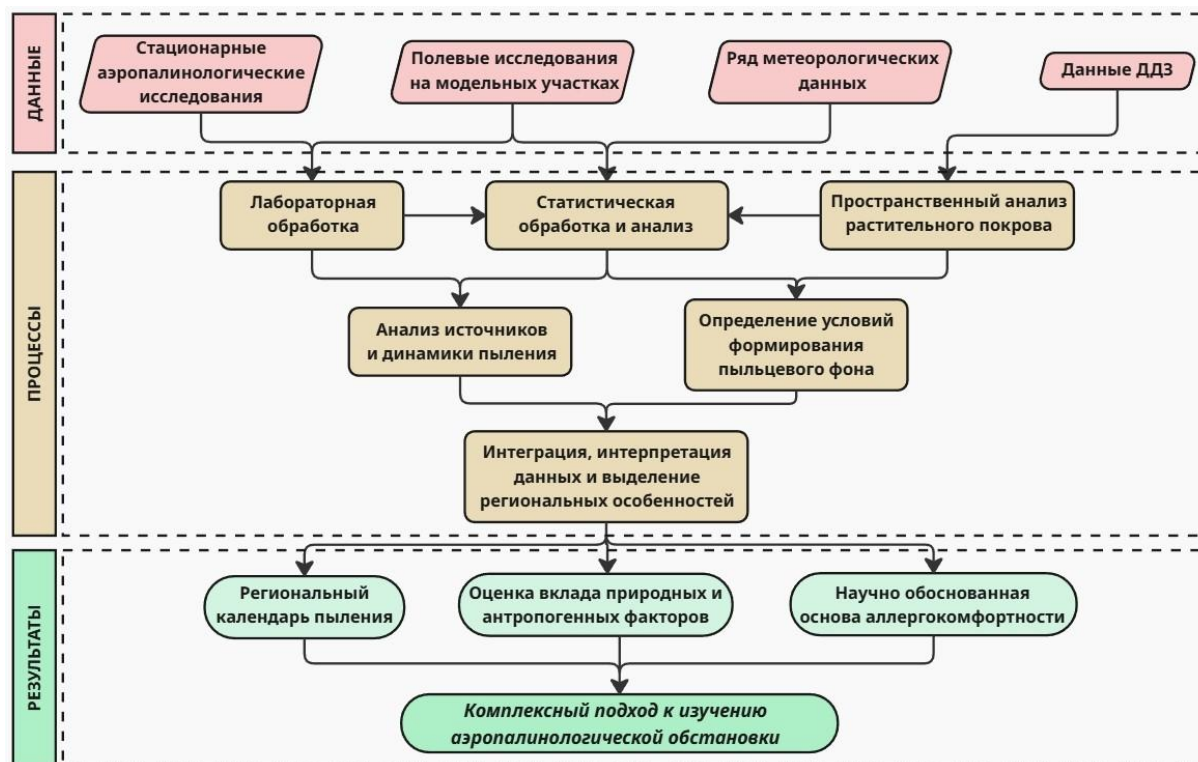


Рисунок 2 – Структура комплексного подхода к изучению аэропалинологической обстановки

Комплексный подход к изучению аэропалинологической обстановки базируется на сочетании стационарных волюметрических наблюдений и полевых седиментационных исследований с использованием ловушек Таубера, что соответствует методологии Европейской программы мониторинга пыльцы (PMP) и обеспечивает верификацию региональных пыльцевых спектров. (Nosova et al., 2015; Kremenska et al., 2019). Анализ многолетних метеорологических данных позволяет установить количественные взаимосвязи между метеорологическими показателями и параметрами пыления, включая расчёт предикторов начала пыления. Дешифрирование спутниковых снимков идентифицирует пространственное распределение растительности, необходимое для оценки структуры источников пыльцы и антропогенной трансформации ландшафтов. Статистическая обработка (корреляционный анализ, расчёт сумм эффективных температур) и геоинформационный анализ (интерполяция метеопараметров, построение карт) обеспечивают интеграцию разнородных данных. Такой подход позволяет выявить региональные особенности формирования пыльцевого фона и количественно оценить вклад природных и антропогенных факторов.

Понятие «аллергокомфортность» было введено Г.И. Ненашевой (2013) как уровень концентрации пыльцы, при котором человек не ощущает воздействия аллергенов. В настоящей работе данное понятие получило дальнейшее развитие и операционализацию: для получения количественных характеристик аллергокомфортности применяется описанный комплексный подход, объединяющий оценку природных и антропогенных факторов. Выявленные в рамках этого подхода видовой состав и пространственно-временная динамика пыльцевых спектров характеризуют территорию по уровню аллергокомфортности. Предложенный подход реализован автором в методике интегральной оценки аллергокомфортности Алтайского края.

2. Региональный аэропалинологический спектр территории Алтайского края подчинен выраженной сезонной цикличности, проявляющейся в виде трех

последовательных волн пыления, а качественный и количественный состав спектра детерминирован региональным составом растительности и характеризуется наличием 14 аллергенных таксонов, выступающих палиноиндикаторами каждой фазы весенне-летнего сезона.

Аэропалинологические исследования проведены на основе стационарных волнометрических наблюдений в г. Барнауле (2004–2025 гг.), которые согласно исследованиям (Severova, Volkova, 2018) фиксируют изменения концентрации пылицы на региональном уровне.

Полевые исследования седиментационным методом (ловушки Таубера) выполнены в 2025 г. с использованием 57 ловушек, установленных на 19 модельных участках в границах физико-географических районов и провинций Алтайского края (рис. 3) (Винокуров, Цимбалей, 2016; Ландшафтная карта..., 2016). В результате ежегодных стационарных наблюдений в весенне-летний период (апрель–сентябрь) получен многолетний ряд данных о качественном и количественном составе пыльцевого спектра. Установлена стабильность основного состава спектра, выделены 14 таксонов с выраженными аллергенными свойствами: *Salix* spp., *Betula* spp., *Populus* spp., *Acer* spp., *Ulmus* spp., *Picea* spp., *Pinus* spp., *Tilia* spp., *Rumex* spp., *Plantago* spp., *Urtica* spp., *Artemisia* spp., Poaceae, Chenopodiaceae.

Определены общие характеристики сезона пыления. Средняя дата начала сезона пыления соответствует 113-му дню года со стандартным отклонением $\pm 7,2$ дня. Минимальный зарегистрированный срок приходился на 102-й день года (2009, 2011, 2012 г.), максимальный – на 126-й день (2019 г.). Коэффициент вариации 6,2 % подтверждает умеренный уровень изменчивости фенологического события. Статистически значимых трендов смещений дат начала пыления не выявлено. Средняя продолжительность сезона пыления составляет 131 день ($\sigma = \pm 9,6$ дня, CV = 7,3 %), с разбросом от 116 (2013 г.) до 146 дней (2011 г.).

Выявлена значительная межгодовая изменчивость суммарной концентрации пылицы – от 4115 п.з./м³ (число пыльцевых зерен в единице объема воздуха – п.з./м³) (2007 г.) до 34 252 п.з./м³ (2024 г.) при среднем значении около 21 000 п.з./м³. Направленный тренд отсутствует: годы с экстремально высокими показателями (2004, 2012, 2020–2024 гг.) чередуются с периодами низкой концентрации (2005–2010 гг.). Установлено, что календарные параметры сезона определяются преимущественно метеорологическими условиями, тогда как суммарная концентрация зависит от более широкого спектра факторов вегетационного периода (температурный режим, влагообеспеченность, стрессовые воздействия).

На протяжении всего исследуемого периода наблюдается устойчивое количественное преобладание древесной пылицы над травянистой. Доля древесной пылицы в среднем составляет 80,7 % (CV = 11,7 %), варьируя от 50,4 % (2008 г.) до 92,3 % (2004 г.). Доля травянистой пылицы в среднем равна 19,7 % (рис. 4).

Определён вклад отдельных таксонов в суммарную пыльцевую нагрузку. Среди древесных таксонов абсолютный доминант – *Betula* spp. (62,8 % от пылицы древесной группы).

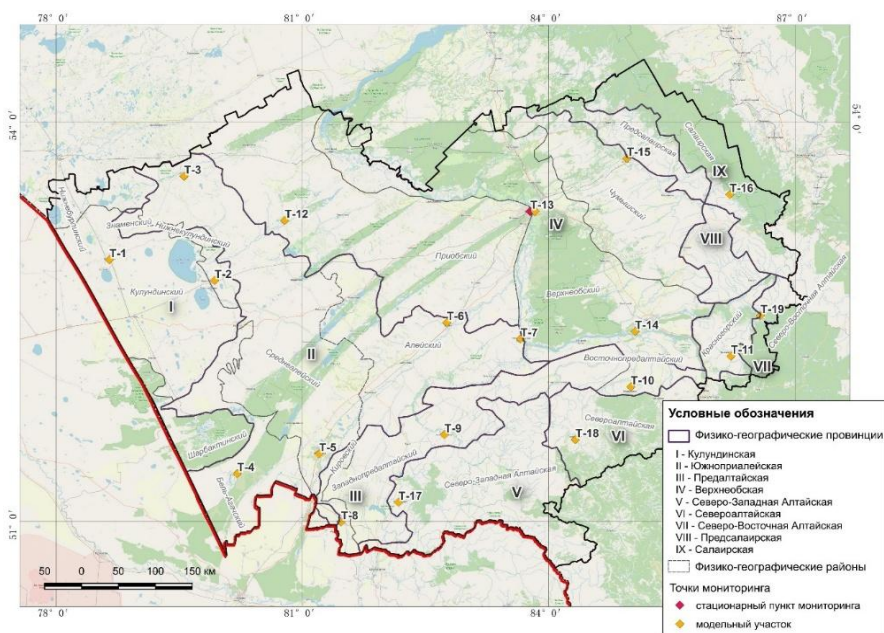


Рисунок 3 – Расположение модельных участков на территории Алтайского края в границах физико-географических районов и провинций Алтайского края (Ландшафтная карта..., 2016)

Субдоминантное положение занимают *Pinus* spp. (18,7 %) и *Acer* spp. (7,0 %). Остальные древесные таксоны (*Populus* spp., *Salix* spp., *Tilia* spp., *Ulmus* spp., *Picea* spp.) в сумме составляют около 11,6 %. В группе травянистых растений наибольший вклад вносит семейство *Poaceae* (35,3 %), далее следуют *Artemisia* spp. (24,2 %) и *Chenopodiaceae* (17,5 %); наименьшее значение отмечено для *Rumex* spp. (6,7 %).

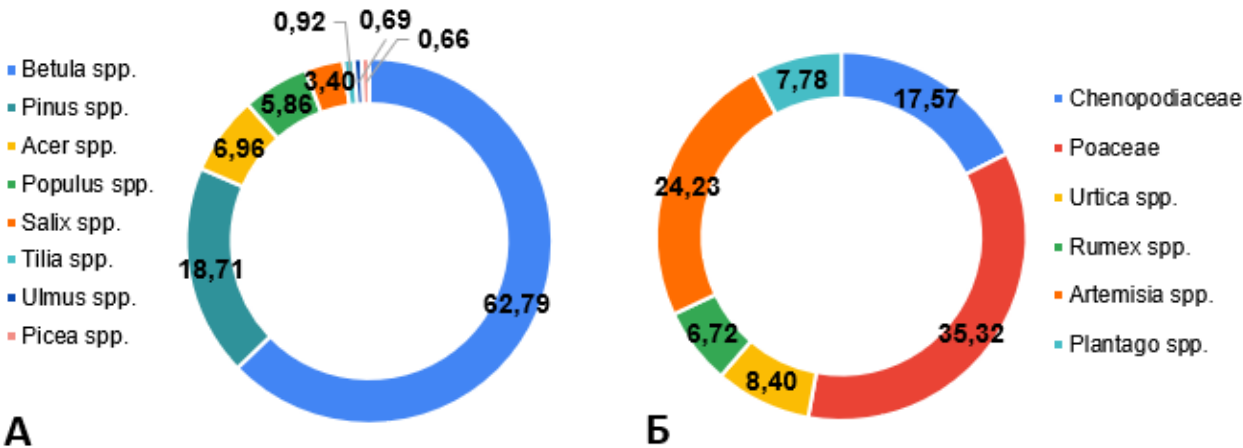


Рисунок 4 – Вклад основных аллергенных таксонов в суммарную пыльцевую нагрузку г. Барнаула (2004–2025 гг.): А – группа древесных растений; Б – группа травянистых растений

На рисунке 5 представлен усреднённый календарь пыления для г. Барнаула, построенный по данным 2004–2025 гг. На календаре выделены три последовательные волны пыления.

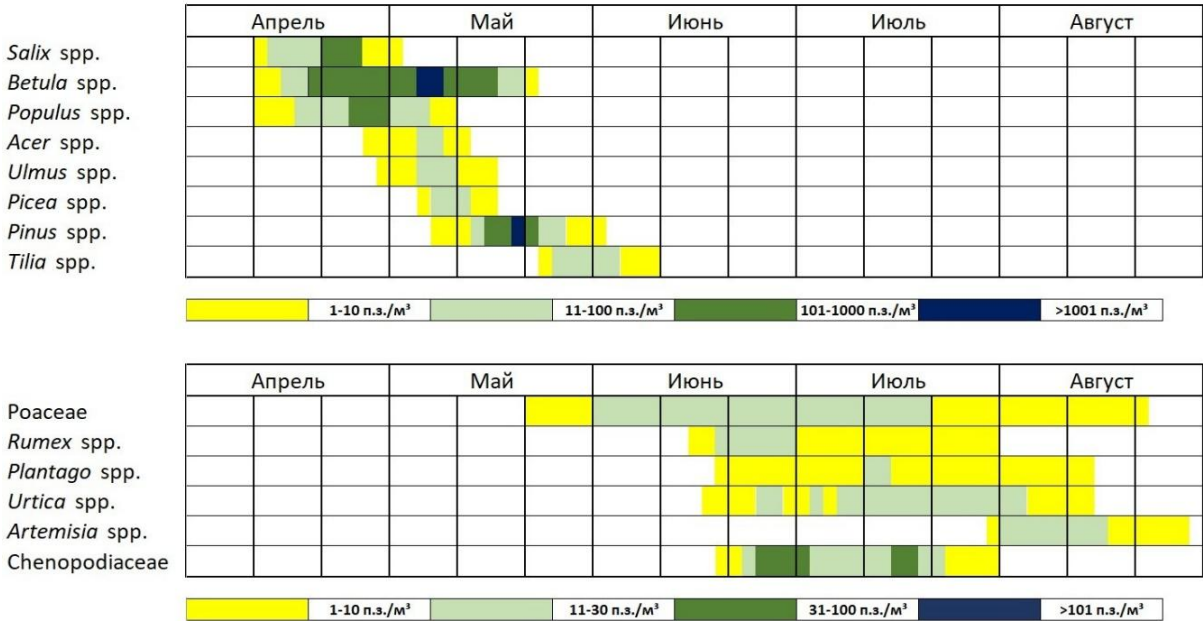


Рисунок 5 – Усредненный календарь пыления аллергенных растений на территории г. Барнаула за 2004–2025 гг.

Количественные характеристики основного периода пыления (ОПП) для каждого аллергенного таксона (средние даты начала, продолжительность, максимальные суточные и суммарные сезонные концентрации) приведены ниже (данные 2004–2025 гг.).

В аэроспектре первой волны пыления преобладают п.з семейства *Betulaceae*. *Betula* spp. – наиболее активный таксон: ОПП – 15,5±1,0 дня (σ=4,6), общая продолжительность – 30,2±1,8 дня. Начало ОПП – 23 апреля ±3 дня, в отдельные годы (2010, 2022) – в третьей декаде марта – первой декаде апреля. Пик – 30 апреля ±3 дня. Максимальная суточная концентрация – 3716

п.з./м³ (2021 г.). Суммарная концентрация – 8743 п.з./м³. ОПП *Salix* spp. длится 13,8±0,8 дня, начало – 23 апреля ±2 дня, пик – 28 апреля ±4 дня. Суммарная концентрация за сезон – 542 п.з./м³, максимум – 1038 п.з./м³ (2012 г.). *Populus* spp.: ОПП – 14,2±0,9 дня, начало – 28 апреля ±3 дня, пик – 7 мая ±3 дня. Суммарная концентрация – 1762 п.з./м³. *Acer* spp.: ОПП – 12 дней, начало – 26 апреля ±3 дня, пик – 12 мая ±3 дня. *Ulmus* spp.: ОПП – 12,3±0,6 дня, начало – 15 мая ±2 дня, пик – 20 мая ±2 дня, суммарная концентрация – 187 п.з./м³. Первая волна пыления: палиноиндикаторы – п.з. *Salix* spp., *Betula* spp., *Populus* spp., *Acer* spp., *Ulmus* spp.

Вторая волна пыления формируется п.з. *Picea* spp., *Pinus* spp., *Tilia* spp., *Roaceae*. ОПП п.з. *Picea* spp – 15,5±1,2 дня, начало – 14 мая, пик – 20 мая, суммарная концентрация – 245,9 п.з./м³. *Pinus* spp.: ОПП – 12,2±1,4 дня, начало – 23 мая (со сдвигами от 15 мая до 3 июня), пик – 26 мая. Суммарная концентрация – 5027 п.з./м³ (максимум – 11256 п.з./м³ в 2012 г., минимум – 443 п.з./м³ в 2007 г.). Общая продолжительность пыления – 29,8±2,3 дня. *Tilia* spp.: ОПП – 16,8 дня, начало – 23 июня, пик – 26 июня, максимальные концентрации невысоки (26,4 п.з./м³). Вторая волна пыления: палиноиндикаторы – п.з. *Pinus* spp. и *Roaceae*.

Третья волна пыления характеризуется преобладанием п.з. травянистых растений: *Roaceae*, *Rumex* spp., *Plantago* spp., *Urtica* spp., *Artemisia* spp., *Chenopodiaceae*. ОПП п.з. *Roaceae* 45,3±2,9 дня (максимальная продолжительность), начало – 14 июня (в отдельные годы – вторая декада мая), пик – 26 июня. Максимальная суточная концентрация – 85,4 п.з./м³ (диапазон 24–197). Суммарная – 1412,3 п.з./м³. Общая продолжительность пыления – 63,8±4,3 дня. *Rumex* spp.: ОПП – 19,8±1,3 дня (σ=5,9), начало – 25 июня, пик – 5 июля. *Plantago* spp.: начало – 17 июня, пик – 15 июля. *Urtica* spp.: ОПП – 36,2±2,9 дня, начало – 27 июня, пик – 15 июля, суммарная концентрация – 298,7 п.з./м³. *Artemisia* spp.: ОПП – 24,8 дня, начало – 28 июля, пик – 6 августа, суммарная концентрация – 812,4 п.з./м³. *Chenopodiaceae*: начало – 16 июля, пик – 10 августа, суммарная концентрация – 583,6 п.з./м³. Третья волна пыления: палиноиндикаторы – п.з. *Roaceae*, *Chenopodiaceae*, *Artemisia* spp.

Для подтверждения связи аэропалинологического спектра с региональным составом растительности и верификации данных стационарного мониторинга в 2025 г. проведены полевые исследования с использованием седиментационного метода (ловушки Таубера). На модельных участках установлены ловушки (по три на каждом участке) в соответствии с рекомендациями Европейской программы мониторинга пыльцы (РМР) (*Hicks et al.*, 1996; *Носова*, 2020). За весенне-летний сезон получены интегральные спорово-пыльцевые спектры, отражающие суммарное оседание пыльцевых зерен.

В палинологических пробах выделены п.з. 14 аллергенных таксонов, выявлена четкая пространственная закономерность: суммарная доля пыльцевых зерен аллергенных таксонов закономерно возрастает от 15–18 % в засушливых степях (Кулундинская провинция) до 51–61 % в предгорьях (Предалтайская, Североалтайская, Салаирская провинции). Максимум доли травянистых аллергенных таксонов (55 %) отмечен в Южноприалейской провинции, древесных (61 %) – в Предалтайской. В Верхнеобской провинции доля древесных аллергенных таксонов составляет 40–60 %, травянистых – 19–22 %. В Северо-Западной Алтайской, Северо-Восточной Алтайской, Североалтайской провинциях доля древесных аллергенных таксонов варьирует от 36 до 53 %, травянистых – от 21 до 38 %.

Таким образом, полевые исследования рецентных СПС верифицировали данные стационарного мониторинга и доказали, что качественный и количественный состав аэропалинологического спектра детерминирован региональной структурой растительного покрова.

Установлено, что для большинства аллергенных таксонов отсутствует устойчивый долговременный тренд сроков начала и завершения ОПП – межгодовая изменчивость носит циклический характер и зависит от метеорологических показателей конкретного года. Однако выявлен выраженный положительный тренд продолжительности ОПП у ряда таксонов травянистой группы: *Roaceae* (с 21–32 дней в 2004–2008 гг. до 50–73 дней в последние годы), *Plantago* spp. (с 11–26 до 52–72 дней), *Urtica* spp. (с 14–27 до 46–60 дней) (рис. 6).

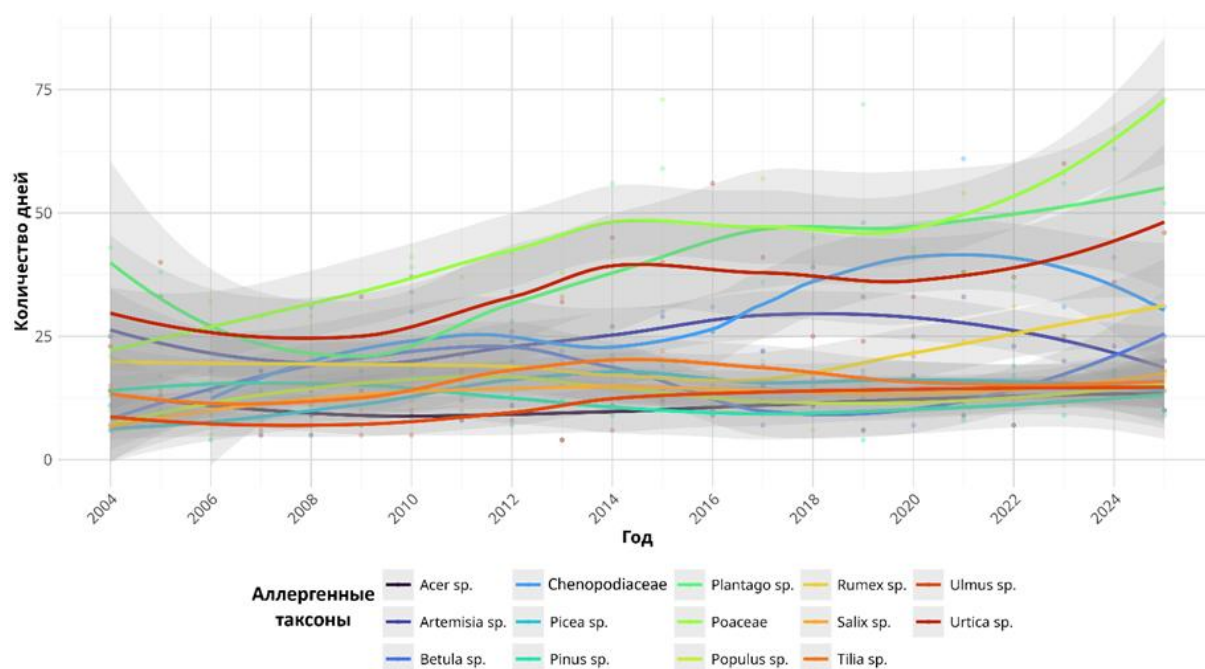


Рисунок 6 – Продолжительность основного периода пыления (ОПП) аллергенных таксонов г. Барнаула (2004–2025 гг.)

Зафиксирован рост максимальных суточных концентраций у ключевых таксонов: *Betula* spp. (с 100–300 до 3000–3700 п.з./м³), *Populus* spp. (с 30–260 до 350–950 п.з./м³), *Acer* spp. (с 50–200 до 300–750 п.з./м³), а также умеренный положительный тренд у *Poaceae* и *Plantago* spp. (рис. 7).

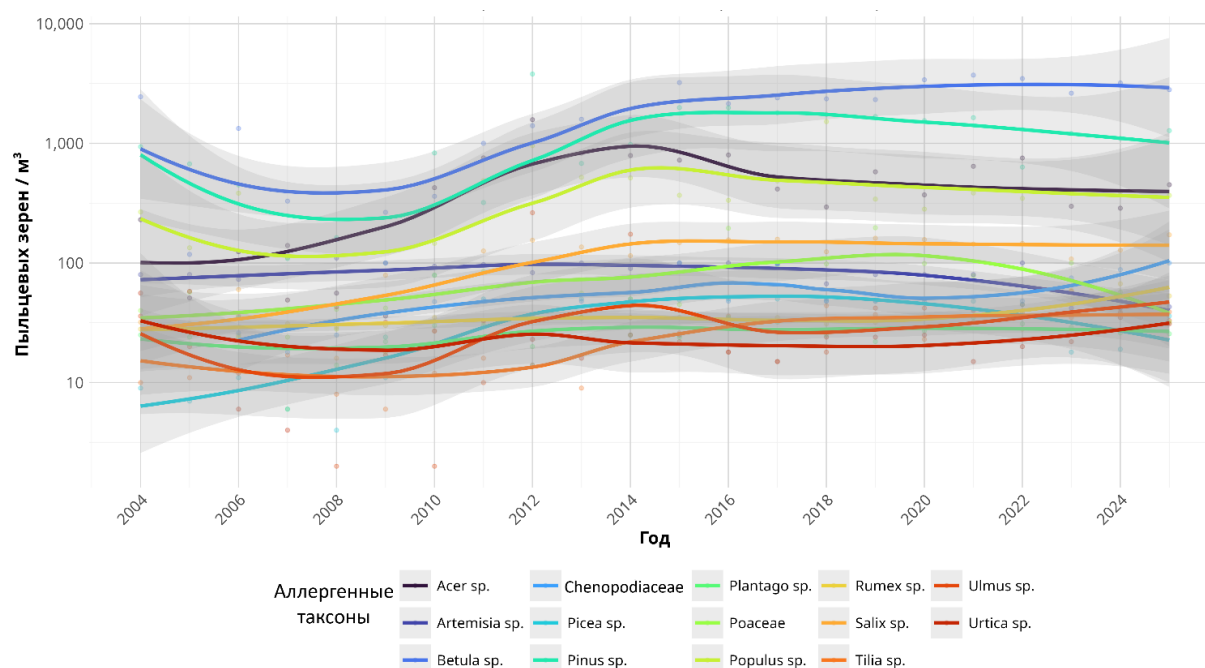


Рисунок 7 – Максимальная суточная концентрация пыльцевых зерен аллергенных таксонов в аэроспектре г. Барнаула (2004–2025 гг.)

Суммарные сезонные концентрации увеличились у *Betula* spp. (с 350–1600 до 13 000–17 000 п.з./м³), *Poaceae* (с 200–400 до 1500–2000 п.з./м³), *Urtica* spp. (с 200 до 700 п.з./м³), *Chenopodiaceae* (с 130–400 до 900–1400 п.з./м³). Результаты свидетельствуют об увеличении общей пылевой нагрузки в г. Барнауле за период наблюдений (рис. 8).

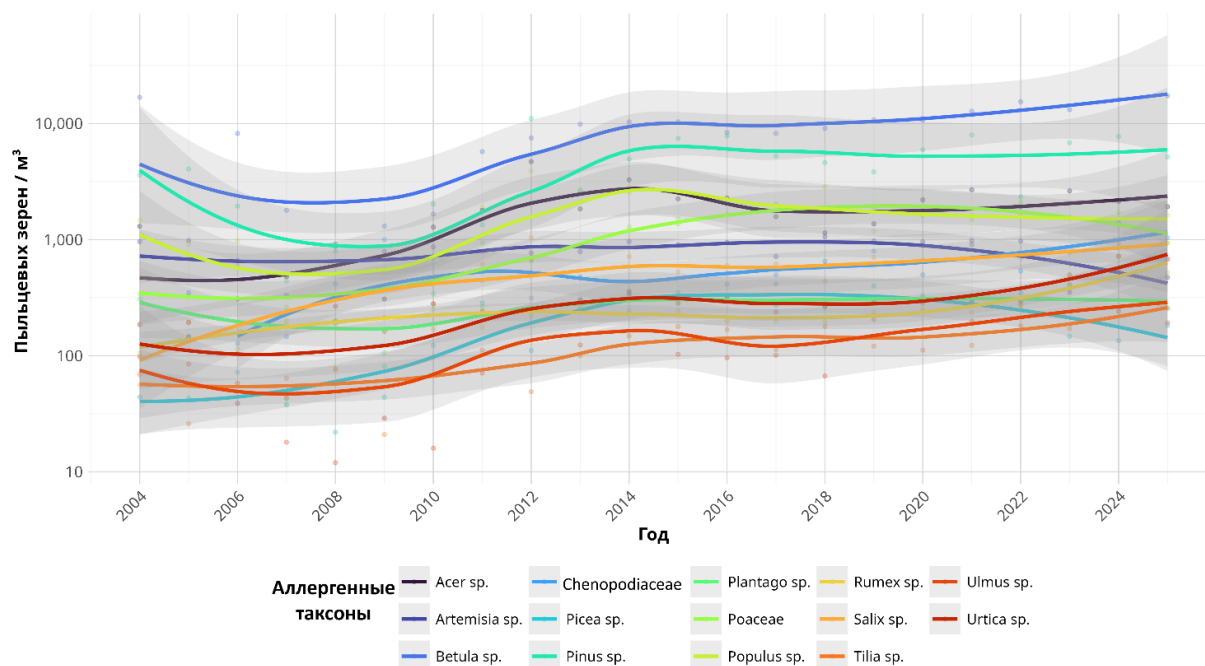


Рисунок 8 – Суммарная концентрация пылевых зерен аллергенных таксонов в аэроспектре г. Барнаула за весенне-летний сезон (2004–2025 гг.)

Для выявления закономерностей влияния метеорологических показателей на процесс пыления и обоснования пространственного прогноза сроков его начала выполнен статистический анализ многолетних метеорологических данных 2004–2025 гг. (ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД») по 31 метеостанции, которые охватывают физико-географические районы, провинции края.

Рассчитаны даты устойчивого перехода среднесуточной температуры через пороговые значения 0 °С, +5 °С, +10 °С и +15 °С. Переход через +5 °С принят в качестве биологического минимума начала вегетации (Mahura, 2008; Recio et al., 2018; Ščevková et al., 2021; Мухаметова, 2022). Для каждой метеостанции определены средние многолетние даты наступления фаз весенне-летнего сезона и выполнена их пространственная интерполяция на территорию Алтайского края. На рисунке 9 показана карта дат устойчивого перехода среднесуточной температуры через +5 °С.

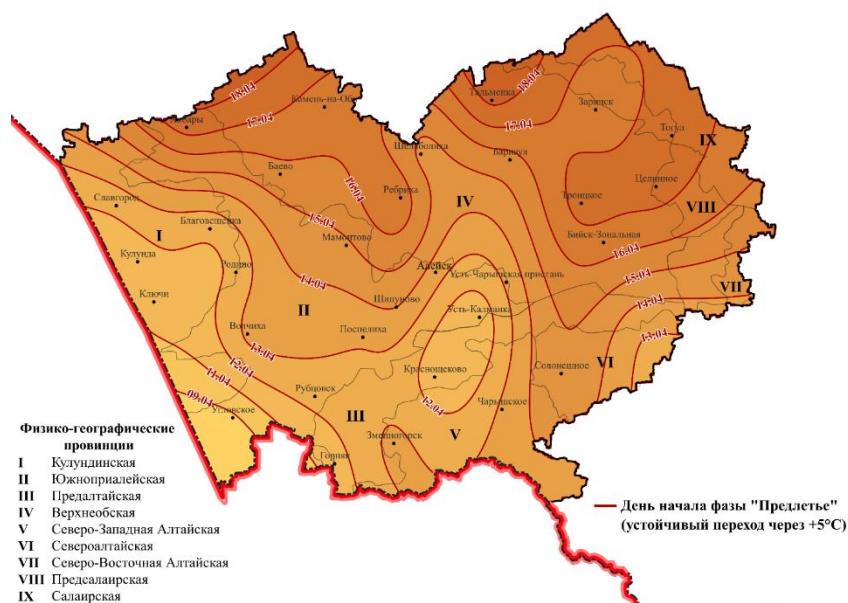


Рисунок 9 – Переход среднесуточной температуры через +5 °С на территории Алтайского края

Выявлен устойчивый пространственный градиент от юго-западных к северо-восточным районам края: на юго-западе весна наступает раньше, вегетационный период длиннее на 5 – 10 дней. Наибольшая межгодовая изменчивость характерна для дат перехода через +10 °С и +15 °С ($\sigma = 9 - 13$ дней).

Определены суммы эффективных температур ($\Sigma t > 5^\circ\text{C}$), необходимые для начала пыления каждого таксона: *Salix* spp. – 49,3 °С, *Betula* spp. – 54,6 °С, *Populus* spp. – 65,1 °С, *Acer* – 74,3 °С, *Ulmus* spp. – 175,4 °С, *Picea* spp. – 189,7 °С, *Pinus* spp. – 217,6 °С, *Tilia* spp. – 601,3 °С, *Poaceae* –

488,1 °C, *Rumex* spp. – 648,6 °C, *Plantago* spp. – 600,9 °C, *Urtica* spp. – 672,0 °C, *Artemisia* spp. – 1108,9 °C, *Chenopodiaceae* – 762,0°C. Низкие коэффициенты вариации сумм температур (CV <6% для 10 таксонов) подтверждают, что температурный показатель является ведущим в инициации пыления. Сопоставление средних дат перехода через +5 °C по метеостанциям с пороговыми суммами эффективных температур таксонов позволило рассчитать прогнозные даты начала пыления для физико-географических районов и провинций Алтайского края.

На основе стационарных наблюдений в г. Барнауле (с учётом их региональной репрезентативности), верификации СПС по ловушкам Таубера и расчёта прогнозных дат начала пыления построен усреднённый календарь пыления для Алтайского края (рис. 10).

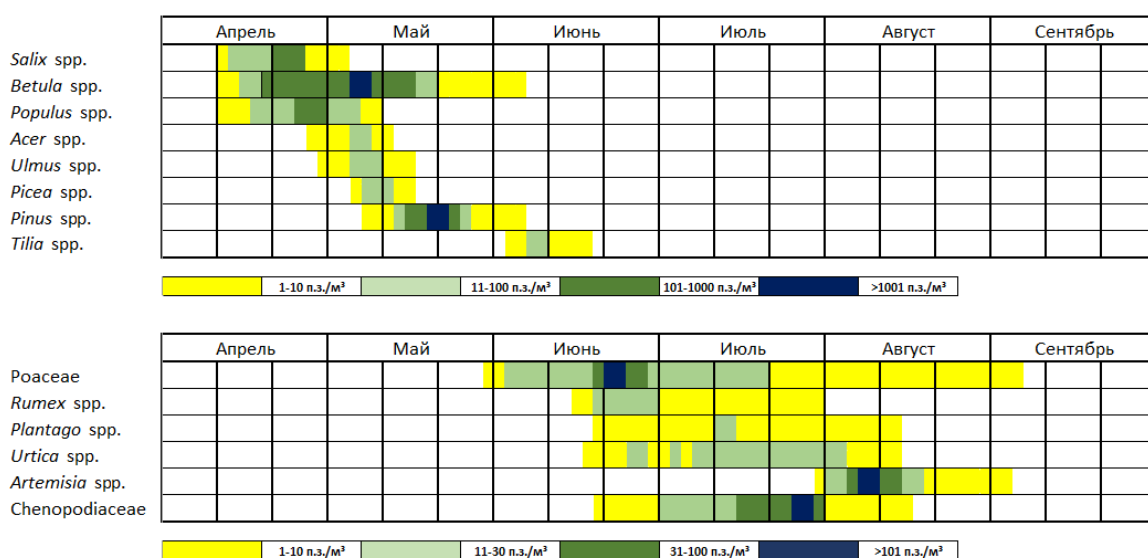


Рисунок 10 – Усредненный календарь пыления аллергенных растений на территории Алтайского края

Влияние метеорологических факторов на суточные концентрации пыльцы оценено с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r_s). Для каждого таксона в пределах ОПП рассчитаны связи со среднесуточной температурой, относительной влажностью, осадками, максимальной скоростью ветра.

Среднесуточная температура – основной положительный предиктор (0,33 – 0,68). Наиболее тесная связь – для *Betula* spp. ($r_s=0,68$), *Ulmus* spp. (0,66), *Tilia* spp. (0,68), *Artemisia* spp. (0,67). Относительная влажность воздуха – преимущественно отрицательный фактор: для *Artemisia* spp. (–0,69), *Salix* spp. (–0,44), *Ulmus* spp. (–0,50), *Tilia* spp. (–0,49). Осадки – универсальный подавляющий фактор: значимые отрицательные связи: *Ulmus* spp. (–0,61), *Urtica* spp. (–0,63), Poaceae (–0,62), *Chenopodiaceae* (–0,60), *Rumex* spp. (–0,59), *Artemisia* spp. (–0,54), *Plantago* spp. (–0,48). Максимальная скорость ветра – отрицательно коррелирует: *Pinus* spp. (–0,53) и *Tilia* spp. (–0,45). Таким образом, возрастание температуры способствует увеличению концентрации пыльцы, тогда как осадки, высокая влажность и сильный ветер её снижают.

Таким образом, выявлена трёхволновая сезонная цикличность регионального аэропаллинологического спектра Алтайского края. Установлены 14 аллергенных таксонов и их количественные характеристики пыления. Зафиксирован рост продолжительности основного периода пыления у Poaceae, *Plantago* spp. и *Urtica* spp., а также увеличение пылевой нагрузки у *Betula* spp., Poaceae и *Chenopodiaceae*.

3. Интегральная оценка аллергокомфортности, выраженная через систему нормированных коэффициентов, позволяет оценить территорию Алтайского края по уровню благоприятности условий для проживания населения и обеспечения рекреационного потенциала региона.

Автором предложена и апробирована методика оценки аллергокомфортности территории

Алтайского края. Аллергокомфортность территории – количественная интегральная характеристика уровня благоприятности условий для лиц, страдающих поллинозом, рассчитываемая на основе системы нормированных коэффициентов. Интегральный индекс аллергокомфортности (AI) вычисляется как сумма нормированных коэффициентов (1):

$$AI = \sum K = K_{АП} + K_{начала} + K_{интенсив} \quad (1)$$

Все частные коэффициенты в составе индекса приведены к безразмерной нормированной шкале от 0 до 1.

Индекс (AI) геометрически интерпретируется как расстояние Манхэттена от минимальной точки комфортности (0,0,0). Увеличение индекса соответствует росту благоприятности условий.

Для практической реализации предложенного индекса необходимо определить методику вычисления каждого из трёх нормированных коэффициентов.

Коэффициент аллергенного потенциала территории ($K_{АП}$) отражает потенциальную способность растительного покрова формировать аллергенный пылевой фон. Расчёт ($K_{АП}$) основан на учёте трёх характеристик для каждого аллергенного таксона: аллергенности, длительности пыления и площади распространения.

Для каждого i -го аллергенного таксона определяется коэффициент аллергенности растений ($K_a i$) по формуле (2):

$$K_i^a = \frac{Q_i - Q_{min}}{Q_{max} - Q_{min}} \quad (2),$$

где, Q_i – аллергенная значимость i -го таксона по шкале OPALS (Ogren, 2000); Q_{max} , Q_{min} – максимальное и минимальное значение аллергенности среди 14 рассматриваемых аллергенных таксонов Алтайского края.

Для каждого i -го таксона рассчитывается коэффициент длительности пыления (K^D_i) по формуле (3):

$$K_i^D = \frac{T_{пыления i} - T_{пыления min}}{T_{пыления max} - T_{пыления min}} \quad (3),$$

где, $T_{пыления i}$ – средняя многолетняя продолжительность ОПП i -го таксона в днях; $T_{пыления max}$, $T_{пыления min}$ – максимальная и минимальная продолжительность ОПП среди 14 рассматриваемых аллергенных таксонов Алтайского края. Значение K^D_i равное 1 соответствует максимальной продолжительности ОПП, что увеличивает аллергенную нагрузку.

Для каждого аллергенного таксона (i) и каждого типа растительности (j), в котором этот таксон встречается, рассчитывается локальный алергодинамический коэффициент ($K^{ад}_{ij}$) как произведение двух нормированных величин по формуле (4):

$$K_i^{ад} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \frac{K_{ij}^a}{K_{i max}^a} \times \frac{K_{ij}^D}{K_{i max}^D} \quad (4),$$

где, K_{ij}^a коэффициент аллергенности i -го таксона в j -м типе растительности, $K_{i max}^a$ – максимальное значение аллергенности для данного i -го таксона, K_{ij}^D коэффициент длительности пыления i -го таксона в j -м типе растительности, $K_{i max}^D$ – максимальная длительность пыления для данного i -го таксона, n_i – число i -х таксонов в j -м типе растительности. Данное произведение показывает относительный вклад таксона в аллергенную нагрузку в конкретном типе растительности. Значение лежит в интервале $[0; 1]$.

Итоговое значение аллергенного потенциала территории ($K_{АП}$) рассчитывается по формуле (5):

$$K_{\text{АП}} = 1 - \frac{\sum_{j=1}^i S_i \times K_i^{\text{Ад}}}{\sum_{j=1}^i S_i} \quad (5),$$

где, S_i – площадь, занимаемая i -м таксоном на оцениваемой территории (км^2 или доля от площади). Суммирование ведется по всем аллергенным таксонам.

$K_{\text{АП}}$ нормирован в диапазоне от 0 до 1 и приведён к логике аллергокомфортности: при увеличении потенциальной аллергенной активности таксонов уровень аллергокомфортности снижается.

Коэффициент начала пыления ($K_{\text{начала } i}$) отражает влияние сроков начала пыления аллергенных таксонов. Более раннее начало пыления приводит к увеличению продолжительности контакта с аллергенами и снижению аллергокомфортности.

Для каждого i -го аллергенного таксона на основе многолетних данных аэропалинологического мониторинга определены прогнозные даты начала пыления (в днях от начала года) для физико-географических районов и провинций Алтайского края, затем вычисляется нормированный коэффициент $K_{\text{начала } i}$ по формуле (6):

$$K_{\text{начала } i} = 1 - \frac{D_{\text{max}} - D_i}{D_{\text{max}} - D_{\text{min}}} \quad (6),$$

где, D_i – средняя дата начала пыления i -го таксона на данной территории, D_{min} – самая ранняя дата начала пыления среди всех рассматриваемых таксонов (соответствует минимальному дню в году), D_{max} – самая поздняя дата начала пыления среди всех рассматриваемых таксонов (соответствует максимальному дню в году).

Для оценки территории необходимо учесть вклад каждого таксона в растительный покров. В данной работе применяется взвешенное по площади усреднение, аналогичное расчёту $K_{\text{АП}}$. Коэффициент $K_{\text{начала}}$ для территории рассчитывается по формуле (7):

$$K_{\text{начала}} = \sum_{i=1}^n w_i \times K_{\text{начала } i} \quad (7),$$

где, n – число аллергенных таксонов, присутствующих на территории, $K_{\text{начала } i}$ – коэффициент начала пыления i -го таксона, w_i – вес участия i -го таксона в растительном покрове, определяемый как доля площади, занятой данным таксоном, от общей площади территории $\sum w_i = 1$. Значение $K_{\text{начала}}$ также находится в интервале $[0; 1]$.

Коэффициент интенсивности пыления ($K_{\text{интенсив } i}$) рассчитывается на основе сезонных суммарных концентраций пыльцы аллергенных таксонов. Нормирование проводится отдельно для древесных и травянистых растений в соответствии с методическими рекомендациями (Мейер-Меликян, 1999) расчет проводился по формуле (8):

$$K_{\text{интенсив } i} = \frac{C_i}{C_{\text{max}}} \quad (8),$$

где, C_i – сезонная концентрация пыльцы i -го таксона, C_{max} – максимальная концентрация среди всех таксонов (в пределах группы – древесных, травянистых).

Для получения коэффициента интенсивности для территории физико-географического района, провинции $K_{\text{интенсив}}$ рассчитывается с учетом доли таксонов в растительном покрове и поправочного коэффициента антропогенной трансформации (9):

$$K_{\text{интенсив}} = 1 - \left(\left(\sum_{i=1}^n w_i \times K_{\text{интенсив } i} \right) \times K_{\text{антр}} \right) \quad (9),$$

где, n_i – число аллергенных таксонов; $K_{интенсив i}$ – коэффициент интенсивности i -го таксона ($0 - 1$); w_i – вес участия i -го таксона в растительном покрове (доля площади, занятая i -м таксоном), $K_{антр}$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние антропогенной трансформации территории.

Введение $K_{антр}$ обусловлено тем, что на территориях с высокой долей сельскохозяйственных угодий и селитебных и инфраструктурных объектов снижается видовое разнообразие, доминирует рудеральная растительность – источник высоких концентраций пыльцы (Дикарева и др., 2023; Bernard-Verdier et al., 2022; Daelemans et al., 2025; Hrabovský et al., 2025). Ввиду отсутствия прямых количественных данных о влиянии трансформации на интенсивность пыления используется поправочный коэффициент, рассчитанный по экспоненциальной зависимости: $K_{антр} = e^{S_{преобр}}$, где $S_{преобр}$ – доля преобразованных земель от общей площади физико-географического района, провинции; $e = 2,718$ – основание натурального логарифма.

На основе выполненных расчетов проведена дифференциация территории по аллергокомфортности в пределах физико-географических районов и провинций Алтайского края (табл. 1).

Таблица 1 – Суммарная оценка аллергокомфортности физико-географических районов, провинций Алтайского края

Физико-географическое районирование Алтайского края (Ландшафтная карта ИВЭП СО РАН, 2016)			$K_{АП}$	$K_{начала}$	$K_{интенсив}$	Индекс аллергокомфортности AI
Страна	Провинция	Районы				
Западно-Сибирская равнинная	Кулундинская	Шарбакинский	0,32	0,43	0,54	1,29
		Кулундинский	0,48	0,40	0,38	1,26
		Нижнебурлинский	0,44	0,48	0,39	1,32
		Нижнекулундинский	0,38	0,59	0,22	1,20
	Южноприалейская	Бель-Агачский	0,49	0,47	0,40	1,37
		Знаменский	0,48	0,62	0,30	1,39
		Среднеалейский	0,47	0,50	0,29	1,26
		Алейский	0,45	0,49	0,39	1,32
	Предалтайская	Кировский	0,53	0,32	0,56	1,41
		Западнопредалтайский	0,43	0,49	0,40	1,32
		Восточнопредалтайский	0,40	0,58	0,61	1,59
		Красногорский	0,47	0,59	0,61	1,67
	Верхнеобская	Приобский	0,56	0,49	0,53	1,58
		Верхнеобский	0,57	0,43	0,55	1,55
		Чумышский	0,48	0,54	0,50	1,52
Алтае-Саянская горная	Северо-Западная Алтайская	-	0,53	0,50	0,62	1,65
	Североалтайская	-	0,53	0,62	0,52	1,67
	Северо-Восточная Алтайская	-	0,52	0,49	0,67	1,68
	Предсалаирская	-	0,58	0,54	0,61	1,73
	Салаирская	-	0,76	0,38	0,75	1,90

Итоговые значения индекса аллергокомфортности (AI) варьируют в пределах от 1,20 до 1,90, что отражает неоднородность условий формирования пыльцевой нагрузки. Анализ

расчетных данных позволяет выделить три группы территорий, различающихся по уровню аллергокомфортности.

К группе с низкими значениями ($AI < 1,43$) отнесено большинство районов равнинной части края: Шарбактинский (1,29), Кулундинский (1,26), Нижнебурлинский (1,32), Нижнекулундинский (1,20), Бель-Агачский (1,37), Знаменский (1,39), Среднеалейский (1,26), Алейский (1,32), Западнопредалтайский (1,32), а также Кировский (1,41). Для данной группы характерна вариативность значений отдельных коэффициентов при относительно узком диапазоне итогового индекса. Ограничивающим фактором выступает коэффициент интенсивности пыления.

Средний уровень аллергокомфортности ($AI = 1,43–1,66$) характерен для Чумышского (1,52), Верхнеобского (1,55), Приобского (1,58), Восточнопредалтайского (1,59) районов, а также Северо-Западной Алтайской провинции (1,65). В пределах данной группы значения коэффициентов сбалансированы и не имеют резких отклонений, что обеспечивает средний уровень индекса.

К группе с высокими значениями индекса ($AI > 1,66$) относятся Красногорский район (1,67) и горные провинции Алтае-Саянской области: Североалтайская (1,67), Северо-Восточная Алтайская (1,68), Предсалаирская (1,73) и Салаирская (1,90). Для данных территорий характерно увеличение вклада интенсивности пыления при сохранении коэффициентов аллергенного потенциала и начала пыления в умеренном диапазоне.

Минимальное значение индекса аллергокомфортности зафиксировано в Нижнекулундинском районе (1,20) и обусловлено сочетанием пониженных значений коэффициента аллергенного потенциала (0,38) и особенно коэффициента интенсивности пыления (0,22). Максимальное значение (1,90), отмеченное в Салаирской провинции, формируется при одновременном увеличении коэффициента аллергенного потенциала (0,76) и коэффициента интенсивности пыления (0,75).

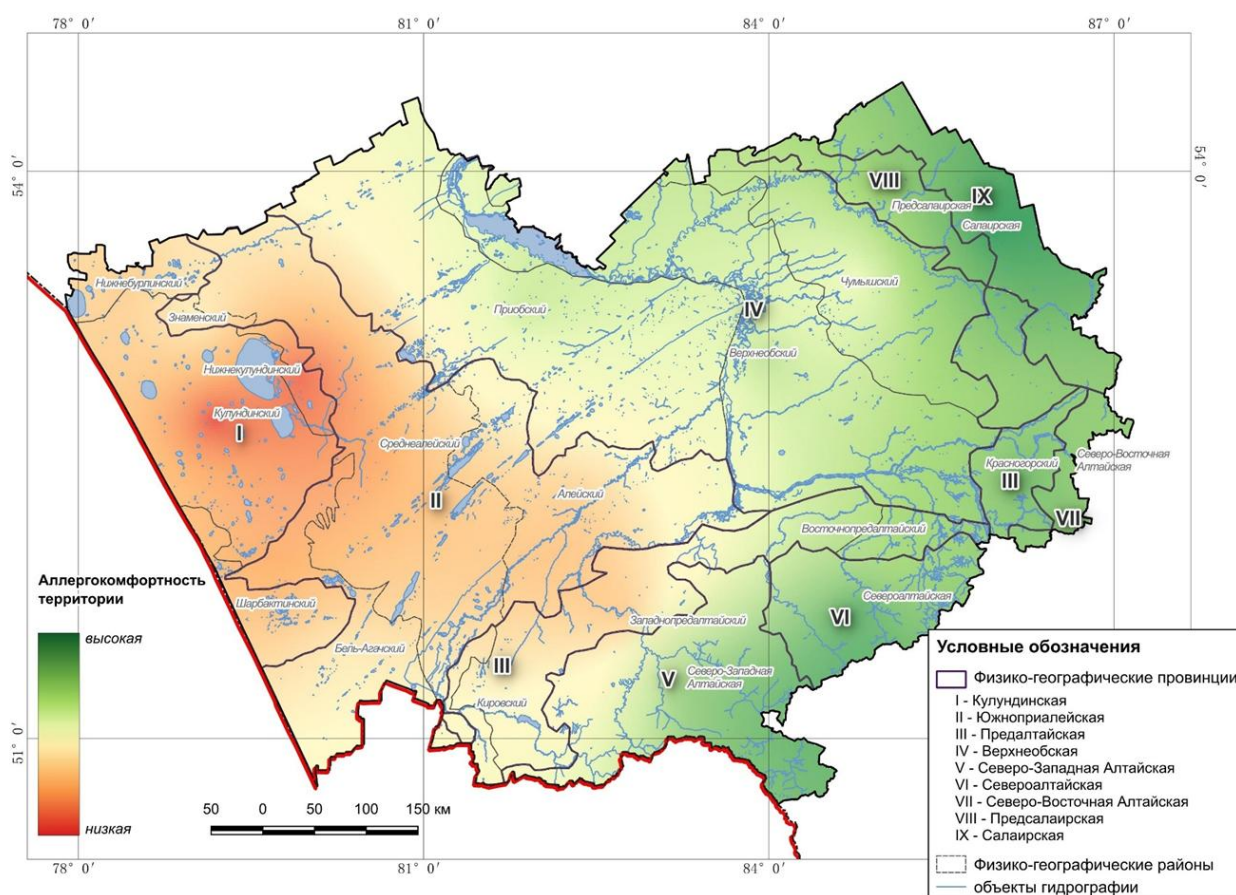


Рисунок 11 – Карта аллергокомфортности территории Алтайского края

Таким образом, анализ пространственного распределения индекса аллергокомфортности (АІ) выявляет дифференциацию территории Алтайского края по уровню аллергокомфортности (рис. 11).

Для учёта временной динамики проанализированы три волны пыления, отражающие смену палиноиндикаторов и перераспределение нагрузки по территории.

Первая волна связана с массовым пылением древесных таксонов (ива, береза, тополь, клен, вяз) (рис. 12). Благодаря их широкому распространению пространственная дифференциация слабая, территория характеризуется низким и средним уровнем аллергокомфортности. У большинства таксонов ОПП 10–12 дней, исключение составляет береза, отличающаяся пролонгированным периодом пыления.

Во второй волне доминирование переходит к сосне (*Pinus* spp.) и злакам (Poaceae) (рис. 13). Наблюдается пространственная дифференциация: в степных и лесостепных районах с высокой долей открытых пространств формируются очаги низкой аллергокомфортности. В предгорьях (Салаирская, Предсалаирская, Северо-Восточная Алтайская провинции) преобладают аллергенные таксоны хвойных пород, обладающие низкими значениями аллергенности, интенсивности и длительности пыления, а площадь открытого травянистого покрова невелика. Напротив, злаки, доминирующие на открытых участках, характеризуются максимальными показателями аллергенности и интенсивности пыления.

Третья волна пыления характеризуется доминированием травянистых аллергенных таксонов – злаков (Poaceae), полыни (*Artemisia* spp.), маревых (Chenopodiaceae), обладающих максимальной аллергенностью и высокой интенсивностью пыления (рис. 14). Другие травянистые таксоны (*Rumex* spp., *Plantago* spp., *Urtica* spp.) имеют умеренные аллергенные характеристики и создают локальные пики аллергенной нагрузки. Аллергокомфортность снижается в степной зоне, в предгорьях с преобладанием древесной растительности

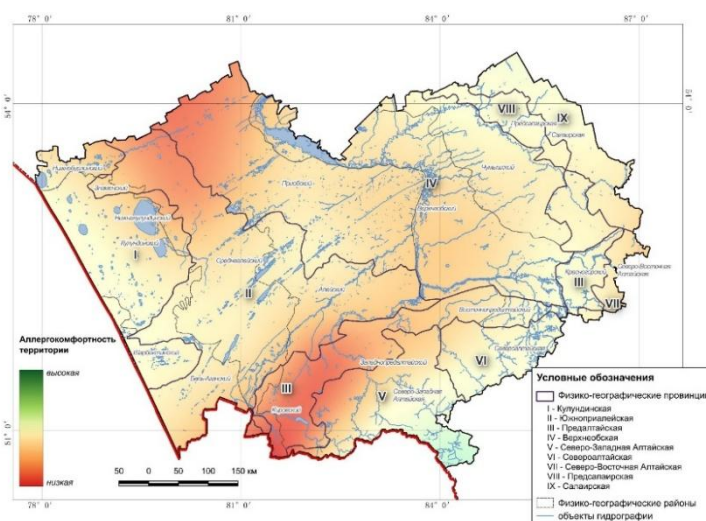


Рисунок 12 – Аллергокомфортность территории в I волну пыления

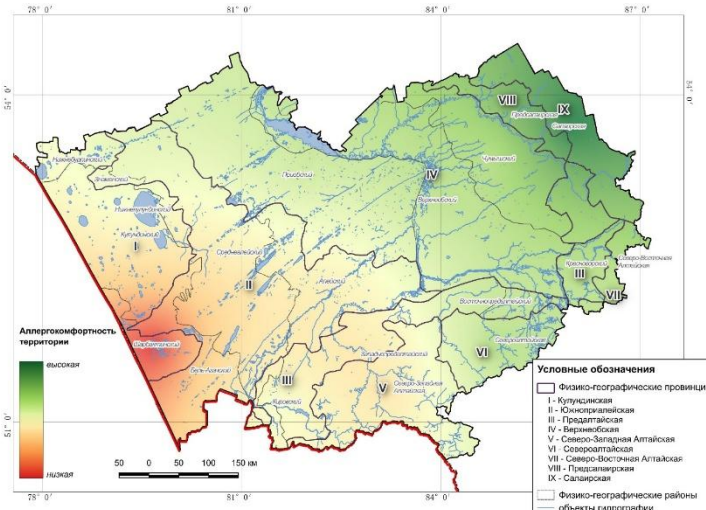


Рисунок 13 – Аллергокомфортность территории во II волну пыления

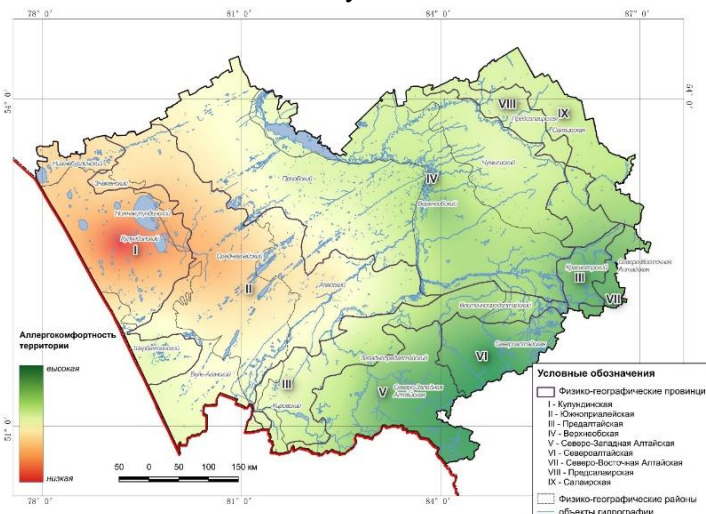


Рисунок 14 – Аллергокомфортность территории в III волну пыления

она относительно повышается. Лесостепь занимает промежуточное положение.

Разработанная автором методика впервые обеспечивает количественное ранжирование территории Алтайского края по уровню аллергокомфортности с учетом пространственной и сезонной динамики пыльцевой нагрузки. Полученные результаты формируют основу для практико-ориентированных рекомендаций по снижению аэроаллергенной нагрузки, что способствует улучшению условий проживания населения и реализации рекреационного потенциала края. Предложенная модель оптимизации управленческих мероприятий (рис. 15) включает три блока: научное обоснование, управленческие механизмы, целевые группы (Стребкова и др., 2026).

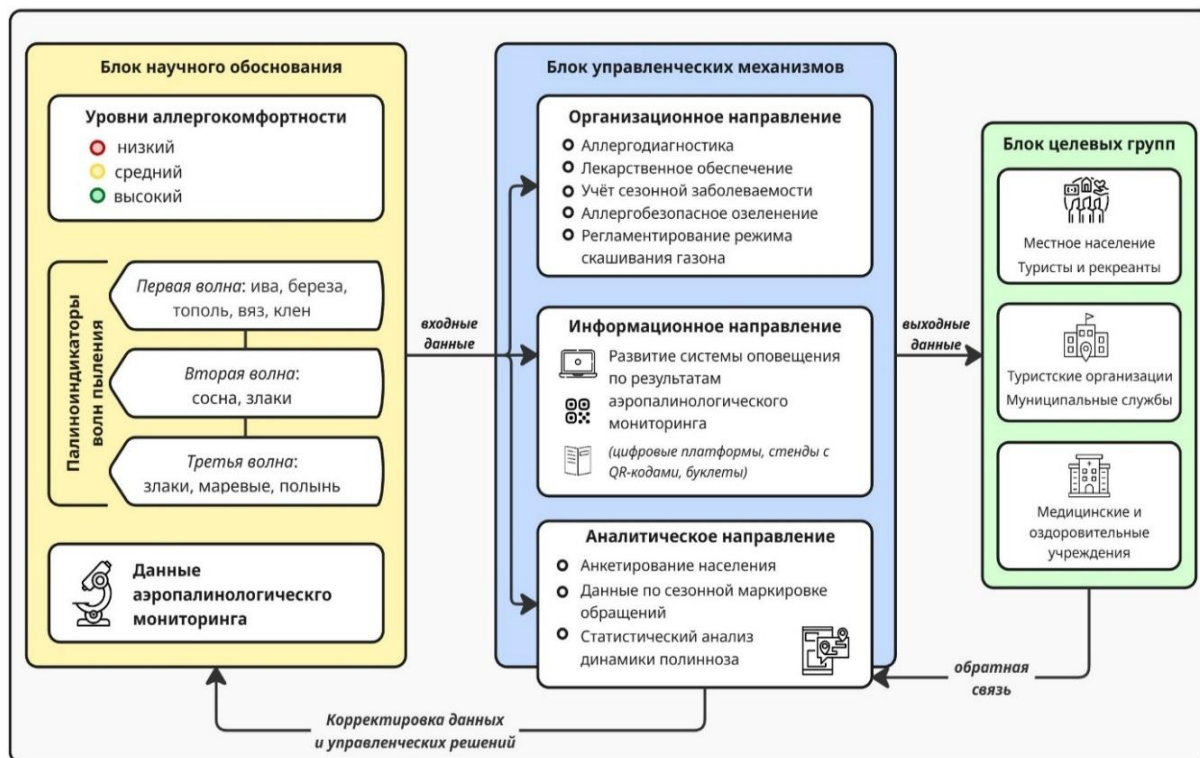


Рисунок 15 – Модель оптимизации управленческих мероприятий по снижению аэроаллергенной нагрузки

Блок научного обоснования опирается на данные аэропаллинологического мониторинга, выделенные уровни аллергокомфортности и три волны пыления с соответствующими палиноиндикаторами.

Блок управленческих механизмов объединяет три направления:

1. Организационное направление включает превентивную аллергодиагностику, сезонное планирование лекарственного обеспечения (антигистаминные препараты II поколения), формирование сезонных резервов препаратов в медицинских и аптечных организациях. Рекомендовано внедрение в медицинских организациях в период с 1 апреля по 30 сентября специальной маркировки случаев «сезонное обострение поллиноза» для отслеживания динамики обращаемости и уточнения уровней аллергокомфортности. Долгосрочный фактор – аллергобезопасное озеленение: замена аллергенных видов на энтомофильные растения (яблоня, рябина, черемуха, сирень), замена злаковых газонных смесей на почвопокровные многолетники, расширение присутствия хвойных таксонов. Регламентация скашивания газонов в период второй и третьей волн пыления (не реже 1 раза в 10–14 дней).

2. Информационное направление базируется на развитии регионального аэропаллинологического мониторинга с охватом 14 аллергенных таксонов, выявленных в исследовании. Данные мониторинга интегрируются в цифровые платформы и представляются на информационных стендах туристских маршрутов (в т.ч. с использованием QR-кодов). Для

санаторно-курортных учреждений разрабатываются персонализированные рекомендации по выбору времени и маршрутов прогулок, проводятся обучающие семинары для персонала.

3. Аналитическое направление и обратная связь реализуются через ежегодное анкетирование населения и отдыхающих (многоканальная стратегия: медицинские организации, аптечные сети, рекреационные зоны). Цели анкетирования: оценка фактической распространенности симптомов поллиноза, верификация волн пыления, выявление перекрестной пищевой аллергии, оценка информированности населения. Приоритет мероприятий дифференцируется по уровням аллергокомфортности (низкий, средний, высокий).

Блок целевых групп включает местное население, туристов, туристские организации, муниципальные службы, медицинские и оздоровительные учреждения, обеспечивая обратную связь для корректировки управленческих решений. Разработанная модель акцентирует необходимость адаптивного управления, способного реагировать на пространственно-временную динамику аллергенного пыльцевого фона и обеспечивать превентивную профилактику поллиноза.

Таким образом, интегральная оценка аллергокомфортности на основе разработанного индекса AI дифференцирует территорию Алтайского края на три группы: с низким, средним и высоким уровнем аллергокомфортности. Высокий уровень аллергокомфортности характерен для предгорных и горных провинций, низкий – для равнинных степных физико-географических районов. Пространственная дифференциация служит основой для оптимизации управленческих мероприятий по снижению аэроаллергенной нагрузки и повышению рекреационного потенциала региона.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработан комплексный подход к оценке аэропалинологической обстановки среды обитания, базирующийся на одновременном учёте природных (структура растительного покрова, климат, фенология) и антропогенных (загрязнение, трансформация ландшафтов, интродукция видов) факторов. Интеграция данных стационарного волюметрического мониторинга (г. Барнаул, 2004–2025 гг.), полевых седиментационных исследований (57 ловушек Таубера на 19 модельных участках), метеорологических наблюдений (31 станция) и дешифрирования спутниковых снимков Sentinel-2 позволяет выявить видовой состав и пространственно-временную динамику пыльцевых спектров, что служит основой для количественной оценки аллергокомфортности территории.

2. Региональный аэропалинологический спектр Алтайского края подчинён трёхволновой сезонной цикличности. Выделены три последовательные волны пыления: первая волна (палиноиндикаторы – п.з. *Salix* spp., *Betula* spp., *Populus* spp., *Acer* spp., *Ulmus* spp.), вторая волна (п.з. *Pinus* spp. и *Roaceae*), третья волна (п.з. *Roaceae*, *Chenopodiaceae*, *Artemisia* spp.). Качественный и количественный состав спектра детерминирован региональной растительностью, что подтверждено анализом рецентных спектров на 19 модельных участках. Для 14 аллергенных таксонов определены средние даты начала, продолжительность основного периода пыления (ОПП), максимальные суточные и суммарные сезонные концентрации пыльцевых зёрен. Зафиксирован рост продолжительности ОПП у *Roaceae* (с 21–32 до 50–73 дней), *Plantago* spp. (с 11–26 до 52–72) и *Urtica* spp. (с 14–27 до 46–60), а также увеличение максимальных суточных и суммарных концентраций у *Betula* spp., *Roaceae* и *Chenopodiaceae*.

3. Разработана и апробирована методика интегральной оценки аллергокомфортности территории Алтайского края. Интегральный индекс AI вычисляется как сумма трех нормированных коэффициентов: аллергенного потенциала территории ($K_{АП}$), начала пыления ($K_{начала}$) и интенсивности пыления ($K_{интенсив}$). Значения варьируют $K_{АП}$ от 0,32 до 0,76; $K_{начала}$ от 0,32 до 0,62; $K_{интенсив}$ от 0,22 до 0,75. На основе расчета индекса выделены три группы территорий: с низким ($AI < 1,43$), средним ($AI = 1,43–1,66$) и высоким ($AI > 1,66$) уровнем аллергокомфортности. Наиболее благоприятные условия характерны для Салаирской ($AI = 1,90$) Предсалаирской ($AI = 1,73$) провинций, наименее благоприятные – для Нижнекулундинского ($AI = 1,20$), Кулундинского ($AI = 1,26$) физико-географических районов.

4. Предложена модель оптимизации управленческих мероприятий по снижению аэроаллергенной нагрузки, базирующаяся на дифференциации территории по уровню

аллергокомфортности. Модель включает три блока: научное обоснование (данные аэропалинологического мониторинга, волны пыления, палиноиндикаторы), управленческие механизмы (организационные, информационные, аналитические) и целевые группы. Реализация модели направлена на повышение рекреационной привлекательности региона и качества среды обитания для лиц, страдающих поллинозом.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи, опубликованные в журналах из перечня ВАК:

1. **Стребкова А. С.**, Карманова М. В., Ненашева Г. И. Характеристика фаз весенне-летнего сезона года на примере территории Алтайского края // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2025. – № 4 (228). – С. 103–111.
2. **Стребкова А. С.** Аллергокомфортность санаторно-курортных зон Алтайского края // Проблемы региональной экологии. – 2026. – № 2. – С. 55–59.
3. **Стребкова А. С.**, Ненашева Г. И., Карманова М. В. Результаты аэропалинологического мониторинга города Барнаула за 2025 год // Успехи современного естествознания. – 2026. – № 4. – С. 42–49.
4. **Стребкова А. С.**, Ненашева Г. И., Антюфеева Т. В. Оценка аллергокомфортности и рекомендации по снижению аэроаллергенной нагрузки на территорию (на примере Алтайского края) [Электронный ресурс] // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. – 2026. – № 2 (86). – Номер статьи: 8602. – URL: <https://eee-region.ru/article/8602/> (дата обращения 20.07.2026).

Свидетельства о государственной регистрации баз данных:

5. База данных «Перечень таксонов аллергенных растений и пыльцевых спектров по санаторно-курортным зонам Алтайского края» / Г. И. Ненашева, Ю. В. Козырева, С. С. Слажнева, А. С. **Стребкова**, А. Е. Минакова ; правообладатель ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет». – Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025624566 Российская Федерация ; опубл. 20.10.2025.
6. База данных «Аэропалинологические спектры воздушной составляющей г. Барнаул за 2004-2024 гг.» / Г. И. Ненашева, А. С. **Стребкова**, А. Е. Минакова ; правообладатель ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет». – Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025625130 Российская Федерация ; опубл. 13.11.2025.
7. База данных «Температурно-временные и феноиндикационные характеристики весенне-летнего сезона» / Г. И. Ненашева, А. С. **Стребкова**, М. В. Карманова ; правообладатель ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет». – Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025625633 Российская Федерация ; опубл. 02.12.2025.

Материалы докладов и статьи, опубликованные в других изданиях:

8. **Стребкова А. С.**, Ненашева Г. И., Козырева Ю. В. Временные характеристики весенне-летнего сезона года в городе Барнауле // Географические исследования Сибири и Алтае-Саянского трансграничного региона : сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.г.н., профессора В. С. Ревякина (26 марта 2025 г., Барнаул) / Алт. гос. ун-т. – Барнаул : Изд-во Алт. ун-та, 2025. – С. 395–400.
9. Ненашева Г. И., Козырева Ю. В., **Стребкова А. С.** Аэропалинологические аспекты в планировании туристических маршрутов // Славяно-тюркский мир на пространстве Большого Алтая: история и современность: Материалы IV Международного алтаистического форума (Барнаул, 14-17 сентября 2025 г.) / под ред. С. Н. Бочарова. – Барнаул : Изд-во Алт. гос. ун-та, 2025. – С. 297–300.
10. Карманова М. В., Ненашева Г. И., **Стребкова А. С.** Результаты расчетов показателей перехода средней суточной температуры воздуха через 0°C в Алтайском крае за 2004-2024 гг. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь : сб. материалов XXI Междунар. науч. конгр. (Новосибирск, 21–22 мая 2025 г.). В 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2025. – № 2. – С. 100–105.

Формат 60*84/16. Бумага офсетная.
Ус.- печ. л. 1,33. Тираж 90 экз. Заказ № 102.

Типография «Текст»,
656015, г. Барнаул, пр. Строителей, 11