

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ С.А. ЕСЕНИНА»

*На правах рукописи*



УДК: 581.6

**Карасева Вера Сергеевна**

**Профиль аэропалинологического спектра г. Рязани**

1.5.9. – Ботаника

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Научный руководитель:  
кандидат биологических наук, доцент  
Селезнева Юлия Михайловна

Рязань 2025

## Оглавление

|                                                                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>                                                                                                                                              | <b>4</b>  |
| <b>ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АЭРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>                                                                    | <b>10</b> |
| 1.1. История развития аэробиологических исследований .....                                                                                                        | 10        |
| 1.2. Аэробиологические исследования в г. Рязани.....                                                                                                              | 28        |
| 1.3. Аллергенные свойства пыльцы и её пороговые концентрации.....                                                                                                 | 33        |
| 1.4. Влияние климатических изменений на пыление растений. Анализ<br>долговременных трендов.....                                                                   | 45        |
| 1.5. Моделирование и прогнозирование состава аэробиологического<br>спектра.....                                                                                   | 52        |
| 1.6. Амброзия как инвазионный источник аллергенной пыльцы.....                                                                                                    | 62        |
| 1.7. Злаки как одна из причин поллинозов в мире.....                                                                                                              | 69        |
| <b>ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>                                                                                                             | <b>77</b> |
| 2.1. Методика проведения аэробиологических исследований.....                                                                                                      | 77        |
| 2.2. Методы детализации кривых пыления злаков.....                                                                                                                | 79        |
| 2.2.1. Изучение морфологии пыльцы злаков.....                                                                                                                     | 79        |
| 2.2.2. Детализация кривых пыления злаков на основе фенологических<br>наблюдений.....                                                                              | 80        |
| 2.2.3. Детализация кривых пыления злаков с использованием молекулярных<br>методов (меташтрихкодирование).....                                                     | 83        |
| 2.3. Методика проведения фенологических наблюдений за амброзией.....                                                                                              | 85        |
| 2.4. Методика оценки аллергологической значимости основных таксонов<br>аэропалинологического спектра с помощью анализа поисковых запросов в сети<br>Интернет..... | 85        |
| <b>ГЛАВА 3. СОСТАВ АЭРОПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО СПЕКТРА Г.<br/>РЯЗАНИ.....</b>                                                                                           | <b>87</b> |
| 3.1. Качественный и количественный состав аэропалинологического<br>спектра.....                                                                                   | 87        |

|                                                                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2. Анализ сезонной ритмики пыления основных аллергенных таксонов аэропалинологического спектра.....                                   | 92         |
| 3.3. Анализ суточной ритмики пыления амброзии в г. Рязани.....                                                                          | 109        |
| <b>ГЛАВА 4. ПЫЛЬЦЕВАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЫЛЬЦЕВОГО СПЕКТРА ЗЛАКОВ.....</b>                                   | <b>116</b> |
| 4.1. Морфология пыльцы злаков.....                                                                                                      | 117        |
| 4.2. Пыльцевая продуктивность некоторых видов злаков.....                                                                               | 120        |
| 4.3. Сопоставление аэробиологических и фенологических наблюдений .....                                                                  | 123        |
| 4.4. Детализация кривых пыления злаков на основе фенологических наблюдений.....                                                         | 126        |
| 4.5. Детализация кривых пыления злаков методом меташтрихкодирования.....                                                                | 129        |
| <b>ГЛАВА 5. ОЦЕНКА АЛЛЕРГОЛОГИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ ОСНОВНЫХ ТАКСОНОВ СПЕКТРА С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА ПОИСКОВЫХ ЗАПРОСОВ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ.....</b> | <b>134</b> |
| <b>ВЫВОДЫ.....</b>                                                                                                                      | <b>138</b> |
| <b>Список литературы.....</b>                                                                                                           | <b>140</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>                                                                                                                  | <b>186</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В последние десятилетия во всем мире отмечается резкий рост распространенности аллергических заболеваний, что ставит эту проблему в число наиболее актуальных, после онкологии и сердечно-сосудистых заболеваний (Абдукаюмов, 2020; Ахмедова и др., 2023 (а); Ахмедова и др., 2023 (б)). По данным Всемирной организации здравоохранения, к 2050 г. каждый второй житель нашей планеты будет страдать от аллергических заболеваний (Dbouk, 2022). Одним из наиболее распространенных проявлений аллергии в мире на сегодняшний день является поллиноз (Горячкина, 2012; Lake, 2017; Мигачёва, 2022). Для больных, страдающих пыльцевой аллергией, и лечащих их врачей крайне необходимы данные аэропалинологического мониторинга, позволяющие планировать превентивную терапию, а в сезон пыления – корректировать прием лекарств, диету и образ жизни в целом. Такая информация должна быть ежедневной и легкодоступной.

Подсчет количества пыльцы уже более 50 лет используется для оценки воздействия аллергенов как в медицинской практике, так и в клинических и экспериментальных исследованиях (Allergenic pollen, 2013). В связи с лавинообразным ростом числа аллергических заболеваний в последние годы наблюдается и рост числа станций мониторинга. На сегодняшний день наиболее аэропалинологически изученными во всем мире остаются регионы Европы. В России число постоянно функционирующих станций меняется из года в год. Самые длительные непрерывные ряды наблюдений получены на станциях в Москве и Рязани.

Всё вышесказанное определило рамки нашего диссертационного исследования, посвященного мониторингу аэропалинологических спектров г. Рязани, который позволяет определить точную концентрацию пыльцевых зёрен в атмосфере. Аэробиологические наблюдения на территории региона были начаты в 2007 г. Ю.М. Селезневой (Посевиной). На основании наблюдений Юлии Михайловны был построен первый качественный календарь пыления для

г. Рязани. В период с 2007 по 2014 гг. при проведении исследований использовался гравиметрический метод отбора проб, который не позволяет охарактеризовать спектр количественно. Начиная с 2015 г., пылевой мониторинг в г. Рязани проводится с использованием волюметрического пылеуловителя, позволившего впервые получить и представить количественные данные.

**Цель исследования** – провести качественный и количественный анализ состава аэропалинологического спектра г. Рязани.

**Задачи исследования:**

1. Составить усредненный календарь пыления для г. Рязани на основе волюметрических данных за 2015-2023 гг.;
2. Провести анализ динамики пыления основных аллергенных таксонов аэропалинологического спектра г. Рязани;
3. Детализировать кривые пыления злаков на основе данных об их пылевой продуктивности, распространении и фенологии, а также методом меташтрихкодирования;
4. Выявить происхождение пыльцы *Ambrosia* в составе аэробиологического спектра г. Рязани и проанализировать почасовую ритмику пыления *Ambrosia artemisiifolia*;
5. Провести оценку аллергологической значимости основных таксонов аэропалинологического спектра с помощью анализа поисковых запросов в сети Интернет.

**Научная новизна.** Впервые за девять лет наблюдений (2015-2023 гг.) в г. Рязани проведены аэропалинологические исследования с помощью волюметрического пылеуловителя, определен количественный состав аэропалинологического спектра и разработан усредненный календарь пыления за 2015-2023 гг. В работе проанализирована динамика пыления основных аллергенных таксонов аэропалинологического спектра г. Рязани (*Alnus*, *Betula*, *Poaceae*, *Artemisia*, *Ambrosia*). Впервые проведен расчет пылевой продуктивности наиболее широко распространенных видов *Poaceae*

как основных аллергенов летнего периода; детализированы кривые пыления Poaceae, выявлены виды злаков г. Рязани и периоды их пыления, наиболее опасные для аллергиков. Впервые проанализировано происхождение пыльцы *Ambrosia* в составе аэриобиологического спектра региона и выявлена почасовая ритмика пыления *Ambrosia artemisiifolia*.

**Теоретическая и практическая значимость.** Выявленные долговременные тренды могут дополнить данные, подтверждающие влияние глобального потепления на особенности пыления основных таксонов пыльцевого спектра. Предложенная (модифицированная) методика расчета пыльцевой продуктивности злаков и установленные значения этого показателя для отдельных видов могут использоваться при дешифровке кривых пыления Poaceae в других регионах. Установлено, что высокая концентрация пыльцы *Ambrosia* в воздухе г. Рязани в основном связана с локальным происхождением. Результаты текущего мониторинга на протяжении всего периода исследования размещались в открытом доступе на аллергологическом портале «Аллерготоп» (<https://allergotop.com/about>). Данные пыльцевого мониторинга помогали информировать пациентов и врачей-аллергологов об изменениях пыльцевого фона в г. Рязани.

**Методология и методы исследования.** Аэриобиологический мониторинг проводился по стандартной международной методике (Gala'n et al., 2014) с помощью волюметрического пыльцеуловителя Lanzoni-VPPS 2000 и (или) Lanzoni-VPPS 2010. Образцы воздуха анализировались методом световой микроскопии, всего было исследовано 1892 препарата. Для детализации кривых пыления злаков использовались фенологические наблюдения и молекулярно-генетические методы. Меташтрихкодирование было выполнено на биологическом факультете ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова» с использованием маркерных регионов ITS1 и ITS2 (данные по дешифровке кривых пыления злаков методом меташтрихкодирования предоставлялись А.А. Криницыной, А.С. Касьяновым и Д.О. Омельченко). Фенологические наблюдения за амброзией проводились на экспериментальном участке,

расположенном на Биостанции РГУ имени С.А. Есенина. Для сопоставления аэробιοлогическιх и аллєргологическιх данных в 2022-2023 гг. использовался сервис «Яндекс Вордстат».

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Начало, продолжительность и интенсивность пыления основных аллєргенных растений в г. Рязани значительно варьировали на протяжении последних 9 лет. Значимое увеличение пыльцевой продукции характерно только для *Betula*;

2. Для оценки вклада разных видов злаков в состав аэробιοлогическοго спектра г. Рязани и определения последовательности их пыления могут быть использованы молекулярные методы (меташтрихкодирование) и фенологический индекс, однако их применение имеет ряд ограничений. Для Рязани наиболее опасными с аллєргологической точки зрения следует считать *Festuca pratensis*, *Dactylis glomerata* и *Phleum pratense*;

3. В составе воздушного спектра г. Рязани ежегодно отмечается пыльца *Ambrosia*, содержание которой варьирует из года в год. Высокая концентрация пыльцы в воздухе связана с локальным пылением амброзии.

**Степень достоверности и апробация результатов исследования.** Основные результаты работы апробированы на всероссийских и международных конференциях: Всероссийской конференции студентов и молодых ученых с международным участием (Рязань, 2017), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Москва, Ботанический сад биологического факультета МГУ, 2022 г.), Международном молодежном научном форуме «Ломоносов-2022» (Москва, 2022), XV Всероссийской палинологической конференции, посвященной памяти доктора геолого-минералогических наук В.С. Волковой и доктора геолого-минералогических наук М.В. Ошурковой (Москва, 2022), Международной научно-практической конференции «Защита и карантин растений» (ФГБУ «ВНИИКР», 2023), XV Всероссийской молодежной научной школе-конференции «МЕРИДИАН» (ИГ РАН, 2023), XVI Всероссийской научно-практической конференции «Human

Health» (Казань, 2024), XI Международном молодёжном научном медицинском форуме «Белые цветы», посвященном 150-летию Н.А. Семашко (Казань, 2024), I Научно-практической конференции с международным участием «Фундаментальные, прикладные вопросы биологии и естественно-научного образования» (Рязань, 2024); представлены на заседаниях Рязанского отделения Русского ботанического общества (27 апреля 2023 г. и 21 марта 2024 г.) и опубликованы в ведущих ботанических периодических изданиях.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, из них 5 статей в журналах, рекомендованных Перечнем ВАК РФ, в том числе 3 – в журналах, индексируемых в международных базах данных «Web of Science Core Collection (Q1)».

**Личный вклад автора.** Автором определены цель и задачи работы, отобраны и проанализированы образцы проб воздуха, получаемые непрерывно на протяжении 9 лет наблюдений (2015-2023 гг.). Результаты исследований, представленные в диссертационной работе, были получены, проанализированы и интерпретированы лично соискателем или при его непосредственном участии. Автор самостоятельно сформулировал основные положения, выносимые на защиту, и выводы. Результаты исследований оформлены в виде научных публикаций, в том числе в журналах, рекомендованных Перечнем ВАК РФ, а также апробированы на всероссийских и международных конференциях и форумах, заседаниях Рязанского отделения Русского ботанического общества. Все сообщения по теме диссертационного исследования на конференциях и семинарах были подготовлены лично соискателем.

**Связь работы с научными программами.** Раздел работы, посвященный детализации кривых пыления злаков, выполнен при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-05-50035 «Микромир».

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы, который включает 399 источников, в том числе 273 на иностранном языке, приложений. Работа содержит 38 рисунков и 9 таблиц (в том числе таблицы приложения). Объем диссертации составляет 202

страницы машинописного текста.

**Благодарности.** Автор выражают глубокую благодарность и признательность своему научному руководителю – кандидату биологических наук, доценту, директору института естественных наук Юлии Михайловне Селезневой, а также кандидату биологических наук, ведущему научному сотруднику лаборатории морфологии и систематики высших растений биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Елене Эрастовне Северовой за мудрое руководство, поддержку на всех этапах написания работы, ценные советы и рекомендации, терпение и отзывчивость. Автор благодарен доктору биологических наук, доценту, профессору кафедры биологии и методики ее преподавания Казаковой Марине Васильевне за наставления и консультации. За предоставление данных по дешифровке кривых пыления злаков методом меташтрихкодирования автор благодарит ведущего научного сотрудника биологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Криницыну Анастасию Александровну, научного сотрудника ИОГен РАН Касьянова Артема Сергеевича, научного сотрудника ИППИ РАН Омельченко Дениса Олеговича. За помощь в сборе материала автор благодарит обучающихся кафедры биологии и методики ее преподавания РГУ имени С.А. Есенина – Бирюкову Ирину Игоревну и Рогову Анастасию Петровну. Также автор выражает глубокую признательность родным и близким за помощь при написании диссертации, которые на протяжении многих лет поддерживали и направляли автора.

## ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ АЭРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1.1. История развития аэробиологических исследований

Современная аэробиология объединяет усилия специалистов разных профилей – ботаников, палинологов, микологов, агрономов, микробиологов, метеорологов, аллергологов, экологов. Термин «аэробиология» был предложен в 1930-х гг. Ф.К. Мейером, но как самостоятельная научная дисциплина аэробиология оформилась только в 1974 г. после Первого Международного экологического конгресса в Гааге (Allergenic pollen, 2013). История аэробиологических исследований начинается, однако, гораздо раньше. Удачные эксперименты ученых XIX века по изучению микроорганизмов вызвали интерес к исследованию пыльцевых зерен в воздухе (Allergenic pollen, 2013). Эти работы породили ряд гипотез, которые пытались объяснить сезонное появление респираторной аллергии у человека. Так, в 1819 г. английский врач Джон Босток подробно изложил клиническую картину этого заболевания (Allergenic pollen, 2013). В 1873 г. английский врач Чарльз Х. Блэкли первым показал, что летом пыльца присутствует в воздухе в больших количествах и является причиной проблем с дыханием, а также продемонстрировал прямую зависимость между концентрацией пыльцевых зерен в атмосфере и тяжестью симптомов. С 1866 г. Чарльз Х. Блэкли составлял календари пыления для Манчестера (Великобритания), под микроскопом подсчитывая пыльцу, собранную им с помощью самодельного пробоотборника (Allergenic pollen, 2013). В это же время Моррилл Уайман описал осенний катар, который появлялся каждый год в августе и сентябре в Соединенных Штатах Америки, и связал его с цветением амброзии (Allergenic pollen, 2013).

Следует также упомянуть Элиаса Марша, который в 1875 г. создал первые календари пыления амброзии для Патерсона (Нью-Джерси, США) (Allergenic pollen, 2013). Французский врач Пьер Микель в течение многих лет отслеживал

содержание пыльцы и спор микроскопических грибов в атмосфере. Результаты его исследований были опубликованы в монографии «*Les organismes vivants de atmosphere*» (1883).

Развитие аэробиологии напрямую связано с появлением и модернизацией приборов, улавливающих компоненты биологических аэрозолей. Во второй половине XIX в. многие ученые конструировали собственное оборудование для проведения аэробиологических исследований. Наиболее известными среди них были аэроскопы Р.Л. Мэддокса (Maddox, 1870), Д.Д. Каннингема (Cunningham, 1873) и П. Микеля (1883), аэроскопические регистраторы бактерий и плесени, а также электрический всасывающий насос Ростера (Allergenic pollen, 2013). Так, в 1870 г. Р.Л. Мэддокс (Maddox, 1870) изобрел прибор для сбора частиц биоаэрозоля, который он назвал «аэроконископ». Позже аналогичный метод был использован Д.Д. Каннингемом (Cunningham, 1873), который в тот же период изучал холеру в Калькутте. Аэроконископ, который он использовал, улавливал в основном споры микроскопических грибов и пыльцу. Аналогичный метод, основанный на принудительном всасывании воздуха для поддержания регулярного и регулируемого воздушного потока, был использован П. Микелем (Miquel, 1883) в обсерватории Монсури для количественной оценки спор в воздухе. В 1937 г. Хесселаман продемонстрировал возможность дальнего транспорта пыльцы, использовав клейкие пластины, которые он поместил на два плавучих маяках в Ботаническом заливе. Возможность переноса пыльцевых зерен на дальние расстояния позднее была показана и Г. Эрдтманом в исследованиях атмосферного воздуха Атлантического океана (Erdtman, 1937).

В 1946 г. О.К. Дюрам (Durham, 1946) представил свой гравиметрический пыльцеуловитель. Ловушка создавалась для изучения циркулирующих в атмосфере пыльцевых зерен и спор и долгое время оставалась основными прибором для изучения биологических аэрозолей. Осаждение частиц в таком пыльцеуловителе происходило под действием силы тяжести на горизонтально установленные предметные стекла (Durham, 1942, 1946; Мейер-Меликян, 1999). Использование гравиметрических приборов помогло установить сроки цветения

растений, а также определить качественный состав аэробиологического спектра. Такие ловушки, однако, не предназначены для количественной оценки состава пыльцевого спектра, так как в каждом конкретном случае неизвестно, из какого объема воздуха происходит осаждение частиц (Мейер-Меликян, 1999). Работу по организации аэропалинологического мониторинга на территории США О.К. Дюрам (Durham, 1942, 1946; Allergenic pollen, 2013) начал ещё в 1928 г., а спустя несколько лет американская сеть насчитывала уже 50 станций по всей стране, включая Канаду, Мексику, Кубу и другие регионы (Allergenic pollen, 2013).

Следующим этапом в развитии пыльцевого мониторинга стало появление волюметрических пылевых ловушек. Волюметрический пылеуловитель был предложен и применен на практике в 1952 г. английским исследователем Джимом Хирстом (Hirst, 1952). Создаваемый в приборе постоянный поток воздуха позволил от качественных исследований пыльцевого спектра перейти к количественной оценке и определить концентрацию пыльцы каждого таксона в воздухе (Соколов и др., 2005; Мейер-Меликян, 1999). Волюметрические пробоотборники Хирст-типа до сих пор используются большинством центров мониторинга по всему миру (рисунок 1) (Allergenic pollen, 2013; ZAUM, 2024) и в настоящее время производятся двумя крупными компаниями – «Lanzoni» (Италия) и «Burkard» (Великобритания). Волюметрические пылеуловители в настоящее время являются «золотым» стандартом для проведения аэробиологических исследований (Galan et. al., 2014; Buters, 2018; ZAUM, 2024).

В Европе первые аэробиологические исследования с использованием волюметрических ловушек были начаты ещё в 50-ые гг. (Gregory, 1951; Andersen, 1958; Hyde, 1959) и в настоящее время охватывают практически все европейские страны (рисунок 1). Из функционирующих сегодня по всему миру более 879 станций мониторинга пыльцы, большинство ( $> 500$ ) находится именно в Европе (Buters et. al., 2018). Резкий рост числа станций мониторинга наблюдался после 1970 г., что было связано с лавинообразным ростом числа людей, страдающих поллинозами. В 1995 г. для осуществления пыльцевого мониторинга в Европе

была создана рабочая группа, географические границы которой вскоре расширились и включали ученых и за её пределами. Основным направлением деятельности группы являлась организация открытых встреч один раз в 2-3 года для всех людей, заинтересованных в экспериментах по улавливанию пыльцы (Giesecke et. al., 2010).

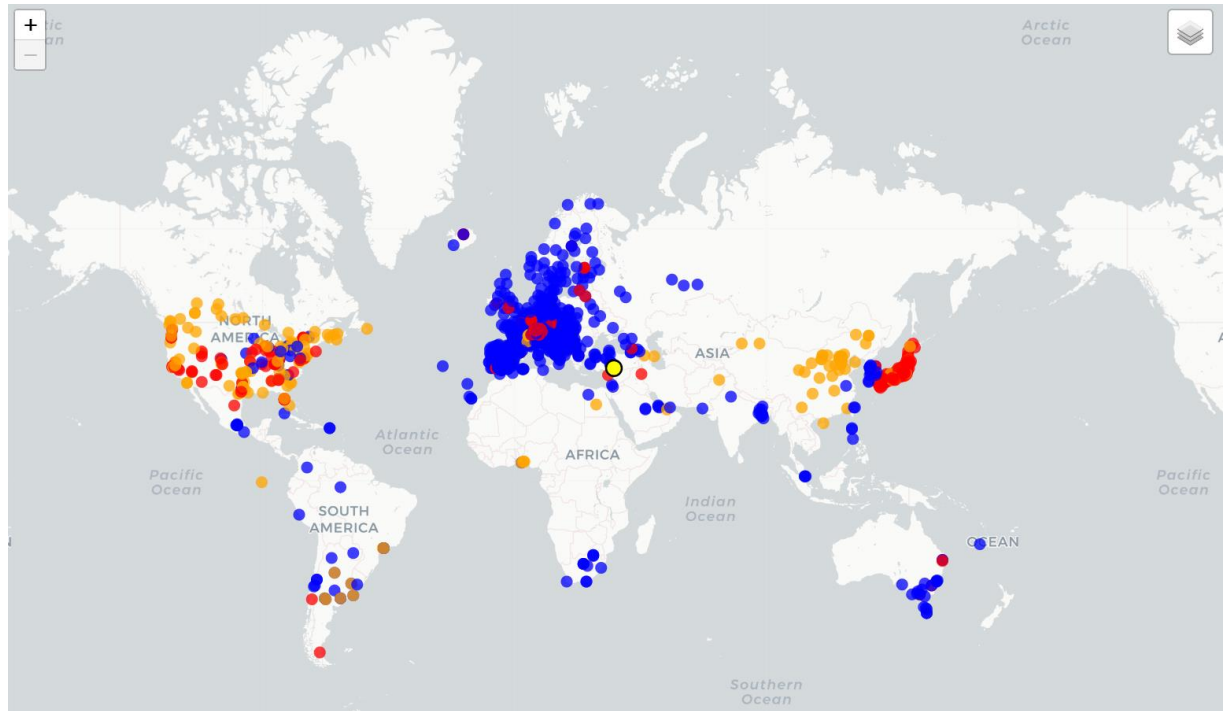


Рисунок 1. Мировая карта станций мониторинга пыльцы  
(ZAUM, 2024)

Обозначения: ● – пыльцеуловители Хирст-типа, ● – автоматические ловушки,  
● – «непостоянные» ловушки (работающие в течение короткого промежутка времени)

Такие страны как Франция, Швейцария, Германия, Швеция и Испания, имеют свои собственные национальные или государственные сети, которые отслеживают качественный и количественный состав пыльцы в аэропалинологическом спектре (Buters et. al., 2018; Gehrig, Clot, 2021). Так, во Франции до 2025 г. функционировало 70 волюметрических пыльцеуловителей, распределенных по всей стране (Lucas, Bunderson, 2024). Однако 26 марта 2025 г. французская сеть аэробологии (Le Réseau National de Surveillance Aerobiologique, RNSA) объявила о прекращении мониторинговых работ, так как не получила от государства финансовой поддержки. В Швейцарии MeteoSwiss (Федеральное

управление метеорологии и климатологии страны) управляет 18 станциями мониторинга по всей стране (Lucas, Bunderson, 2024). При этом пылевые ловушки Хирст-типа, используемые с 1969 г., недавно были заменены здесь на автоматизированные (Gehrig, Clot, 2021; Buters et. al., 2022) (подробнее об автоматических пылеуловителях ниже). Последние предоставляют пользователям почасовые данные о концентрациях пыли в воздухе в режиме реального времени. В Германии «Центр аллергии и окружающей среды» (Zentrum für Allergie und Umwelt München, ZAUM), благодаря финансовой поддержке Министерства здравоохранения и Министерства окружающей среды и защиты прав потребителей Баварии, организовал проведение аэробиологического мониторинга на восьми различных станциях (Oteros et. al., 2020). В Швеции на сегодняшний день функционирует 22 пылевые ловушки типа Hirst (Lucas, Bunderson, 2024). При этом наиболее длительные непрерывные аэробиологические исследования ведутся в Стокгольме (с 1973 г.), Гетеборге (с 1975 г.) и Умео (с 1979 г.) (Lucas, Bunderson, 2024). Мониторинговые работы в Испании начались в 1992 г. с трех аэробиологических станций. К 2023 г. число станций мониторинга выросло до 63. Помимо волюметрических пылеуловителей, здесь сейчас используются и автоматические ловушки для сбора пыли (Lucas, Bunderson, 2024).

Длительное и непрерывное функционирование этих европейских сетей мониторинга пыли обусловлено стабильным финансированием за счет средств налогоплательщиков или частных пожертвований. Это, в свою очередь, обеспечивает доступность информации о составе пылевого спектра, а также – обратную связь со стороны населения (Bousquet et. al., 2018; Sitaru et. al., 2023).

Развитие аэробиологии в России связано с именем академика АМН СССР А.Д. Адо. В 1970-е гг. он инициировал проведение аэробиологических исследований в разных регионах страны. Первые научно-исследовательские работы были проведены гравиметрическим методом Ф.Ф. Лукмановой (1967) в Москве и Московской области. Впервые были определены аллергенные таксоны пылевого спектра, проведена периодизация сезона пыления и установлены

некоторые особенности переноса пылевых зерен. Далее С.Г. Губанкова (1973, 1981) на протяжении многих лет изучала пылевой спектр г. Москвы, установив его таксономический состав и связь особенностей пыления с метеорологическими условиями.

Аэропалинологические исследования с использованием гравиметрической ловушки проводились также в Краснодаре (Остроумов, 1973), Санкт-Петербурге (Никольская и др., 1987), Уфе (Гандалипова, 2001; 2003), Новосибирске (Головко, 2001), Киеве (Савицкий, Савицкая, Воронкова, 2001), Петрозаводске (Елькина, 2008), Перми (Ременникова, 2010), Ростове-на-Дону (Демина, Дмитриев, 2011), Рязани (Посевина, 2011), Крыму (Пирогова, 2018), Екатеринбурге (Емелина, 2021), Кирове (Жуйкова, 2022), Саратовской области (Турина, 1979), Беларуси (Гурина, 1994). Ниже приводятся основные сведения о проведенных исследованиях в отдельных регионах России и соседних государствах.

Первые мониторинговые работы по изучению пыли в воздухе южных регионов России начались на территории г. Краснодара в 1966-1970 гг. А.И. Остроумовым (Остроумов, 1973) и продолжены в 1982 г. Т.Г. Гигинейшвили (Уханова, 2020). Гравиметрические календари пыления для Краснодара были составлены в начале 70-х гг. и дополнены более поздними работами начала XXI века (Ханферян, 2002, Аббасов, 2003). По результатам проведенных наблюдений Аббасовым А.Г. (2003) выделено 3 волны (периода) пыления. Первый период отмечался с начала вегетационного сезона по апрель, когда в составе аэропалинологического спектра фиксировалась пыльца *Betula*, *Platanus*, *Acer*, *Populus*, *Fraxinus*, *Quercus* и *Juglans regia*. Вторая волна приходилась на период с апреля по май и была связана с пылением *Poaceae*, *Pinus* и *Juglans nigra*. В конце третьей декады августа регистрировалась третья волна, когда в воздухе фиксировались пылевые зерна *Ambrosia*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae* и *Helianthus*. А.Г. Аббасовым (2003) отмечалось, что 92% пыли, циркулирующей в воздухе г. Краснодара, связано с пылением 11 таксонов (в порядке убывания представленности): *Ambrosia*, *Poaceae*, *Artemisia*, *Cyclachaena*, *Acer*, *Chenopodiaceae*, *Betula*, *Pinus*, *Platanus*, *Helianthus*, *Populus*.

Гравиметрический метод для изучения пыльцевого спектра г. Ялты впервые применил в 1991-1992 гг. Г.С. Захаренко. Он продемонстрировал связь резкого роста числа аллергических заболеваний с пылением амброзии. До 2010 г. аэробиологический мониторинг в Крыму проводился эпизодически и только в период с 2010 по 2015 гг. – непрерывно. На сегодняшний день мониторинговые работы в Крыму не проводятся из-за отсутствия современного оборудования (Пирогова, 2018).

Работы по изучению аэроаллергенов растительного происхождения в воздухе г. Новосибирска начались в 1995–1998 гг., в составе спектра были зафиксированы пыльца растений и спор грибов из 34 семейств (Головко, 2001). По результатам исследования автором выделено три периода пыления: весенне-летний, летний и летне-осенний. Первая волна пыления отмечалась с апреля (мая) по июнь, вторая – с июня по июль, третья – с июля по сентябрь. Установлено, что наиболее высокая пыльцевая продукция характерна для древесных таксонов и фиксируется в спектре в первый период пыления. Доминирующее положение (70-99 %) в воздухе г. Новосибирска занимали пыльцевые зерна ветроопыляемых растений (Головко, 2001).

Первые аэропалинологические исследования на территории Саратовской области были проведены Н.С. Туриной (1979), которая выявила, что содержание пыльцы в составе воздушного спектра зависит от метеорологических условий, в первую очередь от влажности и температуры. В работе было отмечено, что люди, страдающие поллинозами, наиболее сенсibilизированы к пыльце сорных травянистых растений (*Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Cannabis* и *Cyclachaena*) (Турина, 1979).

Начало изучению атмосферных аэрозолей Киргизии было положено в конце 80-х гг. В.Н. Кобзарь (Кобзарь, 1987, 1996), которая впервые изучила состав аэропалинологического спектра различных климато-географических районов Кыргызской республики и составила для них календари пыления. Отмечалось, что на содержание аэроаллергенов в атмосфере существенное влияние оказывают метеорологические параметры (температура, осадки, относительная влажность и

скорость ветра) и различные загрязнители (пыль,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , CO и фенол) (Кобзарь, 1987, 1996). Также была установлена зависимость содержания пылицы в атмосфере от времени суток: максимальное суточное содержание пылевых зерен в воздухе высокогорья отмечалось в утренние и обеденные часы, в воздухе низкогорья – в вечерние и ночные часы.

Анализ спорово-пыльцевого спектра городов Беларуси впервые провела Н.С. Гурина (Гурина, 1994). Она установила таксономический состав воздушных спектров областных центров республики (Витебск, Минск, Могилёв, Гродно, Брест, Гомель), отразив их сезонные различия. Автором был разработан ключ-определитель пылицы, а также составлен перечень аэроаллергенов для региона и подготовлен атлас микрофотографий. Особое внимание в работе Гуриной Н.С. (1994) уделялось изучению аномальных пылевых зерен в составе воздушного спектра.

Работы по изучению качественного и количественного состава пылицы в атмосфере г. Уфы начались в 1996 г. (Хайретдинов и др., 1999; Гандалипова, 2000, 2001, 2003). Для региона впервые были составлены календари пыления, определены сроки пыления растений и качественный состав пылевого спектра, показано влияние метеорологических параметров, в первую очередь температуры и влажности воздуха, на содержание пылицы в атмосфере. Помимо этого, определены оптимальные для цветения ключевых аллергенных растений (Betulaceae, Poaceae, Compositae) значения температуры и влажности. Всего в воздухе г. Уфы была зафиксирована пыльца растений из 16 семейств, доминировали всегда пылевые зерна древесных таксонов (77,8-91,4%).

Оценка состава и динамики пылевого спектра г. Петрозаводска (Карелия) с использованием гравиметрической пылевой ловушки проводилась с 2004 (Елькина, 2008) по 2016 гг. (Елькина, 2018). По результатам трехлетних наблюдений (2005-2007 гг.) (Елькина, 2008) были составлены календари пыления, определены основные показатели пыления растений (начало, продолжительность, окончание пыления), а также изучено влияние на них погодных условий. Наиболее значимыми среди последних оказались температура воздуха и скорость

ветра. Автором также отмечено, что пыльцевые зерна *Betula* являются хорошим индикатором качества окружающей среды и могут использоваться при проведении биоиндикационных исследований (Елькина, 2008). По результатам исследований, проведенных с 2009 по 2016 гг. (Елькина, 2018) было выявлено, что суммарное количество пыльцы на единицу площади препарата может отличаться в разные сезоны в 1,5-2 раза. Так, например, в 2009 г. этот показатель составил 5737 пз/см<sup>2</sup>, а в 2012 г. – 11911 пз/см<sup>2</sup>. Установлено, что в воздухе доминирует пыльца древесных растений (80 % от суммарного количества): *Pinus* (33 %), *Betula* (32 %), *Alnus* (9 %), *Salix* (4 %). Среди трав доминировали пыльцевые зерна *Рoасеае* (4 %), и *Artemisia* (1,7 %). По результатам проведенных наблюдений вегетационный сезон был разбит на 3 волны пыления: весенняя (апрель-май), летняя (июнь-июль) и летне-осенняя (август-сентябрь) (Елькина, 2018).

В г. Екатеринбурге первые данные о таксономическом составе спектра были получены гравиметрическим методом в 2006-2008 гг. В составе воздушного бассейна отмечалась пыльца 19 таксонов, доминирующее положение среди которых занимала *Betula*. Наибольшее таксономическое разнообразие (11 пыльцевых типов из 19) аэропалинологического спектра регистрировалось в мае, наименьшее – в июле-сентябре (Емелина, 2021). Отметим, что в своей работе автор (Емелина, 2021) ошибочно пишет про концентрацию пыльцы в воздухе региона. Последнюю представляется возможным установить только при наличии волуметрического пыльцеуловителя, который появится в Екатеринбурге лишь в 2018 г.

Впервые мониторинг пыльцы в воздухе г. Перми с использованием гравиметрического пыльцеуловителя проводился в 2008-2009 гг. В воздухе региона было зафиксировано 17 пыльцевых типов разной степени аллергенности. На основании результатов двухлетних наблюдений составлен календарь пыления (Ременникова, 2010). Результаты мониторинга сопоставлялись с пыльцевой сенсibilизацией у детей (Минаева, 2012), наиболее отчетливая связь выявлена

для пыльцы березы: первые жалобы появлялись у 57 % пациентов в первые дни с высокой концентрацией пыльцы *Betula* в воздухе (Минаева, 2012).

Состав пыльцевого спектра г. Рязани изучался в 2007-2009 гг. Ю.М. Посевиной (Посевина, 2011). По результатам исследований в воздухе региона зафиксировано 36 пыльцевых типов, 17 из которых составляли ядро аэропалинологического спектра. Последние обладали высокой аллергенной активностью и/или количественно доминировали в воздухе. Впервые была показана связь содержания пыльцы в атмосфере с метеорологическими параметрами. Отмечено, что на начало, продолжительность и интенсивность пыления оказывают влияние температура, направление ветра и атмосферные осадки (Посевина, 2011).

Проведение аэробиологических исследований с использованием гравиметрических методов в отдельных регионах России продолжается и в настоящее время. Например, в г. Кирове такие работы начались в 2019-2020 гг. (Жуйкова, 2022). По результатам исследований автором был впервые составлен календарь пыления для региона и проведена его периодизация. В составе спектра доминировала пыльца *Betulaceae*, *Pinaceae* и *Roaceae*. Автор считает, что одной из основных причин поллинозов в регионе является пыльца *Pinaceae* (Жуйкова, 2022). Аллергенность пыльцы сосны изучена к настоящему времени слабо, долгое время она считалась не аллергенной (Freeman, 1993; Gastaminza et. al, 2009). Однако на сегодняшний день опубликовано несколько работ, ставящих эту гипотезу под сомнение. Так, Freeman (1993) в своём исследовании показал чувствительность к антигену пыльцы сосны у 12 (1,5%) из 826 исследованных пациентов Северной Аризоны. Среди них насчитывалось пять женщин и семь мужчин в возрасте от 6 до 59 лет. Все они проживали на территории произрастания сосны не менее 2 лет. У пациентов наблюдались клинические симптомы, совпадающие с сезоном пыления сосны (Freeman, 1993). Gastaminza с соавторами (2009) также отмечают, что пыльцу *Pinus* следует рассматривать как потенциальный аллерген, особенно там, где этой пыльцы количественно много. Результаты исследования, проведенные авторами в Памплоне (север Испании),

показали сенсibilизацию к пыльце сосны у 65 пациентов (Gastaminza et. al, 2009). На севере Испании, ежегодно в сезон цветения *Pinus radiata* (февраль-март) за помощью в медицинские учреждения обращается в среднем 15-20 пациентов с признаками аллергических реакций (ринит, астма) (Gastaminza et. al., 2009). J.N. Kalliel и G.A. Settupane (1988) показали, что в группе из 100 пациентов с сезонным или круглогодичным ринитом 6% имели положительные кожные пробы на пыльцу *Pinus strobus*. В исследовании R.M. Harris и D.F. German (1985) в период цветения *Pinus radiata* выявлено 2% аллергиков, чувствительных к пыльце растения. Armentia с соавторами (1990) описали три случая аллергии на пыльцу *Pinus* у пациентов, которые жили рядом с сосновыми лесами. Antepara с соавторами (1995) исследовали восемь пациентов с аллергией на пыльцу сосны в Бильбао и проанализировали возможную перекрестную реакцию с пылью трав. Marcos с соавторами (2001) описали 10 пациентов с аллергией на пыльцу *Pinus* на северо-западе Испании, у которых симптомы проявились в сезон её пыления (февраль-март) и большинство из которых оказались моносенсибилизированы.

Первый пробоотборник Хирст-типа в нашей стране появился в 1992 г. в МГУ имени М.В. Ломоносова (Афонин, 2005; Северова, 2005). Многолетние наблюдения показали, что в составе воздушного бассейна г. Москвы ежегодно регистрируются 39-42 пыльцевых типа, 16 из которых составляют 97-99% пыльцевого спектра. Несмотря на относительное постоянство качественного состава аэропалинологического спектра, из года в год отмечалась существенная разница в суммарной пыльцевой продукции, первом появлении пыльцы и продолжительности локального пыления отдельных видов.

Важными проблемами при проведении аэробиологических исследований всегда являлись высота установки пыльцевой ловушки и радиус её охвата. Вопрос рациональности использования данных мониторинга, полученных из одной точки, для оценки региональной картины пыления изучали в 2016-2017 гг. Е. Северова и О. Волкова (Severova, Volkova, 2018). Авторы использовали сразу 2 пылцеловителя, расположенных на расстоянии 50 км друг от друга. Первая ловушка была установлена на крыше метеостанции географического факультета

МГУ имени М.В. Ломоносова на высоте 10 м над уровнем земли. В радиусе 2 км от пылеуловителя его окружали газоны (11,5 %), пустыри (3 %), посадки деревьев (10 %), Ботанический сад МГУ площадью около 30 га. Вторая ловушка была установлена на крыше Звенигородской биостанции МГУ имени М.В. Ломоносова на высоте 12 м над уровнем земли. В радиусе 2 км от ловушки располагались лес (53 %), безлесные территории (35 %), поселения (10 %) и река (2 %). Результаты аэробиологических наблюдений за 2 года показали, что качественный состав пыльцевых спектров Москвы и Звенигорода практически идентичен. Так за 2016-2017 гг. в воздухе Москвы было зафиксировано 38 пыльцевых типов, а в спектре Звенигорода – 32. Более разнообразный качественный состав пыльцевого спектра в городе объясняется близостью Ботанического сада, с одной стороны, и необычным городским озеленением – с другой (в спектре была зафиксирована пыльца *Aesculus*, Brassicaceae, Ericaceae, Fabaceae, Lamiaceae, *Larix*, *Morus*). Необходимо отметить, что 85 % спектра в обеих точках наблюдения составила пыльца восьми пыльцевых типов (*Alnus*, *Corylus*, *Populus*, *Betula*, *Picea*, *Pinus*, Poaceae и *Urtica*), доминирующее положение среди которых занимали пыльцевые зерна *Betula*, *Urtica*, *Pinus* и *Alnus*. Помимо качественной идентичности пыльцевых спектров в двух исследуемых точках, количественно они также оказались схожи, что указывает на региональный характер аэробиологического спектра, отражающего пыление на большой территории. Особенно ярко региональный характер спектра проявился на примере пыления амброзии в 2017 г. Именно в этот год были зафиксированы наиболее высокие концентрации пыльцы таксона за всю историю аэробиологических исследований в регионе. Так, пик пыления амброзии в обеих точках пришелся на вторую декаду сентября (10-15 сентября 2017 г.). При этом ни в Москве, ни в Звенигороде локальных популяций инвазионного сорняка вокруг мест установки пылевой ловушки обнаружено не было. Оценка суточной ритмики пыления амброзии в период с 10 по 15 сентября 2017 гг. показала, что даже почасовая картина пыления в этих точках совпадает.

Помимо радиуса охвата пылевой ловушки, в работе Северовой Е. и Волковой О. (Severova, Volkova, 2018) обсуждался вопрос зависимости состава пылевого спектра от высоты установки прибора. Согласно международным стандартам, пылевые ловушки должны быть установлены на высоте 10-30 м от поверхности земли на плоских крышах, вдали от высоких зданий и крон крупных деревьев (Мейер-Меликян и др., 1999). В 2017 г. параллельно с ловушками, установленными на крышах двух разных точек (в Москве и Звенигороде), в каждой из них дополнительно устанавливались пылеуловители на высоте 1,7 м от поверхности земли. Расстояние между двумя приборами в Москве составило около 50 метров, в Звенигороде – около 300 метров. Результаты исследования показали, что качественный состав пылевого спектра в двух ловушках обеих точек оказался идентичным. Так, например, в воздухе Звенигорода всего было зафиксировано 32 пылевых типа, доминирующее положение среди которых на обеих высотах (1,7 и 12 метров соответственно) занимали пылевые зерна *Betula* (39 и 52 % соответственно), *Urtica* (43 и 34 % соответственно), *Pinus* (6 и 5 % соответственно), *Рoасеае* (4 и 2 % соответственно) и *Artemisia* (3 и 2 % соответственно). При этом количественный состав несколько различался: в спектре «верхней» ловушки фиксировалось больше пыли древесных растений, а в спектре «нижней» ловушки – травянистых. Несмотря на разницу в концентрации пыли, кривые пыления, полученные на двух высотах и в Москве, и в Звенигороде, хорошо коррелировали между собой во время цветения и древесных ( $r=0,94$ ,  $p<0,05$ ), и травянистых ( $r=0,85$ ,  $p<0,05$ ) растений.

При сопоставлении суммарной концентрации пыли отдельных таксонов на двух разных высотах было выявлено, что разница в интенсивности пыления на высоте 1,7 м и 12 м составляла 0,44-2,36 раза для древесных растений и 1,72-2,49 раза для травянистых. Существенных различий в сроках пыления растений также обнаружено не было. Так, для травянистых растений максимальная разница в сроках начала пыления фиксировалась для злаков (5 дней) и липы (4 дня). Для всех других таксонов эти сроки либо совпадали, либо этот показатель не превышал одного дня.

Аналогичные наблюдения уже проводились ранее группой финских исследователей (Rantio-Lehtimäki et. al., 1991). Авторами оценивалась концентрация пыльцы и спор в воздухе на уровне 1,5 м и 15 м от поверхности земли. Результаты работы показали, что концентрации пыльцевых зерен в первом случае оказались выше. Для разных растений такая разница составляла от 1,1 до 11,5 раз. Наиболее заметные различия отмечались для травянистых таксонов. Так, например, концентрация пыльцевых зерен *Artemisia* на уровне 15 м оказалась в 11,5 раз выше, чем на высоте 1,5 м. В случае со злаками такая разница составила 4,4 раза. При этом показатели суточного содержания пыльцевых зерен древесных таксонов на двух разных высотах практически не различались. Кроме того, в исследовании было показано, что начало пыления отдельных таксонов (*Artemisia* и *Рoасеае*) фиксируется на 1-2 недели раньше ловушкой, установленной на уровне земли. В ходе проведенного исследования авторы отметили необходимость установки сразу 2 пыльцеуловителей на разных уровнях для предоставления врачам и больным валидной информации о концентрации аэроаллергенов в составе спектра.

Станция пыльцевого мониторинга в Москве функционирует и в настоящее время, она – единственная в России, которая использует волюметрический пыльцеуловитель для проведения исследований уже более 30 лет (Северова, 2004; Северова, 2005; Северова, 2008; Северова, 2010; Северова и др., 2016; Северова, 2017; Северова, Полева, 2022).

Позднее работа по изучению состава воздушного спектра волюметрическим методом была организована и в других регионах: Астрахани (Шамгунова, 2011), Рязани (Посевина, 2011), Самаре (Severova, Volkova, 2012; Манжос, 2014; Хабибулина, 2015; Хабибулина, 2016; Власова, 2016; Манжос, 2017; Власова, 2018), Барнауле (Ненашева, 2013), Ростове-на-Дону (Северова и др., 2015), Красноярске (Малашенко, 2016), Караколе (Осмонбаева, 2016 а, 2016 б, 2022), Екатеринбурге (2018), Ставрополе (Уханова, 2020), Тюмени, Санкт-Петербурге, Краснодаре (Клименко и др., 2019; Клименко, 2021; Павлюченко, 2022).

Так, состав регионального пыльцевого спектра г. Астрахани был определен в 2004-2006 гг. (Шамгунова, 2011). В воздухе региона преобладали пыльцевые зерна маревых (30,02%), сложноцветных (25,45%) и злаков (9,11%). Позже, в 2009-2011 гг., состав пыльцевого дождя г. Астрахани, а также различных районов дельты Волги изучала Н.Г. Сероглазова (2012). Автором установлено, что на сроки и динамику пыления растений оказывают влияние метеорологические факторы, в первую очередь ветер, температура и количество осадков. В составе сезонного спектра был зарегистрирован 31 пыльцевой тип (Сероглазова, 2012).

Оценка качественного и количественного состава аэропалинологического спектра г. Барнаула за период 2004-2012 гг. показала, что для отдельных таксонов (*Betula*, *Acer*, *Populus*) характерно так называемое «взрывное» пыление, при котором наблюдается резкое увеличение концентрации пыльцы в воздухе с последующим постепенным её снижением. В работе также проанализирована зависимость концентрации пыльцы в воздухе от метеорологических параметров. Отмечено, что наиболее высокие значения концентрации фиксируются при температуре воздуха не менее 20°C. Низкая пыльцевая продуктивность в сезон интенсивного пыления регистрировалась при относительной влажности воздуха более 50%. Результаты девятилетних исследований в регионе были отражены в усредненном календаре пыления, включающего 12 пыльцевых типов (Ненашева, 2013).

Первые волюметрические данные для Краснодара и Самары получены в 2010 г. в рамках клинических испытаний, проводимых компанией Schering-Plough (Severova, Volkova, 2012). Мониторинг был направлен на изучение пыления амброзии и охватывал не весь вегетационный сезон, а только период с июля по ноябрь 2010 г. Максимальная суточная концентрация пыльцы амброзии в Краснодаре и Самаре пришлась на начало сентября и составила 1308 пз/м<sup>3</sup> и 319 пз/м<sup>3</sup> соответственно.

Мониторинг в г. Самаре в 2013-2017 гг. был продолжен сотрудниками Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королева (Власова, 2016, 2018) и Самарского медицинского института

«Реавиз» (Манжос, 2014, 2017; Хабибулина, 2015, 2016). Для региона впервые была определена продолжительность сезона пыления, проведена его периодизация, определен качественный и количественный состав пыльцевого спектра. В воздухе зарегистрировано 20-29 пыльцевых типов, среди которых доминировали тополь, береза и амброзия. Сопоставление данных мониторинга с информацией о заболеваемости поллинозами показало, что наибольшее число обращений в медицинские учреждения приходится на июль-сентябрь, что соответствует цветению амброзии, полыни и циклахены.

Аэробиологический мониторинг с использованием волюметрических методов в г. Краснодаре продолжился после длительного перерыва в 2018 г. на базе Кубанского государственного медицинского университета (Павлюченко, 2022). Сопоставление гравиметрических и волюметрических данных показало увеличение общей продолжительности пыления и длительности периода с высоким содержанием пыльцы в воздухе (Клименко и др., 2019). Основными пыльцевыми аллергенами в регионе в летне-осенний период являются *Ambrosia* (более 70 % от общей концентрации пыльцы всех травянистых растений), *Artemisia* и *Chenopodiaceae*. Анализ суточной ритмики пыления показал, что максимальные значения концентрации этих таксонов фиксируются в воздухе с 12 ч до 14 ч, а минимальные – с 22 ч до 02 ч. (Павлюченко, 2022).

Первые волюметрические данные для г. Ростова-на-Дону были получены в 2013 г. (Северова и др., 2015). Исследования проводились с середины июля до конца сентября и ставили перед собой задачу изучить особенности пыления амброзии, так как Ростовская область, наряду с Краснодаром и Ставрополем, является одним из очагов распространения этого карантинного сорняка на территории Европы. В составе пыльцевого спектра были обнаружены 17 пыльцевых типов, среди которых амброзия занимала доминирующее положение (44,19 % от всей зарегистрированной пыльцы). Суточный пик пыления амброзии приходился на 12-14 часов. С 2019 г., после перерыва, мониторинг в городе возобновился (Чурюкина, 2020). По результатам исследований составлен

календарь пыления для всего вегетационного сезона, в воздухе было зарегистрировано 24 пыльцевых типа (Чурюкина, 2020).

Работы по изучению спорово-пыльцевого спектра г. Каракол (Кыргызская Республика) начались в 2014 г. (Осмонбаева, 2016 а, 2016 б, 2022). В составе пыльцевого спектра было зарегистрировано 38 пыльцевых типов, доминировала пыльца *Artemisia* (66,8 % от всей зарегистрированной пыльцы), а также пыльца *Roaceae*, *Chenopodiaceae* и *Pinus*. Абсолютный максимум пыльцы отмечался в июле, что хорошо коррелировало с годовым ходом температуры воздуха.

В г. Красноярске аэробиологические исследования проводились в 2014-2015 гг. (Малашенко, 2016). Результаты исследований показали, что вегетационный сезон условно можно разделить на три волны пыления. При этом максимальное содержание пыльцы отмечалось в первую волну, минимальное – во вторую. Третий период пыления характеризовался наибольшим таксономическим разнообразием.

Первая волюметрическая ловушка в г. Екатеринбурге начала работу в 2018 г. Данные о качественном и количественном составе аэропалинологического спектра публикуются один раз в три дня на официальном сайте клиники «УГМК-Здоровье» (<https://www.ugmk-clinic.ru/article/#articles>), а также в социальных сетях.

В г. Ставрополе аэропалинологические исследования с использованием волюметрического пыльцеуловителя начались в 2019 г. (Уханова, 2020). Для региона впервые был определен качественный и количественный состав спектра и составлен календарь пыления и спороношения. Особое внимание уделялось пылению амброзии. Так, установлено, что с увеличением влажности воздуха концентрация пыльцы растения снижается (Уханова, 2020).

В целом, волюметрические пыльцевые ловушки хорошо подходят для получения информации о качественном и количественном составе пыльцевого спектра, но при этом имеют ряд существенных недостатков. Один из них связан с задержкой получения данных во времени: подсчет пыльцевых зерен в препаратах и предоставление данных потребителям (аллергикам и лечащим врачам) осуществляется всегда за прошедшие сутки, из-за чего информация запаздывает

минимум на один день (Северова, Полевова, 2022). Еще одним недостатком метода следует считать его чрезвычайную трудоемкость и необходимость в высококвалифицированных специалистах, способных ежедневно заниматься анализом образцов воздуха (Sauliene et al., 2019; Smith et al., 2019; Северова, Полевова, 2022). Эти проблемы призваны решить ловушки нового поколения, которые работают без вмешательства человека, и в режиме реального времени (с задержкой в несколько минут) способны анализировать частицы в составе воздушного аэрозоля. Работа таких пылеуловителей основана на распознавании визуальных образов и/или анализе вторичной флуоресценции (Северова, Полевова, 2022), индуцируемой встроенными в прибор лазерами. Информация о составе аэриобиологического спектра сразу поступает на компьютер исследователя. В настоящее время на рынке представлены следующие автоматические ловушки: КН-3000 (Kawashima et al., 2017), Wibs-4 (O'Connor et al., 2014), ВАА500 (Oteros et al., 2015), Clair PA-300/Rapid-E/Rapid E+ (Crouzy et al., 2016; Sauliene et al., 2019), SwisensePoleno (Chappuis et al., 2020; Huffman et al., 2020). Необходимо отметить, что использовать такие пылеуловители в настоящее время может себе позволить только очень ограниченный круг исследователей (Sauliene et al., 2019). Это обусловлено высокой стоимостью оборудования, а также сложной предварительной калибровкой прибора на определенный перечень объектов.

Помимо применения автоматических пылеуловителей, в аэриобиологическом мониторинге в настоящее время активно используются методы молекулярной диагностики, в частности – меташтрихкодирование (Williams, 2001; Calderon, 2002; Brennan, 2019). Последний основан на распознавании маркерных последовательностей нуклеиновых кислот в биологических частицах, циркулирующих в воздухе (O'Connor, 2014). Молекулярные методы из-за их дороговизны и трудозатратности пока не могут заменить классический мониторинг. Их применение оправдано в тех случаях, когда световая микроскопия – основной метод анализа образцов воздуха – не позволяет распознать объекты до приемлемого таксономического уровня,

например, при различении спор грибов или пыльцы злаков. Подробный анализ использования молекулярных методов в аэробиологии рассмотрен в разделе «Злаки как одна из причин поллинозов в мире».

## 1.2. Аэробиологические исследования в г. Рязани

Первые аэропалеонтологические исследования на территории г. Рязани были начаты в 2007 г. Ю.М. Посевиной (2011) с использованием гравиметрического пылеуловителя Дюрама (Durham, 1946). Результаты исследований за 2007-2009 гг. представлены в диссертационной работе автора (Посевина, 2011).

Гравиметрический метод отбора проб хорошо отражает качественную картину пылевого спектра, но не позволяет получить точные количественные данные. Для этого при проведении исследований необходимо использовать волнометрический пылеуловитель, который появится в Рязани только в 2015 г. Поэтому в своей работе (Посевина, 2011) количественными данными автор называет число пылевых зерен, обнаруженных в препарате, пересчитанное на 1 см<sup>2</sup> поверхности (Посевина, 2011).

В 2007 г. для проведения наблюдений использовались сразу 2 пылеуловителя, установленных на одной высоте (18,5 м от поверхности земли), но в разных точках наблюдений, расстояние между которыми составляло 20 км. Так, одна пылевая ловушка (далее пылеуловитель № 1) была расположена на крыше РГУ имени С.А. Есенина, а вторая (далее пылеуловитель № 2) – на крыше жилого здания по ул. Кирпичного завода (Посевина, 2011). Установка второго пылеуловителя была продиктована необходимостью проверить различия в составе спектра в зависимости от места установки прибора, а также для выявления взаимосвязи между составом биологического аэрозоля и особенностями окружающей растительности. Результаты анализа на примере 10 таксонов (*Populus*, *Ulmus*, *Acer*, *Fraxinus*, *Pinus*, *Poaceae*, *Chenopodiaceae*, *Urtica*, *Artemisia*, *Ambrosia*,) показали, что качественный состав спектра, а также сроки и продолжительность пыления в двух исследованных точках практически

идентичны. При этом суммарная годовая концентрация существенно различалась, эти различия отражали локальные особенности территории и затрагивали в основном травянистую часть спектра (Посевина, 2011).

Результаты трехлетних наблюдений показали, что качественный состав пыльцевого спектра региона в разные сезоны совпадает. Всего в воздухе г. Рязани было зафиксировано 33-36 пыльцевых типов. Необходимо отметить, что в аэропалинологических исследованиях пыльцу растений, принадлежащих к одному и тому же роду или семейству, обычно невозможно идентифицировать до вида под световым микроскопом, поскольку пыльцевые зерна в пределах многих таксономических групп обладают морфологической схожестью. По этой причине различные группы пыльцы классифицируют до рода или семейства (очень редко до вида) и обозначают термином «пыльцевой тип». Ю.М. Посевина (2011), используя данные исследований за 2007-2009 гг., построила первый качественный календарь пыления для Рязани. Последний включал 17-18 пыльцевых типов (пыльцевые зерна *Picea* не всегда отмечались в спектре), которые количественно преобладали в составе воздушного спектра и/или характеризовались ярко выраженными аллергенными свойствами (*Alnus*, *Corylus*, *Ulmus*, *Populus*, *Acer*, *Fraxinus*, *Betula*, *Salix*, *Quercus*, *Pinus*, *Picea*, *Poaceae*, *Plantago*, *Rumex*, *Chenopodiaceae*, *Urtica* *Artemisia*, *Ambrosia*).

Если качественный состав аэробиологического спектра за все 3 года наблюдений оказался идентичным, то количественные данные варьировали из сезона в сезон. Особенно это коснулось суммарного годового содержания пыльцы *Betula*, *Pinus*, *Picea* и *Quercus*. Разница в интенсивности пыления для этих таксонов связана со спецификой метода отбора проб, текущими метеорологическими условиями и особенностями межсезонной ритмики пыления. Например, было установлено, что для березы характерно чередование сезонов с высоким и низким содержанием пыльцы. Стоит отметить, что доминирующее положение в воздухе всегда занимали пыльцевые зерна деревьев (77-90 % от суммарной годовой концентрации). При этом пыльца травянистых растений отличалась наибольшим разнообразием (Посевина, 2011).

В вегетационном сезоне региона условно было выделено 3 волны пыления (древесных таксонов, злаков и сосны, разнотравья). Первый период отмечался с марта по май, второй – с мая по июль, третий – с июля по сентябрь. Доминирующим таксоном первой волны пыления выступала *Betula*, на долю которой приходилось 28-85 % от суммарного содержания пыльцы.

Во вторую волну пыления доминирующее положение в составе спектра занимала пыльца *Рoасеae*, *Pinus* и *Urtica* (Посевина, 2011). Клиническая значимость пыльцы крапивы до сих пор не установлена. Существуют работы, выявившие в пыльцевых зернах крапивы аллергенные белки, которые могут вызывать перекрестные реакции с аллергенами пыльцы других растений, а также – с продуктами питания (Schapira et. al., 2018). В 2016 г. во Франции Tiotiu с соавторами (2016) в период цветения и пыления крапивы (май-сентябрь) наблюдали за двумя пациентами с симптомами сезонного риноконъюнктивита. У одного из них была выявлена моносенсибилизация к пыльце *Urtica*, у другого – полисенсибилизация. При этом наиболее сильная реакция кожного теста у последнего отмечалась именно на экстракт пыльцы крапивы. Авторы пришли к выводу, что аллергены пыльцы крапивы следует считать клинически значимыми и что аллергия на её пыльцу, вероятно, недооценена.

В третий период пыления количественно в воздухе преобладала пыльца крапивы и полыни. Последняя расценивалась как маркер позднелетней волны пыления.

Для некоторых таксонов в работе отмечались характерные особенности их пыления. Так, пыльца *Betula* и *Pinus* присутствовала в воздухе практически в течение всего вегетационного сезона, что связано с вторичным подъемом пыльцы в атмосферу. Для *Alnus*, *Corylus*, *Populus*, *Ulmus*, *Acer*, *Fraxinus* и *Quercus* отмечалось «взрывное» пыление. Для таксонов летнего спектра (*Рoасеae*, *Chenopodiaceae*, *Artemisia* и *Urtica*) характерен продолжительный период пыления. Например, пыльца злаков отмечалась в воздухе в течение 2,5-3 месяцев, что объясняется высоким разнообразием видов в регионе (135 видов) (Казакова, Щербаков, 2017), цветущих в разное время. К видам с растянутым периодом

пыления (41 день в 2007 г.) также относится ива. Так, согласно литературным данным (Казакова, 2004), в Рязанской области произрастает 17 видов ив. Отдельное внимание в работе уделялось амброзии – инвазионному растению, пыльца которого фиксировалась в то время в составе воздуха региона единично. Максимальная концентрация пыльцы этого растения за сутки составляла 2 пз/см<sup>2</sup> (2007), 16 пз/см<sup>2</sup> (2008) и 4 пз/см<sup>2</sup> (2009).

В диссертационном исследовании также изучалось влияние метеорологических факторов на показатели пыления. Однако, поскольку аэробиологические наблюдения осуществлялись гравиметрическим методом отбора проб, провести корреляционный анализ между этими параметрами не представлялось возможным. В связи с этим результаты анализа погодных условий использовались для определения сроков начала локального пыления индикаторных таксонов (березы, злаков, полыни), для сопоставления кривых пыления главных аэроаллергенов с метеорологическими параметрами, а также для выявления регионов – потенциальных источников дальнезаносной пыльцы методом обратных траекторий движения воздушных масс.

В первом случае учитывалась сумма накопленных положительных температур, рассчитанная с 1 января текущего года. Так, начало пыления березы наступало при накопленной положительной температуре 150-273,3 °С, злаков – 682,8-749,1 °С, полыни – 1665,7-1774,6 °С. Выявлено, что ливневые осадки и мокрый снег всегда приводили к снижению концентрации пыльцы индикаторных таксонов в воздухе до минимальных значений.

Анализ обратных траекторий позволил оценить дальний транспорт пыльцы из соседних регионов. Перенос пыльцы на большие расстояния был продемонстрирован на примере *Betula* и *Ambrosia*, так как у них особенно выражена разница между первым появлением пыльцевых зерен в воздухе и началом локального пыления. Помимо этого, пыльца этих таксонов обладает ярко выраженными аллергенными свойствами, и анализ ее транспорта на большие расстояния особенно важен. Так, первые пыльцевые зерна амброзии фиксировались в спектре в разные дни июля и в начале-середине августа, что

более чем на 2 недели опережает сроки её локального пыления в умеренной полосе (конец августа-сентябрь) (Северова, 2008). Анализ моделей обратных траекторий движения воздушных масс, построенных с помощью программы HYSPLIT показал, что раннее появление в спектре пыльцевых зерен амброзии и березы могло быть связано с цветением растений в южных, юго-восточных и юго-западных регионах (юг России (*Ambrosia*, *Betula*), Украина и Беларусь (*Betula*)).

Результаты аэробиологических исследований подтверждались в работе медицинскими данными, предоставленными ГУЗ «Рязанская областная клиническая больница». Анализировались первичные обращения больных с диагнозом «поллиноз», а также анонимные данные о самочувствии с диагнозами «бронхиальная астма», «ринит» и «поллиноз». Результаты анализа показали взаимосвязь между симптомами аллергических реакций и пылением главных аллергенов спектра. Так, увеличение концентрации пыльцевых зерен *Betula*, *Roacea* и *Artemisia* в воздухе сопровождалось ростом числа обращений пациентов в медицинские учреждения. Всплески первичной обращаемости либо совпадали с пиками пыления основных аллергенов, либо несколько задерживались и фиксировались сразу после увеличения концентрации пыльцевых зерен в воздухе. При этом снижение количества пыльцы ключевых аэроаллергенов в составе спектра сопровождалось сокращением числа обращений в медицинские учреждения.

Следует отметить, что в работе Ю.М.Селезневой корреляционный анализ между концентрацией пыльцы в воздухе и числом обращений пациентов не проводился. Это связано с тем, что медицинские данные являются прерывистыми, тогда как аэробиологические наблюдения — непрерывными. Кроме того, аллергическая природа заболевания не всегда очевидна при первом обращении к врачу, поскольку симптомы поллиноза могут значительно различаться. Стоит также отметить, что полноценный и точный анализ возможен только при наличии контрольной группы пациентов, которые ежедневно ведут дневник наблюдений за своим состоянием.

Проведение пыльцевого мониторинга и получение результатов аэробиологических исследований существенно упростилось с появлением в г. Рязани волюметрического пыльцеуловителя. Так, с 2015 г., благодаря пыльцевой ловушке Lanzoni, появилась возможность получать точные количественные результаты (содержание пз/м<sup>3</sup> воздуха) и транслировать информацию населению и врачам-аллергологам. Результаты исследования за 2015-2023 гг. представлены в данном диссертационном исследовании.

### **1.3. Аллергенные свойства пыльцы и её пороговые концентрации**

Аллергические заболевания в настоящее время являются глобальной мировой проблемой. Установлено, что каждые 10 лет число аллергиков увеличивается на 50% (Pawankar et al., 2008) и к 2050 г. этот показатель составит примерно 4 миллиарда человек (Global Atlas..., 2025). При этом большая часть аллергических заболеваний приходится на долю поллинозов – сезонных заболеваний, вызываемых пылью растений (Behrendt et al., 2001; Shi et al., 2020).

Аллергенные свойства пыльцевых зерен определяются белками, которые представляют собой водорастворимые протеины или гликопротеины с молекулярной массой от 10 до 70 кДа (Belin, 1972; Knox, Suphioglu, 1996; Ahlholm, 1998; D'Amato, 2000), локализованные преимущественно в спородерме, митохондриях, рибосомах и вблизи крахмальных гранул. Значимость конкретного белка с аллергологической точки зрения зависит не только от его аминокислотной последовательности или третичной структуры. Важную роль играют также размер молекулы, растворимость, стабильность (устойчивость к нагреванию и протеолизу), конформационная структура (Lei and Grammer, 2019). Одной из основных характеристик пыльцевых антигенов является частота их связывания с IgE. Те белки, у которых этот показатель составляет более 50 % называются мажорными (основными), менее 50 % – минорными (второстепенным) (Løwenstein, 1978). Первые отличаются повышенной растворимостью и быстрым вымыванием из пыльцевого зерна при его гидратации, что позволяет им быстрее

преодолевать барьеры слизистых оболочек и вызывать аллергические реакции (Grote et al., 1993, 2001). При этом у некоторых сенсibilизированных людей именно второстепенные белки проявляют бо́льшую активность, чем основные (Шамгунова, 2014). Помимо пыльцевых зерен антигены могут присутствовать и в других частях растений (корнях, стеблях, листьях, семенах, плодах), что было доказано на примере амброзии, злаков и подорожника (Grote, 1988; Ree et al., 1992; Lacey and Dutkiewicz, 1994; Ong et al., 1995). Аллергическую реакцию могут вызывать и некоторые вещества, выделяемые растениями, такие как сок, эфирные масла или другие вещества растительного происхождения (Lacey and Dutkiewicz, 1994; Dutkiewicz et al., 2002).

Растительные аллергены принадлежат к различным классам белков, наиболее значимыми из которых являются Bet v1 и его гомологи, липид-транспортирующие белки (LTP), профилины, полкальцины, экспансины (аллергены группы 1) и аллергены группы 5 (Guryanova et al, 2022). Многие из них являются паналлергенами, т.е. высококонсервативными белками, встречающимися почти во всех семействах растений и соответственно вызывающими перекрестные аллергические реакции (Osterballe et al, 2005; Bohle, 2007; Hauser et al., 2010; Rodríguez del Río et al., 2017). Это свойство объясняется высокой структурной гомологией аминокислотной последовательности представителей одного и того же класса (Osterballe et al., 2005; Bohle, 2007).

Рассмотрим более подробно характерные особенности указанных выше классов пыльцевых аллергенов. Названия последних принято обозначать первыми тремя буквами латинского названия рода растения и первой буквой видового эпитета. Арабская цифра, сопровождающая буквы, обозначает последовательность идентификации и описания этого аллергена. Например, аллергены *Ambrosia artemisiifolia* называются как Amb a 1, Amb a 2, Amb a 3 (King et al., 1995).

Профилины – это паналлергенные белки с молекулярной массой 12-15 кДа, которые локализуются в цитоплазме и цитоскелете. Они встречаются не только в пыльце, но также во фруктах и семенах различных растений (van Ree et al., 1992;

Radauer, Breiteneder, 2006; Allergen nomenclature, 2024). Отличительной особенностью профилинов является совпадение аминокислотной последовательности более чем на 75% даже у не близкородственных организмов (Ferreira et al., 2008). К ним относятся, например, белки березы Bet v2, тимофеевки Phl p12, полыни Art v4.

Полкальцины – это паналлергенные кальций-связывающие белки, близкие в функциональном отношении к профилинам (Шамгунова и др., 2014). Способность связывать кальций обуславливается наличием в белках двух, трех или четырех мотивов («спираль – петля – спираль») (Worpfner et al., 2007; Hauser et al., 2010). Примерам полкальцинов являются белки берёзы Bet v 4 и Bet v 3, тимофеевки Phl p 7, полыни Art v 5, можжевельника Jun o 4, оливы Ole e 8. Несмотря на повсеместное распространение профилинов и полкальцинов, частота сенсibilизации к этим пыльцевым аллергенам достаточно низкая. Например, в отличие от Bet v 1 (мажорного аллергена пыльцы березы), который распознаётся антителами в сыворотке крови большинства пациентов с аллергией на берёзу, профилин Bet v 2 и кальций-связывающие белки Bet v 3 и Bet v 4 являются второстепенными аллергенами с частотой сенсibilизации ниже 20% (Radauer, Breiteneder, 2006). Важно отметить, что структурно схожие профилины и полкальцины встречаются также в других эукариотических клетках, в частности – клетках человека. Предполагается, что низкая аллергенность этих протеинов может быть обусловлена наличием схожих белков в клетках человека и подавлением иммунного ответа на них (Radauer, Breiteneder, 2006).

Bet v1-подобные белки и LTP относятся к семейству белков, связанных с патогенезом (так называемые pathogenesis-related proteins (PR) белки) (Мельникова и др., 2018). Эти белки присутствуют не только в пыльце, но и в различных органах и тканях растений. Несмотря на то, что протеины этих двух классов не гомологичны друг другу, они обладают характерной особенностью – наличием в структуре полости, которая позволяет им связывать различные гидрофобные молекулы (Finkina et al., 2017). Способность связывать лиганды и специфичность этого связывания могут различаться для аллергенов одного и того

же класса в зависимости от объема и формы гидрофобной полости. Последние данные показали, что связывание лигандов играет важную роль в сенсibilизации и проявлении аллергенных свойств гомологов Bet v1 и LTP (Fujimoto et al., 1998; Scheurer, Schülke, 2018; Chruszcz et al., 2021). К семейству белков-переносчиков липидов относится, например, мажорный аллерген пыльцы полыни Art v 3 (Gonzalez-Klein et al., 2021). Ярким примером Bet v1-подобных белков является мажорный белок орешника Cor a 1, максимально схожий по структуре с Bet v 1 (Пархомчук и др., 2020).

Аллергены группы 1 (экспансины) и аллергены группы 5 являются основными аллергенами пыльцы злаков (Hrabina et al., 2008). Экспансины – это гликопротеины массой 30 кДа, регулирующие растяжение клеточных стенок и ряд других формообразовательных и деструктивных процессов у растений (McQueen-Mason et al., 1992; Шарова, 2007). Несмотря на то, что эта группа белков характерна как для двудольных, так и для однодольных, экспансины, вызывающие аллергию, были обнаружены только в пыльце растений семейства Злаки. По степени филогенетического родства экспансины классифицируются на четыре семейства:  $\alpha$ -экспансины или экспансины А (EXPA),  $\beta$ -экспансины или экспансины В (EXPB), экспансиноподобные белки А (EXLA) и экспансиноподобные белки В (EXLB) (Sampedro, Cosgrove, 2005). Отмечено, что только  $\beta$ -экспансины накапливаются в пыльце злаков в значительных количествах и являются релевантными аллергенами, то есть имеют клиническую значимость и влияют на развитие заболевания (Sampedro, Cosgrove, 2005).

Аллергены группы 5 – это высокоселективные (то есть встречающиеся только у определенного вида или рода растения) протеины с рибонуклеазной активностью, которые могут играть роль в прорастании пыльцы (Hrabina et al., 2008; Göbl et al., 2017). В отличие от  $\beta$ -экспансинов, которые присутствуют во всех подсемействах злаков, аллергены группы 5 встречаются только у видов подсемейства Pooidae (Грищенко, 2017). Наиболее изученными белками вышеуказанных групп являются белки тимофеевки луговой Phl p 1 и Phl p 5,

которые вызывают аллергические реакции у большинства сенсibilизированных к пыльце трав пациентов (Pablos et al., 2016).

Помимо вышеперечисленных классов белков, некоторые клинически значимые аллергены пыльцы относятся к дефензинам и пектатлиазам. Дефензины – это небольшие пептиды с выраженной противомикробной активностью, которые присутствуют в различных органах и играют важную роль в защите растений от фитопатогенов. Некоторые дефензины присутствуют в пыльцевых зернах и могут выступать в качестве аллергенов (Finkina and Ovchinnikova, 2018; Guryanova and Ovchinnikova, 2022). Наиболее изученным пыльцевым аллергеном этого класса является аллерген полыни Art v 1 (Pablos et al., 2019).

Пектатлиазы (PL1) – это полисахаридлиазы (ферменты, расщепляющие полисахариды), которые, возможно, участвуют в процессе роста пыльцевых трубок (Pichler et al., 2015). К настоящему времени аллергенные пектатлиазы были идентифицированы и признаны в пыльце 11 видов растений ([www.allergome.org](http://www.allergome.org); [www.allergen.org](http://www.allergen.org)). Клинически значимыми пыльцевыми аллергенами этого класса являются белки амброзии (Amb a 1), полыни (Art v 6), кипариса (Cup a 1) и др. (Pichler et al., 2015).

За последние десятилетия были опубликованы результаты множества научных исследований, посвященных аллергенным белкам пыльцевых зерен конкретных растений, а также пороговым значениям концентрации пыльцы в атмосфере. При этом результаты работы, проведенной Steckling-Muschack с соавторами (2021) показали, что определение пороговых значений концентраций пыльцы, приводящих к аллергическим реакциям у людей, представляется гораздо более сложной задачей, чем это принято было считать. Установлено, что одинаковое количество пыльцевых зерен вызывает различные реакции у пациентов в разных регионах (Allergenic pollen, 2013; Bastl et al., 2014). Эти различия могут быть обусловлены несколькими причинами. Во-первых, содержание аллергена в одном пыльцевом зерне может существенно отличаться (Buters et al., 2012; Jantunen et al., 2012). Во-вторых, концентрация пыльцы, регистрируемая станциями мониторинга, зависит от высоты установки ловушки

(Rojo et al., 2020). Поскольку пыльцеуловители обычно устанавливаются на высоте 10-20 м, количество пылевых зерен на уровне человеческого роста может быть недооценено (Buters et al., 2018).

Ниже обсуждаются результаты исследований, посвященных наиболее распространенным и изученным с аллергологической точки зрения пылевым типам.

***Betula*.** Наиболее изученными аллергенами древесных таксонов на сегодняшний день являются белки березы (*Betula verrucosa*) (Шамгунова, 2014). Установлено, что аллергены пыльцы *Betula* локализованы преимущественно в цитоплазме на амилопластах, в спородерме и вблизи пор (Grote et al., 1988; Grote et al., 1998). В пылевых зернах березы выделяют белки, относящиеся к 7 различным семействам (белок Bet v 5 переименован в Bet v 6) (Allergen nomenclature, 2024): белкам, связанным с патогенезом (Bet v 1), профилинам (Bet v 2), полкальцин-подобным белкам (Bet v 3), полкальцинам (Bet v 4), изофлавоноредуктазам (Bet v 6: известная ранее как Bet v 5), циклофилинам (Bet v 7), глутатион-S-трансферазам (Bet v 8). Последняя (Bet v 8) в качестве белка, способного связывать IgE, была идентифицирована относительно недавно. Основным аллергеном пыльцы березы является Bet v 1 – белок молекулярной массой 17 кДа, состоящий из 159 аминокислот (King, 1995). Структура этого мажорного аллергена гомологична структуре других белков растений из семейств Betulaceae, Fagaceae, Juglandaceae, Fabaceae и многих фруктов. Следовательно у людей, сенсibilизированных к Bet v 1, нередко наблюдаются симптомы аллергии в период цветения других растений (максимальное сходство аминокислотной последовательности Bet v 1 наблюдается с белком орешника Cor a 1) или употреблении в пищу определенных продуктов (яблок, персиков, груш, черешни, арахиса и др.) (Пархомчук, 2020). Несмотря на то, что в развитии 90 % аллергических реакций на пыльцу главную роль играет белок Bet v 1, у некоторых пациентов минорные аллергены могут оказывать на организм большее влияние, чем мажорные (Пархомчук, 2020).

Пыльца березы является наиболее распространенным аллергеном в Центральной и Северной Европе: 95% людей, страдающих от аллергии на березовую пыльцу, чувствительны к Bet v 1 (Iosen et al., 1988), при этом 60% сенсibilизированы исключительно к этому мажорному аллергену (Jarolim et al., 1989). В Китае 83 % аллергиков (Li et al., 2020) сенсibilизированы к пыльце березы, во Франции – 90 %, в Италии и Швейцарии – более 60 % (Moverare et al., 2002). Такая высокая чувствительность объясняется не только содержанием в пыльце аллергенных белков, но и высокой пылевой продуктивностью березы. В период активного пыления таксона этот показатель превышает  $5000 \text{ пз/м}^3$  за сутки (Emberlin et al., 1993; Weryszko-Chmielewska et al., 2001; Посевина, 2011; Посевина, Северова, 2017). При этом пороговые уровни содержания пыльцы в воздухе различаются в разных странах. Эти значения могут сильно зависеть от региональных условий, таких как растительность и климат, а также от индивидуальных особенностей пациента (De Weger et al., 2013). Так, в Финляндии (Viander and Koivikko, 1978) у высокочувствительных людей первые симптомы аллергии развиваются при концентрации  $30 \text{ пз/м}^3$ , в Польше (Rapiejko et al., 2007) –  $20 \text{ пз/м}^3$ , Брюсселе (Guilbert et al., 2016), Нью-Йорке (Ito et al., 2015) и Клермон-Ферране (Франция) (Zeghnoun et al., 2005; Fuhrman et al., 2007; Caillaud et al., 2014; Caillaud et al., 2015) –  $45 \text{ пз/м}^3$ . Различия в результатах исследования можно объяснить и различными уровнями толерантности. Так, Jantunen et al. (2012) обнаружили более высокую толерантность к пыльце березы у жителей Финляндии по сравнению с жителями Австрии (Buters et al., 2012).

Начало сезона пыления в Европе связано с другим чрезвычайно важным аллергеном – пылью ольхи (*Alnus*). Известно, что на северо-западе Испании от 9% до 20% больных имеют аллергию на пыльцу ольхи (Gehrig et al., 2015), в Улсане (Южная Корея) этот показатель составляет 10,13% (Park et al., 2012), а в Северном Рейн-Вестфалии и в Баварии – более 65 % (Höflich et al., 2021). Концентрация пыльцы ольхи в период интенсивного пыления может достигать более  $2000 \text{ пз/м}^3$  (Weryszko-Chmielewska et al., 2001), при этом по данным Rapiejko et al. (2007) и Filon et al. (2000) достаточно даже  $45\text{-}50 \text{ пз/м}^3$  для

появления первых симптомов аллергии у наиболее сенсibilизированных пациентов. Исследования по изучению пороговых уровней концентрации пыльцы *Alnus* проводились также Zeghnoun et al. (2005), Caillaud et al. (2015), Guilbert et al. (2016) и другими исследователями.

В пыльце ольхи на сегодняшний день выявлено два типа аллергенных белков: *Aln g 1* и *Aln g 4*. Первый из них относится к белкам, связанным с патогенезом (PR-10), второй – к полкальцинам. Мажорным аллергеном пыльцевых зерен *Alnus* является *Aln g 1* с молекулярной массой 17 кДа (King et al., 1995), который обнаруживается преимущественно в цитоплазме (в дегидратированной пыльце), но не в спородерме (Grote et al., 2003). Основным аллергеном ольхи тесно связан с главными аллергенами пыльцы березы (*Bet v1* на 86,8 % гомологичен *Aln g 1* (Breiteneder et al., 1992)), лещины (*Cor a1*), граба (*Car b1*) и дуба (*Que a1*) (Matthiessen et al., 1991). Поскольку сезон пыления *Alnus* предшествует сезону пыления *Betula*, то ольха может выступать в качестве триггера, повышающего чувствительность пациентов к пыльце березы (Emberlin et al., 2007).

***Corylus*.** Исследования, проведенные в Северном Рейн-Вестфалии и Баварии показали, что к пыльце лещины сенсibilизировано более 65 % аллергиков (Höflich et al., 2021), однако работ, посвященных изучению аллергенных белков и пороговых уровней концентраций пыльцы орешника достаточно мало. Это, вероятно, связано с невысоким содержанием пыльцевых зерен этого таксона в воздухе по сравнению с ольхой и березой. При этом установлено, что даже 35 пз/м<sup>3</sup> достаточно для появления первых симптомов аллергии, а при 150 пз/м<sup>3</sup> у сенсibilизированных пациентов возникают серьёзные аллергические реакции (Rapiejko et al., 2007).

В пыльце орешника выделяют 12 групп аллергенных белков (3, 4, 5 и 7 группы пропущены): из них один мажорный (*Cor a 1*) и одиннадцать минорных (*Cor a 2*, *Cor a 6*, *Cor a 8*, *Cor a 9*, *Cor a 10*, *Cor a 11*, *Cor a 12*, *Cor a 13*, *Cor a 14*, *Cor a 15*, *Cor a 16*) (Grewling, 2014). Пыльцевые зерна лещины проявляют сильные аллергенные свойства и обладают перекрестной реакцией с антигенами пыльцы

березы и ольхи (King et al., 1995; Knox, Suphioglu, 1996). Так, Cor а 1 имеет перекрестную реакцию с мажорным белком березы – Bet v 1 (Allergenic pollen, 2013) (сходство оценивается в 80,5-83 %) (Ipsen, 1988). Cor а 1 относится к PR-10 белкам и вместе с Cor а 2 (семейство профилинов) содержится в фундуке, поэтому у сенсibilизированных людей могут наблюдаться и пищевые аллергические симптомы, известные как синдромы оральной аллергии (Hirschwehr, 1992; Andersson, 2007).

**Роaceae.** В связи с широким распространением и высокой пыльцевой продуктивностью злаки являются одним из наиболее опасных аэроаллергенов. Показано, что показатель сенсibilизации к их пыльце составляет 10-30% в зависимости от климата и региона (Andersson, Lidholm, 2003; D’Amato et al., 2007; Kleine-Tebbe, Davies, 2014; García-Mozo et al., 2017; Damialis et al., 2019).

Несмотря на значительную перекрестную реактивность (Galán et al., 2014; Kailaivasan et al., 2020) аллергены разных злаков различаются. Это может быть связано с различными изоформами белков, альтернативным сплайсингом или посттранскрипционными модификациями (Hrabina et al., 2008). Аллергены злаков распределены по одиннадцати группам (группы 8 и 9 пропущены) в зависимости от их белковой структуры и функции (Andersson, Lidholm, 2003). К 1-й группе аллергенов относятся гликопротеины молекулярной массой 27 кДа с гомологичной аминокислотной последовательностью (Phl p 1, Lol p 1, Dac g 1, Poa p 1). Группы 2 и 3 включают негликозилированные белки с молекулярной массой 11 кДа и последовательностью аминокислот, близкой к Lol p 1. Аллергены группы 4 имеют молекулярную массу 57 кДа. Аллергены группы 5 представлены белками молекулярной массой 30 кДа. К ним относятся Phl p 5, Poa p 5, Lol p 5 и Dac g 5. Антигены группы 6 представлены цитохромами, а белки группы 7 – профилинами с молекулярной массой 14 кДа (Reindl et al., 2000; Шамгунова, 2014; Allergen nomenclature, 2024). В большинстве случаев (у 90% и 65-85% пациентов соответственно) аллергические реакции вызывают мажорные аллергены пыльцы злаков – белки 1 и 5 групп (Andersson, Lidholm, 2003; Hrabina et al., 2008).

Одной из характерных черт репродуктивной стратегии злаков является высвобождение пыльцы из пыльников в гидратированном состоянии. Это приводит к тому, что пыльцевые зерна быстро теряют фертильность, но при подходящих условиях очень быстро прорастают. В случае контакта с водой они высвобождают крахмальные зерна, ассоциированные с аллергенами. Ультроструктурные исследования показали, что при гидратации в изотонических средах пыльцевые зерна Poaceae остаются нетронутыми, а высвобождение содержимого происходит через пору (Suphioglu et al., 1992; Grote et al., 2001). Высвобождающиеся при этом гранулы крахмала имеют размеры до 2,5 мкм, что позволяет им проникать в легкие в отличие от достаточно крупных пыльцевых зерен (30 мкм), оседающих в верхних дыхательных путях (Grote et al., 2001; Abou Chakra et al., 2011a, 2011b). Это приводит к возникновению более сильных аллергических реакций (Abou Chakra et al., 2011a, 2011b). Именно в период пыления злаков были зафиксированы случаи грозовой астмы – «вспышки» бронхиальной астмы, зарегистрированные во время грозы даже у тех пациентов, которым астма не свойственна (D'Amato et al., 2007b; Шамгунова, Заклякова, 2010). Одно из первых описаний грозовой астмы было сделано Раске и Аугес в 1985 г. в больнице Восточного Бирмингема (Великобритания) 6 и 7 июля 1983 г. Авторы описывают поразительное увеличение числа обращений с симптомами астмы в отделения неотложной помощи в часы грозы. Так, в течение 36 часов была оказана медицинская помощь 26 пациентам, в то время как в дни до «грозовой вспышки» этот показатель составлял всего два или три случая за сутки.

Ассоциация аллергенов с цитоплазматическими гранулами была подтверждена с помощью ряда исследований (Grote et al., 1994, 2001; Abou Chakra et al., 2012). Помимо цитоплазмы, некоторые белки злаков (например, Phl p 1 и Phl p 4) могут быть локализованы в спородерме пыльцевого зерна (Bashir et al., 2013; Rejon et al., 2016).

**Ambrosia.** Пыльца амброзии представляет собой частую причину поллинозов в летний и осенний периоды, а её содержание в воздухе сильно зависит от географического положения, направления ветра, температуры и других

факторов. Первые симптомы аллергии у сенсibilизированных людей могут возникать при концентрации пыльцы  $10 \text{ пз/м}^3$  (DellaValle et al., 2012). Аллергены амброзии проявляют перекрёстную реактивность с аллергенами полыни (Hirschwehr et al. 1998), однако это не мешает диагностике амброзийного поллиноза, поскольку сезон цветения этих растений совпадает лишь частично.

Наиболее опасными с аллергологической точки зрения являются *Ambrosia artemisiifolia* и *Ambrosia trifida*, которые включены в единый перечень карантинных объектов Евразийского Экономического Союза (2016). При этом установлено, что аллергенные свойства пыльцы амброзии полыннолистной выше, чем у амброзии трёхраздельной. Это связано с тем, что белки последней представляют собой минорные алергокомпоненты небольших размеров (5-17 кДа) с низкой иммуногенностью. Несмотря на то, что минорные белки лишь в 1 из 10 случаев вызывают поллинозы, некоторые пациенты сенсibilизированы именно к ним (Жукова, 2021a; 2021б).

Самым мощным пыльцевым аллергеном считается пыльца *Ambrosia artemisiifolia* (Душина, 2021). В пыльцевых зернах этого вида на сегодняшний день выделено 11 аллергенных белков, которые относятся к различным семействам: профилинам (Amb a8), полкальцинам (Amb a9, Amb a10), белкам-переносчикам липидов (Amb a6), дефензинам (Amb a4), пектатлиазам (Amb a1), пластоцианинам (Amb a3, Amb a7), цистеиновым протеазам (Amb a11), энолазам (Amb a12) и перекрестно-реактивным белкам с белками других видов амброзии (Amb a5 перекрестно реактивен с Amb p5, Amb t5) (Шогенова, 2023). К мажорным аллергенам пыльцы амброзии относятся Amb a1 и Amb a11. Amb a1 – это белок массой 38 кДа (Wopfner et al., 2005; Gadermaier et al., 2014; Душина, 2021), обладающий высокой степенью сенсibilизации. Этот протеин вызывает гиперчувствительность у 90-95 % пациентов и является гомологом аллергенов *Artemisia* Art v6, *Helianthus* Hel a1, *Cryptomeria japonica* Cry j1, *Cupressus* Cup a1 и *Phleum* Phl p4, что способствует развитию перекрестных аллергических реакций (Душина, 2021). Белок Amb a11 – это одноцепочечный белок с молекулярной массой от 28 до 37 кДа, состоящий из 262 аминокислот и вызывающий

гиперчувствительность у 50-66 % сенсibilизированных пациентов (Душина, 2021).

**Artemisia.** Пыльца полыни была признана основной причиной сезонных аллергических респираторных заболеваний в летне-осеннее время во всем мире (Tang et al., 2015). Содержание пыльцы полыни в воздухе может достигать нескольких сотен пз/м<sup>3</sup>, а наступление первых симптомов аллергии у сенсibilизированных пациентов возможно при концентрации всего 5-15 пз/м<sup>3</sup> (Weger de et al., 2013). Наиболее важным с аллергологической точки зрения и наиболее изученным видом этого рода является полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), ареал распространения которой охватывает Европу, Азию, Северную и Южную Америку, Африку (Tan et al., 1998; Bora et al., 2011). Установлено, что к пыльце *Artemisia vulgaris* сенсibilизировано 10-14% пациентов с поллинозом в Европе (Wopfner et al., 2005), 10,5–11,3% – в Азии (Qin et al., 2013), 58,3 % – в Китае (Hao et al., 2013), 14,2% – в Корее (Kim et al., 1987).

На сегодняшний день официально признанными являются 6 аллергических белков полыни (Allergen nomenclature, 2024), относящиеся к дефензин-подобным белкам (Art v 1), PR-1 (Art v 2), белкам-переносчикам липидов (Art v 3), профилинам (Art v 4), полкальцинам (Art v 5), пектацтиазамам (Art v 6) (Pastorello, 2002; Wopfner et al. 2005; Allergen nomenclature, 2024). В литературе упоминается ещё один аллерген полыни с молекулярной массой около 60 кДа. В некоторых источниках этот белок называют Art v 7, но при этом он до сих пор не имеет официального названия (Gadermaier et al., 2014; Allergen nomenclature, 2024). Более того, последний, наряду с Art v 1, Art V 2, Art V 3, отмечается как наиболее актуальный аллерген во всем мире (Moverare et al., 2011; Gao et al., 2013; Gadermaier et al., 2014; Fu et al., 2018; Gao et al., 2019). Мажорными аллергенами пыльцы *Artemisia vulgaris* являются Art v 1 с молекулярной массой 60 кДа и Art v 2 с молекулярной массой 20 кДа. Art v 1 (Pastorello, 2002) гомологичен белку Amb a 4 и соответственно может вызывать перекрестную реактивность у пациентов (Wopfner et al., 2005). До 95% пациентов с аллергией на полынь сенсibilизированы именно к Art v 1 (Gadermaier et al., 2014).

Исследования по изучению локализации аллергенных белков в пыльцевых зернах полыни проводятся относительно недавно. Так, Fu с соавторами (2018) установили, что Art v 7 присутствует в цитоплазматическом матриксе и митохондриях (Fu et al., 2018). Gao с соавторами (2019) определили, что Art v1 и Art v3 ассоциирован со спородермой, Art v2 —с цитоплазмой или одновременно и с цитоплазмой, и с оболочкой пыльцы (Gao et al., 2019).

#### **1.4. Влияние климатических изменений на пыление растений.**

##### **Анализ долговременных трендов**

За последние десятилетия в мире проводилось много исследований, посвященных анализу долговременных трендов пыления растений (Spieksma et al., 1995; S. Jdger et al., 1996; Emberlin et al., 1997; Frei, 1998; Levetin et al., 2001; Rasmussen, 2002; Emberlin et al., 2007; Grewling et al., 2012; Hoebeke et al., 2018; Besancenot et al., 2019; Jockner-Oette et al., 2019; Ziska et al., 2019; Glick et al., 2021; Gehrig and Clot, 2021; Adams et al., 2022). Последние отражают модификации в сроках, продолжительности и интенсивности пыления отдельных таксонов, которые возникают под действием изменения температуры, влажности и концентрации углекислого газа в атмосфере. Происходящие в настоящее время трансформации могут привести к появлению симптомов аллергии у полисенсibilизированных пациентов практически круглогодично, поэтому изучение и анализ пыльцевых трендов играют важную роль в предупреждении и лечении поллинозов (Bergmann et al., 2023).

Spieksma с коллегами (1995) проанализировали интенсивность пыления *Betula* за 18-30 лет (1961–1993 гг.) в пяти европейских городах: Базеле, Вене, Лондоне, Лейдене и Стокгольме. На всех станциях мониторинга отмечался слабый рост суммарного годового содержания пыльцы.

S. Jager с соавторами (1996) изучали пыльцевые тренды на примере пяти древесных таксонов (*Alnus*, *Corylus*, *Betula*, *Pinus* и *Ulmus*) за 14-летний период

(1980–1993 гг.) в Северной (Стокгольм, Тронхейм, Турку) и Центральной (Вена) Европах. В работе были проанализированы начало и окончание, пик, продолжительность и интенсивности пыления. Для всех таксонов на всех станциях мониторинга отмечалась устойчивая тенденция к более раннему старту пыления. Однако, статистически значимой она оказалась только для *Alnus* ( $p=0.0266$  (Тронхейм),  $p=0.0126$  (Стокгольм) и  $p=0.0171$  (Турку)), *Corylus* ( $p=0.0224$  (Стокгольм) и *Ulmus* ( $p=0.0203$  (Тронхейм))). Пик пыления, в целом, также наступал раньше для всех пыльцевых типов. В большинстве случаев отмечалась заметная тенденция и к более раннему окончанию пыльцевого сезона. Так, статистически значимые показатели были выявлены для отдельных таксонов в Стокгольме (*Corylus* ( $p=0.0361$ ), *Alnus* ( $p=0.0386$ ), *Ulmus* ( $p=0.0687$ )), Турку (*Corylus* ( $p=0.0035$ )) и Вене (*Betula* ( $p=0.0058$ ))). Продолжительность сезонов пыления демонстрировала тенденцию к удлинению, но полученные тренды оказались незначимыми. В большинстве случаев также наблюдалось увеличение суммарного количества пыльцы, за исключением *Corylus* и *Ulmus* в Тронхейме, *Alnus* в Турку, *Ulmus* и *Pinus* в Стокгольме. Авторы работы подчеркивают, что результаты их исследований подтверждают теорию глобального потепления или, по крайней мере, временного повышения температуры воздуха в течение рассматриваемого периода времени.

Emberlin с соавторами (1997) в работе «The trend to earlier Birch pollen seasons in the UK: A biotic response to changes in weather conditions?» изучали сроки начала пыления березы в городах Великобритании: Кардиффе (1954-1995), Дерби (1969-1995) и Лондоне (1961-1983, 1987-1995). Результаты анализа показали, что локальное пыление березы сместилось на более ранние сроки (примерно на 5 дней). Авторы связали это с повышением температуры в январе, феврале и марте более чем на 5,5 °C. Позднее, в 2007 г. Emberlin с соавторами (2007) представили результаты анализа динамики пыления ольхи и орешника за 1996-2005 гг. в Вустере и Уэст-Мидлендсе (Великобритания). Отмечено, что суммарная годовая концентрация пыльцы, а также даты начала пыления

изученных таксонов сильно варьировали из года в год, но тенденции к росту первого показателя и к более раннему старту второго выявлено не было.

В исследованиях, проведенных в Швейцарии (Frei, 1998) в 1969–1996 гг., изучались тренды пыления орешника, березы и злаков. Так, было выявлено, что за это время произошло смещение сроков цветения лещины с марта на январь–февраль, что связано, по мнению авторов, с ростом среднегодовой температуры. На начало локального пыления березы и злаков изменение температуры повлияло незначительно. Однако было обнаружено, что на сроки пыления этих растений оказывают влияние погодные условия, предшествующие периоду цветения. У всех трех исследованных таксонов за наблюдаемый период времени увеличилась суммарная концентрация пыльцы за год. Очевидные причины такого повышения не были установлены, но предполагается, что это также связано с повышением температуры воздуха (Frei, 1998).

Влияние климатических сдвигов на цветение березы изучалось и в Дании (Rasmussen, 2002). За 23 года исследований (1977–2000 гг.) наблюдался отчетливый рост суммарной концентрации пыльцы *Betula*, а также увеличение числа дней с высоким содержанием пыльцы таксона в воздухе и дней с концентрацией выше нуля. В ходе работы было отмечено, что показатели годового содержания пыльцы в составе аэропалинологического спектра согласовывались со средней температурой вегетационного сезона предыдущего года. При этом корреляция между суммарным содержанием пыльцы березы и средними температурами фактического сезона не была выявлена. Отрицательная связь зафиксирована при сопоставлении суммарного годового содержания пыльцевых зерен и количеством осадков предыдущего года наблюдений. Помимо этого, в работе отмечен заметный сдвиг сроков пыления. Так, в 2000 г. оно началось примерно на 14 дней раньше, чем в 1977 г., пик пыления наступил на 17, а окончание сезона – на 9 дней раньше (Rasmussen, 2002).

В Северной Америке Levetin с соавторами (2001) обнаружили статистически значимое увеличение суммарной концентрации пыльцы *Juniperus*, *Quercus*, *Carya* и *Betula*, что связали с повышением средних температур воздуха в

зимнее время. В Польше (Познанин) (Grewling et al., 2012) за 15 лет наблюдений (1996–2010) статистически значимых тенденций в пылении березы выявлено не было. Тем не менее, наблюдались незначительные тенденции к более раннему началу ( $-0,4$  дня/год,  $p = 0,310$ ) и окончанию ( $-0,6$  дня/год,  $p = 0,162$ ) сезонов пыления.

Ziska с соавторами (2019) также провели ретроспективное исследование по изучению влияния изменяющегося климата на интенсивность и сроки пыления аллергенных растений (преимущественно – березы, дуба и злаков) в странах Северной Америки и Европы. В данной работе приняли участие 17 станций мониторинга (Амьен (Франция), Брюссель (Бельгия), Пуан (Корея), Фэрбанкс (США), Женева (Швейцария), Кево (Финляндия), Краков (Польша), Леньо (Италия), Миннеаполис (США), Москва (Россия), Папиллион (США), Рейкьявик (Исландия), Саскатун (Канада), Сеул (Корея), Салоники (Греция), Турку (Финляндия), Виннипег (Канада). Главным условием для участия в работе было наличие длинного непрерывного ряда данных продолжительностью не менее 20 лет. Исключение составил только Фэрбанкс (Аляска): регион предоставил показатели за 18 лет (Ziska et al., 2019).

В результате анализа было выявлено, что повышение температуры на планете повлекло за собой увеличение концентрации пыльцы всех трех исследованных таксонов. Наибольший рост пыльцевой продукции отмечался для березы, где повышение температуры на  $1^{\circ}\text{C}$  привело к увеличению содержания пыльцевых зерен на 20 %. Изменения температуры оказали влияние и на сроки появления пыльцы в воздухе. Так, сезон цветения березы и дуба в исследуемых регионах теперь наступает раньше. Продолжительность пыления также увеличилась. В ходе проделанной работы отмечены региональные различия в ответ на изменение температуры. В наибольшей степени потепление повлияло на сезон пыления в странах Северной Америки, что, вероятно, связано с большим диапазоном температурных колебаний (Ziska et al., 2019). Таким образом, в 12 (71%) из 17 исследуемых точек мониторинга на протяжении последних 20 лет статистически значимо увеличилась общая пыльцевая продукция, а в 11 (65%) из

17 регионов увеличилась продолжительность сезона пыления. В частности для Москвы было отмечено, что на протяжении 23 лет наблюдений длительность сезона пыления увеличивается каждый год на 1 день (Ziska et al., 2019).

Пыльцевые тренды, полученные более чем за 20 лет исследований (1995–2020 гг.), анализировались и в работе Adams с соавторами (2022). Авторы изучили особенности пыления *Betula*, *Quercus* и *Poaceae* в Великобритании за последние 26 лет, а также связь пыления с метеорологическими факторами. Результаты анализа показали, что существенных изменений в сроках (датах начала и окончания, продолжительности) пыления березы за указанный период не произошло, однако отмечено более интенсивное пыление таксона в Мидлендсе. Аналогичные результаты были получены ранее во Франции, Бельгии и Швейцарии (Hoebeke et al., 2018; Besancenot et al., 2019; Jockner-Oette et al., 2019; Glick et al., 2021). В отличие от *Betula*, для *Quercus* было отмечено более раннее и продолжительное пыление. Вероятно, это связано с повышением температуры и количества солнечных дней в апреле. При этом на интенсивности пыления это не отразилось. В случае со злаками наблюдался наиболее очевидный сдвиг сроков основного периода пыления: начало сезона сместилось на 15 дней раньше за последние 20 лет. Это может быть связано с повышением температуры в декабре, январе, апреле, мае и июне предыдущего года. Продолжительность и интенсивность пыления *Poaceae* также увеличились.

Вероятно, для установления истинной картины происходящего недостаточно даже 20 и 30 лет наблюдений. Единственное исследование на сегодняшний день, включающее в себя временной ряд длительностью в 50 лет, было проведено в Базеле (Швейцария) (Gehrig, Clot, 2021). Эта работа предоставляет уникальную возможность проанализировать долгосрочные изменения в пылении растений под действием изменяющихся метеорологических параметров. Так, результаты ретроспективных исследований показали, что за 50 лет (1969-2018 гг.) средняя годовая температура воздуха в Базеле увеличилась на 2,4 °C. Причем наиболее четкие изменения температурных показателей (увеличение на 2,7-3,9 °C) отмечались с апреля по август. В зимние месяцы

зафиксирован менее значительный рост температуры (увеличение на 1-1,8 °С). Количество осадков в регионе за указанный период не изменилось. Для изучения влияния изменяющегося климата на пыление растений были выбраны следующие наиболее значимые с аллергологической точки зрения древесные и травянистые таксоны: *Corylus*, *Alnus*, *Fraxinus*, *Betula*, *Carpinus*, *Fagus*, *Quercus*, *Platanus*, *Picea*, *Pinus*, *Populus*, *Taxus*/ *Cupressaceae*, *Roaceae*, *Rumex*, *Plantago*, *Artemisia*, *Urticaceae* и *Ambrosia*) (Gehrig, Clot, 2021).

Установлено, что наиболее явно климатические изменения отразились на сроках (в первую очередь датах начала) и интенсивности пыления растений. Для многих таксонов даты начала пыления значительно сдвинулись вперед и тесно коррелировали с температурой, предшествующей сезону пыления. Очень четкие тренды ( $p \leq 0,05$ ) к более раннему старту отмечены для *Taxus*/*Cupressaceae* (17,6-40,8 дней), *Fraxinus* (14,4-19,1 дней), *Fagus* (9,8-19,1 дней), *Quercus* (17,8-23,5 дней), *Pinus* (20,4-26,4 дней) и *Urticaceae* (7-16,3 дней). Для *Corylus*, *Betula*, *Alnus*, *Carpinus* и *Platanus* существенных изменений этого параметра выявлено не было. Даты окончания пыления за 50 лет наблюдений также сдвинулись на более ранние сроки. Очень четкие тенденции изменения этого показателя наблюдались для *Fraxinus* (24,5-40,6 дней), *Betula* (9,2-20,7 дней), *Platanus* (12,3-24,5 дней), *Quercus* (13,4-25,5 дней), *Pinus* (4,7-15,5 дней) и *Roaceae* (17,0-39,7 дней). Незначительные тенденции к более ранним срокам окончания пыления отмечены для *Alnus* (4,5-25,8 дней), *Carpinus* (4,5-20,4 дней) и *Fagus* (6,1-17,3 дней). Только для *Corylus* и *Urticaceae* этот показатель существенно не изменился. Тенденции к увеличению длительности сезона пыления отмечена для *Corylus*, *Taxus* /*Cupressaceae*, *Pinus* и *Urticaceae*. Для других таксонов, напротив, сезон пыления заканчивался раньше или существенно не изменился (Gehrig, Clot, 2021).

Интенсивность пыления увеличилась у всех древесных таксонов (причем у большинства из них – значительно) и уменьшилась у травянистых. Аналогичные результаты были получены и в ряде других работ (Lind et. al., 2016; Hoebeke et. al, 2018; Anderegg et. al, 2021; Rojo et. al, 2021). Среди деревьев только у *Betula*,

*Fagus*, *Pinus* и *Picea* это увеличение оказалось незначительным ( $p = 0,498$ ,  $0,139$ ,  $0,105$  и  $0,051$  соответственно). Среди травянистых растений тенденция к увеличению интенсивности пыления отмечена только в случае *Urticaceae*, однако причина этого явления до сих пор не установлена.

Результаты предыдущих исследований долгосрочных трендов, касающихся интенсивности пыления, проводимых в Базеле, указывают на увеличение суммарного годового содержания пыльцевых зерен орешника, березы и злаков в период 1969-1996 гг. (Frei, 1998), увеличение этого показателя у березы в период 1969-2006 гг. (Frei, Gassner, 2008), увеличение суммарной годовой концентрации пыльцы орешника и снижение суммарной годовой концентрации пыльцевых зерен березы и злаков в период 1985–2014 гг. (Jochner-Oette et. al, 2019). В Невшателе за 21 год исследований только у четырех из 24 изученных таксонов увеличилась суммарная годовая концентрация пыльцы: *Alnus*, *Taxus/Cupressaceae*, *Artemisia* и *Ambrosia* (Clot, 2003). Таким образом, при оценке интенсивности пыления изучение различных временных периодов может давать противоречивые результаты.

Помимо влияния изменяющегося климата на сроки, продолжительность и интенсивность пыления растений, в отдельных работах изучалась взаимосвязь между факторами окружающей среды и аллергенными свойствами пыльцы. Так, Ahlholm с соавторами (1998) исследовали влияние условий окружающей среды на аллергенные свойства пыльцевых зерен берёзы. В частности, авторы рассматривали, как температура влияет на концентрацию главного аллергена в пыльце берёзы (Bet v1). Наиболее высокая аллергенная активность была обнаружена в пыльце деревьев, выращенных при более высоких температурах.

В более раннем исследовании Hjelmsroos с соавторами (1995) изучали аллергенные свойства пыльцы *Betula pendula* и обнаружили, что они наиболее выражены в пыльцевых зернах особей, произрастающих в местах южной экспозиции. Помимо этого, Bet v 1, был обнаружен в различных количествах в образцах пыльцы, взятых с разных веток. Наибольшее количество белка отмечалось в экстрактах пыльцы, собранной с южной стороны деревьев.

Экстракты из пыльцы с ветвей, обращенных на север, были бедны аллергенами. Полученные данные свидетельствуют о том, что при оценке аллергенности пыльцы следует учитывать не только вид растения, но и индивидуальные особенности каждого конкретного дерева.

Необходимо отметить, что результаты приведенных выше исследований помогают не только устанавливать изменения в продолжительности, интенсивности и сроках пыления растений, но и составлять долгосрочные прогнозы, что имеет критически важное значение для превентивной терапии и лечения аллергиков.

### **1.5. Моделирование и прогнозирование состава аэробиологического спектра**

Людам, страдающим поллинозами, с целью профилактики заболеваний важно получать не только фактические, но и прогностические данные о концентрации пыльцы, а также о сроках и продолжительности пыления причинно-значимых аллергенов. Такой запрос постепенно привел к переходу от описательной аэробиологии к прогностической. Прогнозы пыления помогают врачам составлять планы лечения для своих пациентов, а последним, в свою очередь, планировать превентивную терапию, прием лекарств и образ жизни в целом (Levetin et. al., 2003). В настоящее время разрабатывается большое количество прогностических и реконструирующих (анализирующих) моделей, позволяющих как проанализировать текущую аэропалинологическую обстановку и исследовать эпизоды обратных траекторий движения воздушных масс, так и предсказать потенциальную концентрацию пыльцы в воздухе любого региона мира, а также – сроки пыления того или иного таксона. Рассмотрим некоторые из них.

**Модели, предсказывающие интенсивность пыления растений.** Суммарная концентрации пыльцы (интенсивность пыления) в настоящее время не подлежит надежному прогнозированию. Так, Е.Э. Северова и О.А. Волкова

(Severova, Volkova, 2017) на примере 25-летних наблюдений (1994-2018 гг.) за пылением березы в Москве продемонстрировали значительные колебания суммарного годового содержания ее пыльцы в составе атмосферного воздуха. Отметим, что из-за высокой степени аллергенности и высокой пыльцевой продукции, береза является «излюбленным» объектом для разработки прогнозов в умеренных широтах. Количественные флуктуации пыльцевой продукции таксона объясняются несколькими причинами. С одной стороны, большое влияние на потенциальное количество пыльцы, продуцируемое мужским соцветием, оказывают метеорологические факторы предшествующего сезону пыления года (Ranta et al., 2008). Это связано с тем, что формирование мужских соцветий у березы происходит не в сезон пыления, а летом предшествующего года. С другой стороны, условия предыдущего сезона определяют лишь потенциальную пыльцевую продукцию. Количество пыльцы, регистрируемое при мониторинге, в значительной степени зависит и от погодных условий в момент пыления. На основе многофакторного регрессионного анализа Северова Е.Э. и Волкова О.А. (2017) предложили модель, которая достаточно хорошо описывала межсезонную динамику общей пыльцевой продукции березы. Авторы учитывали разные метеорологические параметры: количество осадков, температуру и влажность (как предшествующего, так текущего сезона). Результаты исследований показали, что наиболее важными параметрами, влияющими на суммарное годовое содержание пыльцы березы, являются количество осадков в мае и июне года, предшествующего цветению, общее количество осадков за 40 дней до начала сезона и среднесуточная температура в период пыления (Severova, Volkova, 2017).

Аналогичные результаты были получены ранее Aslog Dahl и Sven-Olov Strandhede (1996), которые прогнозировали интенсивность пыления березы в южной Скандинавии. В своей работе авторы указали, что колеблющийся из года в год характер пыления *Betula alba*, определяется наличием продуктов ассимиляции во время развития и формирования мужских соцветий, то есть за год до цветения (с мая по июнь года, предшествующего цветению) (Caesar, Macdonald, 1983, 1984). Непосредственно перед цветением серёжки удлиняются и интенсивно расходуют

запасенные ранее сахара, тем самым конкурируя с развивающимися листьями и побегами. В результате фотосинтетическая активность в годы с интенсивным цветением снижается, ограничивая тем самым потенциал для формирования новых соцветий на следующий год (Dahl et. al., 1996). Хотя пыльцевая продуктивность мужских соцветий во многом зависит и от текущих погодных условий, всё же определяющим фактором являются погодные условия во время развития серёжек. В Скандинавии главным фактором выступает температура. Показано, что суммарное содержание пыльцы *Betula alba* в течение вегетационного сезона хорошо согласуется с суммой температур с 1 мая по 20 июля предыдущего года, пыльцевой продукцией в предыдущем году и суммой температур основного периода пыления в год цветения.

В 2018 г. Yi-Ting Tseng et. al разработали алгоритм предсказания суммарной концентрации пыльцы березы в воздухе, в основе которого лежат только метеорологические данные за предыдущие годы. Для построения и проверки модели использовались данные о содержании пыльцы *Betula* в составе аэробιοлогического спектра г. Хоккайдо (Япония) с 1996 по 2015 гг. и метеорологические данные с 1990 по 2014 гг. Авторы показали, что на развитие мужских соцветий и их пыльцевую продуктивность оказывают влияние не только метеорологические условия прошлого лета (Matthews, 1955, Norton and Kelly, 1988). Низкая концентрация пыльцы за сезон может регистрироваться, даже если метеорологические условия в предыдущем году были подходящими для формирования мужских цветков. Yi-Ting Tseng et. al (2018) для прогноза пыления определяли следующие параметры: наиболее подходящий месяц для получения метеорологических данных, наиболее подходящий период времени (необходимое для исследования количество лет) и оптимальное сочетание метеорологических параметров, необходимых для точных прогнозов. Dahl and Strandhede (1996) показали, что развитие мужских цветков регулируется фотосинтетической активностью растения с мая по конец июня, а Yli-Panula et al. (2009) сообщили о высокой корреляции годовой концентрацией пыльцы березы с температурой воздуха и количеством осадков в июне предыдущего года. Авторы подтвердили,

что погодные условия в июне прошлого года имеют решающее значение для развития мужских соцветий березы и подходят для прогнозирования суммарного количества пыльцы березы в следующем году. При этом модель показывает наилучшие результаты при использовании метеорологических параметров (максимальной среднесуточной температуры воздуха и солнечной радиации) за предыдущие пять лет.

**Модели, предсказывающие суточную концентрацию пыльцы.** В 1995 г. Norris-Hil представил модели, предсказывающие ежедневную концентрацию пыльцы *Роасеае* в Северном Лондоне на два-три дня вперед. Для прогнозирования учитывались среднесуточные концентрации пыльцы и метеорологические данные (температура, количество осадков, солнечное сияние, облачность, влажность, скорость и направление ветра) с 1987 по 1991 гг. В итоге, наибольшей точности (71%) достигла модель, включающая в качестве предикторов накопленную среднюю температуру и максимальную температуру, суточное количество осадков и относительную влажность воздуха. При этом автор в своей работе указал на необходимость увеличения набора данных для повышения точности прогнозов.

В 2010 г. Linkosalo с соавторами представили модель, предсказывающую изменение суточной концентрации пыльцы *Betula* в Финляндии, основанную на сумме накопленных положительных температур (Linkosalo et al., 2006, 2008). В работе использовались аэриобиологические (1963–1973 гг.) и фенологические данные из отдельных регионов Южной и Центральной Финляндии. Результаты исследования показали, что модель точно предсказывает изменение суточной концентрации в течение всего периода цветения, а также начало и конец пыления. Авторы не исключали, что разработанная ими модель действенна только в бореальной зоне, а её эффективность следует проверить, используя измерения в других регионах.

Voukantsis с соавторами (2010) разработали оперативную прогностическую модель с использованием искусственного интеллекта, предсказывающую среднесуточную концентрацию пыльцы в воздухе на 1-7 дней вперед. Модели

разрабатывались для пыльцы Poaceae, Oleaceae и Urticaceae и включали репрезентативный набор данных, состоящий из долгосрочных временных рядов пыления и метеорологических данных за период с 1987 по 2002 гг. в г. Салоники (Греция). Результаты показали превосходство методов искусственного интеллекта (особенно при прогнозировании на несколько дней вперед) по сравнению с традиционными моделями множественной линейной регрессии. Отметим, что искусственные нейронные сети (Sanchez-Mesa et al., 2002; Rodriguez-Rajo et al., 2010) ранее уже применялись для решения этой задачи и доказали свою эффективность (Galan et al., 2001).

Методы машинного обучения с использованием искусственного интеллекта также использовались в работе Laszlo Makra с соавторами (2024). Целью работы являлось прогнозирование общей ежедневной концентрации пыльцы (т.е. суточной концентрации пыльцы всех таксонов суммарно) на 14 дней вперед для 23 городов. При определении этого показателя наиболее важными переменными прогностической модели оказались общая концентрация пыльцы за прошлые сутки, температура на высоте 2 м над поверхностью земли за прошлые сутки, температура почвы на глубине 28-100 см ниже поверхности земли за прошлые сутки, температура почвы на глубине 0-7 см ниже поверхности земли за прошлые сутки и прогнозируемая температура на высоте 2 м над поверхностью земли. Наилучшие результаты были получены для Сантьяго (Чили), Женевы (Швейцария), Мехико (Мексика) и Талсы (Оклахома, США), наихудшие – для Баия-Бланка (Аргентина) и Сеула (Южная Корея). Для краткосрочных прогнозов (на 3 и менее дней вперед) наиболее эффективной оказалась модель CatBoost (CB), а для более длительных периодов – модель Deep learning (DL). Необходимо отметить, что это первая в литературе статья, в которой с целью составления суточных прогнозов пыления учитывались не только метеорологические данные за предшествующие сутки, но и метеопрогнозы.

Одной из наиболее актуальных и востребованных моделей предсказания суточной концентрации пыльцы является SILAM (2024) (System for Integrated modeLling of Atmospheric coMposition). SILAM-модель – это одна из наиболее

легкодоступных прогностических информационных систем в Европе. Она была разработана в 2005 г. Финским метеорологическим институтом (FMI) и охватывает практически всю европейскую территорию. Необходимо отметить, что модель показывает не только само пыление таксона в какой-то конкретной точке, но и вероятность дальнего переноса пыльцы. В настоящий момент прогнозы пыления разработаны для *Betula*, *Alnus*, *Poaceae*, *Ambrosia*, *Oliva* и *Artemisia*. В основе прогноза лежат карты распространения растений, фенологические модели и метеорологические данные. Валидация модели осуществляется с использованием данных аэробиологического мониторинга, прогноз пыления разрабатывается на 72 часа вперед (SILAM, 2024). Эффективность работы модели SILAM для прогнозирования концентрации пыльцы березы в Финляндии оценивали Sofiev с соавторами (2006). Результаты исследований показали хорошую корреляцию между прогностическими и фактическими данными, что подтверждает практическую значимость модели.

В работе Ortega с соавторами (2010) модель SILAM использовалась для изучения дальнего переноса пыльцы *Betula* в Каталонии (Северная Испания). Береза типична для севера Каталонии и достаточно редко отмечается на юге. Тем не менее, высокая концентрация пыльцы березы зачастую наблюдаются и в южной Каталонии, что авторы связывают с дальним транспортом пыльцы из северных районов. Для проверки эффективности работы модели использовались данные о концентрации пыльцы в воздухе в 2006 и 2007 гг. на восьми аэробиологических станциях: Барселона, Беллатерра, Жирона, Лерида, Манреса, Рокетес, Таррагона и Вьелья. Было показано, что аэробиологические данные достаточно хорошо согласовывались с картиной распространения пыльцы, воспроизведенной моделью, однако в некоторых случаях наблюдалась задержка на день. Авторы отмечают, что для получения более точных результатов, необходимо проанализировать более длительный временной ряд данных.

**Модели, предсказывающие начало пыления.** Начало пыления отдельных растений (в первую очередь раннецветущих – *Corylus* (Frenguelli et al. 1991; Frenguelli and Bricchi 1998), *Alnus* (Emberlin et al. 2007) и *Betula* (Linkosalo et al.,

2010) напрямую зависит от метеорологических параметров (Mahura, 2008), в первую очередь от температуры воздуха. Когда последняя достигает определенного значения, начинается основной период пыления (ОПП). Основываясь на этом параметре, возможно с точностью примерно в два-три дня предсказать, когда начнется пыление тех или иных растений.

Так, в 2014 г. были опубликованы результаты исследований по изучению влияния температуры на начало пыления *Alnus*, *Corylus* и *Betula* в Кракове (Южная Польша) (Myszkowska, 2014). Установлено, что наилучшим образом связь между началом пыления и метеорологическими параметрами описывает среднесуточная температура, формула расчета которой включала минимальную температуру ( $t_{\min}$ ), максимальную температуру ( $t_{\max}$ ), температуру в 6 ч утра ( $t_6$ ) и температуру в 6 ч вечера ( $t_{18}$ )  $(t_{\max}+t_{\min}+t_6+t_{18})/4$ ). На основе этого показателя рассчитывалась так называемая пятидневная скользящая средняя температура, включающая в себя 5 последовательных значений среднесуточных температур. Для *Alnus* и *Corylus* пятидневная скользящая средняя рассчитывалась с 1 января, а для *Betula* с 5 марта до дня, определенного как начало сезона пыления таксона.

Интересно, что за 20 лет аэриобиологических исследований в большинстве случаев перед началом пыльцевого сезона отмечалось повышение температуры с последующим понижением, что повторялось несколько раз. Такие колебания были названы в работе «теорией холмов и долин». Для прогнозирования пыления необходимо было найти так называемый «локальный минимум» – день, которому предшествовало не менее двух суток со снижением 5-дневной скользящей средней температуры, за которыми следовало не менее двух дней с повышением этого параметра. Предполагалось, что этот «локальный минимум» и выступает индикатором начала пыльцевого сезона (Myszkowska, 2014).

Результаты исследований показали, что предложенная модель обеспечила точность прогноза в 83,58% случаев для ольхи, в 84,29% случаев для лещины и в 90,41% случаев для березы. В годы проверки модели (2011 и 2012 гг.), начало пыльцевого сезона для ольхи и лещины было точнее спрогнозировано в 2011 г., а для березы модель достигла точности 100% в оба года исследований. Таким

образом, результаты работы показали высокую эффективность предложенной модели для прогнозирования начала сезона пыления на основе температурных показателей.

Целесообразность анализа метеорологических параметров непосредственно перед началом вегетационного сезона, а не за несколько месяцев до него обсуждалась и в других исследованиях. Так, согласно Scamoni (1955), индикатором наступающего пыления *Alnus* является температура в течение 10 дней перед началом вегетационного сезона. Adams-Groom с соавторами (2002) отмечали существенное влияние погодных условий за 10 дней до начала пыления *Betula*. По данным Piotrowska и Kaszewski (2009), на начало пыления *Corylus* влияет накопленная среднесуточная температура выше нуля в течение 5 дней, предшествующих началу сезона пыления. Результаты исследований Frenguelli с соавторами (1991) показали, что в Средиземноморье начало пыления *Alnus* зависит от среднесуточных температур в течение последнего месяца перед вегетационным сезоном. При этом другое исследование Frenguelli с соавторами (1992) показало, что на начало ОПП *Corylus* в Италии влияют температурные условия в 10-дневный период перед сезоном при условии, что среднесуточная температура составляет выше 4,5 °С. Если среднесуточные температуры не достигают этого порогового значения, то начало сезона может быть отложено на 30-35 дней.

Norris-Hill (1998) представил высокоэффективные модели множественной регрессии ( $R=0,996$ ), предсказывающие начало сезона пыления *Betula* с использованием среднесуточной температуры в феврале, в то время как Laadi (2001) показал влияние максимальной температуры в третьей декаде февраля и минимальной — в конце ноября. Температурные условия (среднесуточная температура и максимальная температура) в феврале также учитывались Bringfelt с соавторами (1982), а Spieksma с соавторами (1995) показали, что решающее значение перед началом сезона пыления *Betula* имеет температура воздуха в течение 4 предшествующих декад. Emberlin с соавторами (1993) обнаружили, что наиболее важным индикатором начала сезона пыления *Betula* является

кумулятивное скользящее среднее в марте, однако прогностическая значимость разработанных моделей оказалась невелика (54,5%). В исследованиях, проведенных в Южной Польше, выявлено, что начало пыльцевого сезона орешника определяется температурой, относительной влажностью и количеством дней с отрицательными температурами (Dąbrowska-Zapart, 2008).

Исследования, учитывающие при прогнозировании не только температуру, но и количество осадков, проводились Adams-Groom с соавторами (2002). В работе использовались данные о пылении березы, полученные на трёх станциях мониторинга Великобритании (Лондона, Дерби и Кардиффе) за 11 лет наблюдений (с 1987 по 1997 гг.) и метеорологические параметры за 200 дней, предшествующие началу пыления. Наибольшее влияние на даты начала сезона пыления березы во всех точках наблюдений оказали погодные условия с начала февраля до середины марта. Наиболее эффективная модель была построена для Дерби, а наименее эффективная – для Лондона. Возможно, это обусловлено расположением метеорологических станций: в первом случае она находилась на расстоянии 0,5 км от места установки ловушки, а во втором – на расстоянии 21 км.

Таким образом, в большинстве случаев именно температурные показатели используются для построения математических моделей, прогнозирующих начало пыльцевого сезона (Myszkowska, 2014). Такие модели находят свое практическое применение в аллергологии, например, для проведения аллерген-специфической иммунотерапии у пациентов, чувствительных к аллергенам пыльцы деревьев.

**Модели, реконструирующие дальний транспорт пыльцы.** Ядро аэропалинологического спектра составляет пыльца ветроопыляемых растений, которая обладает хорошими аэродинамическими свойствами. Она может переноситься на дальние расстояния (Федорова и др., 1980; Шамгунова, Заклякова, 2010; Кононова, 2018), поэтому первое появление пыльцевых зерен в составе спектра может наблюдаться за несколько недель до начала локального периода пыления растений в регионе. Помимо этого, дальний транспорт может привести к увеличению концентрации пыльцевых аллергенов в воздухе и во

время локального пыления. В связи с этим, перед станциями аэробиологического мониторинга иногда ставится и ретроспективная задача – реконструировать обратное движение воздушных масс, чтобы определить регионы-потенциальные источники такой заносной пыльцы.

Для оценки эпизодов дальнего транспорта пыльцы из удаленных источников на сегодняшний день разработана модель HYSPLIT, позволяющая построить обратные траектории движения воздушных масс (<https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>). Случаи дальнего заноса регистрируются ежегодно в разных странах мира. Так, отдельное исследование по изучению дальнего транспорта пыльцы в г. Рязани было проведено Посевиной Ю.М. с соавторами (Посевина и др., 2010). В работе анализировались эпизоды дальнего заноса в регион пыльцы амброзии и пыльцы берёзы в 2007-2009 гг. Установлено, что в умеренных широтах пыление амброзии наступает в конце августа – начале сентября (Северова и др., 2008), а более раннее обнаружение пыльцы инвазионного сорняка следует рассматривать как результат дальнего заноса. Анализ обратных траекторий движения воздушных масс показал, что в качестве регионов-потенциальных источников пыльцы амброзии в атмосфере г. Рязани могли выступать южные регионы России, в первую очередь Северный Кавказ. Первое появление пыльцы берёзы в составе спектра, как правило, также опережало (на 1-1,5 месяца) начало локального пыления этого таксона. Ранее появление берёзовой пыльцы в составе спектра всегда было связано с ветрами южных и юго-западных направлений. Построенные обратные траектории движения воздушных масс хорошо согласовывались с данными аэробиологических станций, расположенных на юге России, в Украине и Беларуси (Посевина и др., 2010).

Движение пыльцевого облака вызвало небывалую по численности и тяжести вспышку поллинозов и в Дании в мае 2006 г., зарегистрированную до начала сезона пыления березы в регионе (Skjøth et. al., 2007). В работе авторы использовали комбинацию фенологических и аэробиологических наблюдений в Польше (Познань) и Дании (Копенгаген), а также расчеты траектории движения

воздушных масс. Результаты исследования показали, что локальное цветение березы в Познани длилось с 20 по 28 апреля 2006 гг., а суточные концентрации варьировали от 739 до 2169 зерен/м<sup>3</sup>. Согласно же фенологическим наблюдениям, проведенным в Копенгагене, местное пыление в регионе началось только 2 мая 2006 г. При этом 23, 26 и 27 апреля в Копенгагене уже было зафиксирована концентрация 108, 244 и 41 пз/м<sup>3</sup> соответственно. Анализ обратных траекторий движения воздушных масс показал, что источником пыльцы в указанные даты явилась Польша.

В 2016 г. в Кракове (Польша) были зарегистрированы рекордные концентрации пыльцы березы за всю историю аэробιологических исследований, начиная с 1991 г. Анализ фенологических и метеорологических данных, а также моделей HYSPLIT показал, что высокие концентрации пыльцы в начале сезона пыления скорее всего были связаны с переносом пыльцы из Сербии, Венгрии, Австрии, Чехии, Словакии, так как полного цветения березы в Кракове в это время ещё не наблюдалось. Высокие концентрации пыльцы березы в конце сезона были обусловлены переносом пыльцы березы из Фенноскандии и стран Балтии (Myszkowska et al., 2021). Эпизоды переноса пыльцы на большие расстояния рассматривались также в работах Peeters и Zoller (1988), Hjelmroos (1991), Smith et al. (2005), Smith et al. (2008), Kasprzyk et al. (2011), Sikoparija et al. (2013) и других исследователей.

### **1.6. Амброзия как инвазионный источник аллергенной пыльцы**

В последние десятилетия биологическим инвазиям уделяется особое внимание. Так, в большинстве регионов мира существенно возросло количество чужеродных видов растений (Pysek et al., 2009; Seebens et al., 2017), представляющих угрозу как для биологического разнообразия, так и для здоровья человека. Одной из самых проблемных групп инвазивных сорняков является род *Ambrosia* (Severova et al., 2020). Растения отличаются высокими семенной продуктивностью и всхожестью (Thibaudon et al., 2020), что способствует их

хорошей адаптации к условиям окружающей среды и быстрому вторжению и натурализации (Essl et al., 2015; Montagnani et al., 2017)

Пыльца амброзии является одной из наиболее серьезных причин респираторных заболеваний (Severova et al., 2020). Широкое распространение этого инвазионного сорняка приводит к увеличению числа аллергических заболеваний у пациентов, чувствительных к его пыльце (Montagnani et al., 2017). Процент сенсibilизации к антигенам амброзии значительно различается в разных странах: в Венгрии он составляет 60% (Burbach et al., 2009), во Франции – 47 %, (Thibaudon et al., 2010), на севере Италии – 70% (Tosi et al., 2011). Хотя растение в настоящее время также распространено в Японии, Южной Корее и некоторых частях Китая (Pichler et al., 2015; Essl et al., 2015), чувствительность населения в этих регионах не превышает 5% (Li et al., 2009; Kim et al., 2012; Pichler et al., 2015). Сенсibilизация к амброзии в Стамбуле впервые была исследована F. Zemmer et. al (2020) в 2015 г. и составила 4,8 %. Одним из важнейших источников пыльцы амброзии в Европе в настоящее время считается юг России. Так, в Краснодарском и Ставропольском краях, Ростовской области и Башкортостане аллергия на пыльцу растения становится настоящей эпидемией (Severova et al., 2020). Доля положительных реакций на пыльцевые зерна амброзии в Краснодаре составляет 96,7% пыльцевых аллергиков (Остроумов, 1973; Северова, Майоров, 2025) в Ростовской области – до 82% (Трофименко, Ракова, 2015). В Ставрополе за 9 лет наблюдений (1991-2000 гг.) процент детей, страдающих поллинозами, увеличился в 5 раз, при этом наиболее частой причиной заболевания в регионе являлась пыльца амброзии (Уханова и др., 2020; Северова, Майоров, 2025).

Несмотря на это, непрерывный мониторинг пыльцы в южных регионах России до 2019 г. никогда не проводился. В 2019 г. впервые в европейской части России работали одновременно 6 станций мониторинга: три станции на юге (Краснодар, Ставрополь и Ростов-на-Дону) и три – в центральной и северной частях страны (Рязань, Москва и Санкт-Петербург). По результатам исследований было установлено, что наиболее интенсивный сезон пыления амброзии

характерен для Краснодара (суммарное содержание пыльцы составило 8836 пг/м<sup>3</sup>), наиболее продолжительный – для Ростова (60 дней). В центральных регионах Европейской России пока пыльца амброзии не представляет такой опасности (Severova et al., 2020), однако, в составе аэропалинологического спектра Москвы (Северова, 2008) и Рязани (Посевина, 2011) она отмечается регулярно. В 2019 г. пыльца амброзии единично впервые была зафиксирована в Санкт-Петербурге (Severova et al., 2020).

Высокие показатели чувствительности к пыльце *Ambrosia* связаны с её высокой пыльцевой продуктивностью и аллергенной активностью. Одно растение амброзии может выделять до одного миллиарда пыльцевых зерен за сезон (Fumanal et al., 2007). Помимо этого, пыльца этого таксона обладает хорошими аэродинамическими свойствами и может переноситься по воздуху на расстояния от нескольких сотен до тысяч километров. Это приводит к формированию сенсibilизации и клиники поллиноза у населения, живущего вдали от источников пыльцевых аллергенов (de Weger et al., 2016). Например, в результате дальнего транспорта в Дании периодически отмечаются высокие концентрации пыльцы амброзии, при этом на территории страны находки амброзии нечасты (Sommer et al., 2015). Косвенным доказательством активного переноса пыльцы амброзии в Европе служит работа Prank с соавторами (2013), которые установили, что территория с высокой концентрацией пыльцы амброзии в воздухе намного превышает по площади регионы, где это растение распространено.

Род *Ambrosia* включает в себя около 40 различных видов, большинство из которых произрастают в восточной и центральной частях Северной Америки (Boulet, 1997), на юге Канады, а также в Центральной и Южной Америке (Марьюшкина, 1986; Афонин, 2022). Полагают, что вид возник в пустыне Сонора (юго-запад США и прилегающая Мексика) (Payne, 1966). В XVIII веке амброзия вместе с зерном и семенами пурпурного клевера была занесена в Европу (Никитин, 1983; Марьюшкина, 1986; Москаленко, 2001; Виноградова и др., 2010), после чего род широко распространился во многих европейских странах и в настоящее время наносит значительный ущерб биологическому разнообразию и

здоровью человека (Афонин, 2022). На сегодняшний день в Европе насчитывается 6 видов амброзии, 5 из которых являются инвазивными (Pyšek et al., 2009). Наиболее важное значение имеют *A. artemisiifolia* L., *A. psilostachya* DC. и *A. trifida* L., пыльца которых является сильнейшим аллергеном (Montagnani et al., 2017, 2023; Schaffner et al., 2020; Bonini et al., 2022).

В конце XIX – начале XX века виды амброзии проникли на территорию СССР (Никитин, 1983; Марьюшкина, 1986; Москаленко, 2001; Виноградова и др., 2010; Афонин и др., 2019; Афонин и др., 2022), и в настоящее время *A. artemisiifolia* L., *A. psilostachya* DC. и *A. trifida* L. включены в перечень карантинных объектов Российской Федерации (Решение..., 2016). Первым обнаруженным видом оказалась *Ambrosia artemisiifolia* L., очаги инвазии которой были зафиксированы в 1919 г. в Ставропольском крае, когда растение распространилось с железнодорожных зон на соседние поля (Васильев, 1958). До 1935 г. амброзия не входила в список карантинных растений, а в основополагающем труде «Сорные растения СССР» (Келлер, 1935) она указывалась только на территории Ставрополя и Северной Осетии. В 1938 г. амброзия была обнаружена в Терском районе Северного Кавказа (Флеров, 1938), а в 1939 г. – в Азербайджане (Флора Азербайджана, 1961). Таким образом, до Второй мировой войны ареал амброзии на территории СССР состоял из отдельных небольших очагов.

Во время Великой Отечественной войны из-за массового перемещения военной техники, людей и животных, *Ambrosia artemisiifolia* расширила свой ареал и проникла в новые регионы (Afonin et al., 2018). В начале 1950-х гг. этот вид появился на севере Краснодарского края, откуда распространился в Ростовскую область (Косенко, 1970). В Чувашии он впервые был обнаружен в середине 1950-х гг. на газоне в Чебоксарах (Димитриев, Пузырев, 1987), но не получил там широкого распространения. В 1967 г. отдельные растения амброзии были обнаружены в Воронежской области (Григорьевская и др., 2004). В 1969 г. отмечено её массовое распространение в Крыму (Кожевникова, 1970). С 1974 г. амброзия спорадически отмечалась и в северных регионах России: в 1989 г. – в

Кировской области (Тарасова, 2007), в 1990 г. – в Республике Коми (Лавренко и Кустишева, 1990), в 1997 г. – на территории Карелии (Кравченко, 1997). Следует отметить, однако, что в этих точках вид не натурализовался. В 1979 г. амброзия была обнаружена в Астраханской области, а в 2009 г. описана там как сорняк, часто встречающийся вдоль обочин дорог и по окраинам полей (Лактионов, 2010). В начале 1980-х гг. амброзия проникла в Липецкую область, где спорадически встречалась по обочинам дорог, а также в некоторых садах и на свалках (Казакова и др., 1996). В 1982 г. карантинное растение впервые обнаружено на северной окраине Рязани (Казакова, 2004; Васильев, 2009). В 1989 г. вид был зафиксирован в Башкирской АССР (Определитель..., 1989), в 1993 г. – в Курской области (Виноградова и др., 2009). В 1994 г. амброзия полыннолистная отмечена на полях и свалках трех районов Ульяновской области (Благовещенский, Раков, 1994), а в 1997 г. – в Орловской и Тамбовской областях (Еленевский, Радигина, 1997; Виноградова и др., 2009). Таким образом, к 2000 г. ареал амброзии существенно увеличился, а границы её распространения сместились. Далее отдельные растения и популяции регистрировались в Тамбовской (Сухоруков, 2010), Пензенской (Солянов, 2001), Самарской (Плаксина, 2001), Саратовской (Еленевский и др., 2000), Оренбургской (Рябинина, Князев, 2009), Нижегородской (Мининзон, 2010) областях. В 2013 г. впервые отмечено три очага амброзии в Брянской области (Россельхознадзор: Брянская и Смоленская области, 2013). Вид также указан как заносный для Московской (Варлыгина и др., 2007) и Рязанской областей.

Вопрос натурализации амброзии в северо-восточных регионах России на сегодняшний день остается открытым. Установлено, что виды рода *Ambrosia* могут произрастать и воспроизводиться при температуре воздуха не менее 25 °C (Dinelli et al., 2013). Такое требование затрудняет продвижение сорняка на север (Петрова, 2019), однако в условиях меняющегося климата прогнозируется расширение вторичных ареалов всех видов рода *Ambrosia* в направлении Северной и Восточной Европы, в том числе в странах Балтии и России (Афонин, 2022). Таким образом, с 2000 по 2014 гг. ареал амброзии значительно расширился,

однако встречаемость вида на вновь занятых северных территориях существенно ниже, чем в более южных районах (Afonin et al., 2018).

В 2014-2016 гг. С.Е. Петровой (2019) проводилось изучение территориальных границ карантинных видов амброзии в средней полосе. В работе исследовалась жизнеспособность семян *A. artemisiifolia* и *A. trifida* в Московской области. Результаты исследования показали, что оба вида обладают высокой всхожестью, однако различаются сроками цветения и созревания семян. *A. trifida* в условиях Подмоскovie успевала сформировать жизнеспособные семена, так как период её плодоношения приходился на тёплый период (конец сентября-октябрь). В свою очередь многие особи *A. artemisiifolia* не успевали достичь стадии плодоношения (которая приходится на конец октября-ноябрь) из-за рано наступивших в 2015 г. холодов. Таким образом было установлено, что в умеренной полосе *A. trifida* является потенциально опасным инвазионным растением, которое со временем может занять прочные позиции в северо-восточных регионах страны. Натурализация *A. artemisiifolia* в данных условиях на сегодняшний день более проблематична, однако не исключено, что широкая экологическая пластичность вида может способствовать его продвижению в другие регионы (Васильев, 1958; Абрамова, 1997; Петрова, 2019).

В 2019 г. А.Н. Афонин с коллегами (2019) путём маршрутного обследования Европейской территории России актуализировали информацию о границах распространения амброзии полыннолистной. Исследования проводились в 278 точках на территории 11 субъектов (Ставропольского и Краснодарского краёв, Ростовской, Белгородской, Курской и Липецкой областей, республики Калмыкии, севере и юге Волгоградской и Воронежской областей), в 181 из которых вид был зафиксирован. Оптимальные экологические условия (теплообеспеченность и влагообеспеченность) для натурализации данного вида были отмечены в Ростовской и на юге Воронежской областей, в Краснодарском и Ставропольском краях. Восточнее Калмыкии и южной части Волгоградской области показатель влагообеспеченности входит в зону экологического

пессимума, что приводит к снижению встречаемости вида (61-81 % соответственно) (Афонин и др., 2019).

На севере Волгоградской и Воронежской областей, помимо недостаточной влагообеспеченности, действует дополнительный лимитирующий фактор – недостаточная теплообеспеченность, что приводит к снижению встречаемости (55-56 % соответственно) и обилия амброзии полыннолистной. В Белгородской и Курской областях недостаточная обеспеченность теплом приводит к тому, что амброзия произрастает там не повсеместно, хотя местами обильно. Единственным регионом, где ни в одной из 13 изученных точек амброзия не была зафиксирована, является Липецкая область (Афонин и др., 2019).

Таким образом, установлено, что на юге Европейской части России амброзия полыннолистная встречается обильно и практически повсеместно. К северу вид отмечается на интразональных территориях, характеризующихся повышенной теплообеспеченностью. Потенциально к таким территориями можно отнести Тульскую, Рязанскую и Московскую области, в которых установлены карантинные фитосанитарные зоны по амброзии (Афонин и др., 2019).

В 2017-2021 гг. А.Н. Афоным с коллегами (2022) проводились исследования по изучению распространения и натурализации *Ambrosia trifida* L. на территории европейской части России. Результаты экспедиций в 817 исследованных пунктов на территории 15 административных субъектов показали, что карантинный вид был обнаружен в 203 точках наблюдений. При этом центрами массовой натурализации оказались Заволжье, Предуралье, Предволжье, Хоперско-Бузулукская равнина, юго-запад Окско-Донского плоскоместья и Калачская возвышенность (Афонин и др., 2022).

На протяжении 5 лет экспедиционных исследований было выявлено, что амброзия трехраздельная обладает широким потенциалом распространения. Например, в 2017 г. самая западная находка *Ambrosia trifida* была отмечена восточнее Воронежа, а наблюдения 2021 г. свидетельствовали о продвижении вида уже до западной границы Воронежской области. Помимо этого, в г. Брянске в 2019-2021 гг. число экземпляров амброзии трехраздельной резко увеличилось

по сравнению с 2012 г (Афонин и др., 2022). Отмечается, что *A. trifida* была обнаружена в Калужской, Ивановской, Тульской и Рязанской областях, а также в Москве и Мордовии, однако информация о натурализации растения в указанных регионах требует подтверждения (Афонин и др., 2022).

Таким образом, изменение климата приводит к расширению границ распространения амброзии. В ближайшие годы, вероятно, *A. artemisiifolia* и *A. trifida* продвинулись далее на север. Это приведет к увеличению концентрации пыльцы в воздухе и существенному ухудшению качества жизни людей, страдающих амброзийным поллинозом. В этой ситуации крайне важна безотлагательная разработка стратегического плана борьбы с этим опасным карантинным сорняком (Северова, Майоров, 2025).

### **1.7. Злаки как одна из причин поллинозов в мире**

Злаки (Poaceae) – крупное семейство однодольных растений, которое включает в себя более 11 000 видов (Soreng et al., 2022), 270 из них насчитывается во флоре центральной России (Alexeev, 2014), а 135 – в Рязанской области (Казакова, Щербаков, 2017). Пыльца Poaceae является одним из главных аллергенов лета и вызывает аллергическую реакцию у 10-30% людей (D'Amato, et al. 2007; Garcia-Mozo, 2017; Damialis et al. 2019). Сезон пыления злаков длится несколько месяцев, что связано с пылением разных видов, периоды цветения которых часто перекрываются (Kmenta et al., 2016).

Для оценки воздействия аллергенов как в медицинской практике, так и в клинических и экспериментальных исследованиях, используется подсчет количества пыльцы (Allergenic pollen, 2012). Однако при рутинном аэробιοлогическом анализе ввиду морфологической схожести пыльца злаков определяется только до уровня семейства (Driessen et al., 1989). Это приводит к тому, что в образцах воздуха пыльца Poaceae рассматривается как один тип, а вклад отдельных видов в общую динамику пыления обычно не учитывается. В случае злаков такие ограничения в подсчётах являются критическими, поскольку

пыльца разных видов Poaceae обладает разными аллергенными свойствами (от средней до высокой) (Weber, 2003; Rowney et al., 2021; pollenlibrary.com, 2024) и, соответственно, по-разному влияет на здоровье человека.

Проблемы видовой идентификации в аэробиологических исследованиях и установления наиболее опасных для аллергиков периодов пыления могут быть решены с использованием фенологических исследований и методов молекулярной диагностики.

Фенологические исследования, направленные на детализацию кривых пыления злаков, проводились многими исследователями (Frenguelli et al., 2010; Tormo et al., 2011; Leon-Ruiz et al., 2011; Cebrino et al., 2016; Kmenta et al., 2016; Ghitarrini et al., 2017). Так, в 2004-2006 гг. E. Leon-Ruiz с соавторами (2011) для определения видов злаков, вносящих наибольший вклад в состав аэробиологического спектра г. Кордобы (Испания), изучали фенологические особенности тридцати трех различных видов. По результатам исследования было сделано предположение, что наиболее значимым из них являются *Dactylis glomerata*, *Lolium rigidum*, *Trisetaria panicea* и *Vulpia geniculata*.

В 2007-2009 гг. R. Tormo с соавторами (2011) (Испания) не удалось выявить корреляции между аэробиологическими и фенологическими данными: разница между пиком цветения и высоким содержанием пыльцы в воздухе составляла более одной недели. Сходные результаты были получены G. Frenguelli с соавторами (2010).

J. Cebrino с соавторами (2016) изучали фенологические особенности 12 видов злаков Испании в период с 2000 по 2013 гг. с целью создания фенологического календаря. При сопоставлении фенологических фаз с концентрацией пыльцы в воздухе было отмечено, что полное цветение у большинства видов наступало раньше пика пыления. Такое несоответствие авторы связывали с так называемым буферным эффектом (временной задержкой между эмиссией пыльцы и ее переносом ветром), разницей в фиксации фенологических (еженедельно) и аэробиологических (ежедневно) данных, а также

– многообразием видов злаков, пыльца которых относится к одной палиноморфологической группе.

Вклад наиболее распространенных видов злаков (*Poa pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Arrhenatherum elatius*, *Festuca arundinacea*, *Lolium perenne*) в состав аэробиологического спектра г. Вены (Австрия) был проанализирован М. Кмента с соавторами (2016). При сопоставлении суточных концентраций пыльцы с фенологическими фазами была выявлена значимая положительная корреляция, за исключением *Poa pratensis*.

Во всех вышеуказанных исследованиях детализация кривых пыления проводилась на основе определения фенологических фаз растений и их проективного покрытия, при этом пыльцевая продуктивность видов не учитывалась.

В 2017 г. S. Ghitarrini с соавторами был предложен и реализован новый метод по дешифровке кривых пыления злаков, основанных на фенологических наблюдениях. Метод включал алгоритм расчета фенологического индекса – показателя, позволяющего оценить вклад конкретного вида в состав аэропалинологического спектра. Расчет фенологического индекса основан на произведении трех параметров: пыльцевой продуктивности злаков, их обилии на конкретной территории и фенологических наблюдениях. Фенофазы определялись в соответствии со шкалой BBCH (Meier, 1997), согласно которой каждой фенофазе присваивали коэффициент от 0 до 2. Обилие злаков оценивалось упрощенным способом, согласно которому определялись доминантные и недоминантные виды на пробных площадях. Для расчета пыльцевой продуктивности авторы использовали грубую балльную оценку пыльцевой продукции (Ghitarrini et al., 2017): одно- и многолетним видам придавались разные коэффициенты. Ранее было установлено, что многолетники продуцируют больше пыльцы, чем однолетники (Prieto-Baena et al., 2003). Исследования, проведенные в Перуджи (Италия), показали, что аэробиологическая кривая и суммарный фенологический индекс хорошо согласуются друг с другом ( $r = 0.934$ ,  $p=0.001$ ).

Отметим, что пыльцевая продуктивность злаков изучалась ранее в рамках аэробиологических исследований (Smart et al., 1979; Prieto-Baena et al., 2003; Aboulaich et al., 2009; Tormo-Molina et al., 2015), а также при анализе разных типов опыления (Cruden, 1977; Subba-Reddi, Reddi, 1986; Кайбелева, Юдакова, 2015) и семенной продукции (De Vries, 1971). Было показано, что пыльцевая продукция может значительно различаться между видами и даже между разными популяциями одного и того же вида. Хорошим примером таких различий может служить *Dactylis glomerata* – вид, встречающийся в различных климатических и географических условиях. Показано, что его пыльцевая продукция может существенно различаться в разных регионах: от 1300-1800 пз/пыльник (Smart et al., 1979; Tormo-Molina et al., 2015) до 3000-3500 пз/пыльник (Prieto-Baena et al., 2003; Кайбелева, Юдакова, 2015).

Существенным недостатком фенологических исследований можно считать их локальность: фенологические наблюдения проводятся за определенным, сравнительно небольшим, числом видов и особей на ограниченной территории, в то время как аэробиологические исследования отражают пыление растений на большой территории, в условиях равнины радиусом до 30-50 км (Skjøth et al., 2013; Severova, Volkova, 2018; Frisk et al., 2022). Это, как правило, приводит к появлению несоответствий между аэробиологическими и фенологическими данными.

Так, в работе S. Ghitarrini с соавторами (2017) было выявлено три периода несоответствий между фенологическим индексом и кривой пыления злаков. Причиной расхождения данных авторы считали длительные сильные осадки и вторичный подъем пыльцы в атмосферу. Кроме того, расхождение данных могло быть связано с неверной методологией оценки пыльцевой продуктивности. В конце сезона пыления S. Ghitarrini с соавторами (2017) отмечали высокие значения фенологического индекса при низкой концентрации пыльцы в атмосфере. Авторы работы связывают это с цветением *Cynodon dactylon*, преобладающим в это время на всех площадках. Несмотря на то, что *Cynodon dactylon* – многолетнее растение, Prieto-Baena et al. (2003) и Aboulaich et al. (2009)

обнаружили, что пыльцевая продукция у этого вида низкая, сходная с однолетними травами. Балльная оценка многолетник/однолетник, используемая при расчёте фенологического индекса, в случае *Cynodon dactylon* исказила результаты вычислений.

Более эффективным и чувствительным методом расшифровки кривых пыления злаков можно считать меташтрихкодирование, позволяющее с высокой точностью идентифицировать пыльцевые зерна из образцов воздуха до уровня рода или вида. ДНК-штрихкодирование представляет собой молекулярно-генетическую идентификацию организмов с помощью секвенирования и анализа последовательностей генома, идентичных внутри вида, но отличающихся между видами – ДНК-штрихкодов. Развитие технологий параллельного высокопроизводительного секвенирования открыло новые возможности применения принципа ДНК-штрихкодирования для единовременной идентификации не одного организма, а всего разнообразия в составе образцов из смеси нескольких видов, качественное физическое разделение которых крайне трудно или невозможно в принципе (образцы почв, воды, меда, биологические аэрозоли и т.д.). Этот метод и получил название «меташтрихкодирование». Он позволяет определить внутривидовую изменчивость маркерных участков (в том числе полиморфизм многокопийных последовательностей), а также оценить возможность использования того или иного участка (а также их сочетаний) для различения близких видов (Longhi et al., 2009; Kraaijeveld et al., 2015; Mohanty et al., 2017; Levetin, 2017; Ghitarrini et al. 2018; Leontidou et al., 2018, 2021; Brennan et al., 2019; Banchi et al. 2020).

Longhi с соавторами (2009) рассматривали метод полимеразной цепной реакции (ПЦР) как альтернативу анализу состава пыльцевого спектра на светооптическом уровне. Авторы показали точность и быстроту такого способа для обнаружения и количественной оценки пыльцы в воздухе, однако апробировали его только на тестовых видах и смесях.

Mohanty et al. (2017), Levetin (2017), Leontidou et al. (2018) и Ghitarrini et al. (2018) предложили способ анализа качественного состава пыльцевого дождя с

использованием специфичной ПЦР (на известные пластидные гены). Такой метод позволяет идентифицировать таксоны до вида и хорошо отражает динамику пыления конкретных растений. Однако с помощью ПЦР-подхода невозможно полностью определить состав аэропалинологического спектра. Это связано с тем, что анализ образцов осуществлялся на основе предположений о наличии пыльцы конкретного вида растения в их составе с подходящими видоспецифичными праймерами. Результат необнаружения какого-то таксона с помощью этого подхода может быть связан с несовпадением праймеров. При этом Leontidou с соавторами (2021) показали, что метод световой микроскопии и меташтрихкодирование дополняют друг друга: отдельные таксоны, которые невозможно обнаружить с помощью одного метода, можно обнаружить с помощью другого.

Метабаркодирование ДНК пыльцы чаще всего проводилось с использованием ядерных (ITS1, ITS2, ETS) и пластидных (*rbcL* и *trnL*) маркеров. Высокая разрешающая способность ITS и *trnL*-(*trnF*), а также их комбинаций была показана при проведении сравнительных исследований для идентификации видов пыльцы *Poaceae* (Columbus et al. 2007; Naciri, Caetano & Salamin 2012; Peterson, Romaschenko, Soreng 2014; Kraaijeveld et al. 2015).

В большинстве случаев целью проведения молекулярно-генетического анализа пылевых образцов была идентификация таксонов, относящихся к разным семействам. При этом работ по определению видовой или родовой принадлежности пылевых типов в пределах одного семейства проводилось крайне мало.

Kraaijeveld с соавторами (2015) продемонстрировали, что ДНК-метабаркодирование с использованием маркера *trnL* в сочетании с высокопроизводительным секвенированием дает довольно полное представление о таксономическом разнообразии пыльцы в атмосфере. Такой метод позволил идентифицировать пыльцу злаков до уровня рода, однако авторы протестировали его на очень небольшом наборе данных. Korpelainen и Pietilainen (2017) использовали ядерный маркер ITS2 для определения состава и количества

пыльцы в воздухе помещений. Авторы ставили перед собой цель выяснить, существуют ли сезонные изменения в таксономическом составе спектра и как такие изменения могут влиять на здоровье человека. Проведенный анализ хорошо отражал состав пыльцевого спектра.

Brennan с соавторами (2019) исследовали пыльцу злаков в образцах воздуха на территории Великобритании с помощью пыльцевых ловушек циклонного типа и высокопроизводительного секвенирования с использованием маркерных последовательностей *rbcL* и *ITS2*. Результаты исследований показали, что меташтрихкодирование позволяет не только определить качественный состав аэропалинологического спектра до уровня рода, но и обеспечивает полуколичественную идентификацию пыльцевых зерен в сложных смесях.

Campbell с соавторами (2020) экспериментально проверили эффективность меташтрихкодирования с помощью маркерной последовательности *rbcL* для идентификации конкретных таксонов, вносящих вклад в аэриобиом субтропического региона. Анализ результатов молекулярных исследований показал, что в большинстве случаев пыльца злаков может быть определена до уровня рода.

В исследованиях Johnson с соавторами (2021) использовался ядерный маркер *ITS2* для выявления биологического разнообразия растительного сообщества, результаты исследования сопоставлялись с традиционными методами обследования территорий. Анализ генетического материала выявил больше видов, в том числе – инвазионных. Banchi с соавторами (2020) годом ранее также отметили, что анализ ДНК из образцов воздуха имеет ключевое значение для обнаружения аллергенных и инвазивных видов.

Исследование Polling с соавторами (2022) подтвердило, что ядерные маркеры хорошо подходят для оценки состава пыльцевого спектра. Так, в воздухе Нидерландов всего было обнаружено 168 видов из 143 родов и 56 семейств, в то время как методом световой микроскопии было идентифицировано только 23 рода и 22 семейства. Сравнение ядерного (*nrITS2*) и пластидного (*trn L*) маркеров

показало, что первый является предпочтительным и обеспечивает более высокий процент видовых идентификаций (80,1%).

Помимо ядерных регионов ITS1 и ITS2, информативным и перспективным при анализе пыльцевых образцов считается также маркерная последовательность ETS, в том числе для идентификации видов злаков (Alonso et al. 2014; Wang et al. 2017).

Таким образом, меташтрихкодирование сегодня представляется универсальным методом идентификации объектов, позволяющим проводить видовые определения. Этот подход является перспективным не только для оценки качественного и количественного состава пыльцевого спектра, но и для решения проблем оценки биологического разнообразия в связи с недостатком специалистов-ботаников (Chase, Fay 2009).

## ГЛАВА 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Методика проведения аэробиологических исследований

Аэробиологический мониторинг проводился с помощью волюметрического пыльцеуловителя Хирст-типа Lanzoni-VPPS 2000 и (или) Lanzoni-VPPS 2010 (рисунок 2), установленного на крыше четырехэтажного корпуса Рязанского государственного университета имени С.А. Есенина ( $54,6269^{\circ}$  с.ш.,  $39,6916^{\circ}$  в.д.) на высоте 18,54 м от поверхности земли с конца февраля-начала марта до конца сентября-начала октября 2015-2023 гг. по стандартной международной методике (Gala'n et al., 2014).

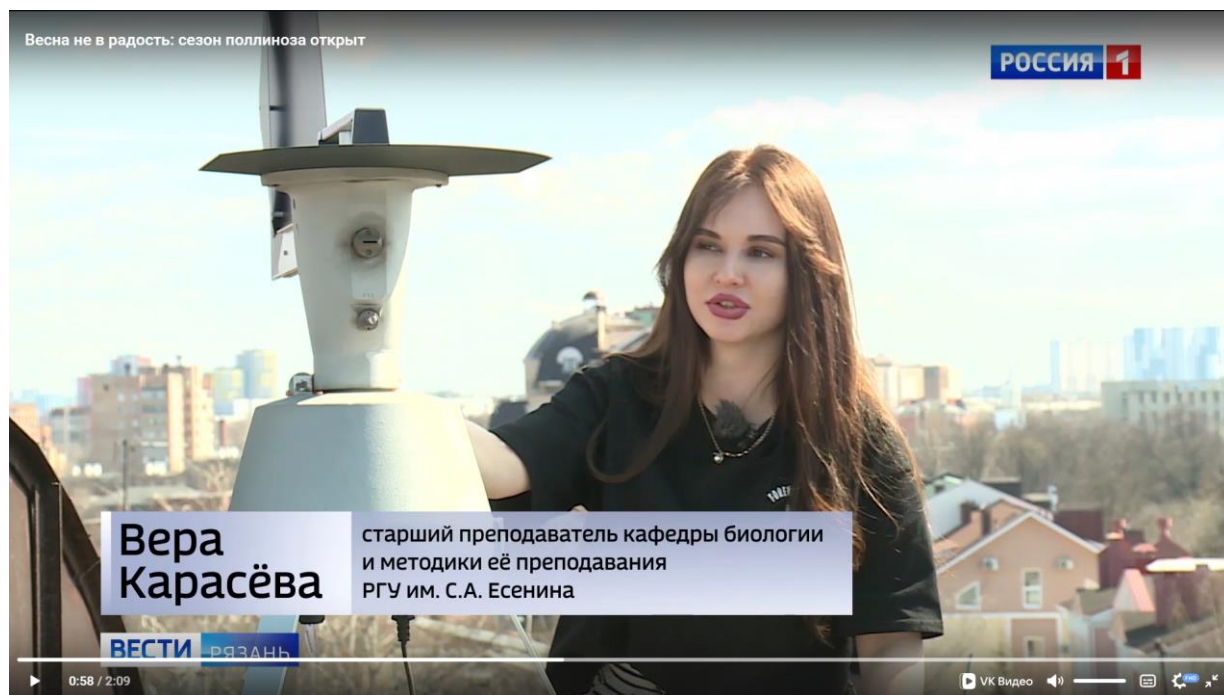


Рисунок 2. Работа на волюметрическом пыльцеуловителе  
Lanzoni-VPPS 2000

В 2020-2023 гг. для проведения исследований мы использовали сразу 2 пыльцеуловителя. Образцы, отобранные дополнительной ловушкой в 2020-2022 гг. использовались для идентификации пыльцевых зерен злаков методом меташтрихкодирования. В сентябре 2023 г. дополнительная ловушка

была установлена на Биостанции РГУ имени С.А. Есенина на высоте 1,5 метра от поверхности земли для определения суточного ритма пыления амброзии.

Образцы воздуха анализировались методом световой микроскопии на микроскопе «Levenhuk 625» или «Микмед-6» («ЛОМО») при увеличении  $\times 400$ . Определение и подсчет пыльцевых зерен проводили в двенадцати транссектах, перпендикулярных продольной оси препарата. При анализе суточной ритмики пыления амброзии в 2023 г. подсчет и анализ проводили в 24 транссектах. Такой способ позволяет выявить не только суммарную концентрацию пыльцы за сутки, но и проследить почасовую картину пыления с интервалом в 1 или 2 часа. Число пыльцевых зёрен, зарегистрированных в образце, пересчитывали на единицу объема воздуха (Мейер-Меликян, 1999). Всего за период исследований было проанализировано 1892 образца.

Необходимо отметить, что в аэропалинологических исследованиях пыльцу растений, принадлежащих к одному и тому же роду или семейству, обычно невозможно идентифицировать методами световой микроскопии до вида, поскольку пыльцевые зерна в пределах конкретной таксономической группы морфологически схожи. По этой причине определение проводят до «пыльцевого типа», который может соответствовать группе видов, роду или семейству.

Результаты анализа образцов легли в основу усредненного календаря пыления, который строился подекадно и был визуализирован в программе Excel (Nilsson and Spiekma, 1994). Для получения средних значений подсчитывалась концентрация пыльцы каждого конкретного таксона за каждую отдельную декаду месяца каждого года исследования. Далее девятилетние показатели суммировались, усреднялись и округлялись до целочисленных значений. Для представления данных были выбраны следующие классы концентраций ( $\text{пз/м}^3$ ): 0, 1-2, 3-5, 6-11, 12-24, 25-49, 50-99, 100-199, 200-399, 400-799, 800-1600,  $>1600$ . В состав календаря пыления было включено 17 таксонов, пыльца которых обладает высокой аллергенной активностью и/или количественно доминирует в воздухе: *Alnus*, *Corylus*, *Betula*, *Populus*, *Ulmus*, *Acer*, *Fraxinus*, *Salix*, *Quercus*, *Pinus*, *Poaceae*, *Plantago*, *Rumex*, *Urtica*, *Chenopodiaceae*, *Artemisia*, *Ambrosia*.

Анализ динамики пыления каждого таксона проводился по следующим показателям: дата первого появления пыльцы в воздухе, дата максимальной концентрации (пик пыления), максимальное суточное содержание пыльцы в атмосфере ( $\text{пз/м}^3$ ), суммарное содержание пыльцы за сезон ( $\text{пз/м}^3$ ), дата последнего появления пыльцы в воздухе, даты начала и окончания основного периода пыления (ОПП), его продолжительность (в днях). Начало и конец основного периода пыления определялось как промежуток времени, когда в воздухе циркулировало 90% от суммарной концентрации пыльцы за сезон (Nillson, Persson, 1981). Статистическая обработка данных была проведена в программах «Past4.03» и «Microsoft Excel».

Для разработки прогнозов начала пыления были выбраны таксоны, открывающие вегетационный сезон и обладающие ярко выраженными аллергенными свойствами: *Alnus*, *Corylus* и *Betula*. В работе использовался метод анализа накопленных положительных температур, начиная с 1 января текущего года (Myszkowska, 2014), метеорологические данные были получены на сайте [http://rp5.in/Архив\\_погоды\\_в\\_Рязани](http://rp5.in/Архив_погоды_в_Рязани) (Archiv, 2023).

Анализ эпизодов дальнего заноса проводился с использованием метода реконструкции обратных траекторий, реализованном в модели HYSPLIT (2024). Для построения траекторий были выбраны 2 высоты – 1000 м и 500 м, модели рассчитывались на 72 часа назад.

## **2.2. Методы детализации кривых пыления злаков**

### **2.2.1. Изучение морфологии пыльцы злаков**

Злаки – один из основных компонентов летнего пыльцевого спектра, пыльца которых может быть определена только до уровня семейства (Driessen et al., 1989). В нашей работе мы исследовали морфологию пыльцы 10 наиболее распространенных видов злаков на постоянных препаратах в глицерин-желатине по методике, принятой в аэробιοлогическιх исследованиях для

изготовления референсных коллекций. Пыльцу 10 видов (*Bromopsis inermis* Leyss., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Dactylis glomerata* L., *Elymus repens* (L.), *Festuca pratensis* Huds., *Lolium perenne* L., *Phleum pratense* L., *Poa annua* (L.), *Poa pratensis* L. и *Poa trivialis* L.) без предварительной обработки помещали на предметное стекло и добавляли каплю глицерин-желатины, подкрашенной сафранином. Препараты просматривали и фотографировали на световом микроскопе Микмед-6» («ЛОМО»), у 25 пыльцевых зерен в каждом образце измеряли длину полярной оси и экваториального диаметра при увеличении  $\times 400$ . Спектр вторичной флуоресценции пыльцевых зерен 5 видов (*Phleum pratense*, *Calamagrostis epigeios*, *Dactylis glomerata*, *Poa pratensis*, *Festuca pratensis*) определяли с помощью автоматического анализатора аэрозолей Rapid E+ (Plair, Швейцария) в режиме калибровки. В качестве референсных образцов использовали сухую пыльцу, собранную летом 2022 г. Спектральные кривые были построены с применением встроенного программного обеспечения прибора, данные были нормализованы методом min-max.

### **2.2.2. Детализация кривых пыления злаков на основе фенологических наблюдений**

Детализация кривой пыления злаков проводилась на основе фенологических наблюдений и с использованием молекулярных методов (меташтрихкодирование).

Алгоритм сопоставления качественных фенологических наблюдений и количественных аэробιологических данных был предложен S. Ghitarrini с соавторами (2017). В нашем исследовании фенологические наблюдения проводились в течение 2,5 месяцев (конец мая – конец июля) через каждые семь дней на трех (в 2020 г.) и на пяти (в 2021-2022 гг.) пробных площадках размером 10×10 м, заложенных на расстоянии 1-10 км от места установки пыльцевой ловушки (Карасева и др., 2021). Главными условиями при выборе площадок являлось отсутствие регулярных покосов и широкий спектр видов злаков. Всего

на площадках было отмечено 14 видов злаков. Фенологические особенности изучались на примере 25 экземпляров каждого из десяти наиболее распространенных видов Poaceae: *Bromopsis inermis* (Leyss.), *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Dactylis glomerata* L., *Elymus repens* (L.) Nevski, *Festuca pratensis* (Huds.), *Lolium perenne* L. *Phleum pratense* L., *Poa pratensis* L., *Poa annua* L., *Poa trivialis* L.

На основании фенологических наблюдений рассчитывались фенологический индекс и суммарный фенологический индекс для каждого вида злаков по всем площадкам в каждую дату наблюдений. Фенологический индекс (Ghitarrini et al., 2017), представлял собой произведение трех параметров: пыльцевая продуктивность, обилие вида и фенофаза.

В методике Ghitarrini et al. (2017) пыльцевая продукция видов не оценивалась, одно- и многолетним видам придавались разные коэффициенты. В нашем случае среди изученных видов злаков почти все относились к многолетним (за исключением малолетнего вида *Poa annua*), поэтому мы использовали реальные значения пыльцевой продукции, рассчитанные для каждого вида (Карасева и др. 2021, Severova et al, 2022).

Для определения пыльцевой продуктивности мы отбирали по 20 соцветий каждого вида Poaceae, в каждом из которых подсчитывали общее число колосков (рисунок 3). Далее из каждого соцветия случайным образом отбирали по три колоска, в которых подсчитывали число цветков. Из одного цветка у каждого из 20 соцветий каждого вида препаровальной иглой отделяли по одной теке одного зрелого пыльника. Число пыльцевых зерен в теке определяли на давленном временном препарате при увеличении  $\times 400$  на световом микроскопе «Микмед-6» («ЛОМО»). Пыльцевая продукция вида рассчитывалась как произведение среднего числа колосков в соцветии, среднего числа цветков в колоске, числа пыльников в цветке и среднего числа пыльцевых зерен в пыльнике и выражалась в миллионах пыльцевых зерен.

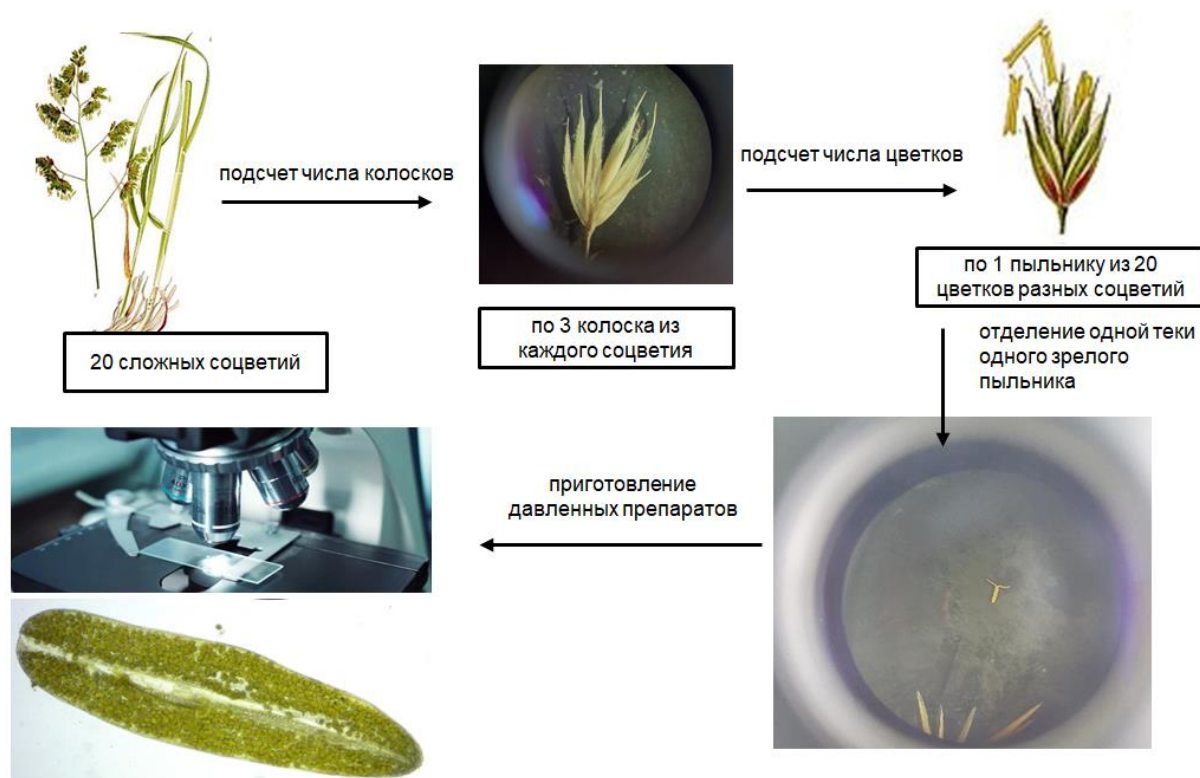


Рисунок 3. Методика расчета пыльцевой продуктивности злаков

Оценку проективного покрытия видов на пробных площадках осуществляли по шкале Браун-Бланке (Braun-Blanquet, 1964).

Оценка фенологических фаз проводилась нами один-три раза в неделю в период с 1 июня до начала августа, когда было зафиксировано окончание цветения всех видов злаков на площадках. Определение фенологического состояния вида проводили по шкале ВВСН Meier (1997), согласно которой каждой фенофазе присваивали коэффициент от 0 до 2 (таблица 1). Так, фенофаза «Полное цветение» (код фенофазы по ВВСН 63-65) получала в формуле расчёта фенологического индекса коэффициент 2, фенофазы «Тычинки частично видны» (код фенофазы по ВВСН 60-62) и «Часть тычинок засохла» (код фенофазы по ВВСН 66-68) – коэффициент 1, фенофаза «Все тычинки засохли» (код фенофазы по ВВСН 69-70) – коэффициент 0. Оценку фенофаз проводили по наблюдениям минимум за 25 экземплярами каждого вида, в случае редких видов – за всеми экземплярами, отмеченными на площадке.

Таблица 1. Оценка фенофазы (Ghitarrini et al, 2017)

| Описание фенофазы                                              | Код фенофазы по BBCH<br>(Meier, 1997) | Коэффициент |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
| Отсутствие видимых соцветий                                    | <55                                   | 0           |
| Соцветия частично или полностью появились, но тычинки не видны | 55–59                                 | 0           |
| Тычинки частично видны                                         | 60–62                                 | 1           |
| Полное цветение                                                | 63–65                                 | 2           |
| Часть тычинок засохла                                          | 66–68                                 | 1           |
| Все тычинки засохли                                            | 69–70                                 | 0           |
| Плодоношение                                                   | >70                                   | 0           |

Для построения фенологической кривой и получения суммарного фенологического индекса фенологические индексы всех видов были просуммированы друг с другом на каждой площадке в каждый конкретный день наблюдений. Далее проводилось сравнение фенологических и аэробιологических данных с помощью корреляционного анализа в программе «Past4.03» и/или «Excel» (Microsoft Office 365).

### **2.2.3. Детализация кривых пыления злаков с использованием молекулярных методов (меташтрихкодирование)**

Параллельно с фенологическими наблюдениями в качестве дополнительного метода дешифровки кривых пыления злаков нами использовались молекулярные методы. Меташтрихкодирование образцов воздуха, отобранных нами в период с 2020 по 2022 гг., проводилось на кафедре высших растений биологического факультета МГУ (данные по дешифровке кривых пыления злаков методом меташтрихкодирования предоставлялись А.А. Криницыной, А.С. Касьяновым и Д.О. Омельченко) в рамках гранта РФФИ

19-05-50035 «Микромир» (Krinitina et al., 2023). Как уже указывалось выше, образцы одной из ловушек (Lanzoni-VPPS 2010) использовались для экстракции ДНК. Для анализа были выбраны фрагменты лент, соответствующие дням с наибольшей концентрацией пыльцы злаков в атмосфере (не менее 50 пз/м<sup>3</sup> по результатам аэробиологических наблюдений), каждый фрагмент соответствовал одним суткам работы пылевой ловушки. Всего за три года наблюдений были отобраны 84 фрагмента. Пыльцу смывали с лент в буфере Лонгмара с SDS (0,1 Tris-HCL, pH 8.0; 0.1 M EDTA, pH 8.0; 0.01 M NaCl; 0,005% SDS) на ротаторе с вертикальным вращением на 180° при скорости вращения 20 об/мин. в течение 15 минут (Krinitina et al., 2023). В работе использовались два ядерных маркера: ITS1 и ITS2 (Krinitina et al., 2023).

Выделение ДНК проводилось при помощи ферментативной обработки с последующим стандартным выделением с механической обработкой. Ферментативная обработка пыльцы осуществлялась путем добавления к раствору смеси лизоцим + зимолизин + хитиназа (по 1 ед. акт.) (Krinitina et al., 2023). Гомогенизация была проведена с использованием набора Precellys Bacteria lysing kit CK01 (Bertin Technologies, Montigny-le-Bretonneux, France) на приборе Minilys homogenizer (Bertin Technologies, Montigny-le-Bretonneux, France) на максимальной скорости 5000 об/мин 240 с по два раза. Качественную и количественную оценку полученных образцов ДНК проводили с использованием спектрофотометрического и флуориметрического методов. Чистоту образцов ДНК определяли согласно значениям A260/280 и A260/230 на NanoPhotometer N60-Touch (Implen, Munich, Germany), концентрацию ДНК измерялась на флуориметре Qubit 3.0 (Invitrogen, Waltham, MA, USA) с использованием Qubit dsDNA HS Assay Kit. Для создания индексированных библиотек использовался двухэтапный протокол ПЦР с помощью праймеров Next-ITS1 и Next-ITS2 (Krinitina et al., 2023). Высокопроизводительное секвенирование проводилось на платформе Illumina MiSeq с набором реагентов MiSeq Reagent Kit v3, 2 × 300 нуклеотидов парноконцевых прочтений (Illumina, San Diego, CA, USA).

Анализ маркерных последовательностей проводился с использованием программного обеспечения, разработанного ранее в рамках выполнения ФПЦ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» проекта №14.609.21.0101 (Speranskaya et al., 2018; Omelchenko et al., 2019).

### **2.3. Методика проведения фенологических наблюдений за амброзией**

Сопоставление аэробиологических и фенологических данных было проведено также для *Ambrosia artemisiifolia*. Фенологические наблюдения проводились с конца июля до конца сентября 2023 г. на пробной площадке, расположенной на Биологической станции РГУ имени С.А. Есенина. Для изучения онтогенеза 1000 семян *A. artemisiifolia*, собранных в 2022 г. в г. Туапсе (Краснодарский край), были высеяны под зиму в 2023 г. в открытый грунт на экспериментальном участке Биостанции. Наблюдение за развитием растений в 2023 г. и определение их фенологических стадий осуществлялось 2-3 раза в неделю с начала прорастания и до отмирания большинства особей. Фиксировались стадии виргинильного (виргинильные растения) и генеративного (бутонизация, полное цветение, плодоношение) периодов (Работнов, 1950; Петрова, 2019).

### **2.4. Методика оценки аллергологической значимости основных таксонов аэропалинологического спектра с помощью анализа поисковых запросов в сети Интернет**

Поскольку доступ к медицинской статистике, необходимой для оценки аллергологической значимости основных таксонов спектра, ограничен, в рамках нашего исследования была применена альтернативная методика — анализ частоты и содержания поисковых запросов в сети Интернет, связанных с поллинозом и отдельными растениями, продуцирующими аллергенную пыльцу.

Для сопоставления аэриобиологических и аллергологических данных в 2022-2023 гг. мы использовали сервис «Яндекс Вордстат». Этот инструмент отражает статистику поисковых запросов в системе «Яндекс» и позволяет отслеживать их сезонность.

Анализ поисковых запросов в «Яндекс» охватывал период с марта по сентябрь (октябрь) 2022-2023 гг. Для этого был составлен список из 14 поисковых запросов: «пыльца», «ольха», «пыльца березы», «пыльца злаков», «пыльца полыни», «полынь», «пыльца амброзии», «амброзия», «поллиноз», «аллергия», «зуд», «чихание», «покраснения», «не хватает воздуха». При проведении исследований мы старались анализировать не только научные термины, но и простые словесные обороты, которые могли использовать пользователи (например «не хватает воздуха»).

«Яндекс. Подбор слов» отражает число запросов для заранее заданных географических, временных и поисковых параметров. В нашей работе регион был определен как «Рязанская область», а временной интервал соответствовал одной неделе. Для сопоставления аэриобиологических данных и частоты поисковых запросов концентрация пыльцы также была просуммирована по неделям. Сопоставление проводилось при помощи корреляционного анализа в программе «Past4.03».

## ГЛАВА 3. СОСТАВ АЭРОПАЛИНОЛОГИЧЕСКОГО СПЕКТРА Г. РЯЗАНИ

### 3.1. Качественный и количественный состав аэропалинологического спектра

Сезон пыления (период, в течение которого пыльца присутствует в воздухе (Allergenic pollen, 2012)) на территории г. Рязани и Рязанской области длится около 6 месяцев: с конца февраля (2020 г.) или с марта (2015-2019 гг., 2021-2023 гг.) (рисунок 4) до середины – конца сентября (в зависимости от года исследований). Анализ сроков начала сезона пыления за 9 лет наблюдений не выявил никаких направленных изменений, в каждый конкретный год исследований пыление начиналось в разное время (рисунок 4), даты первого появления пыльцы в воздухе различались на 1-4 недели в зависимости от текущих погодных условий. В качестве индикатора начала сезона пыления в г. Рязани была выбрана пыльца ольхи, которая появляется в воздухе раньше остальных.

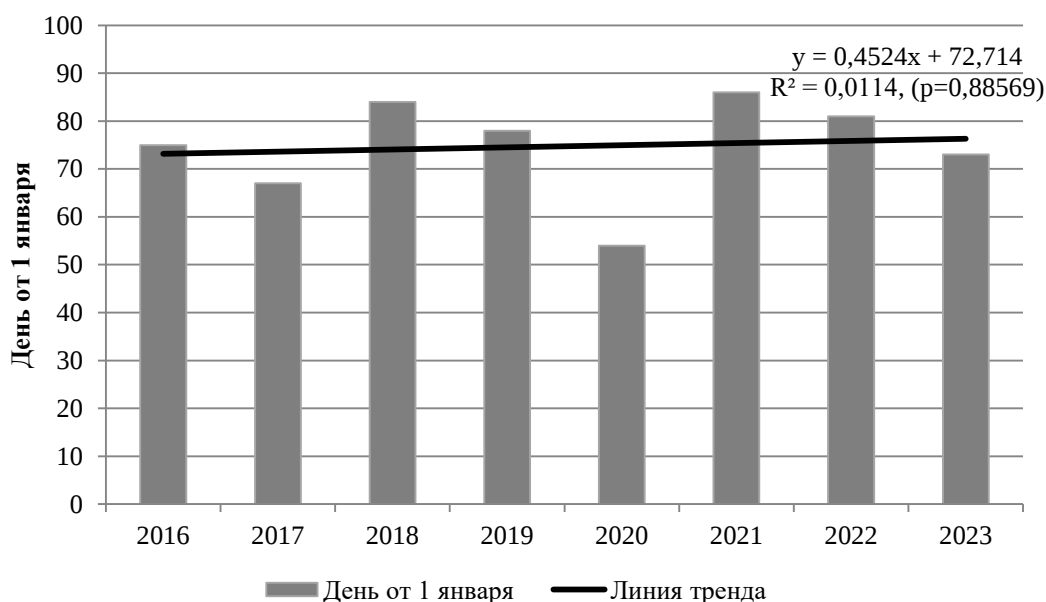


Рисунок 4. Сроки начала сезона пыления в г. Рязани: 2016-2023 гг.

Индикатором окончания сезона пыления была выбрана пыльца полыни, отдельные пыльцевые зерна которой регистрировались в атмосфере вплоть до

заморозков. Продолжительность сезона пыления в регионе составила в среднем 186 дней ( $M=186$ ,  $C_v=8,4\%$ ,  $Me=183,5$ ,  $min=170$ ,  $max=217$ ), значимых трендов выявлено не было (рисунок 5).

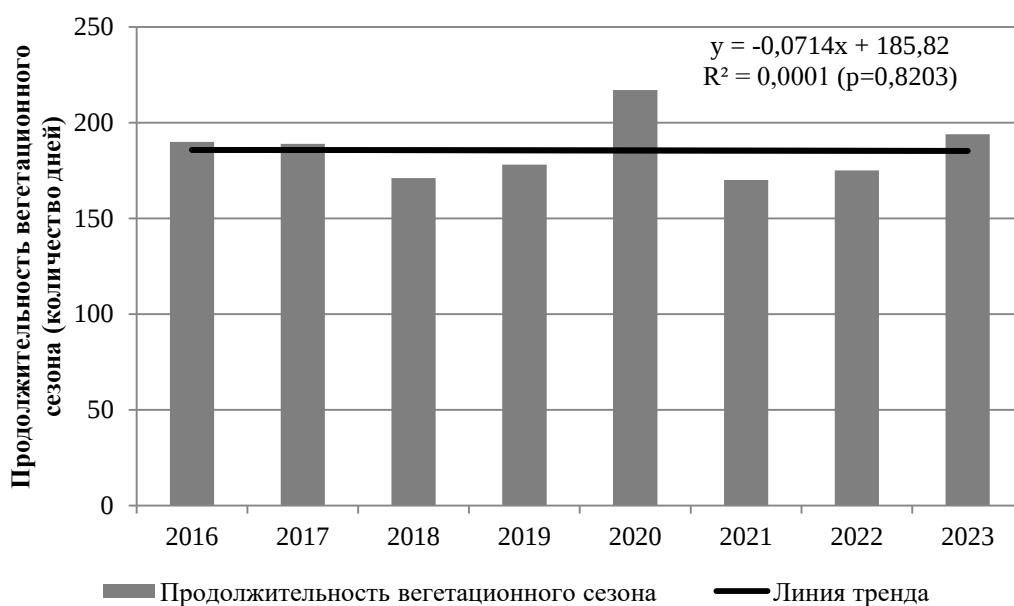


Рисунок 5. Продолжительность сезона пыления в г. Рязани:  
2016-2023 гг.

За 9 лет наблюдений в воздухе региона всего было зафиксировано 38 пылевых типов. Качественный состав аэропалинологического спектра г. Рязани за 2015-2023 гг. хорошо согласуется с данными, полученными ранее Ю.М. Посевиной (2011) с помощью гравиметрического пылеуловителя. Однако в нашей работе **впервые** представлены количественные данные. Результаты исследований отражены в усредненном календаре пыления за 2015-2023 гг. (таблица 2).

Во все годы наблюдений в составе аэропалинологического спектра доминировала пыльца анемофильных растений. Ее доля составляла от 99% (2020 г.) до 99,7% (2021 г., 2023 г.). Пыльцевые зерна ветроопыляемых растений обладают хорошими аэродинамическими свойствами, длительное время циркулируют в воздухе и являются основной причиной поллинозов у человека. Среди основных таксонов спектра встречаются и виды со смешанным типом опыления. К ним относятся, например, виды рода *Salix* (Crawford, Balfour, 1990;

Peeters, Totland, Sottocornola, 2001). Пыльца *Salix* характеризуются наличием сетчатой скульптуры спородермы, сравнительно небольшими размерами (20 мкм) (Петрук, 2008) и высокой степенью аллергенности (pollenlibrary.com). Пыльца разных видов рода *Salix* морфологически неразличима и в составе воздушного спектра ивы анализировались как единая группа. При расчете соотношения анемофильных/энтомофильных таксонов ива была отнесена нами к анемофильным таксонам.

Результаты исследования за период 2015-2023 гг. показали, что доля пыльцы древесных растений в составе спектра варьировала от 42,9% до 77,7% (рисунок 6).



Рисунок 6. Процентное соотношение пыльцевых зерен древесных и травянистых растений (2015-2023 гг.)

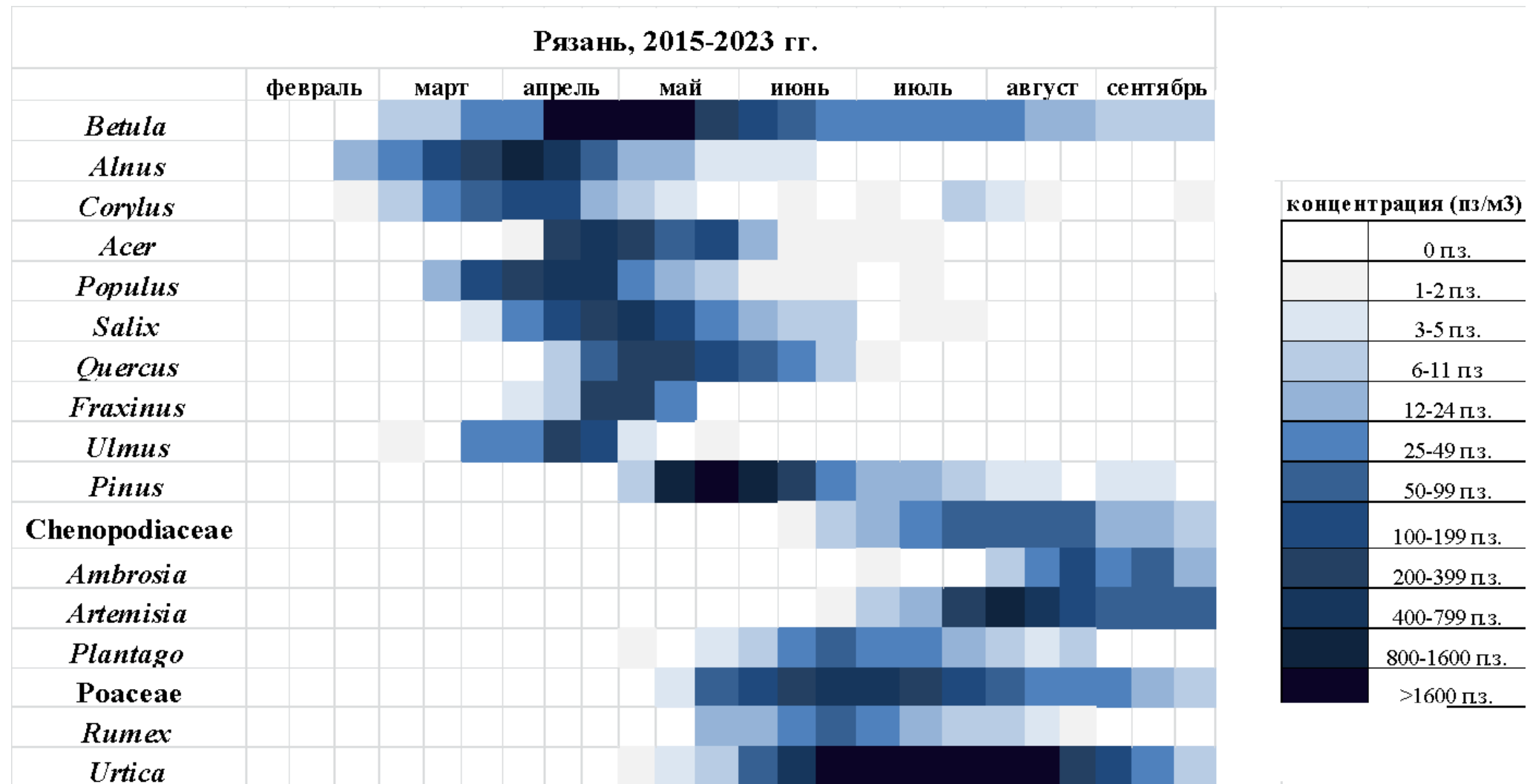
На общее содержание пыльцы древесных растений в составе атмосферного воздуха, в первую очередь, влияла пыльцевая продукция *Betula*. Показано, что для березы характерен двух- или трехгодичный цикл пыления (подробнее об этом в разделе «Моделирование и прогнозирование аэропалинологической обстановки» Обзора литературы), и именно концентрация пыльцевых зерен *Betula* во все годы наблюдений определяла, пыльца древесных или травянистых растений будет преобладать в спектре в течение всего сезона. Так, в 2023 г. суммарное годовое содержание пыльцы березы составило 82 320 пз/м<sup>3</sup> и, несмотря на высокую

концентрацию пыльцевых зерен крапивы – доминирующего таксона в группе недревесных растений, – процентное соотношение древесной и травянистой пыльцы было смещено в сторону древесной (77,7% и 22,3% соответственно). И, напротив, когда в 2020 г. концентрация пыльцы березы составила всего 12 625 пз/м<sup>3</sup> (таблица 3), доля пыльцы древесных растений не превышала 42,9%. Содержание пыльцы крапивы в составе спектра более стабильно и не подвержено таким резким колебаниям (15013 (2018 г.)-26617 (2020 г.) пз за сезон). При этом пыльца крапивы не обладает аллергенными свойствами и, следовательно, не представляет интереса с аллергологической точки зрения.

Сезон пыления в г. Рязани условно подразделялся на 3 волны (периода) пыления (Посевина, 2011). Первая волна приходилась на промежуток с начала сезона до середины мая и была связана с пылением древесных таксонов. Это период характеризовался самым высоким суммарным содержанием пыльцы в воздухе, составляющим более 50 % от годовой суммы (таблица 2). Открывали первую волную пыления раннецветущие серёжкоцветные (ольха и орешник), которых постепенно сменяла берёза. Последняя являлась доминирующим таксоном в первую волную пыления – на её долю приходилось более 80 % от суммарного содержания пыльцы за этот период. В составе спектра также была отмечена пыльца *Acer*, *Populus*, *Salix*, *Quercus*, *Fraxinus*, *Ulmus*. Помимо этого, единично в воздухе ежегодно фиксировались пыльцевые зерна *Cupressaceae*, *Carex*, *Juglans*, *Larix*, *Rosaceae*.

Вторая волна пыления отмечалась с середины мая до середины июля. В качестве индикаторных таксонов этого периода выступали *Rosaceae* и *Pinus*, пыльца которых фиксировалась в спектре почти одновременно или последовательно (таблица 2). Кроме того, в первой половине лета в воздухе в небольших количествах отмечались пыльцевые зерна *Betula*, *Urtica*, *Quercus*, *Fraxinus*, *Salix*, *Chenopodiaceae*, *Plantago*, *Rumex*, *Picea*, единично – *Aesculus*, *Apiaceae*, *Centaurea*, *Cichorium*, *Cupressaceae*, *Carex*, *Juglans*, *Tilia*, *Labiatae*, *Syringa*, *Caryophyllaceae*, *Cruciferae*, *Rosaceae*, *Ranunculaceae*.

Таблица 2. Усредненный календарь пыления г. Рязани за 2015-2023 гг.



Третья волна – это период пыления разнотравья, который длился с середины июля до конца вегетационного сезона. Доминирующими пыльцевыми типами в этот период были *Artemisia* и *Urtica* (таблица 2). Руководящим таксоном при выделении поздне-летней волны пыления выступала полынь из-за её высокой аллергенности (pollenlibrary.com). Помимо этого, в составе аэропалинологического спектра отмечалась пыльца *Chenopodiaceae*, *Ambrosia*, *Plantago*, *Poaceae*, *Rumex*. Пыльцевые зерна *Apiaceae*, *Asteraceae*, *Cichorium*, *Tilia*, *Caryophyllaceae*, *Cruciferae*, *Fabaceae*, *Epilobium*, *Tetrads*, *Lilium*, встречались в воздухе единично.

### 3.2. Анализ сезонной ритмики пыления основных аллергенных таксонов аэропалинологического спектра

В таблице 1 (Приложение А) представлены особенности пыления таксонов, составляющих ядро аэропалинологического спектра г. Рязани. В таблице отсутствуют данные за 2015 г. для *Alnus* и *Corylus*, так как по техническим причинам наблюдения в этот год были начаты позже, чем обычно.

Ниже мы остановимся на анализе особенностей пыления ключевых аэроаллергенов нашего региона – *Alnus*, *Betula*, *Poaceae*, *Artemisia*, *Ambrosia*, пыльца которых преобладает в составе воздушного спектра и характеризуется ярко выраженными аллергенными свойствами.

Сроки начала пыления всех таксонов за весь период наблюдений существенно варьировали: между первым появлением пыльцы и началом локального пыления отмечался большой временной разрыв. Особенно ярко это проявлялось в случае раннецветущих древесных растений, у которых эта разница могла составлять до 70 дней (например, 61 день у *Betula* в 2022 г.) (рисунки 7-11). Эти эпизоды мы рассматривали как результат дальнего транспорта пыльцы из соседних регионов.

В частности, такие эпизоды были отмечены для *Alnus* (01.03.2017 г., 21.02.2020 г., 07.03.2021 г., 21.02.2022 г.), *Betula* (15.03.2016 г., 01.03.2017 г.,

19.03.2018 г., 22.02.2020 г., 22.02.2022 г., 14.03.2023 г.), *Poaceae* (03.05.2017 г., 03.05.2018 г., 12.05.2019 г.), *Artemisia* (12.06.2015 г., 20.06.2018 г., 19.06.2019 г., 22.06.2020 г., 02.06.2021 г., 09.06.2022 г., 22.05.2023 г.), *Ambrosia* (04.07.2016 г., 20.07.2017 г., 02.07.2018 г., 16.07.2019 г., 07.07.2020 г., 02.07.2021 г., 01.07.2022 г., 07.07.2023 г.).

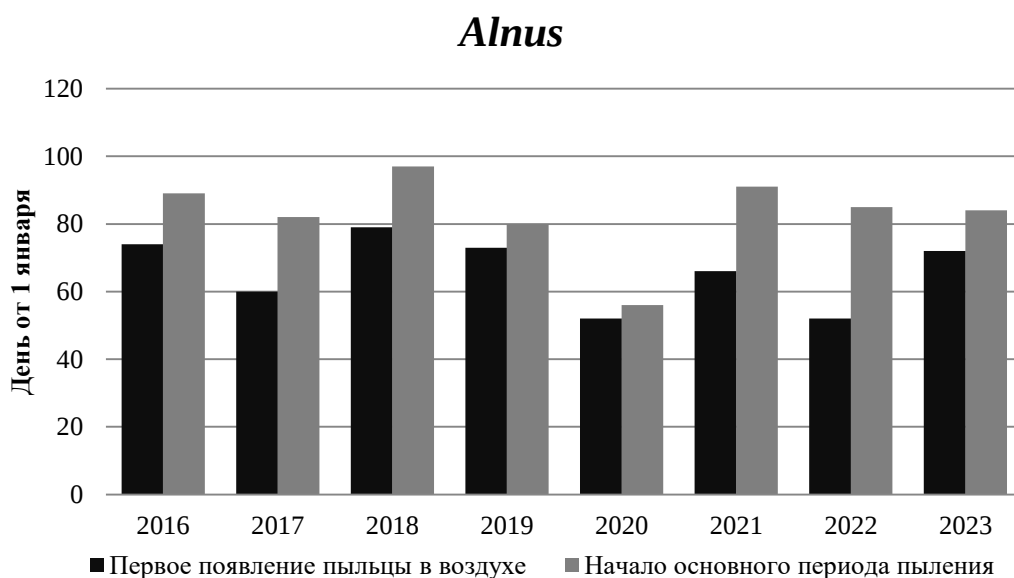


Рисунок 7. Сроки появления первых пыльцевых зерен *Alnus* в воздухе г. Рязани: 2016-2023 гг.

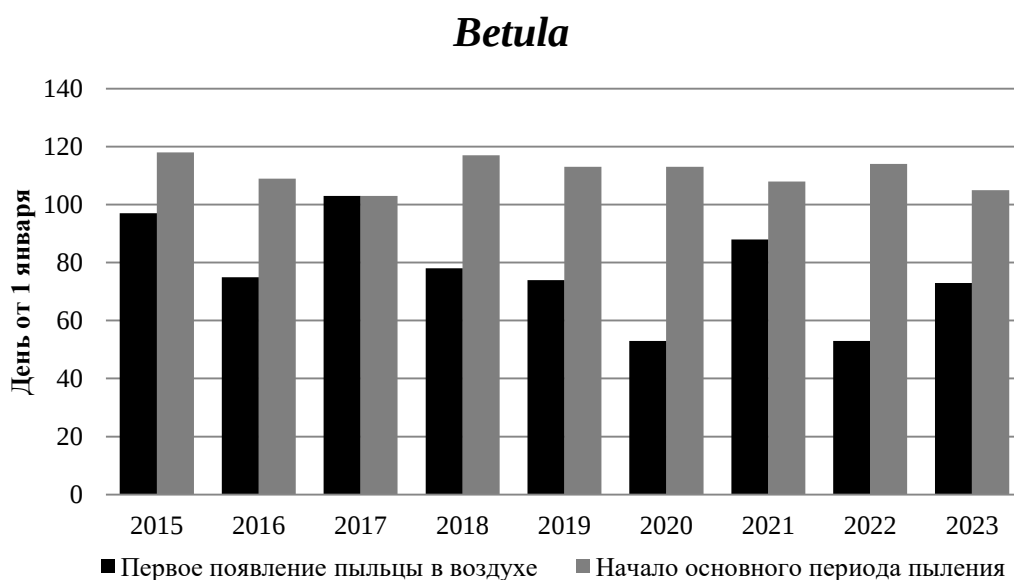


Рисунок 8. Сроки появления первых пыльцевых зерен *Betula* в воздухе г. Рязани: 2015-2023 гг.

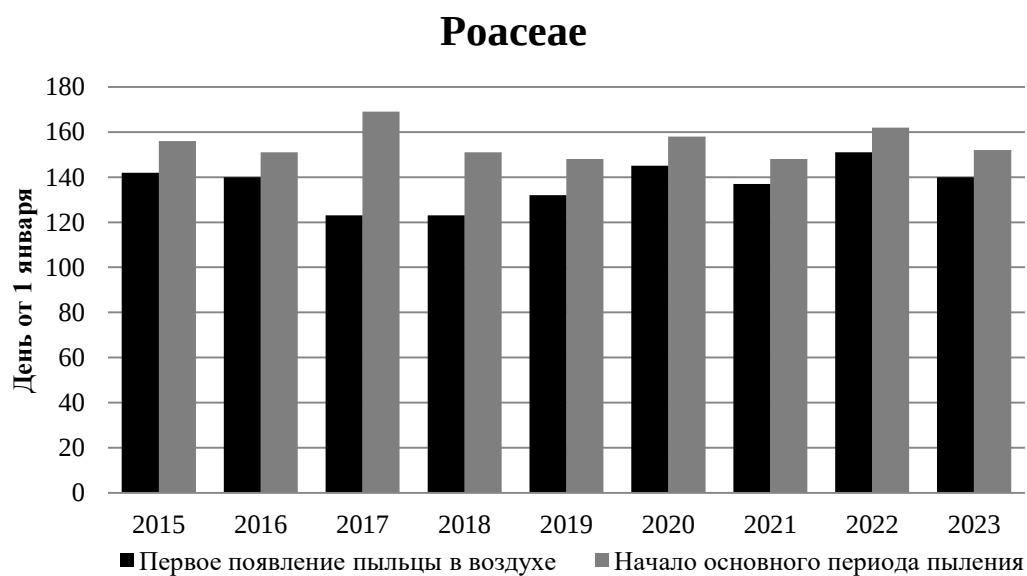


Рисунок 9. Сроки появления первых пыльцевых зерен Poaceae в воздухе  
г. Рязани: 2015-2023 гг.

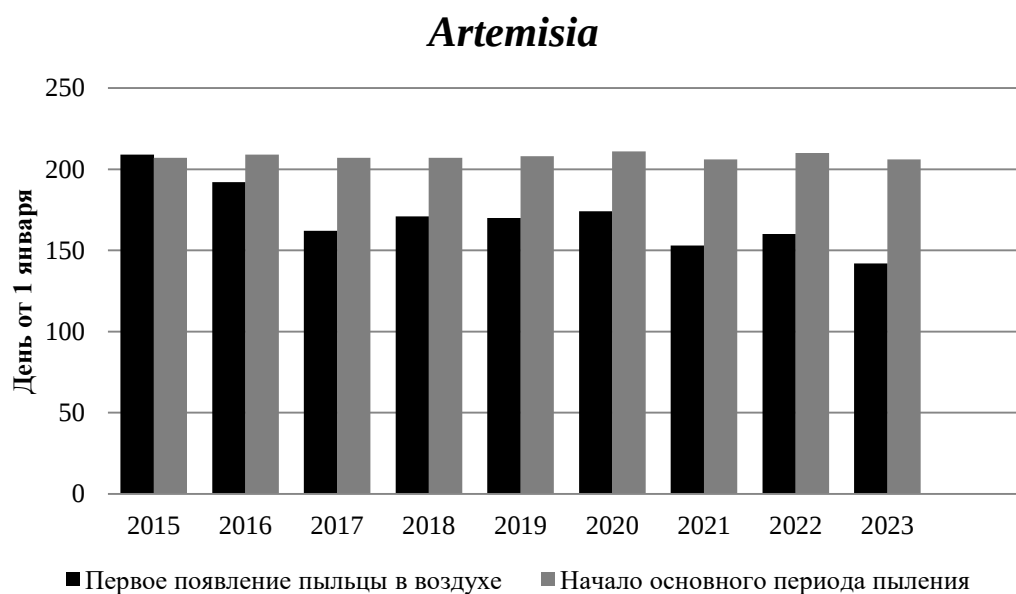


Рисунок 10. Сроки появления первых пыльцевых зерен Artemisia в воздухе  
г. Рязани: 2015-2023 гг.

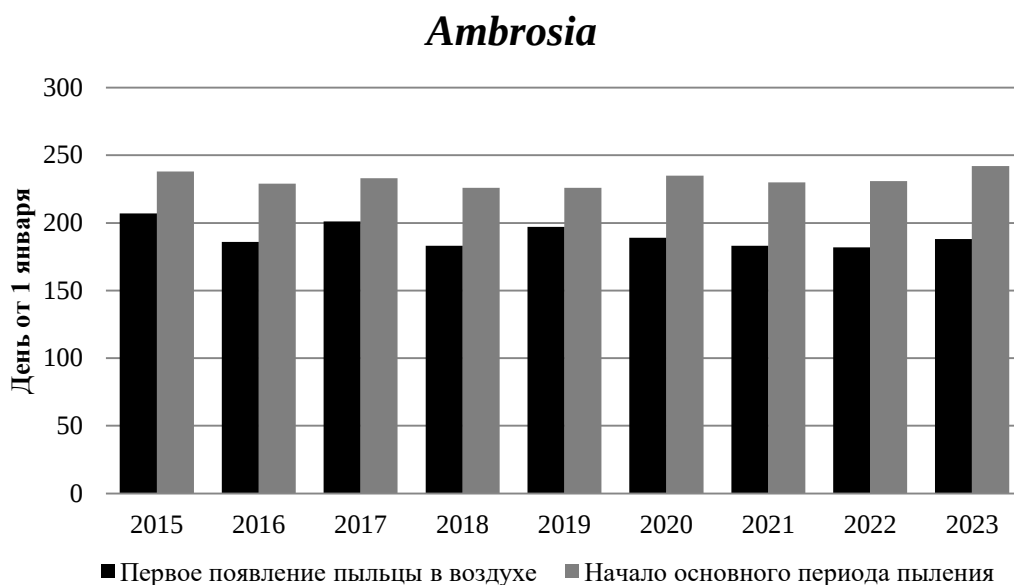


Рисунок 11. Сроки появления первых пыльцевых зерен *Ambrosia* в воздухе г. Рязани: 2015-2023 гг.

Предполагаемые эпизоды дальнего заноса были исследованы при помощи анализа обратных траекторий движения воздушных масс, выполненного с использованием онлайн-модели HYSPLIT (2024). Анализ HYSPLIT-моделей показал, что регистрация в составе спектра пыльцевых зерен *Alnus*, *Betula*, *Poaceae*, *Artemisia* и *Ambrosia* раньше сроков их локального пыления сопряжена с ветрами южных, юго-западных и юго-восточных направлений (рисунки 12-15). Регионами – потенциальными источниками пыльцы, вероятно, являлись южные регионы России, Украины, Польши и Беларуси, где пыление этих таксонов начиналось гораздо раньше и опережало локальное пыление в г. Рязани на несколько недель. Более точно определить регионы-источники пыльцы не представляется возможным из-за отсутствия для них данных пыльцевого мониторинга.

NOAA HYSPLIT MODEL  
 Backward trajectories ending at 1100 UTC 21 Feb 22  
 GDAS Meteorological Data

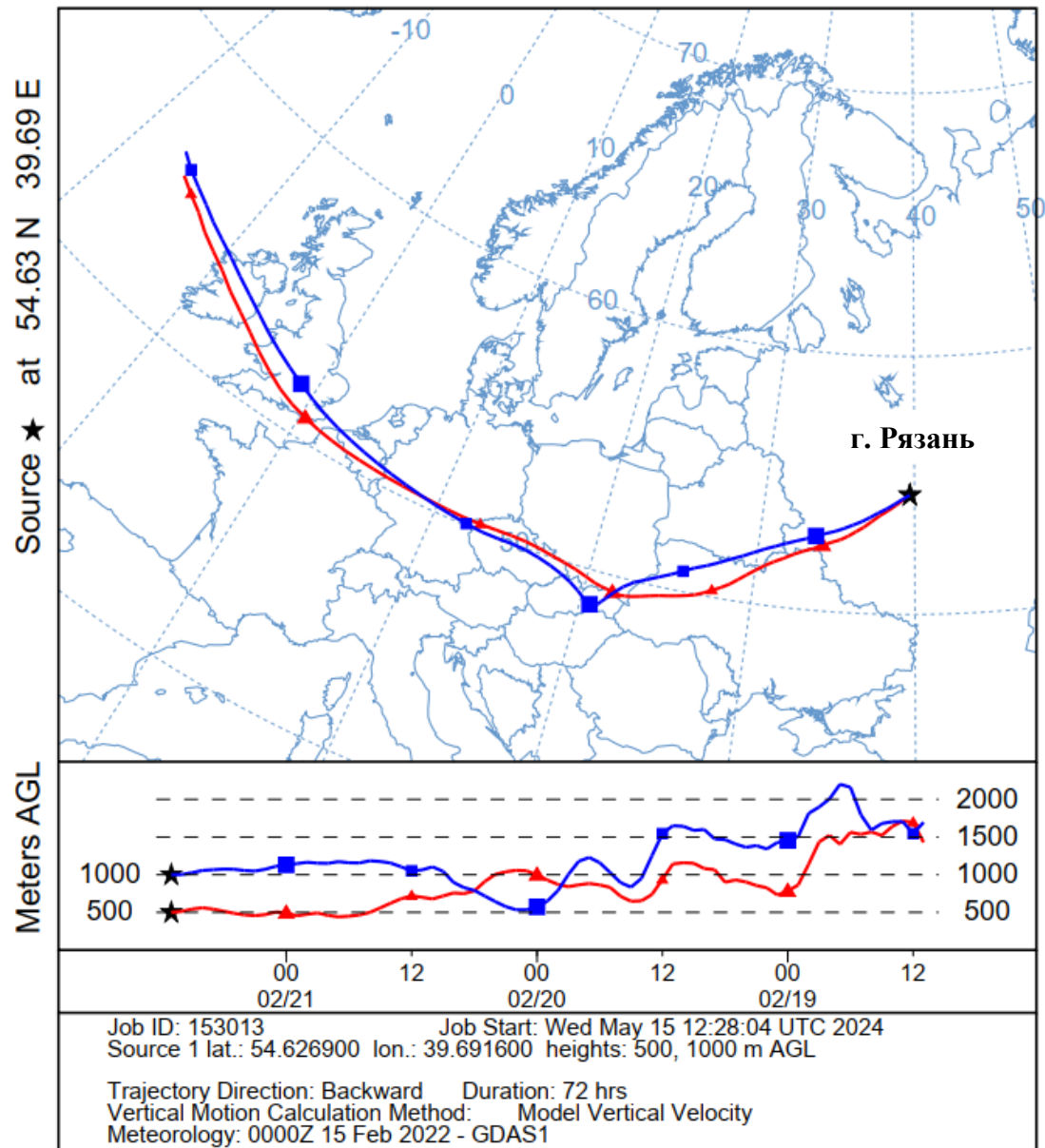


Рисунок 12. Модель обратных траекторий движения воздушных масс  
 для *Alnus* (2022 г.) (HYSPLIT, 2024)

NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 1100 UTC 22 Feb 20  
GDAS Meteorological Data

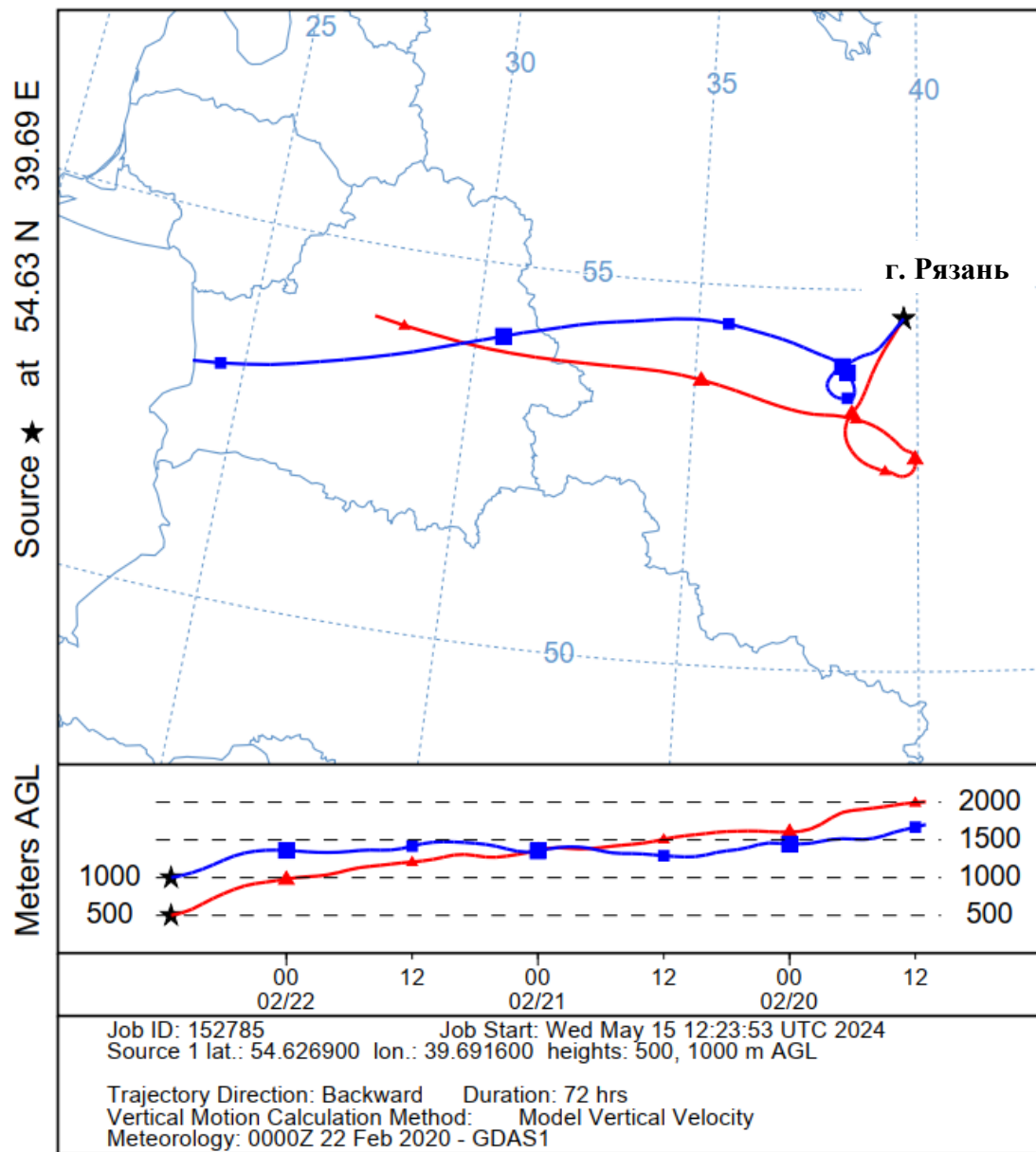


Рисунок 13. Модель обратных траекторий движения воздушных масс для *Betula* (2020 г.) (HYSPLIT, 2024)

NOAA HYSPLIT MODEL  
Backward trajectories ending at 1100 UTC 31 May 22  
GDAS Meteorological Data

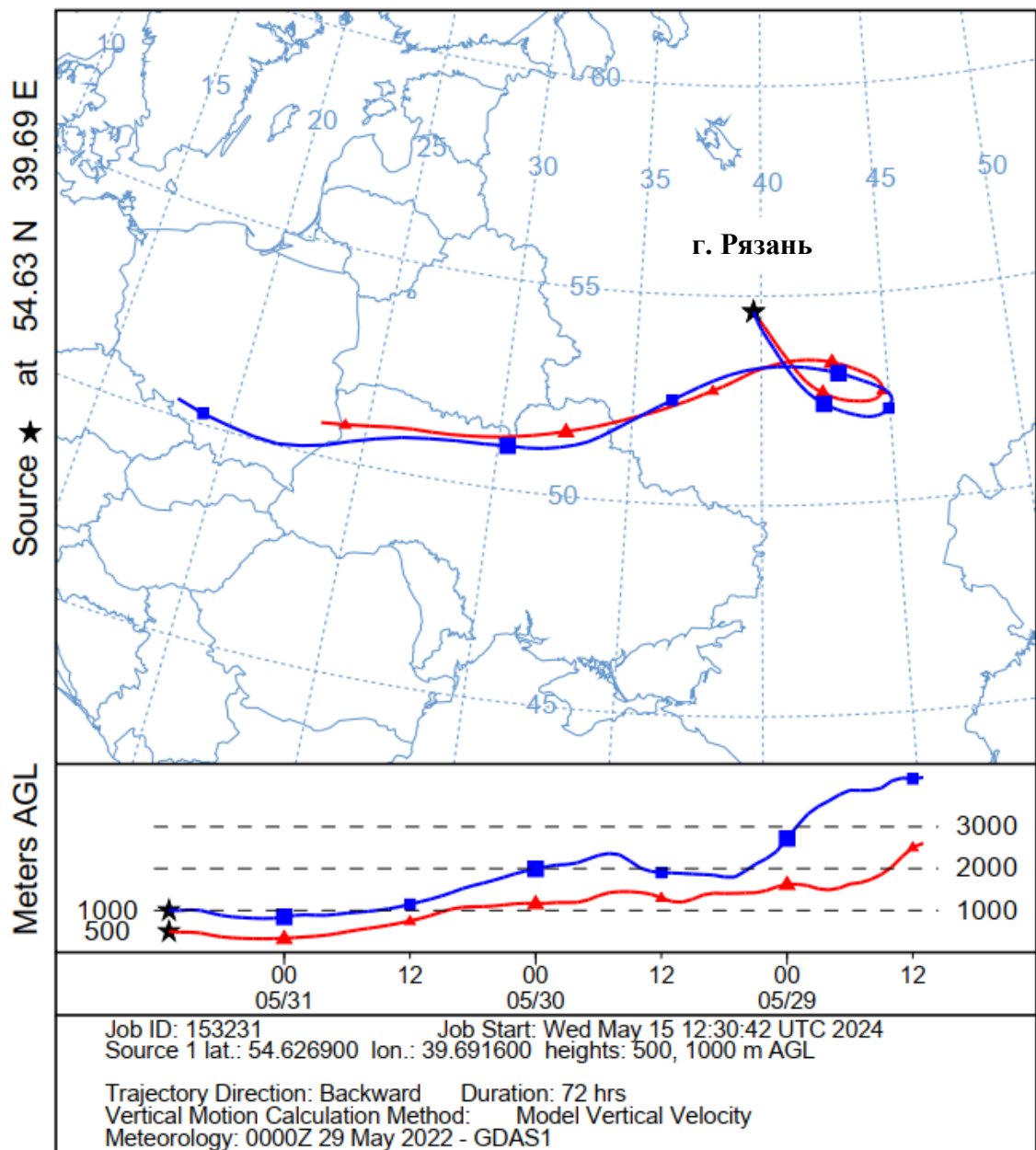


Рисунок 14. Модель обратных траекторий движения воздушных масс для Роасае (2022 г.) (HYSPLIT, 2024)

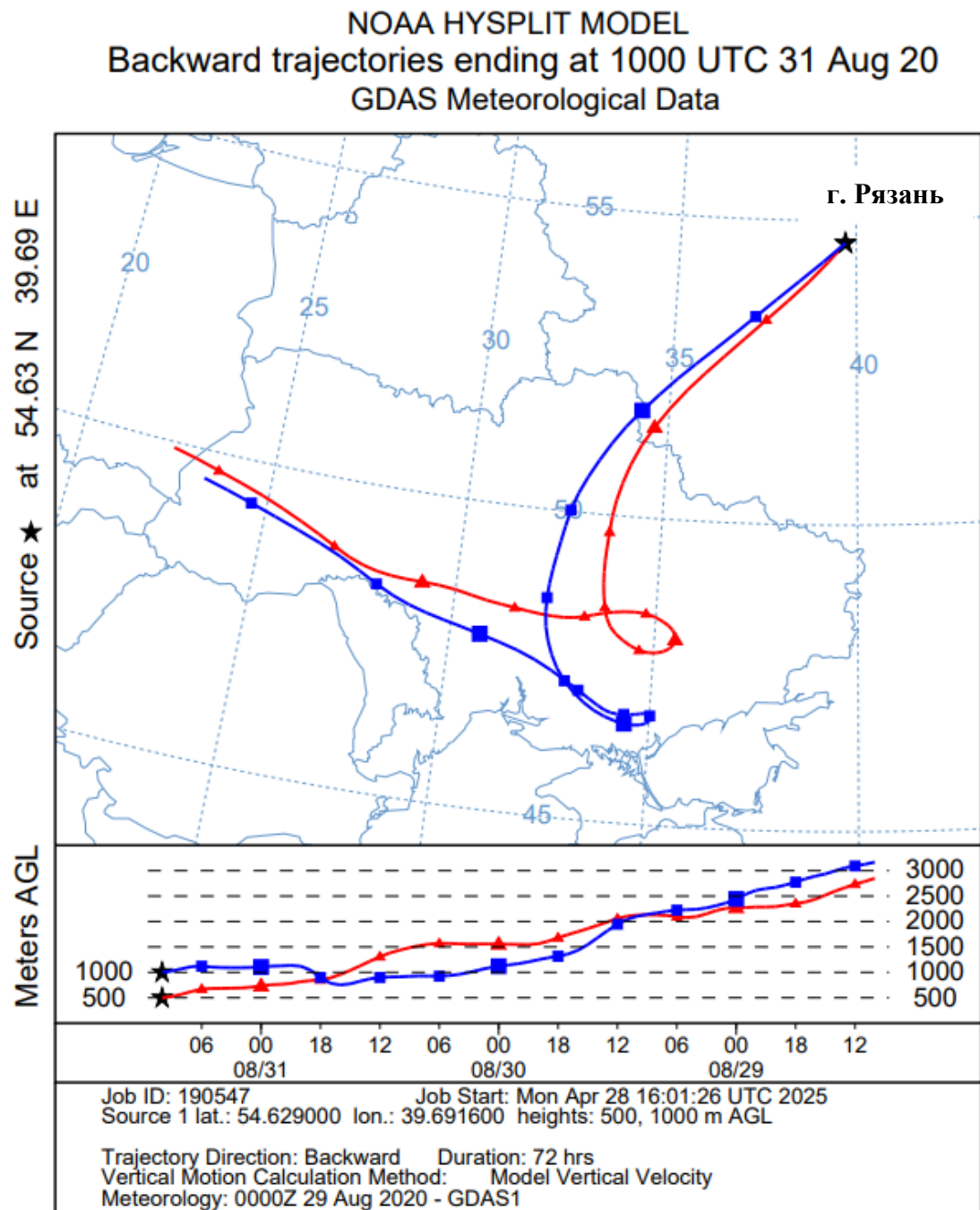


Рисунок 15. Модель обратных траекторий движения воздушных масс для *Ambrosia* (2020 г.) (HYSPLIT, 2024)

При анализе сроков начала локального пыления основных аллергенных растений в г. Рязани тенденции к более раннему старту за 9 лет наблюдений не было выявлено: все построенные модели линейной регрессии оказались незначимыми (рисунки 16-20).

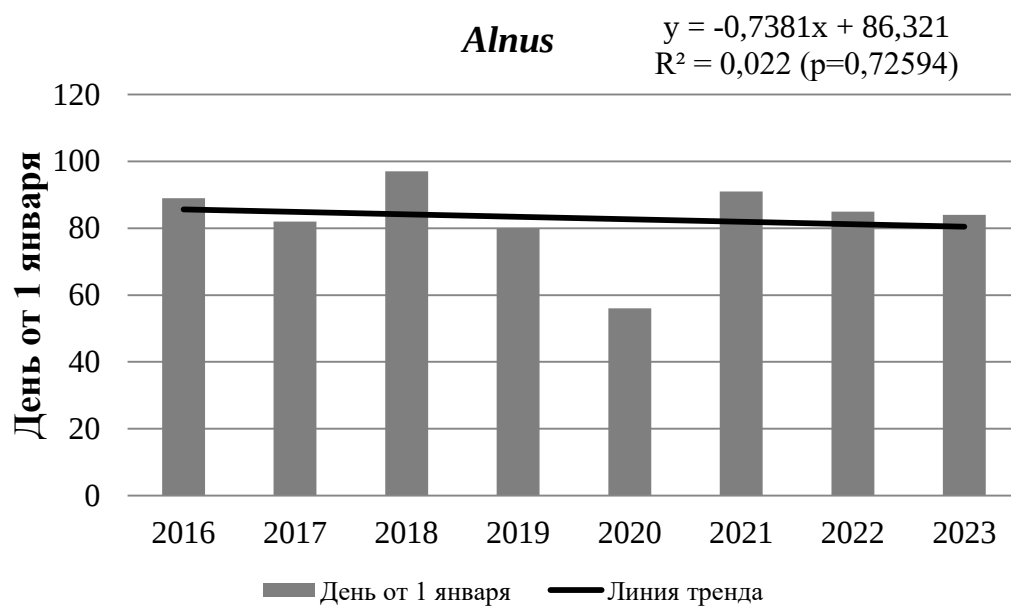


Рисунок 16. Сроки начала пыления *Alnus* в г. Рязани (2015-2023 гг.)

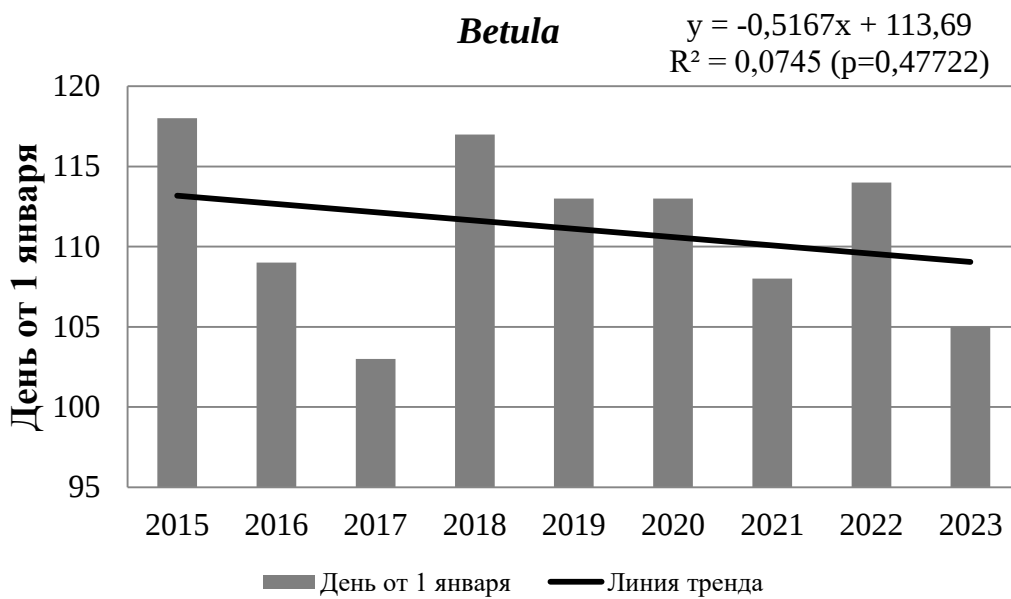


Рисунок 17. Сроки начала пыления *Betula* в г. Рязани (2015-2023 гг.)

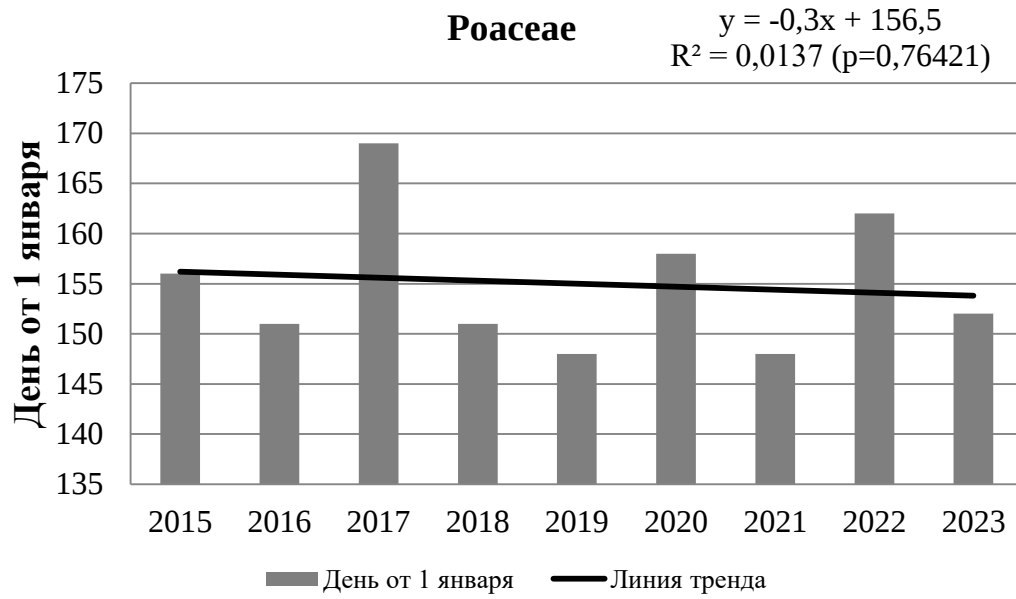


Рисунок 18. Сроки начала пыления *Poaceae* в г. Рязани (2015-2023 гг.)

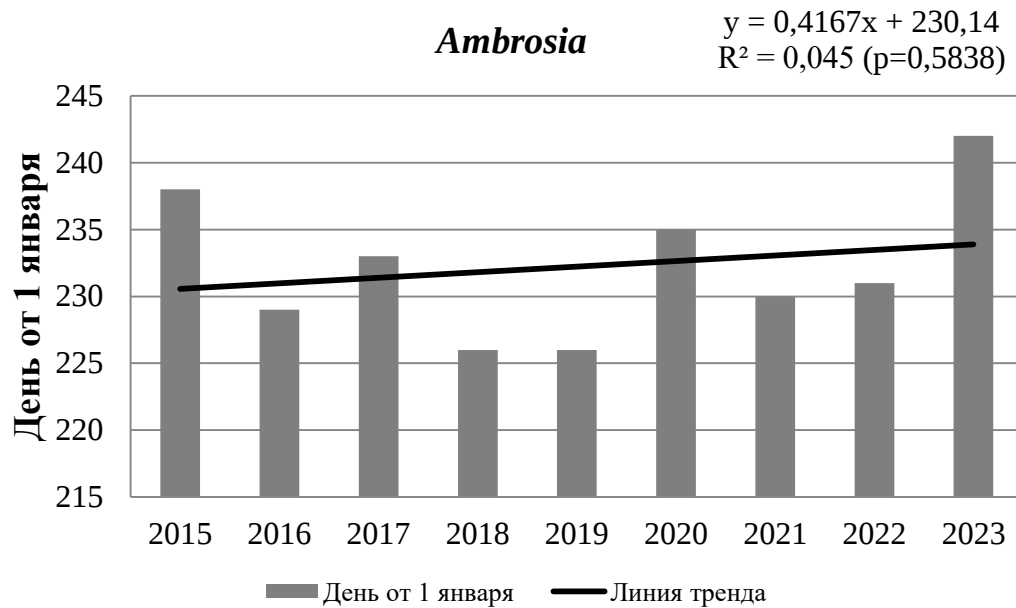


Рисунок 19. Сроки начала пыления *Ambrosia* в г. Рязани (2015-2023 гг.)

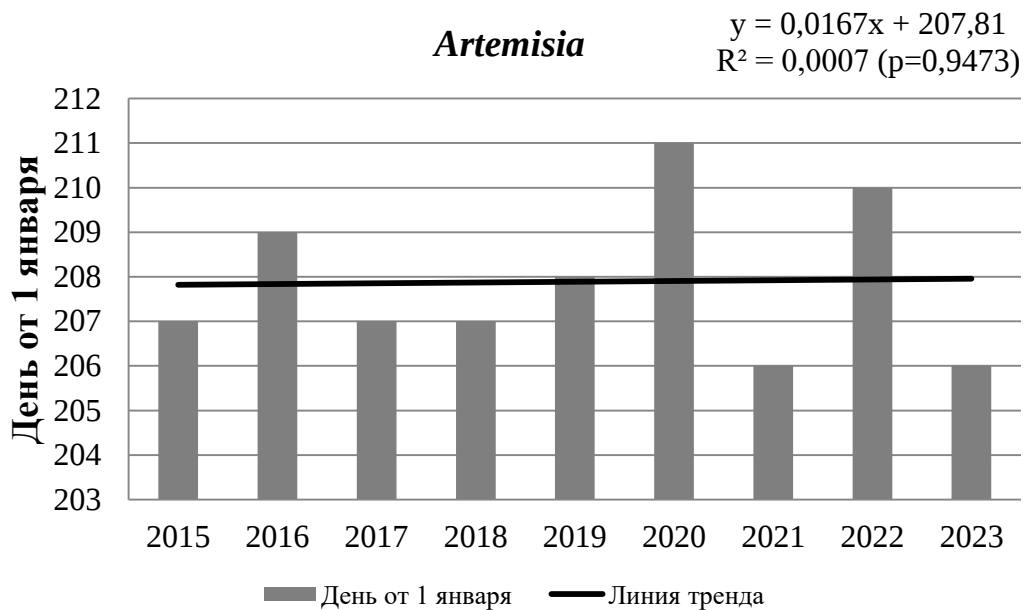


Рисунок 20. Сроки начала пыления *Artemisia* в г. Рязани (2015-2023 гг.)

Установлено, что на начало локального пыления раннецветущих сережкоцветных деревьев влияет сумма накопленных положительных температур (Ненашева, 2008; Mahura, 2008). В нашем случае начало локального пыления березы наступало при накопленной положительной температуре 150-246,7°C от 1 января ( $C_v=15,2\%$ ). Полученные данные могут быть использованы для прогнозирования начала пыления березы в регионе. Старт основного периода пыления ольхи фиксировался при накопленной положительной температуре 29-50,6°C ( $C_v=36,4\%$ ) (Карасева, Селезнева 2022), однако коэффициент вариации в этом случае составил больше 33%. Возможно, для получения более точного результата необходим более длительный ряд наблюдений.

Продолжительность ОПП (таблица 3) в большей степени варьировала у *Betula* ( $M=24$ ,  $C_v = 35,2 \%$ ,  $Me = 23$ ,  $max=43$ ,  $min=16$ ) и *Alnus* ( $M=26,5$ ,  $C_v = 53,2 \%$ ,  $Me = 20,5$ ,  $max=58$ ,  $min=14$ ), в меньшей – у злаков, полыни и амброзии (коэффициент вариации составил 15,1 %, 28,8 % и 18 % соответственно) (рисунки 21-25).

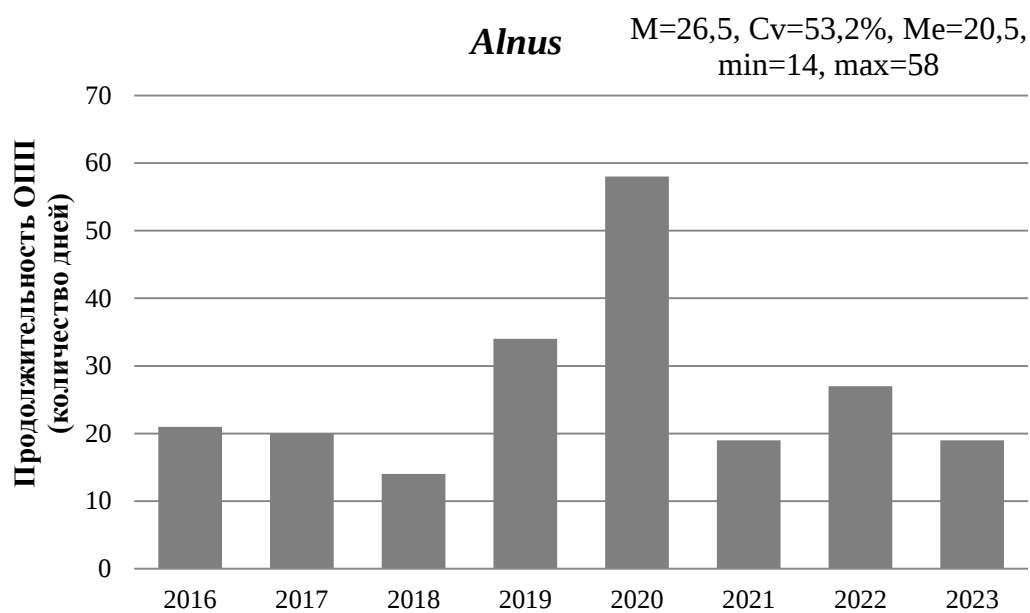


Рисунок 21. Продолжительность локального пыления *Alnus* в г. Рязани (2015-2023 гг.)

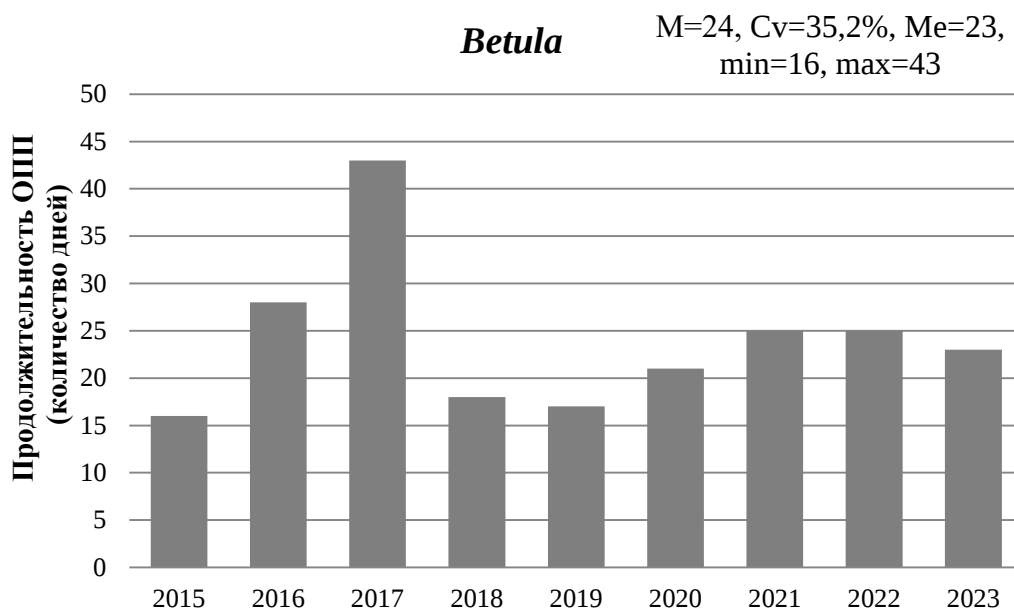


Рисунок 22. Продолжительность локального пыления *Betula* в г. Рязани (2015-2023 гг.)

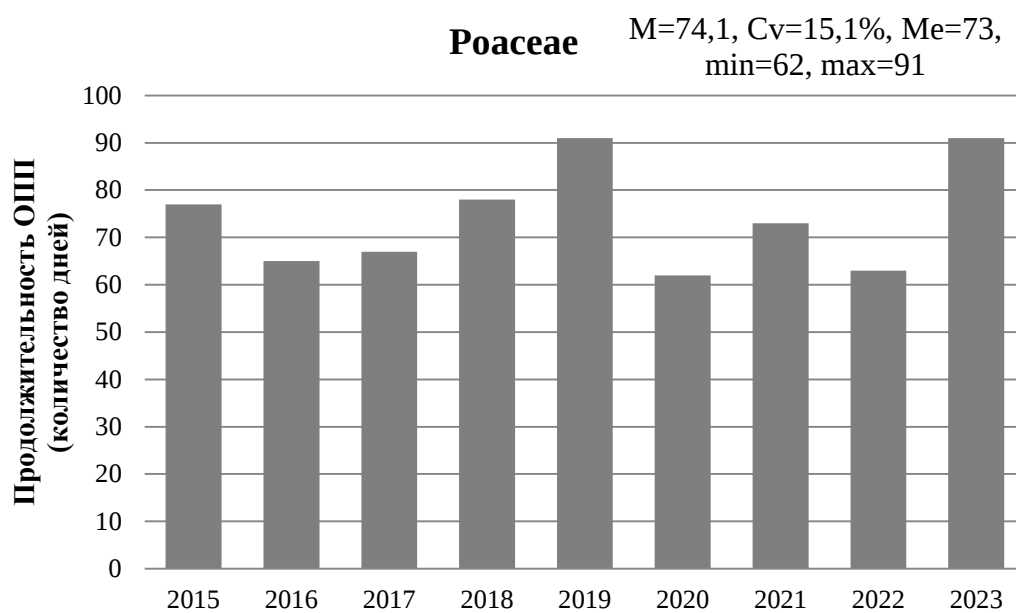


Рисунок 23. Продолжительность локального пыления *Рoaceae* в г. Рязани (2015-2023 гг.)

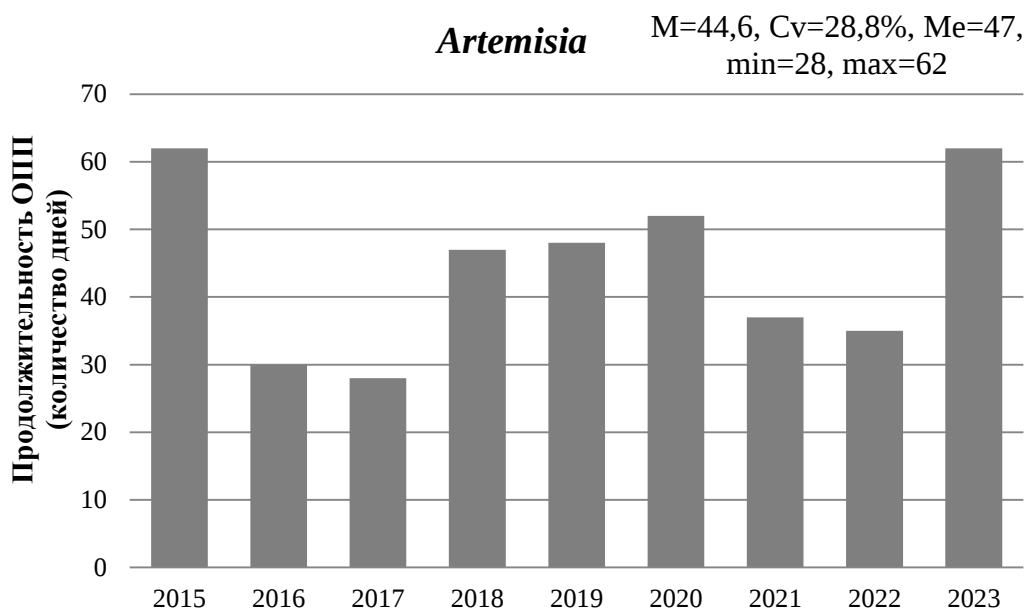


Рисунок 24. Продолжительность локального пыления *Artemisia* в г. Рязани (2015-2023 гг.)

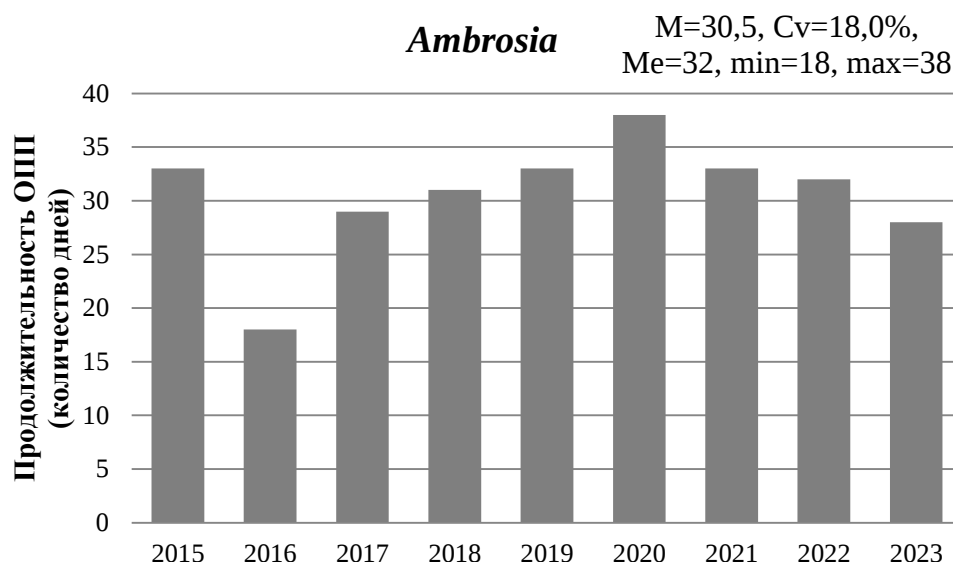


Рисунок 25. Продолжительность локального пыления *Ambrosia* в г. Рязани (2015-2023 гг.)

Анализ интенсивности пыления основных аллергенных таксонов выявил значимое увеличение пыльцевой продукции березы за последние 9 лет ( $R^2=0,4038$ ,  $p=0,011469$ ) (рисунок 26).

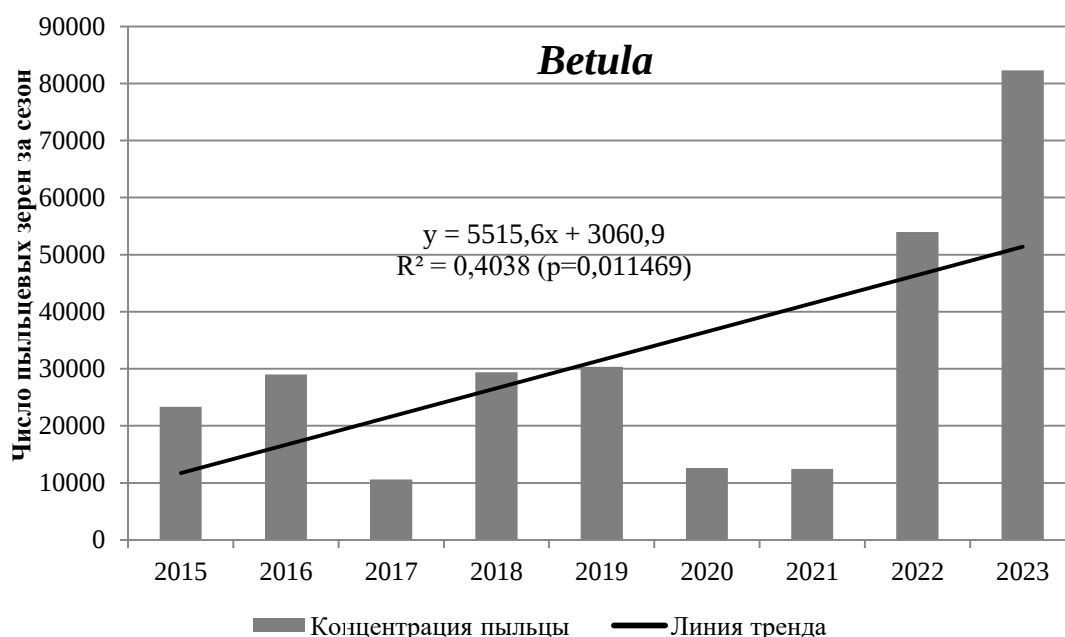


Рисунок 26. Суммарное годовое содержание пыльцы *Betula* в составе аэропалинологического спектра г. Рязани (2015-2023 гг.) (пз/м<sup>3</sup>)

Увеличение пыльцевой продукции древесных растений в последние десятилетия отмечалось во многих исследованиях (Spieksma et. al, 1995; Frei,

1998; Levetin, 2001; Rasmussen, 2002; Ziska et. al, 2019; Adams-Groom, 2022), что связывают в первую очередь с глобальными изменениями климата.

Анализ пыльцевой продукции *Betula* позволил проследить чередование сезонов с высокой и низкой концентрациями пыльцы (рисунок 26). Эта закономерность объясняется так называемым эндогенным ритмом цветения (Jäger, 1991). Береза относится к одному из немногих древесных таксонов, у которых отчетливо выявляется межсезонная ритмика пыления с двух- или трехлетним циклом в зависимости от географического региона (Северова и др., 2001; Severova, 2006). В нашем исследовании у березы наблюдали трёхгодичный цикл, который нарушался (рисунок 26), поэтому для получения достоверных результатов требуется более длительный ряд наблюдений.

На рисунке 26 обращает на себя внимание чрезвычайно высокое суммарное содержание пыльцы березы в 2023 г., превышающее предшествующие значения в 1,5 (2022 г.)-7,8 раз (2017 г.). Возможно, этот феномен связан с последствиями пожаров 2010 г., после которых площади хвойных и твердолиственных (дуб) пород деревьев в регионе значительно сократились, а площади мягколиственных (берёзы, осины) – возросли (Луганский и др., 2010). По данным Минприроды Рязанской области в 2010 г. в лесном фонде региона насчитывалось 343 тыс. га хвойных, 71,1 тыс. га – твердолиственных (дуб) и 388,6 тыс. га – мягколиственных (береза, осина) лесов. К 2021 г. эти показатели составили 283,7 тыс. га, 65,7 тыс. га и 496 тыс. га соответственно. Так, за 10-11 лет значительно уменьшились площади хвойных и твердолиственных пород, но серьезно возросла (на 107,4 тыс. га) площадь мягколиственных. Сильные лесные пожары привели к изменению гидрологического режима, а также выгоранию верхнего слоя гумуса, сформировав оптимальные условия для быстрого роста мягколиственных деревьев (березы и осины). При этом для хвойных и твердолиственных деревьев характерен медленный прирост в течение первых трех-четырех лет после пожаров ([minprirody.ryazan.gov.ru](http://minprirody.ryazan.gov.ru)).

Л.В. Ветчинниковой и А.Ф. Титовым (2021) отмечалось, что плодоношение, следующее за пылением, у березы повислой наступает довольно рано, в возрасте 4-6 лет (в условиях свободного роста отдельно стоящих деревьев), а в насаждениях (при высокой плотности) – значительно позднее. Г.Б. Дубынин (1992) отмечал, что период устойчивого плодоношения березы может наблюдаться в возрасте 10 лет. Кроме того, береза повислая входит в состав актуализированного перечня деревьев и кустарников, рекомендуемых к использованию в озеленении территории г. Рязани (Постановление, 2022).

Положительный тренд, выявленный при анализе интенсивности пыления злаков, оказался незначимым ( $R^2=0,3331$ ,  $p=0,1037$ ) (рисунок 27). Вариабельность суммарного годового содержания пыльцы Роасеае в городе связана в первую очередь с режимом кошения газонов. Так, наиболее высокие значения этого показателя были зарегистрированы в 2020 г. (3625 пз/м<sup>3</sup>), что совпало с пандемией COVID-19. В этот год работа сотрудников управления благоустройства и управляющих компаний по покосу газонов была приостановлена из-за внедрения запретов и ограничений, что нашло свое отражение в составе пыльцевого спектра.

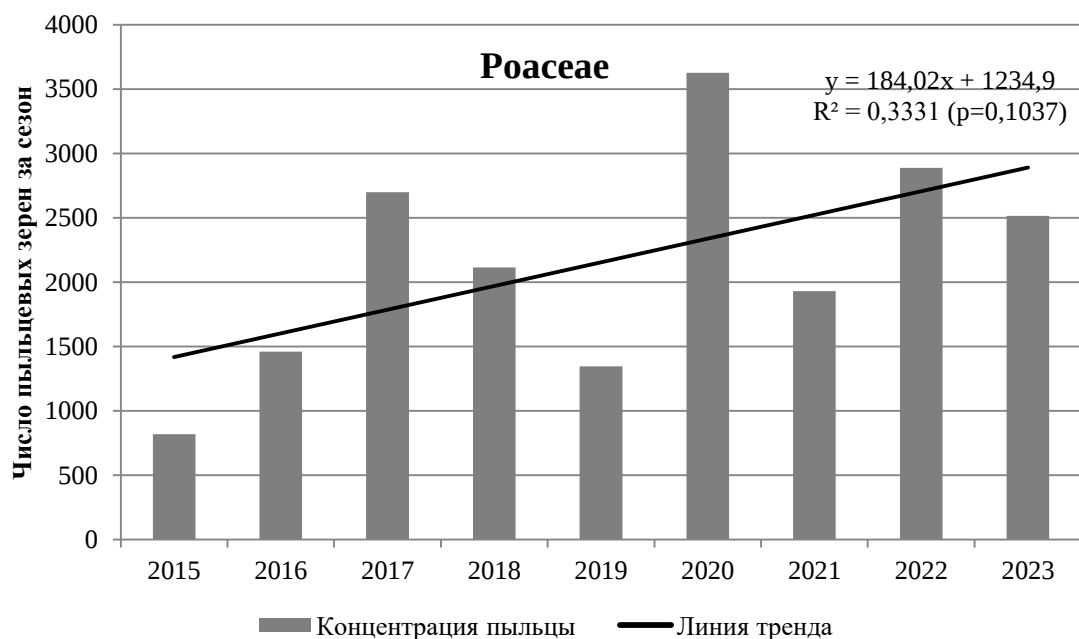


Рисунок 27. Суммарное годовое содержание пыльцы Роасеае в составе аэропалинологического спектра г. Рязани (2015-2023 гг.) (пз/м<sup>3</sup>)

Для ольхи, полыни и амброзии значимые направленные изменения суммарного годового содержания пыльцы не выявлены.

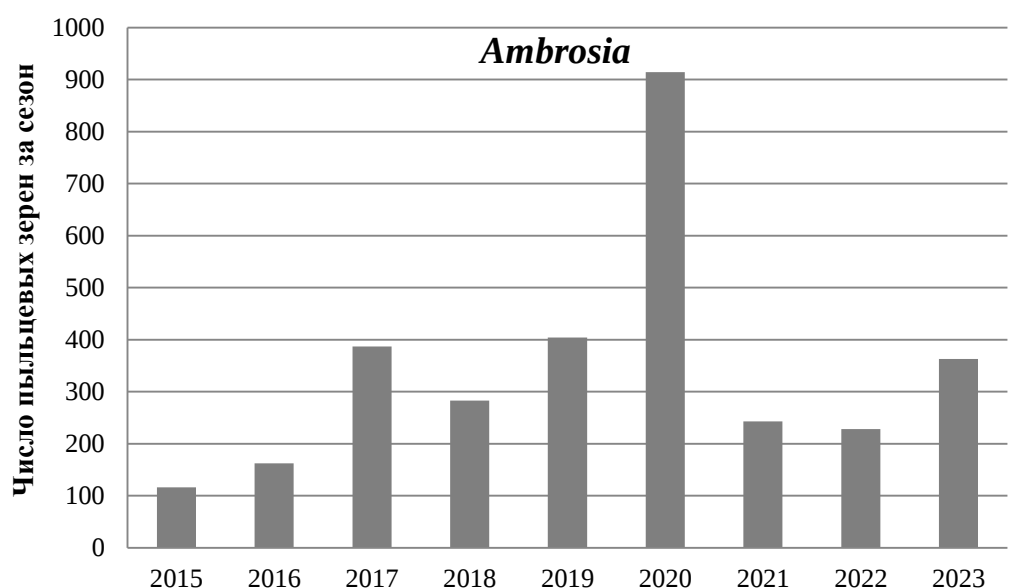


Рисунок 28. Суммарное годовое содержание пыльцы *Ambrosia* в составе аэропалинологического спектра г. Рязани (2015-2023 гг.) (пз/м<sup>3</sup>)

Пыльца амброзии в атмосфере г. Рязани была впервые зафиксирована в 2007 г. Ю.М. Посевиной (2011) и с той поры отмечалась регулярно. Рекордным по уровню концентрации пыльцы амброзии стал сезон 2020 г. (рисунок 28): ее суммарное годовое содержание составило 914 пз, более чем в три раза превысив показатели, зафиксированные в Рязани ранее (рисунок 28). Также в 2020 г. установлена рекордно высокая суточная концентрация пыльцевых зерен амброзии за всю историю наблюдений в нашем регионе – 349 пз/м<sup>3</sup> (31.08.2020 г.) (Карасева и др., 2022). Этот показатель, как и в случае с Роасеасе, мы связываем с пандемией COVID-19 и наложением двух событий – интенсивного локального цветения и дальнего переноса пыльцы из южных и юго-западных регионов (рисунок 15).

### 3.3. Анализ суточной ритмики пыления амброзии в г. Рязани

Амброзии в нашем исследовании было уделено особое внимание. Это связано с тем, что три вида *Ambrosia* (*A. artemisiifolia* L., *A. psilostachya* DC. и *A. trifida* L.), проникших ещё в конце XIX – начале XX века на территорию СССР (Никитин, 1983; Марьюшкина, 1986; Москаленко, 2001; Виноградова и др., 2010; Афонин и др., 2019; Афонин и др., 2022), в настоящее время включены в перечень карантинных объектов на территории Российской Федерации (Решение..., 2016). В последние годы отмечается расширение ареала их распространения (Afonin et al., 2018; Афонин и др., 2022), что приводит к увеличению в воздухе концентрации пыльцы амброзии – сильнейшего аллергена второй половины лета (DellaValle et al., 2012).

В нашем исследовании, помимо анализа сезонной ритмики пыления амброзии, мы изучали её суточную динамику. Результаты анализа аэропалинологических образцов в 2023 г. показали, что суточный пик пыления таксона приходился на период с 10.00 до 15.00 ч (рисунок 29).

Наши данные несколько расходятся с показателями, полученными в других регионах России. Так, Северова Е.Э. с соавторами (2008) отмечали, что суточный максимум пыления амброзии в средней полосе в большинстве случаев приходится на утренние или полуденные часы (8-14 часов, чаще всего в интервале 10-12 часов) (Северова и др., 2008; Северова, Майоров, 2025). Это может быть связано с особенностями развития амброзии в условиях «вторичного ареала», а также с локальными метеорологическими условиями, которые нами не фиксировались.

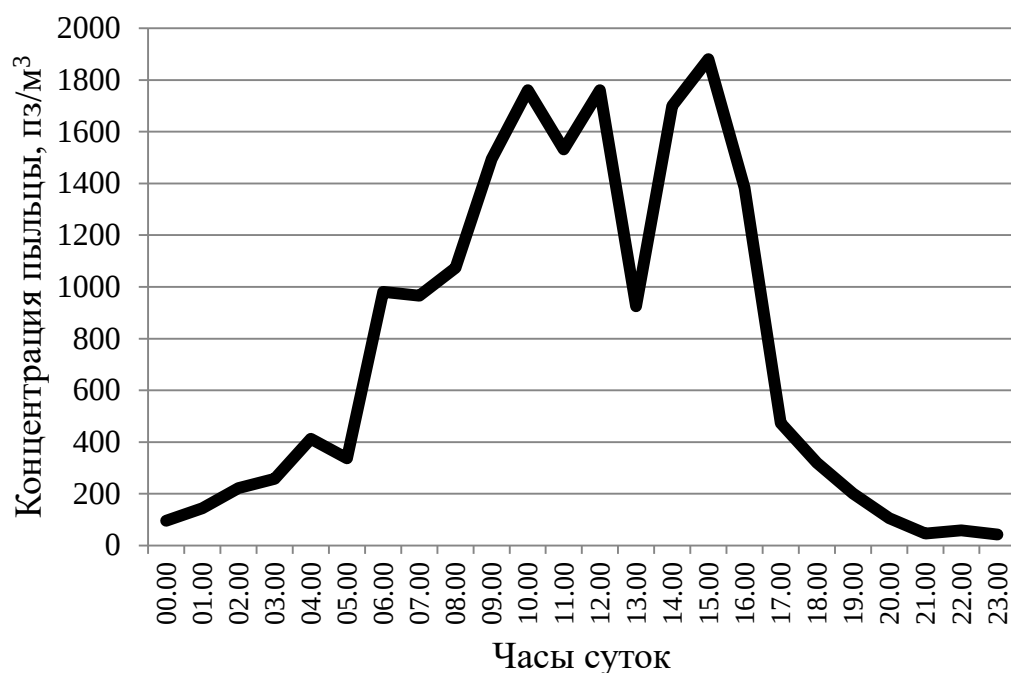


Рисунок 29. Усредненная кривая пыления *Ambrosia*  
на пробной площадке в 2023 г.

При сопоставлении данных по суточной ритмике пыления амброзии, полученных в эксперименте на пробной площадке, с данными пыльцевого мониторинга за 9 лет наблюдений установлено, что в большинстве случаев (13 дней из 19) суточный максимум приходился на период с 10 до 16 часов (таблица 3). Таким образом, полученные данные скорее всего свидетельствует о локальном происхождении пыльцы амброзии в воздухе г. Рязани. При этом наличие эпизодов дальнего заноса подтверждается смещением суточного максимума на ночные и ранние утренние часы.

Таблица 3 – Почасовая ритмика пыления амброзии в 2017-2023 гг.

| 2017 г.  | 00.00 | 02.00 | 04.00 | 06.00 | 08.00 | 10.00 | 12.00 | 14.00 | 16.00 | 18.00 | 20.00 | 22.00 | Сумма |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1        | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    |
| 11.09.17 | 5     | 3     | 4     | 4     | 3     | 1     | 1     | 13    | 9     | 2     | 1     | 2     | 47    |
| 12.09.17 | 1     | 5     | 8     | 10    | 16    | 8     | 3     | 3     | 0     | 5     | 4     | 2     | 64    |
| 13.09.17 | 5     | 7     | 9     | 5     | 9     | 8     | 1     | 4     | 4     | 1     | 5     | 17    | 75    |
| 15.09.17 | 4     | 7     | 2     | 3     | 2     | 7     | 10    | 6     | 1     | 0     | 0     | 1     | 43    |
| 18.09.17 | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 0     | 2     | 4     | 10    | 5     | 2     | 0     | 26    |
| 2018 г.  | 00.00 | 02.00 | 04.00 | 06.00 | 08.00 | 10.00 | 12.00 | 14.00 | 16.00 | 18.00 | 20.00 | 22.00 |       |
| 29.08.18 | 2     | 6     | 9     | 1     | 2     | 3     | 6     | 4     | 7     | 2     | 5     | 2     | 46    |
| 30.08.18 | 1     | 3     | 4     | 7     | 5     | 7     | 6     | 1     | 2     | 1     | 1     | 1     | 37    |
| 2019 г.  | 00.00 | 02.00 | 04.00 | 06.00 | 08.00 | 10.00 | 12.00 | 14.00 | 16.00 | 18.00 | 20.00 | 22.00 | 0     |
| 15.08.19 | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 12    | 14    | 32    | 34    | 26    | 4     | 5     | 128   |
| 06.09.19 | 1     | 0     | 0     | 0     | 2     | 8     | 8     | 12    | 5     | 1     | 0     | 1     | 35    |
| 13.09.19 | 2     | 2     | 3     | 2     | 4     | 6     | 11    | 15    | 8     | 10    | 7     | 3     | 69    |
| 2020 г.  | 00.00 | 02.00 | 04.00 | 06.00 | 08.00 | 10.00 | 12.00 | 14.00 | 16.00 | 18.00 | 20.00 | 22.00 |       |
| 26.08.20 | 3     | 5     | 13    | 24    | 43    | 35    | 33    | 5     | 1     | 2     | 1     | 0     | 163   |
| 30.08.20 | 0     | 0     | 0     | 1     | 2     | 0     | 1     | 1     | 6     | 14    | 9     | 2     | 33    |

Продолжение таблицы 3

| 1              | 2            | 3            | 4            | 5            | 6            | 7            | 8            | 9            | 10           | 11           | 12           | 13           | 14  |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|
| 31.08.20       | 15           | 11           | 30           | 66           | 93           | 78           | 16           | 13           | 9            | 9            | 6            | 3            | 349 |
| 07.09.20       | 1            | 0            | 0            | 0            | 1            | 2            | 4            | 1            | 3            | 4            | 2            | 0            | 20  |
| <b>2021 г.</b> | <b>00.00</b> | <b>02.00</b> | <b>04.00</b> | <b>06.00</b> | <b>08.00</b> | <b>10.00</b> | <b>12.00</b> | <b>14.00</b> | <b>16.00</b> | <b>18.00</b> | <b>20.00</b> | <b>22.00</b> |     |
| 30.08.21       | 2            | 3            | 6            | 2            | 5            | 2            | 1            | 4            | 7            | 1            | 3            | 4            | 40  |
| 31.08.21       | 8            | 9            | 9            | 6            | 2            | 6            | 4            | 3            | 4            | 2            | 2            | 2            | 55  |
| <b>2022 г.</b> | <b>00.00</b> | <b>02.00</b> | <b>04.00</b> | <b>06.00</b> | <b>08.00</b> | <b>10.00</b> | <b>12.00</b> | <b>14.00</b> | <b>16.00</b> | <b>18.00</b> | <b>20.00</b> | <b>22.00</b> | 0   |
| 29.08.22       | 1            | 4            | 2            | 2            | 1            | 5            | 2            | 3            | 2            | 0            | 1            | 2            | 27  |
| <b>2023 г.</b> | <b>00.00</b> | <b>02.00</b> | <b>04.00</b> | <b>06.00</b> | <b>08.00</b> | <b>10.00</b> | <b>12.00</b> | <b>14.00</b> | <b>16.00</b> | <b>18.00</b> | <b>20.00</b> | <b>22.00</b> |     |
| 20.09.23       | 1            | 1            | 0            | 2            | 2            | 2            | 5            | 7            | 3            | 2            | 4            | 1            | 28  |
| 21.09.23       | 3            | 3            | 2            | 3            | 3            | 3            | 7            | 21           | 11           | 10           | 4            | 25           | 93  |

Наблюдения за цветением амброзии и анализ кривых пыления поставил перед нами дополнительную задачу: выяснить, может ли однолетнее растение *Ambrosia artemisiifolia* самовозобновляться в условиях умеренного климата или появление новых популяций амброзии – это результат постоянного заноса семян извне.

В нашей работе из 1000 посаженных семян *Ambrosia artemisiifolia* выросло 230 растений. Проростки появлялись неравномерно, а до фаз бутонизации, цветения и плодоношения успевали доходить не все экземпляры. Из 97 активно цветущих в конце сентября растений зрелые семена смогли образовать только 5 особей, которые зацвели раньше остальных. В нашем эксперименте мы получили небольшое количество плодов амброзии полыннолистной (таблица 4).

Плодоношение амброзии наступало в конце сентября-октябре, но многие особи перейти в эту стадию не успели, вероятнее всего из-за рано наступивших в 2023 г. холодов. Собранные в октябре с наиболее полноценных особей плоды в большинстве случаев оказались незрелыми. Необходимо отметить, что из-за наступивших холодов не все растения смогли дойти даже до стадии цветения, поэтому фенологические наблюдения завершились нами уже в октябре. Таким образом, для того, чтобы делать вывод о самовозобновлении *Ambrosia artemisiifolia* в г. Рязани, одного года наблюдений недостаточно.

Аналогичные результаты были получены Петровой С.Е. (2019). По результатам исследований, проведенным в 2014-2015 гг. на базе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, было выявлено, что к климату средней полосы лучше адаптирована амброзия трехраздельная: растение успевает пройти весь жизненный цикл и сформировать зрелые семена. Есть все основания полагать, что популяции этого вида способны к самовоспроизведению. При этом амброзия полыннолистная не дала всхожих семян, и, вероятно, ее популяции каждый год возникают заново в результате заноса семян из южных регионов и их прорастания из почвенного банка.

Таблица 4. Оценка онтогенеза семян *A. artemisiifolia*, г. Рязань, 2023 г.

| Дата       | Виргинильный период                        | Генеративный период              |                                      |                                   |                                | Примечания |
|------------|--------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|------------|
|            | Виргинильные растения (кол-во экземпляров) | Бутонизация (кол-во экземпляров) | Полное цветение (кол-во экземпляров) | Плодоношение (кол-во экземпляров) |                                |            |
|            |                                            |                                  |                                      | Незрелые плоды                    | Полностью сформированные плоды |            |
| 1          | 2                                          | 3                                | 4                                    | 5                                 | 6                              | 7          |
| 31.07.2023 | 225                                        | 5                                |                                      |                                   |                                |            |
| 07.08.2023 | 220                                        | 10                               |                                      |                                   |                                |            |
| 09.08.2023 | 206                                        | 17                               | 7                                    |                                   |                                |            |
| 11.08.2023 | 192                                        | 24                               | 14                                   |                                   |                                |            |
| 25.08.2023 | 183                                        | 22                               | 25                                   |                                   |                                |            |
| 28.08.2023 | 186                                        | 19                               | 25                                   |                                   |                                |            |
| 30.08.2023 | 184                                        | 13                               | 33                                   |                                   |                                |            |
| 01.09.2023 | 134                                        | 56                               | 40                                   |                                   |                                |            |
| 04.09.2023 | 104                                        | 83                               | 43                                   |                                   |                                |            |
| 06.09.2023 | 52                                         | 133                              | 45                                   |                                   |                                |            |
| 12.09.2023 | 33                                         | 117                              | 80                                   |                                   |                                |            |

Продолжение таблицы 4

| 1          | 2  | 3   | 4  | 5  | 6 | 7                                                                                          |
|------------|----|-----|----|----|---|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14.09.2023 | 16 | 135 | 79 |    |   |                                                                                            |
| 18.09.2023 | 16 | 110 | 73 |    |   |                                                                                            |
| 20.09.2023 | 16 | 108 | 79 |    |   |                                                                                            |
| 23.09.2023 | 10 | 100 | 97 | 15 |   |                                                                                            |
| 02.10.2023 |    |     |    | 17 | 5 | Успели сформировать семена в основном только те растения, которые зацвели раньше остальных |
| 25.10.2023 |    |     |    | 11 |   | Семена не успели полностью сформироваться из-за наступивших холодов                        |

## ГЛАВА 4. ПЫЛЬЦЕВАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЫЛЬЦЕВОГО СПЕКТРА ЗЛАКОВ Г. РЯЗАНИ

Пыльца злаков – основной аллерген в составе воздушного спектра на протяжении всего лета. Злаки распространены повсеместно: во флоре Центральной России отмечено около 270 видов семейства Poaceae (Маевский, 2014), Рязанской области – 135 видов злаков (Казакова, Щербаков, 2017). Период пыления злаков составляет 2,5-3 месяца (даже период высокой концентрации пыльцы в воздухе составляет порядка месяца) (рисунок 30). Такая растянутая аэропалинологическая кривая связана с вкладом пыльцы разных видов злаков, цветущих в разное время.

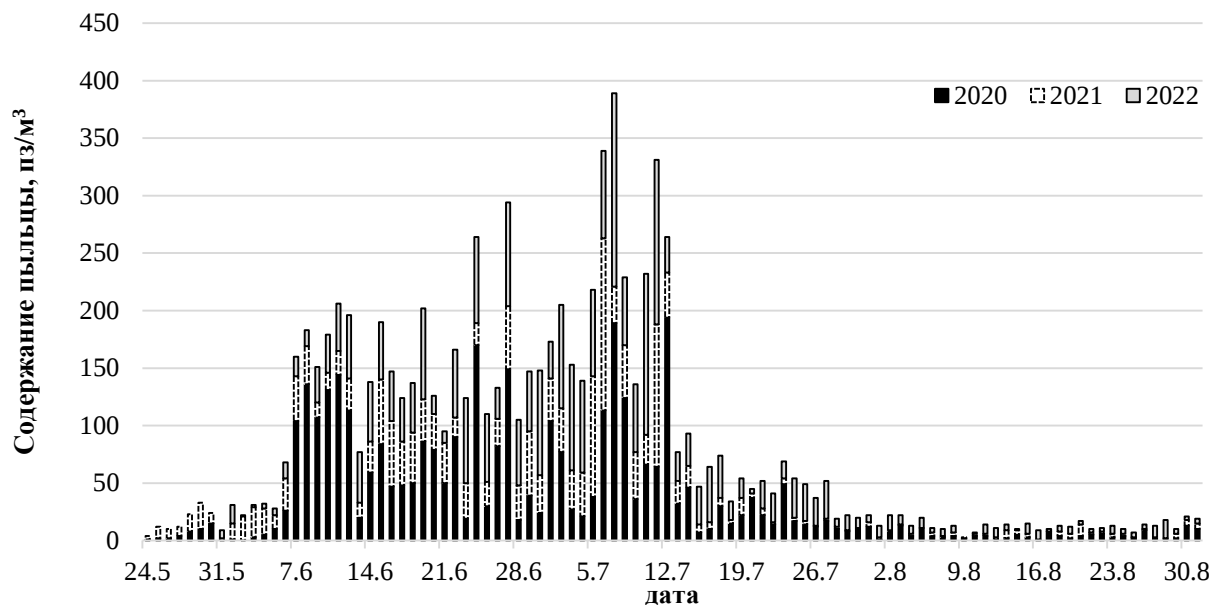


Рисунок 30. Динамика пыления злаков в г. Рязани, 2020-2022 гг.,  
диаграмма с накоплением

При этом пыльца всех видов Poaceae относится к единому палиноморфологическому типу, при аэробиологическом мониторинге диагностируется только до уровня семейства, но обладает разной аллергенной активностью (таблица 5). По данным pollenlibrary.com, среди видов, типичных для Средней полосы России, четыре обладают сильными аллергенными свойствами (*Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Lolium*

*perenne*, *Phleum pratense*), четыре – умеренными (*Bromopsis inermis*, *Poa pratensis*, *Poa annua*, *Poa trivialis* (pollenlibrary.com)). Степень аллергенности двух видов (*Calamagrostis epigeios*, *Elymus repens*) на сегодняшний день не известна. Морфологическое сходство пыльцы злаков наряду с различной аллергенностью делает чрезвычайно актуальной проблему детализации кривых пыления, получаемых в ходе рутинного мониторинга.

Таблица 5. Характеристика видов злаков, произрастающих на пробных площадях (pollenlibrary.com)

| Видовой состав злаков на площадках | Жизненная форма | Проективное покрытие видов на площадках (по шкале Браун–Бланке) |     |     | Аллергенность<br>(pollenlibrary.com) |
|------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------|-----|-----|--------------------------------------|
|                                    |                 | 1                                                               | 2   | 3   |                                      |
| <i>Bromopsis inermis</i>           | мн              | 1–2                                                             | –   | –   | аа                                   |
| <i>Calamagrostis epigeios</i>      | мн              | 1                                                               | –   | –   | ?                                    |
| <i>Dactylis glomerata</i>          | мн              | +                                                               | 2   | 3–4 | ааа                                  |
| <i>Elymus repens</i>               | мн              | R                                                               | +   | –   | ?                                    |
| <i>Festuca pratensis</i>           | мн              | +                                                               | 1–2 | +   | ааа                                  |
| <i>Lolium perenne</i>              | мн              | +                                                               | –   | R   | ааа                                  |
| <i>Phleum pratense</i>             | мн              | +                                                               | +   | –   | ааа                                  |
| <i>Poa pratensis</i>               | мн              | 3                                                               | 3   | +   | аа                                   |
| <i>Poa annua</i>                   | мал             | –                                                               | –   | +   | аа                                   |
| <i>Poa trivialis</i>               | мн              | –                                                               | –   | R   | аа                                   |

Обозначения. Аллергенность: ? – неизвестна, а – слабая, аа – средняя, ааа – сильная; жизненная форма: мн – многолетник, мал – малолетник.

#### 4.1. Морфология пыльцы злаков

Пыльца десяти, наиболее распространенных в Рязанской области, видов злаков (*Bromopsis inermis* Leyss., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth,

*Dactylis glomerata* L., *Elymus repens* (L.), *Festuca pratensis* Huds., *Lolium perenne* L., *Phleum pratense* L., *Poa annua* (L.), *Poa pratensis* L. и *Poa trivialis* L.) была изучена и сфотографирована под световым микроскопом (рисунок 31).

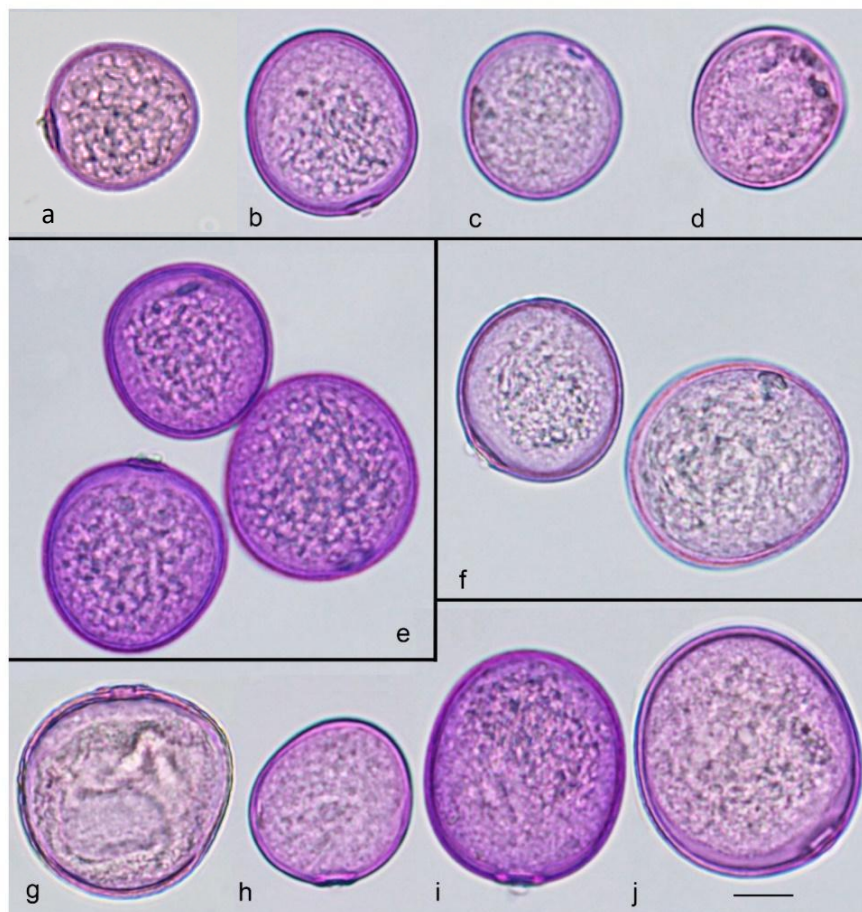


Рисунок 31. Пыльцевые зерна разных видов злаков: (a) *Poa annua*, (b) *Festuca pratensis*, (c) *Poa pratensis*, (d) *Poa trivialis*, (e) *Dactylis glomerata*, (f) *Phleum pratense*, (g) *Bromopsis inermis*, (h) *Calamagrostis epigeios*, (i) *Lolium perenne*, (j) *Elymus repens*, Масштабная линейка, 10 мкм

Для злаков характерны дистально однопоровые пыльцевые зерна с хорошо выраженным ободком и оперкулюмом, мелкобугорчатой поверхностью и часто гранулярной цитоплазмой. Размер пыльцевых зерен обычно рассматривается как довольно стабильный признак. Однако наши результаты показали, что диаметр пыльцевых зерен различается даже у разных образцов одного и того же вида (особенно у *Bromopsis inermis*,

*Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Phleum pratense*). Связь размеров пыльцевого зерна с жизненной формой злаков в нашей работе не выявлена. Пыльцевые зерна единственного малолетнего вида *Poa annua* не превышали 30 мкм в диаметре (рисунок 32), но некоторые многолетние растения также имели пыльцевые зерна такого размера (*Calamagrostis epigeios*, *Poa trivialis*).

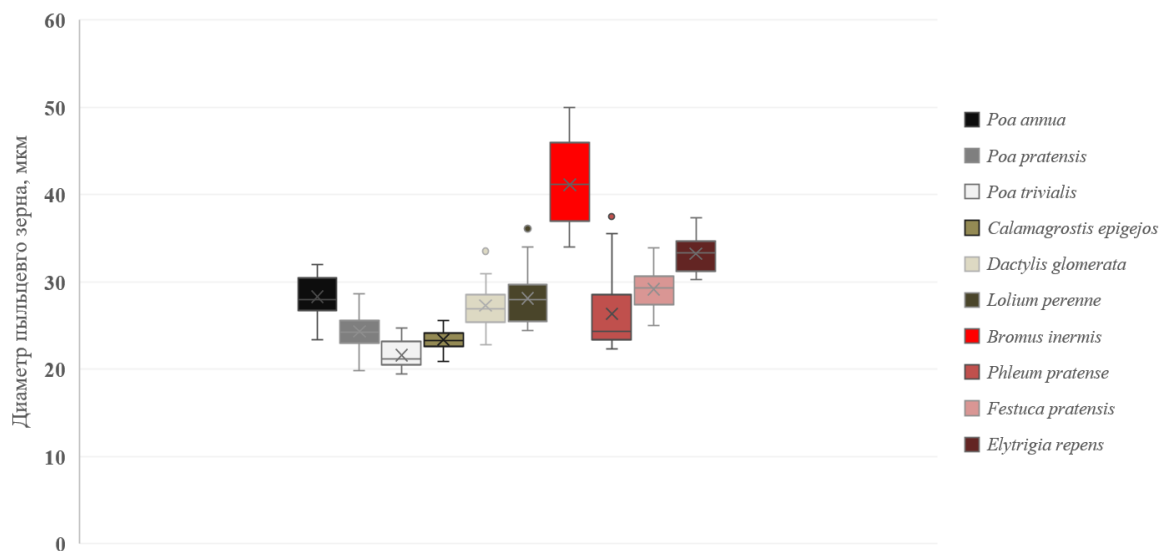


Рисунок 32. Диаметр пыльцевых зерен разных видов Poaceae, мкм

Пыльца злаков обладает не только схожей морфологией, но и сходными спектральными характеристиками. В автоматизированных детекторах аэрозолей идентификация пыльцы осуществляется на основе анализа спектров вторичной флуоресценции, индуцированной лазерным излучением. Проведенный нами спектральный анализ пяти видов злаков продемонстрировал высокую степень схожести их флуоресцентных характеристик. По интенсивности флуоресценции исследованные виды можно разделить на две группы: первую составляют *Poa pratensis*, *Calamagrostis epigeios* и *Lolium pratense*, вторую – *Dactylis glomerata* и *Phleum pratense* (рисунок 33). В пределах каждой из групп надежная дифференциация родов представляется нам затруднительной. Вместе с тем, для более объективной оценки потенциала флуоресцентной спектроскопии в идентификации пыльцы необходимы дальнейшие исследования,

включающие расширение выборки образцов и учет вариаций, связанных с различной степенью их гидратации.

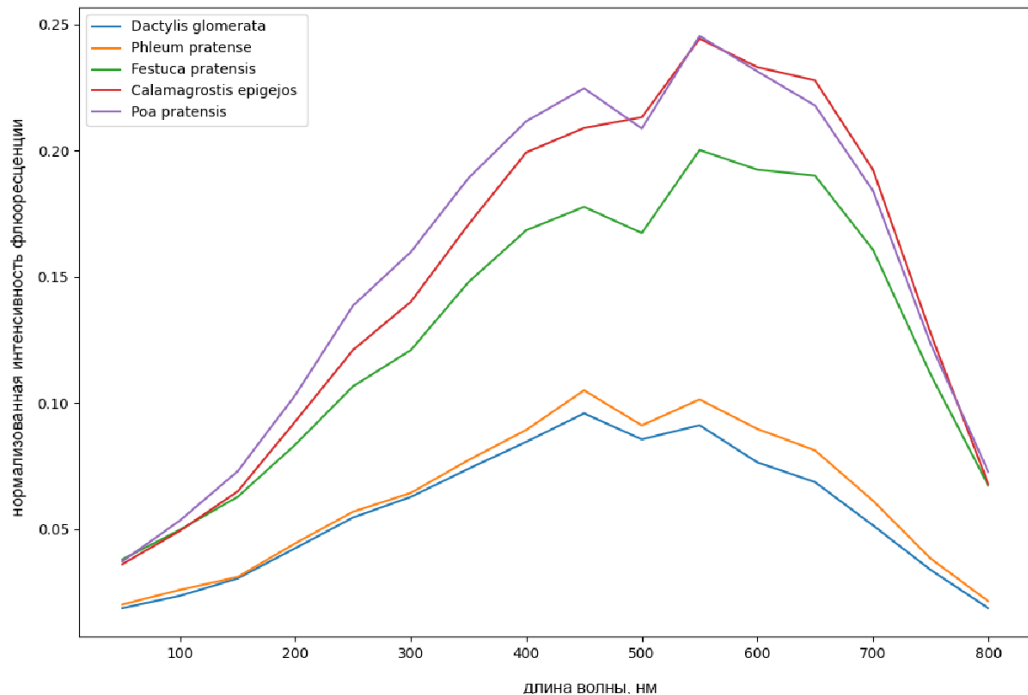


Рисунок 33. Спектры вторичной флюоресценции пыльцы злаков

#### 4.2. Пыльцевая продуктивность некоторых видов злаков

Для оценки вклада каждого конкретного вида злака в состав аэропалинологического спектра необходимы данные об их пыльцевой продуктивности. В нашем исследовании была изучена пыльцевая продуктивность 10 видов злаков, наиболее широко распространенных в Рязанской области (таблица 6). Для многих из них отмечены очень высокие значения этого показателя, что характерно в целом для анемофильных растений. Помимо типа опыления, пыльцевая продукция злаков зависит от формы жизни (однолетняя или многолетняя). Известно, что многолетние растения производят больше пыльцы, чем однолетние (Prieto-Baena et al., 2003; Aboulaich et al., 2009; Ghitarrini et al., 2017). В нашем случае, среди изученных видов только один (*Poa annua*) относится к малолетникам, для него характерна минимальная пыльцевая продукция (таблица 6).

Аналогичные показатели были обнаружены и у других малолетних видов разных регионов (Subba-Reddi, Reddi, 1986; Prieto-Baena et al., 2003). Среди исследованных нами многолетних видов максимальной пыльцевой продукцией обладали *Dactylis glomerata*, *Phleum pratense* и *Calamagrostis epigeios*, минимальной – *Elymus repens*.

При расчете пыльцевой продуктивности вида нами анализировалось число пыльцевых зерен в пыльнике, число цветков в колоске и число колосков в соцветии (таблица 6). Из всех анализируемых показателей наиболее изменчивым параметром оказалось число колосков в соцветии. Средние значения варьировали от 16 (*Elymus repens*) до 1648 (*Calamagrostis epigeios*), с коэффициентом вариации от 11 % (*Lolium perenne*) до 55-56% (*Poa trivialis* и *Phleum pratense* соответственно). Число пыльцевых зерен в пыльнике у большинства видов достаточно стабильно, коэффициент вариации составлял от 13% (*Elymus repens*, *Calamagrostis epigeios*) до 30% (*Bromopsis inermis*). Число цветков в колоске также оставалось относительно постоянным, коэффициент вариации не превышал 32% (*Poa trivialis*). У многолетних видов мы обнаружили слабую, но значимую отрицательную корреляцию между числом пыльцевых зерен в цветке и числом цветков в соцветии ( $r = -0,6$ ;  $p = 0,036$ ). Так, большее число пыльцевых зерен формировалось в пыльниках тех растений, у которых число колосков (и общее число цветков) в соцветии относительно невелико. Наиболее изменчивым параметром оказалось число колосков в соцветии, коэффициент вариации у разных видов составлял от 11% (*Lolium perenne*) до 56% (*Poa trivialis*).

Несмотря на важность данных о пыльцевой продукции отдельных видов злаков, сегодня они все же носят фрагментарный характер. Большинство проведенных исследований до сих пор были сосредоточены на изучении злаков на конкретных географических территориях, вопрос возможности использования результатов в других регионах до сих пор остается

открытым.

Таблица 6. Пыльцевая продуктивность исследованных видов злаков

| Вид                           | Число пыльцевых зерен<br>в пыльнике |      |     | Число цветков<br>в колоске |    |     | Число колосков в соцветии |      |     | Пыльцевая продуктивность соцветия |           |     |
|-------------------------------|-------------------------------------|------|-----|----------------------------|----|-----|---------------------------|------|-----|-----------------------------------|-----------|-----|
|                               | I                                   | II   | III | I                          | II | III | I                         | II   | III | I                                 | II        | III |
| <i>Bromopsis inermis</i>      | 1344–4574                           | 3082 | 30  | 4–9                        | 7  | 15  | 16–56                     | 35   | 32  | 536256–4276608                    | 2 265 270 | 41  |
| <i>Calamagrostis epigeios</i> | 1010–1602                           | 1233 | 13  | 1–1                        | 1  | 0   | 1160–2307                 | 1648 | 25  | 3904560–8629872                   | 6 091 008 | 30  |
| <i>Dactylis glomerata</i>     | 2146–4316                           | 3040 | 21  | 2–5                        | 4  | 26  | 125–386                   | 211  | 36  | 2510820–10896480                  | 7 697 280 | 37  |
| <i>Elytrigia repens</i>       | 2736–4982                           | 3816 | 13  | 3–6                        | 5  | 15  | 12–23                     | 16   | 20  | 446688–1481832                    | 915 840   | 28  |
| <i>Festuca pratensis</i>      | 3156–5310                           | 4412 | 17  | 5–10                       | 7  | 24  | 19–59                     | 34   | 36  | 2090760–5596032                   | 3 150 168 | 34  |
| <i>Phleum pratense</i>        | 1184–2508                           | 1737 | 21  | 1–1                        | 1  | 0   | 302–3096                  | 1360 | 55  | 1676100–15752448                  | 7 086 960 | 28  |
| <i>Poa annua</i>              | 707–833                             | 770  | 18  | 3,8–4,2                    | 4  | 24  | 26–42                     | 34   | 44  | 394000–496000                     | 445 000   | 54  |
| <i>Poa pratensis</i>          | 1098–1863                           | 1525 | 23  | 3–5                        | 4  | 15  | 87–265                    | 187  | 24  | 1419120–7063200                   | 3 422 100 | 42  |
| <i>Poa trivialis</i>          | 1316–2596                           | 1891 | 25  | 2–4                        | 3  | 32  | 50–375                    | 189  | 56  | 928344–3721500                    | 3 216 591 | 39  |
| <i>Lolium perenne</i>         | 3806–6606                           | 5329 | 15  | 4–9                        | 7  | 2   | 13–20                     | 17   | 11  | 835968–2518944                    | 1 902 453 | 26  |

О б о з н а ч е н и я: I – диапазон значений; II – средние значения; III – коэффициент вариации (%).

#### 4.3. Сопоставление аэриобиологических и фенологических наблюдений

Одним из способов детализации кривых пыления злаков может быть интеграция аэриобиологических и фенологических наблюдений. Такой комплексный подход позволяет выявить виды, играющие наиболее заметную роль в формировании воздушного спектра, и определить периоды, наиболее опасные для больных поллинозами. Для детализации кривой пыления мы использовали фенологический индекс.

Сопоставление аэропалеонтологических и фенологических данных показало, что в 2020 г. суммарный фенологический индекс хорошо коррелировал с изменениями концентрации пыльцы злаков в воздухе ( $r=0,79$ ,  $p=0,0007$ ) (рисунок 34). Тем не менее, при анализе этих показателей были выявлено три периода их несоответствия.

Первый период наблюдался в середине июня, когда значение суммарного фенологического индекса увеличилось, а концентрация пыльцы резко снизилась. Такое расхождение мы связываем с ливневыми дождями, которые отмечались на территории г. Рязани с 12 по 15 июня 2020 г. (rp5.ru, 2020). Последние вымыли пыльцу из атмосферы, что и привело к снижению ее концентрации. На значении фенологического индекса интенсивные осадки никак не отразились.

Восьмого-девятого июля 2020 г. и в конце месяца, напротив, было зафиксировано увеличение концентрации пыльцы злаков в атмосфере, в то время как фенологический индекс продолжал снижаться. Несовпадение двух параметров в это время можно связать с несколькими причинами. Во-первых, это может быть связано с вторичным подъёмом пылевых зерен в атмосферу. Во-вторых – с транспортом пыльцы от удаленных источников. Так, по данным С. А. Frisk с соавторами (2022), дальность переноса пыльцы в городской среде может составлять до 30 километров. На увеличение концентрации пыльцы злаков могло также оказать влияние вторичное

цветение отдельных видов, которые после скашивания быстро набирают вегетативную массу.

В 2021 г. нами было увеличено число площадок для регистрации фенологического состояния злаков. Оценка фенофаз растений проводилась уже на 5 пробных площадях: 3 из них (как и в 2020 г.) были заложены на расстоянии 1 км от места установки пыльцеуловителя, 2 – на расстоянии 10 км. Однако, в этом году (рисунок 34), в отличие от предшествующего сезона (Карасева и др, 2021), корреляции между фенологическим индексом и концентрацией пыльцы обнаружено не было ( $r=0,37$ ,  $p=0,32$ ), что связано с резким увеличением концентрации пыльцы 7 и 12 июля (156 и 134 пз/м<sup>3</sup> соответственно). При этом, согласно фенологическим наблюдениям, цветение основных видов злаков в Рязани к этому времени уже завершилось. Такую высокую концентрацию пыльцы в указанные дни мы связываем с началом цветения *Calamagrostis epigeios* за пределами фенологических площадок. Эта гипотеза в дальнейшем была подтверждена результатами метагеномного анализа образцов воздуха, отобранных нами параллельно с аэробиологическими наблюдениями (подробнее ниже).

В 2022 г. аэробиологические и фенологические данные были также хорошо скоррелированы ( $r=0,66$ ,  $p=0,007$ ). Расхождение отмечалось в двух случаях (рисунок 34). Первый эпизод был зафиксирован в конце июня, когда концентрация пыльцы резко снизилась, в фенологический индекс, напротив, увеличился. Как и в 2020 г., в это время в г. Рязани прошли ливневые дожди, которые вымыли пыльцу из атмосферы. Низкое значение фенологического индекса при небольшом увеличении концентрации пыльцы в атмосфере в конце июля может отражать транспорт пыльцы растений, цветущих за пределами пробных площадок.

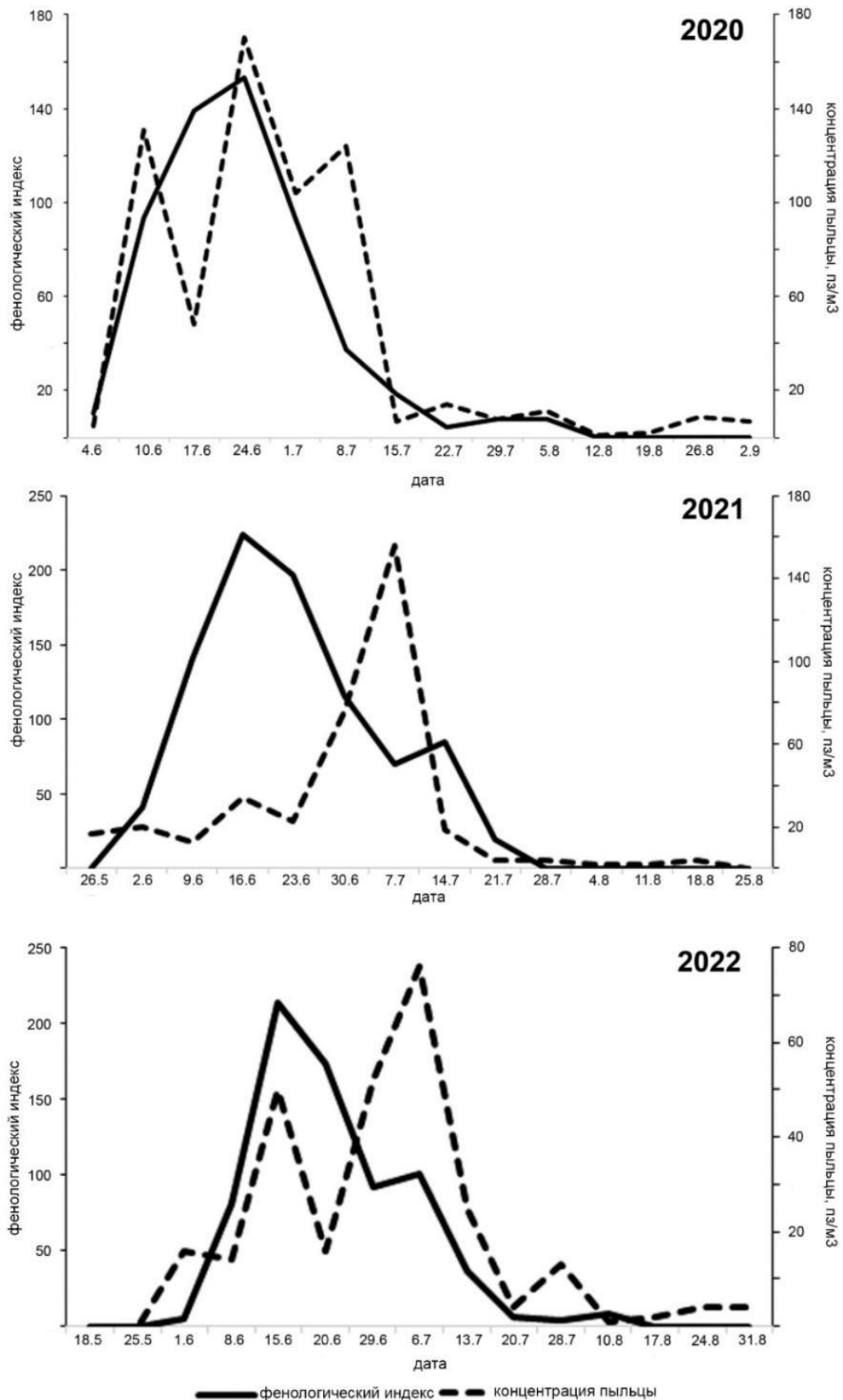


Рисунок 34. Динамика пыления и изменение суммарного фенологического индекса в г. Рязани (2021-2022 гг.)

В целом, одной из основных причин расхождения фенологических и аэробиологических данных можно считать особенности методики проведения исследований. Пыльцевая ловушка, установленная на высоте 18,5 м от поверхности земли, фиксирует изменения концентрации пыльцы в атмосфере на региональном уровне. В условиях Среднерусской равнины радиус охвата пыльцеуловителя составляет более 50 км (Severova, Volkova, 2018; Frisk et al., 2022). При этом фенологические наблюдения проводятся на конкретных площадях города и отражают локальное цветение.

Помимо этого, большое влияние на концентрацию пыльцы *Poaceae* в городе оказывает режим скашивания. Как правило, фенологические наблюдения проводят на ненарушенных пробных площадях. При этом пыльцевая ловушка, установленная в городе, отражает в основном пыление активно косимых городских территорий. Интенсивное выкашивание приводит не только к изменению общей концентрации пыльцы в атмосфере, но и к расхождению между фенологическими и аэробиологическими наблюдениями (Карасева и др., 2021).

#### **4.4. Детализация кривых пыления злаков на основе фенологических наблюдений**

На основе фенологических данных нам удалось частично расшифровать кривую пыления злаков (рисунок 35). Первое появление пыльцы злаков в воздухе за три года наблюдений отмечалось примерно в одно и то же время, во второй половине мая. Первые пыльцевые зерна вероятнее всего принадлежат малолетним видам рода *Poa*, в первую очередь *Poa annua*, цветение которого открывает сезон пыления злаков в городской среде. Однако низкая пыльцевая продукция и небольшие размеры этого вида делали его вклад в общую кривую пыления незначительным. К раннецветущим злакам относится также *Alopecurus pratensis*, не зарегистрированный нами на фенологических площадках. Для городской

среды этот вид, приуроченный преимущественно к пойменным лугам, не характерен (Казакова, Щербаков, 2017), обнаружение его пыльцы в составе воздушного спектра маловероятно.

Высокая концентрация пыльцы злаков в 2020-2022 гг. отмечалась в период с середины июня до середины июля (рисунок 35). В июне наиболее опасным для аллергиков оказалось пыление *Festuca pratensis*, *Dactylis glomerata* и *Phleum pratense*, в июле – *Phleum pratense*.

Значительный вклад в суммарную кривую фенологического индекса (10-18%) в начале июня вносил *Poa pratensis*. Вид был обнаружен на всех пробных площадях, однако его пыльца является умеренно аллергенной (pollenlibrary.com) и может не оказывать существенного влияния на развитие симптомов поллиноза. Пик пыления середины июня связан в основном с цветением *Dactylis glomerata* (41-45% от суммарного фенологического индекса). Этот вид отмечен как один из основных источников пыльцы злаков в г. Рязани. Вклад *Festuca pratensis* в суммарную кривую фенологического индекса составил 9-13%. Поскольку виды рода *Festuca* используются в газонных смесях, то пыльца этих растений, наряду с *Dactylis glomerata*, может быть причиной июньского поллиноза. В частности, в газонных смесях на территории Рязани широко применяется *Festuca arundinacea*. И, хотя этот вид не был отмечен нами на исследуемых площадках, его пыльца также может присутствовать в составе спектра.

Вторым по значимости видом (15-21% от суммарного фенологического индекса) для Рязани оказался *Phleum pratense*. Пыление тимофеевки отмечалось с середины июня до середины июля. Помимо *Phleum pratense*, в июле в воздухе фиксировалась достаточно высокая концентрация пыльцы *Calamagrostis epigeios*. Однако на сегодняшний день степень аллергенности пыльцевых зерен вейника не установлена и говорить о нем как о триггере аллергических заболеваний в этот период не представляется возможным.

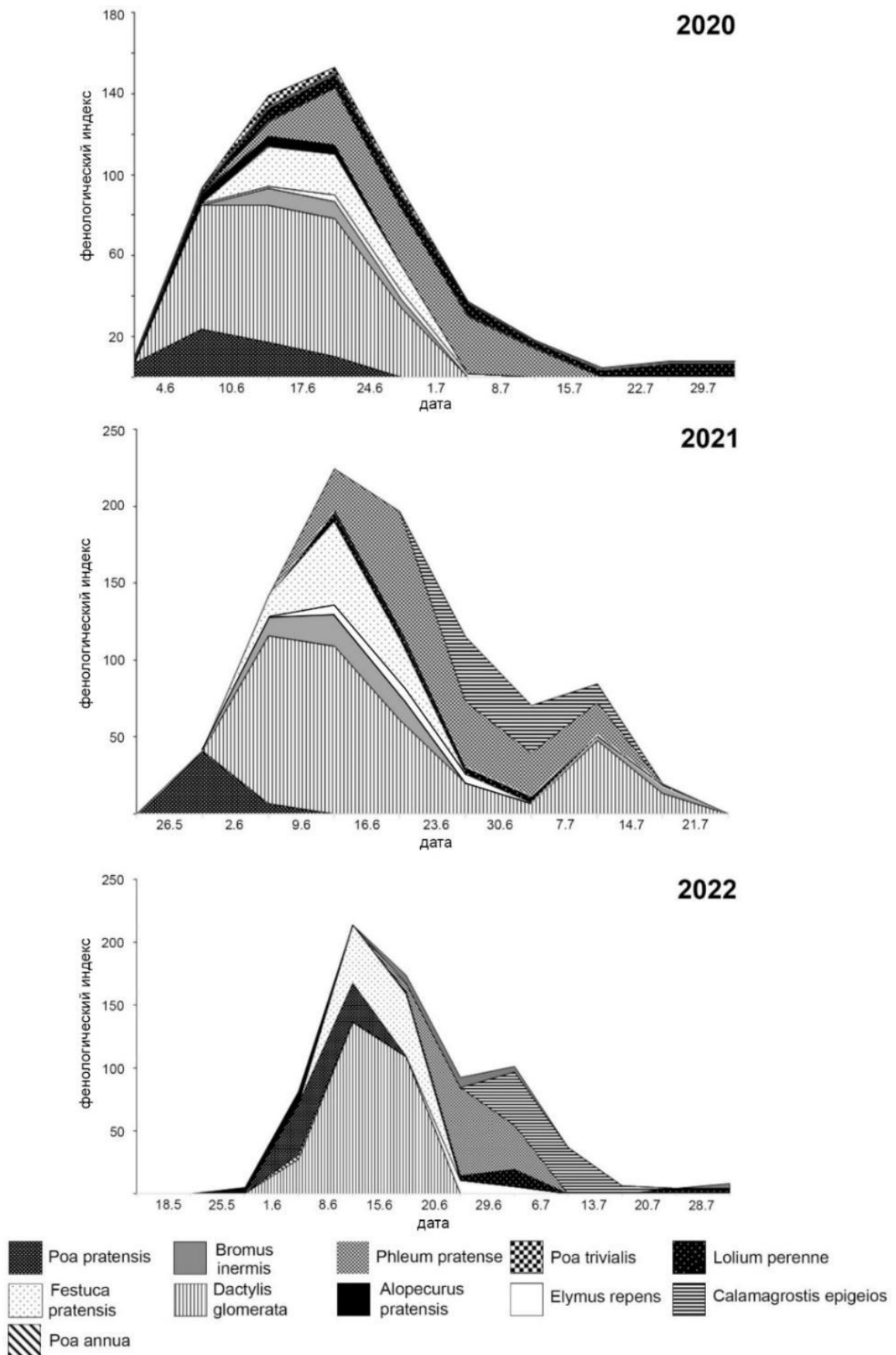


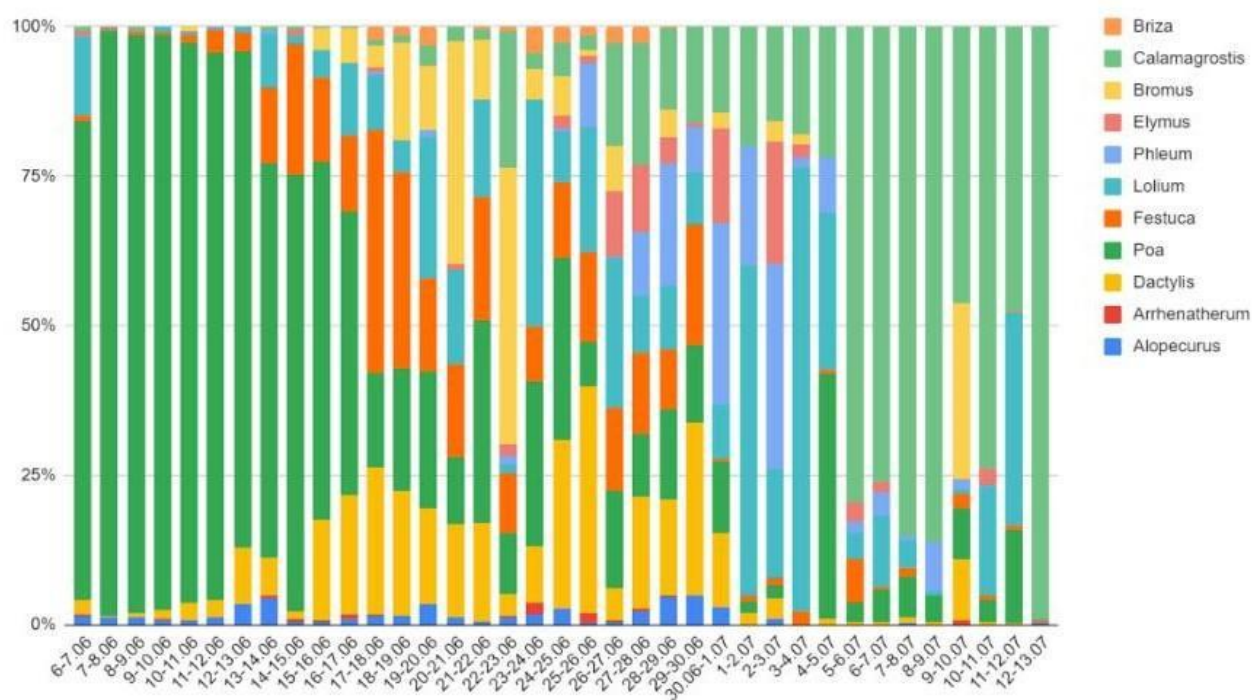
Рисунок 35. Детализация кривых изменения фенологического индекса  
в г. Рязани, 2020-2022 гг.

Таким образом, недостаточное количество пробных площадок не позволило полностью дешифровать кривую пыления злаков с помощью фенологических наблюдений. Например, нам не удалось выяснить, с цветением каких видов связаны повторяющиеся из года в год июльские пики пыления, а также пыльца каких видов отмечается в составе аэропалинологического спектра в конце июля и августе. Мы предполагаем, что это связано с цветением *Calamagrostis epigeios* за пределами фенологических площадок, повторным подъемом пыльцы с различных поверхностей, а также вторичным цветением злаков после скашивания. Повторное цветение было отмечено нами у *Phleum pratense*, *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*, *Bromopsis inermis*, однако пыльцевая продукция и аллергенные свойства пыльцы этих вторично цветущих видов не исследованы.

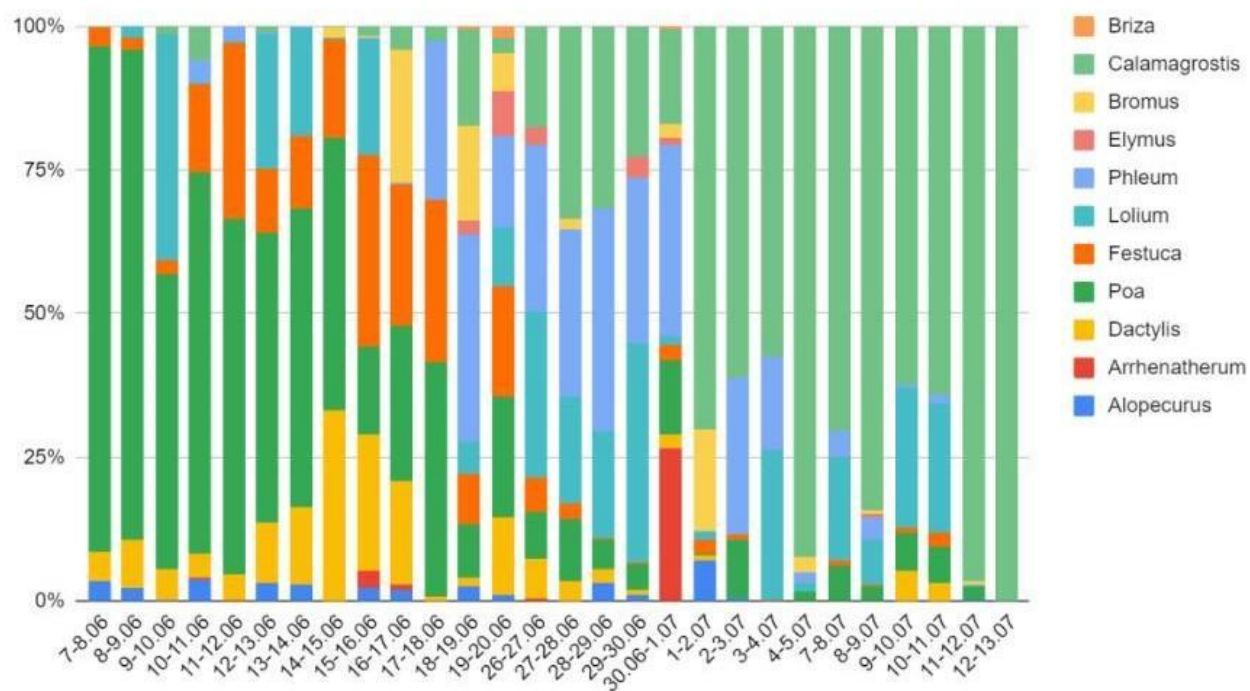
#### **4.5. Детализация кривых пыления злаков методом меташтрихкодирования**

Помимо фенологических наблюдений, ещё одним способом расшифровки кривых пыления злаков, является меташтрихкодирование. Анализ образцов воздуха, отобранных в г. Рязани в 2020-2022 гг., молекулярными методами, был выполнен на кафедре высших растений биологического факультета МГУ А.А. Криницыной, А.С. Касьяновым и Д.О. Омельченко (Krinitzina et al., 2023). Детализация кривых пыления злаков методом меташтрихкодирования показала, что оценка штрихкодов достаточно надежно отражает изменения качественного состава аэропалинологического спектра региона (рисунок 36).

Ryazan 2020, ITS1+ITS2 (mean)



Ryazan 2021, ITS1+ITS2 (mean)



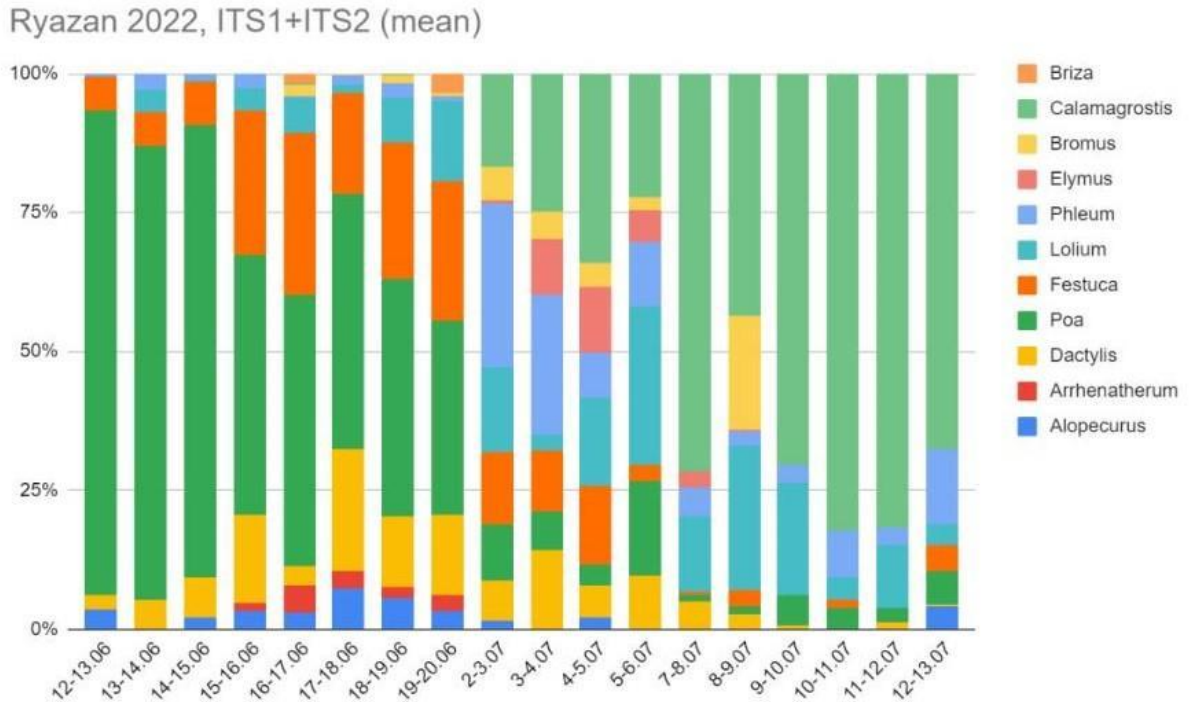


Рисунок 36. Результаты меташтрикодирования (ITS1 + ITS2) пыльцы из образцов воздуха г. Рязани, 2020–2022 гг. (Krinitcina et al, 2023)

Так, на основании анализа штрих-кодов ITS-1 и ITS-2 удалось установить следующую последовательность пыления злаков: *Poa*, *Alopecurus* и *Arrhenatherum* (с начала до середины июня), *Lolium*, *Bromopsis* и *Dactylis* (середина-конец июня), *Phleum*, *Elymus* и *Briza* (конец июня-начало июля) и *Calamagrostis* (с начала до середины июля). Аналогичная последовательность была выявлена и при проведении фенологических наблюдений (рисунок 37).

Мы сопоставили результаты дешифровки кривой пыления злаков, полученные методом меташтрикодирования с данными, полученными на основе фенологических наблюдений, в результате чего было выявлено несколько несоответствий.

Во-первых, качественный состав спектра, выявленный молекулярными методами, оказался шире. В частности на фенологических площадках, не отмечались виды рода *Briza* и *Arrhenatherum*, которые были выявлены методом меташтрикодирования.

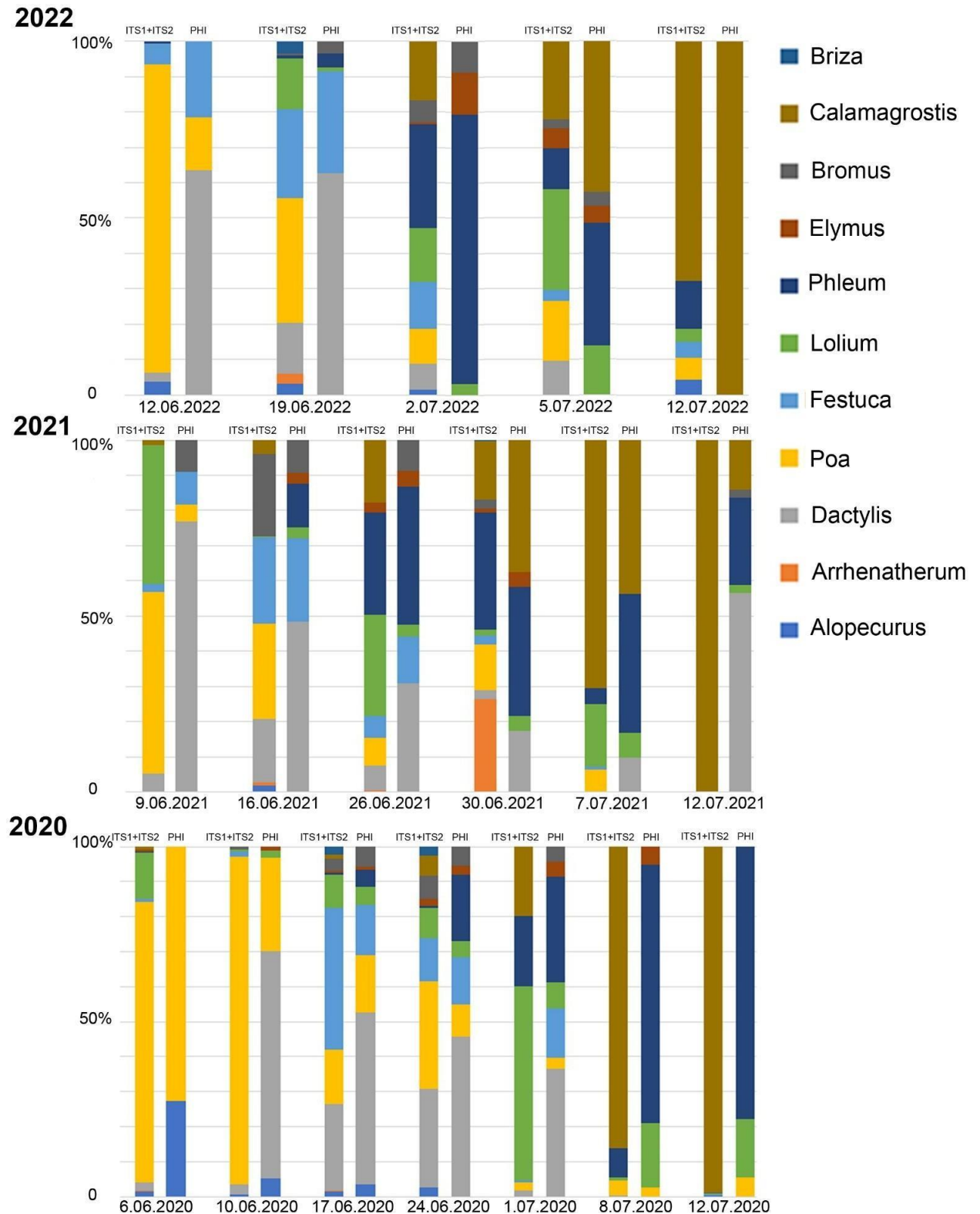


Рисунок 37. Сравнение результатов меташтрихкодирования и фенологических наблюдений, Рязань, 2020-2022 гг. PHI – фенологический индекс (Krinitcina A. A. et al, 2023)

В-вторых, на протяжении всех трех лет наблюдений сезон пыления злаков по результатам меташтрихкодирования завершался цветением *Calamagrostis*. Это фенологические наблюдения отражали не всегда из-за сравнительно небольшого числа экземпляров вейника на исследуемых площадках. Результаты же метагеномного анализа образцов воздуха показали, что, например, 7 июля 2021 г. представленность маркерных последовательностей *Calamagrostis epigeios* составила 73% (ITS1) и 67,4% (ITS2), а 12-13 июля 2021 г. – 100% по обоим маркерам (Krinitcina et al., 2023). Вейник наземный – широко распространенный вид, произрастающий на сухих почвах, в остепненных сосновых лесах. Пыльцевая продукция вейника может достигать 9,5 млн пыльцевых зерен на одно соцветие (Severova et al., 2022), поэтому занос пыльцы *Calamagrostis* из пригородов представляется нам возможным.

Метод меташтрихкодов позволил достоверно определить изменения в качественном составе спектра злаков, однако количественный анализ спектра на основе штрихкодов оказался невозможен. Это связано с тем, что для идентификации пыльцы злаков в составе сложных образцов оптимально использовать протокол пробоподготовки, который не включает в себя амплификацию. Для успешного использования данного протокола требуется высокое содержание ДНК в составе образца. В нашей работе выделить достаточное количество ДНК из пыльцы злаков, находящейся в составе образцов воздуха, оказалось невозможным. Избирательность при проведении ПЦР для наработки амплификата для дальнейшего анализа делает невозможным количественную оценку встречаемости разных видов в исходной смеси.

## **ГЛАВА 5. ОЦЕНКА АЛЛЕРГОЛОГИЧЕСКОЙ ЗНАЧИМОСТИ ОСНОВНЫХ ТАКСОНОВ СПЕКТРА С ПОМОЩЬЮ АНАЛИЗА ПОИСКОВЫХ ЗАПРОСОВ В СЕТИ ИНТЕРНЕТ**

В современных реалиях большинство людей прежде, чем обратиться к врачу, пытаются найти информацию о своем недомогании в сети Интернет. В связи с этим, в 2022-2023 гг. мы провели анализ поисковых запросов, связанных с поллинозами, с помощью сервиса «Яндекс Вордстат» (<https://wordstat.yandex.ru/>) для установления ретроспективной связи между общественным интересом и реальной концентрацией пыльцы в воздухе.

Проанализировав число поисковых запросов за весь сезон пыления, мы выяснили, что наиболее частым является запрос «аллергия». Термин «поллиноз» используется намного реже, так как, видимо, не каждый пользователь может связать свои симптомы именно с цветением растений. Еще более редкими являются поисковые запросы, связанные с конкретными растениями.

Анализ поисковых запросов за 2022-2023 гг. показал, что поисковые запросы «аллергия» и «поллиноз» хорошо коррелируют ( $r=0,8$ ,  $p<0,01$  (2022 г.);  $r=0,9$ ,  $p<0,01$  (2023 г.)) с концентрацией пыльцы в воздухе в течение всего вегетационного сезона (рисунок 38).

Поскольку на территории Рязанской области важнейшими пыльцевыми аллергенами являются ольха, береза, злаки, полынь и амброзия, то мы проанализировали заинтересованность жителей региона именно к этим таксонам. В таблицах 1 и 2 Приложения Б представлены результаты сопоставления концентрации пыльцы с теми поисковыми запросами, по которым удалось получить согласованные результаты.

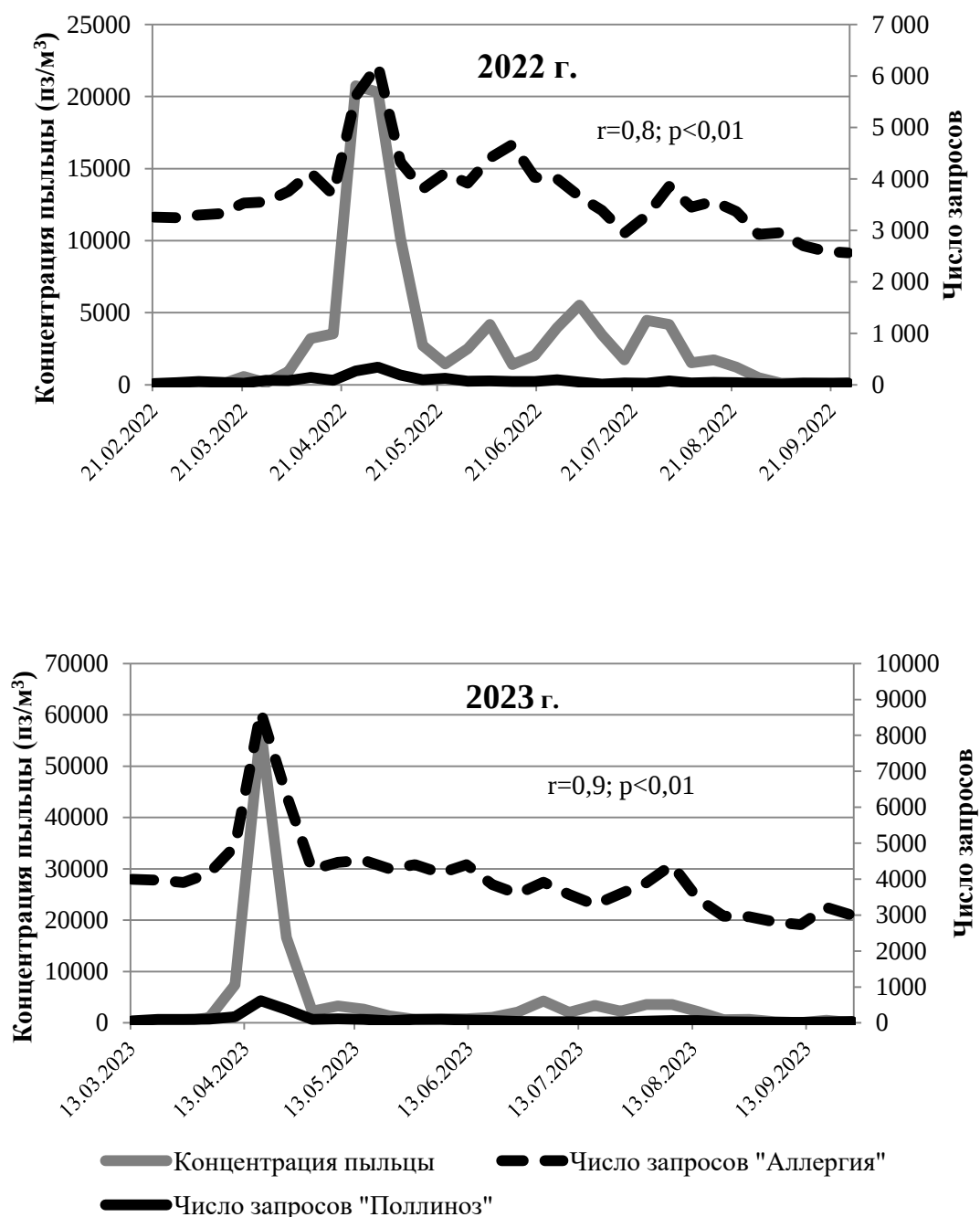


Рисунок 38. Сопоставление кривых пыления с числом запросов на термины «аллергия» и «поллиноз» (2022-2023 гг.)

При сопоставлении кривой пыления ольхи с суммарным количеством запросов за неделю («ольха», «поллиноз», «аллергия») мы установили, что в 2022 г. данные хорошо согласуются друг с другом ( $r=0,6$  ( $p=0,08$ );  $r=0,7$  ( $p=0,02$ );  $r=0,9$  ( $p=0,002$ ) соответственно) (таблица 1 Приложения Б). Однако статистически значимые результаты мы получили лишь при сопоставлении

концентрации пыльцы с количеством запросов «поллиноз» и «аллергия». В 2023 г – значимых корреляций не выявлено (таблица 2 Приложения Б). Возможно, это связано с более длительным периодом наблюдений в 2022 г. – пылеуловитель был установлен на 19 дней раньше, чем в 2023 г. Необходимо отметить, что максимальное число запросов по термину «аллергия» (4124) и «поллиноз» (144) отмечалось в период с 11 по 17 апреля 2022 г. В эту же неделю была зафиксирована максимальная концентрация пылевых зерен ольхи (1749 пз/м<sup>3</sup>).

При сопоставлении кривых пыления *Betula* и поисковых запросов в периоды 21.02.2022-19.06.2022 гг. и 13.03.2023-25.06.2023 гг., были выявлены высокие значения корреляции ( $r > 0,8$ ;  $p < 0,05$ ) для поисковых запросов «пыльца березы», «поллиноз», «аллергия» (таблицы 1-2 Приложения Б). В случае с *Betula* максимальное недельное содержание пылевых зерен было зафиксировано в периоды с 25.04.2022-01.05.2022 гг. (таблица 1 Приложения Б), 02.05.2022-08.05.2022 гг. и 17.04.2023-23.04.2023 гг. (таблица 2 Приложения Б). В эти же промежутки времени отмечалось наибольшее число поисковых запросов по словам «пыльца березы», «поллиноз» и «аллергия». В пик пыления березы было отмечено максимальное число запросов (более 5000) за весь период анализа. Береза – наиболее распространенное аборигенное древесное растение на территории региона, которое обладает высокой пылевой продуктивностью и аллергенной пылью. Пыльца березы занимает доминирующее положение в аэропалинологическом спектре г. Рязани. Большинство аллергиков «боится» именно аллергенов пыльцы берёзы, поэтому в период её цветения беспокойность населения максимальная.

Злаки – доминирующий таксон второй волны пыления. Беспокойность населения в связи с цветением злаков, однако, не столь высока, как с древесными таксонами. Нам не удалось выявить значимые корреляции между концентрацией пыльцы злаков в атмосфере и частотой

поисковых запросов по термину «злаки»:  $r=0,5$ ,  $p=0,059024$  (2022 г.) и  $r=0,4$ ,  $p=0,22178$  (2023 г.).

Главными триггерами конца лета-начала осени являются полынь и амброзия. Эти растения относятся к семейству Сложноцветных, цветут практически одновременно, и нередко у сенситизированных пациентов находят специфические IgE антитела к пыльце и амброзии, и полыни (Мачарадзе, 2019). При сопоставлении кривых пыления полыни с частотой поисковых запросов мы установили сильную и очень сильную корреляцию с терминами «полынь» ( $r=0,7$ ,  $p=0,001014$  (2022 г.);  $r=0,7$ ,  $p=0,071183$  (2023 г.)), «поллиноз» ( $r=0,8$ ,  $p=1,31E-05$  (2022 г.);  $r=0,8$ ,  $p=0,01733$  (2023 г.)) и «аллергия» ( $r=0,9$ ,  $p=0,009695$  (2022 г.)). Пик пыления полыни особенно хорошо согласуется с пиком поисковых запросов в 2022 г.: 01.08.2022-07.08.2022 гг.

Пыльца амброзии является сильнейшим аллергеном в период с августа по сентябрь. Максимальное содержание пылевых зерен амброзии было зафиксировано в периоды 22.08.2022-28.08.2022 гг. и 18.09.2023-24.09.2023 гг. В 2022 г. в этот же период было зафиксировано максимальное количество поисковых запросов по слову «амброзия». Однако максимум поисков по терминам «поллиноз» и «аллергия» фиксировался неделей раньше (в 2023 г. эти показатели также не совпадали). Мы связываем это несоответствие с тем, что большинство людей связывают симптомы аллергии в этот период именно с цветением полыни. Установлено, что мажорный аллерген пыльцы полыни обыкновенной Art v 1 гомологичен белкам амброзии, в результате чего пациенты с аллергией на Art v 1 также реагируют на Amb a 4 (Oberhuber, 2008).

## ВЫВОДЫ

1. Период пыления в г. Рязани длится с начала марта по конец сентября и составляет в среднем 186 дней. В составе аэробиологического спектра за 9 лет наблюдений было зарегистрировано 38 пыльцевых типов, 17 из которых вошли в усредненный календарь пыления. Среди последних 13 таксонов представляют опасность с аллергологической точки зрения.

2. Между первым появлением пыльцы и началом локального пыления основных таксонов спектра г. Рязани (*Alnus*, *Betula*, *Poaceae*, *Artemisia*, *Ambrosia*) может отмечаться большой временной разрыв, который связан с дальним транспортом пыльцы.

3. Анализ пыления *Alnus*, *Poaceae*, *Artemisia* и *Ambrosia* не выявил значимых изменений в сроках начала, интенсивности и продолжительности пыления. Для *Betula* отмечен значимый рост суммарного годового содержания пыльцы.

4. Расхождение между аэробиологическими и фенологическими данными определяется, в первую очередь, разницей в методике проведения исследований: фенологический индекс отражает цветение на конкретных площадках, а пыльцевые ловушки дают представление о составе регионального пыльцевого спектра.

5. Детализация кривых пыления злаков на основе фенологического индекса показала, что наиболее опасный период пыления злаков отмечается с середины июня до середины июля и связан с цветением *Festuca pratensis*, *Dactylis glomerata* и *Phleum pratense*.

6. При использовании ядерных маркеров ITS1 и ITS2 удастся идентифицировать качественный состав пыльцевого спектра злаков.

7. Высокая концентрация пыльцы *Ambrosia* в воздухе г. Рязани в основном связана с локальным цветением; суточный пик пыления амброзии отмечается с 10.00 ч до 15.00 ч.

8. Анализ поисковых запросов в сети Интернет показал, что наибольшую тревогу среди населения вызывает пыление березы в апреле-мае и полыни в конце лета.

## Список литературы

1. Аббасов, А. Г. Клинико-эпидемиологическое изучение поллинозов г. Краснодара: автореф. дис. ...канд. мед наук: 14.00.36 / Аббасов Ахмед Гулямович. — Краснодар, 2003. — 18 с.;
2. Абрамова, Л. М. *Ambrosia artemisiifolia* и *A. trifida* (Asteraceae) на юго-западе республики Башкортостан / Л. М. Абрамова // Ботанический журнал. — 1997. — Т. 82, № 1. — С. 66;
3. Аллерготоп: всероссийский аллергологический портал [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://allergotop.com/about> (дата обращения: 16.11.2022; 13.04.2024);
4. Архив погоды в Рязани [Электронный ресурс]. — 2023. — Режим доступа: [https://rp5.ru/Архив\\_погоды\\_в\\_Рязани](https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Рязани) (дата обращения: 20.01.2023 г.);
5. Афонин, А. Н. Характеристика частоты встречаемости и обилия амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) в связи с оценкой потенциала ее распространения на Европейской территории России / А. Н. Афонин, Ю. А. Федорова, Ю. С. Ли // Российский журнал биологических инвазий. — 2019. — Т. 12. — № 2. — С. 30;
6. Афонин, А. Н. Распространение и натурализация *Ambrosia trifida* (Asteraceae) на европейской территории России / А. Н. Афонин, О. Г. Баранова, С. А. Сенатор [и др.] // Ботанический журнал. — 2022. — Т. 107, № 4. — С. 350.
7. Ахмедова, М. М. Особенности клинико-функциональной диагностики и терапии детей, страдающих аллергическими заболеваниями / М. М. Ахмедова, Р. М. Шерматов, И. А. Алимова, З. М. Райимова // Бюллетень ассоциации врачей Узбекистана. — 2023. — № 1. — С. 59 (а).
8. Ахмедова, М. М. Комплексная аллерген-специфическая иммунотерапия полиоксидоним у детей бронхиальной астмой, сочетанной с аллергическими риносинуситами / М. М. Ахмедова, Р. М. Шерматов, А. И.

Алимова, З. М. Райимова // Ferghana Medical Institute of Public Health. — 2023. — № 1. — С. 10 (6).

9. Благовещенский, В. В. Конспект флоры высших сосудистых растений Ульяновской области / В. В. Благовещенский, Н. С. Раков. — Ульяновск: Филиал МГУ, 1994. — 116 с.;

10. Васильев, Д. С. Амброзия полыннолистная и меры борьбы с ней / Д. С. Васильев. — Краснодар, 1958. — 84 с.;

11. Васильев, С. П. О новых находках редких видов флоры Рязанской области / С. П. Васильев // Труды Рязанского отделения РБО. — Вып. 1. — 2009. — С. 8;

12. Ветчинникова, Л. В. Пространственная и возрастная структура популяций березы повислой и карельской березы / Л. В. Ветчинникова, А. Ф. Титов // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. — 2021. — № 11. — С. 22;

13. Виноградова, Ю. К. Черная книга флоры Средней России: чужеродные виды растений в экосистемах Средней России / Ю. К. Виноградова, С. Р. Майоров, Л. В. Хорун. — Москва, 2010. — 512 с.;

14. Власова, Н. В. Краткие итоги аэропалинологического мониторинга в г. Самаре / Н. В. Власова, М. В. Манжос, Л. Р. Хабибулина // Системы контроля окружающей среды. — 2016. — С. 81;

15. Власова, Н. В. Этапы становления аэропалинологического мониторинга в г. Самаре: пятилетние итоги и проблемы / Н. В. Власова, М. В. Манжос, Л. Р. Хабибулина [и др.] // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем. — 2018. — С. 38;

16. Гандалипова, Э. И. Проблемы профилактики поллинозов / Э. И. Гандалипова, С. С. Хайретдинов // Материалы IV республиканской научной конференции «Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан». — Казань: «Новое знание». — 2000. — С. 292;

17. Гандалипова, Э. И. Растения Республики Башкортостан, вызывающие поллиноз / Э. И. Гандалипова // Вестник Башкирского университета. — № 3. — 2001. — С. 42;
18. Гандалипова, Э. И. Качественный и количественный состав пыльцы в атмосфере г. Уфы: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Гандалипова Эльмира Ильдусовна. — Уфа, 2003. — 111 с.;
19. Головкин, В. В. Исследование пылевой компоненты атмосферного аэрозоля юга Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Головкин Владимир Викторович. — Новосибирск, 2001. — 16 с.
20. Григорьевская, А. Я. Адвентивная флора Воронежской области: исторический, биогеографический, экологический аспекты / А. Я. Григорьевская, Е. А. Стародубцева, Н. Ю. Хлызова [и др.]. — Воронеж, 2004. — 320 с.;
21. Грищенко, Е. А. Базовые понятия аллергологии (часть 2) / Е. А. Грищенко // Аллергология и иммунология в педиатрии. — 2017. — № 1 (48). — С. 36;
22. Гурина, Н. С. Ботанические аспекты изучения поллинозов: автореферат дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.05 / Гурина Наталия Сергеевна. — Москва, 1994. — 36 с.;
23. Демина, О. Н. Аэропалинологический спектр и календарь пыления г. Ростова-на-Дону / О. Н. Демина, П. А. Дмитриев // Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины. — 2011. — С. 110;
24. Дмитриев, А. В. О находках карантинного сорняка амброзии полыннолистной в Чувашской и Удмуртской АССР / А. В. Дмитриев, А. Н. Пузырев // Человек и окружающая среда. — 1987. — С. 64;
25. Дубынин, Г.Б. Способ формирования лесосеменных участков березы: авторское свидетельство № 1711718 А1 СССР, МПК А01G 23/00) / Г.Б. Дубынин. Заявитель Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации— 1992;

26. Душина, Л. В. Иммунологические маркеры эффективности аллерген-специфической иммунотерапии при сенсibilизации к пыльце сорных трав: дис. ... канд. мед. наук: 14.03.09 / Душина Людмила Валентиновна. — Ставрополь, 2021. — 153 с.;

27. Единый перечень карантинных объектов Евразийского экономического союза: утвержден Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 30 ноября 2016 г. — № 158;

28. Еленевский, А. Г. Определитель сосудистых растений Орловской области / А. Г. Еленевский, В. И. Радыгина. — Орел: Труд. 1997. — 202 с.;

29. Еленевский, А. Г. Растения Саратовского Правобережья (конспект флоры) / А. Г. Еленевский, В. И. Радыгина, Ю. И. Буланы. — Саратов: Изд-во Сарат. пед. ин-та, 2000. — 102 с.;

30. Елькина, Н. А. Состав и динамика пыльцевого спектра воздушной среды г. Петрозаводска: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Елькина Надежда Александровна. Петрозаводск. — 2008. — 24 с.;

31. Елькина, Н.А. Календарь пыления аллергенных растений г. Петрозаводска / Н. А. Елькина // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. — 2018. — №8 (177). — С. 78;

32. Емелина, Ю. Н. Анализ аэропалинологического спектра в г. Екатеринбурге / Ю. Н. Емелина, О. А. Воронцова, Е. К. Бельтюков //Аллергология и иммунология в педиатрии. — 2021. — №. 4 (67). — С. 42;

33. Жуйкова, И. А. Аэропалинологический мониторинг на территории города Кирова / И. А. Жуйкова, Д. С. Лалетин // Ответственный редактор. — 2022. — С. 302;

34. Жукова, Н. Н. Амброзийный поллиноз в Самаре / Н. Н. Жукова, М. В. Манжос, Е. В. Макова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. — 2021 а. — №2. — С. 18;

35. Жукова, Н.Н. Распространенность аллергических заболеваний в Самарском регионе и оптимизация лечения аллергических заболеваний у пациентов с сенсibilизацией к пыльце сорных трав (амброзии): дис. ... канд.

мед. наук: 14.03.09 / Жукова Наталья Николаевна. — Самара, 2021 б. — 106 с.;

36. Казакова, М.В. Флора Липецкой области. / М. В. Казакова, Н. А. Ржевуская, Н. Ю. Хлызова, [и др.]. — М.: Аргус, 1996;

37. Казакова, М. В. Флора Рязанской области / М. В. Казакова. — Рязань, 2004. — 388 с.;

38. Казакова, М. В. Флористическая изученность муниципальных районов Рязанской области / М. В. Казакова, А. В. Щербаков // Труды Рязанского отделения РБО. — 2017. — №. 4. — С. 84;

39. Кайбелева, Э. И. Соотношение количества пыльцы и семязачатков у дикорастущих злаков с разным способом репродукции / Э. И. Кайбелев, О. И. Юдакова // Бюллетень бот. сада Саратовского государственного университета. — 2015. — Т. 13. — Вып. 1. — С. 148;

40. Карасева, В. С. Анализ динамики пыления раннецветущих сережкоцветных на примере *Alnus* и *Corylus* в г. Рязани / В. С. Карасева, Ю. М. Селезнева // Актуальные проблемы современной палинологии. — 2022. — С. 156;

41. Карасева, В. С. Особенности пыления амброзии в Рязани (2015–2021 гг.) / В. С. Карасева, Ю. М. Селезнева, И. И. Бирюкова // Ответственный редактор: д-р биол. наук, директор Ботанического сада МГУ В.В. Чуб Редакционная коллегия: Т.И. Варлыгина, Ю.К. Виноградова, С.В. Ефимов. — 2022. — С. 471;

42. Карасева, В. С. Фенологический анализ динамики пыления злаков в Рязани / В. С. Карасева, Ю. М. Селезнева, М. В. Казакова, Е. Э. Северова // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. — 2021. — № 126(6). — С. 18;

43. Кафедре высших растений 200 лет! Учебно-методическое пособие / Л. И. Лотова, А. К. Тимонин, Г. Г. Куликова, В. В. Мурашев, В. В. Вартапетян, Д. Н. Кафтарадзе, С. Р. Майоров, А. И. Рудько. — М.: Т-во научных изданий КМК, 2004. — 152;

44. Клименко Я. В. Аэропалимониторинг города Краснодара пыльцеулавливающей ловушкой Ланзони VPPS 2000 как принципиально новый подход в исследовании пыления аллергенных растений / Я. В. Клименко, Е. П. Новикова, Н. О. Мильченко [и др.] // Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума «Наука и инновации—современные концепции». — 2019. — Т. 3. — С. 81;

45. Клименко, Я. В. Исторические аспекты развития аэропалинологических исследований в Краснодарском крае / Я. В. Клименко, Е. П. Новикова, Н. О. Мильченко, И. И. Павлюченко // Фундаментальная наука и технологии-перспективные разработки. — 2020. — С. 11;

46. Клименко, Я. В. Актуальность аэропалинологического мониторинга воздушной среды г. Краснодара / Я. В. Клименко, А. Н. Мороз, И. И. Павлюченко //Здоровье нации в XXI веке. — 2021. — №. 2. — С. 53;

47. Кобзарь, В. Н. Изменчивость пыльцы и спектр аэроаллергенов в условиях экологического дисбаланса Кыргызской Республики: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 14.00.36 / Кобзарь Вера Николаевна. — Алматы, 1996. — 43 с.;

48. Кобзарь, В. Н. Аэропалинологические исследования в г. Фрунзе и с. Чолпон Кочкорского района киргизской ССР: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 14.00.36 / Кобзарь Вера Николаевна. — Алма-Ата, 1987. — 23 с.;

49. Кожевникова, С. К. Адвентивные растения Крыма: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.00 / Кожевникова Софья Константиновна. — Воронеж, 1970. — 21 с.;

50. Кононова, Н. К. Типы глобальной циркуляции атмосферы: результаты мониторинга и ретроспективной оценки за 1899-2017 гг. / Н. К. Кононова // Фундаментальная и прикладная климатология. — 2018. — Т.3. — С. 108;

51. Косенко, И. С. Определитель высших растений Северо-западного Кавказа и предкавказья / И. С. Косенко. — М.,1970. — 613 с.;

52. Кравченко, А. В. Новые и редкие виды сосудистых растений для флоры Карелии / А. В. Кравченко // Ботанический журнал. — 1997. — Т. 82. — № 4. — С. 124;
53. Лавренко, А. Н. Новые и редкие для Коми АССР виды адвентивных растений / А. Н. Лавренко, А. А. Кустышева // Ботанический журнал. — 1990. — 75(2). — С. 267;
54. Лактионов, А. П. Флора Астраханской области, ее анализ и современное состояние: автореф. дис. ... д-ра. биол. наук: 03.02.01 / Лактионов Алексей Павлович. — Астрахань, 2010. — 46 с.;
55. Луганский, Н. А. Лесоведение и лесоводство. Термины, понятия, определения: учеб. пособие / Н. А. Луганский, С. В. Залесов, В. Н. Луганский. — Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург, 2010. — 128 с. ISBN 978-5-94984-303-1;
56. Лукманова, Ф. Ф. Пыльца как причина аллергических заболеваний / Ф.Ф. Лукманова // Растительные ресурсы. — 1967. — № 2. — С. 225;
57. Маевский, П. Ф. Флора средней полосы европейской части России: учебное пособие для биологических факультетов университетов, педагогических и сельскохозяйственных вузов / П. Ф. Маевский. 11-е изд. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. — 635 с.,
58. Малащенко, О. А. Аэропалинологический мониторинг городских территорий (на примере г. Красноярска) [Электронный ресурс]: магистерская диссертация: 05.04.06 / Малащенко Ольга Анатольевна. — Красноярск: СФУ, 2016;
59. Манжос, М. В. Результаты пыльцевого мониторинга и особенности течения сезонного аллергического ринита в г. Самаре / М. В. Манжос, К. В. Блащенко, Л. Р. Хабибулина [и др.] // Российский аллергологический журнал. — 2014. — № 2. — С. 32;

60. Манжос, М. В. Аэропаллинологические аспекты профилактики поллиноза в Самаре / М.В. Манжос, Л.Р. Хабибулина, Л.М. Кавеленова [и др.] // Медицинская иммунология. — 2017. — Т. 19. — №. 19.5. — С. 96;
61. Марьюшкина, В.Я. Амброзия полыннолистная и основы борьбы с ней / В.Я. Марьюшкина. — Киев: Наук. думка, 1986. — 120 с.;
62. Мачарадзе, Д. Ш. Амброзийная аллергия. Особенности диагностики и лечения / Д. Ш. Мачарадзе // Медицинский оппонент. — 2019. — №. 2. — С. 48;
63. Мейер-Меликян, Н.Р. Принципы и методы аэропаллинологических исследований / Н.Р. Мейер-Меликян, Е.Э. Северова, Г.П. Гапочка, С.В. [и др.]. — М., 1999. — 48 с.;
64. Мельникова, Д. Н. Растительные PR-белки, связывающие липиды и другие гидрофобные лиганды / Д. Н. Мельникова, Е. И. Финкина, И. В. Богданов // Биоорганическая химия. — 2018. — Т. 44. — №. 6. — С. 585;
65. Соколов, С.М. Методика аэробиологических исследований пыльцы растений и спор грибов для составления календарей пыления: инструкция по применению (регистрационный № 111-1005) / С.М. Соколов, Т.Е. Науменко, Т.Д. Гриценко [и др.]. — Республика Беларусь, 2005 г. — 27 с.;
66. Минаева, Н. В. Этиология поллинозов у детей г. Перми: медицинские и ботанические аспекты / Н. В. Минаева, Л.В. Новоселова, К.В. Плахина [и др.] // Здоровье семьи-21 век. — 2012. — №. 1. — С. 11;
67. Мининзон, И.Л. Флора Нижнего Новгорода: четвертая электронная версия [Электронный ресурс].— 2010. — Режим доступа: <http://bookre.org/reader?file=818926> (дата обращения: 14 сентября 2016 г.);
68. Москаленко, Г. П. Карантинные сорные растения России / Г. П. Москаленко. — М, 2001. — 280 с.;
69. Ненашева, Г.И. Процесс пыления растений и его взаимосвязь с метеорологическими показателями окружающей среды (на примере г. Барнаула) / Г. И. Ненашева // Сборник научных трудов XII Всероссийской

Палинологической конференции «Палинология: стратиграфия и геоэкология». — 2008. — С. 163;

70. Ненашева, Г. И. Аэропалинологический мониторинг аллергенных растений г. Барнаула: монография / Г.И. Ненашева. Ин-т водн. и экол. проблем СО РАН. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. — 132 с. ISBN 978-5-7692-1313-7;

71. Никитин, В.В. Сорные растения флоры СССР / В. В. Никитин. — Л.: Наука, 1983. 454 с;

72. Никольская, Л.Г. Палинологическая характеристика воздуха и особенности течения поллинозов в Ленинграде / Л. Г. Никольская, Г. Б. Федосеев // Иммунология. — 1987. — № 3. — С. 76;

73. Определитель высших растений Башкирской АССР / Ю. Е. Алексеев, А. Х. Галеева, И. А. Губанов [и др.]. — М.: Наука, 1989. — 375 с.;

74. Осмонбаева, К. Б. Аэробиологические наблюдения в 2015 г. в г. Каракол Кыргызской республики / К. Б. Осмонбаева //Альманах современной науки и образования. — 2016 б. — №. 7. — С. 78;

75. Осмонбаева, К. Б. Организация стационарных аэропалинологических исследований в г. Каракол / К.Б. Осмонбаева //Известия Ошского технологического университета. — 2016 а. — №. 1. — С. 81;

76. Осмонбаева, К. Б. Спорово-пыльцевой спектр воздуха г. Каракол за 2016 год / К. Б. Осмонбаева, В. Н. Кобзарь // Бюллетень науки и практики. — 2022. — Т. 8. — №. 4. — С. 42;

77. Остроумов, А.И. Поллинозы юга РСФСР / А. И. Остроумов // Труды. III Международной палинологической конференции. — 1973. — С. 20;

78. Остроумов, А.И. Поллинозы юга РСФСР / А. И. Остроумов // Труды III Международной палинологической конференции. — 1973. — С. 20;

79. Павлюченко, И. И. Особенности динамики аэробиологического спектра г. Краснодар в осенне-летний период 2021 г. / И. И. Павлюченко, Я. В. Клименко, А. Н. Мороз // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. — 2022. — Т. 127. — №. 5. — С. 66;

80. Пархомчук, О. Ю. Главный аллерген пыльцы березы-Bet v 1: обзор литературы / О. Ю. Пархлмчук, В.В. Зверко, Е. Е. Григорьева, Е. Г. Фомина // Вестник Витебского государственного медицинского университета. — 2020. — Т. 19. — №. 1. — С. 13;

81. Петрова, С. Е. Онтогенез карантинных инвазионных сорняков *Ambrosia artemisiifolia* L. и *A. trifida* L.(Asteraceae) в Московской области / С. Е. Петрова // Российский журнал биологических инвазий. — 2019. — № 12(3). — С. 80;

82. Петрук, А. А. Морфология пыльцевых зерен ив (род *Salix*) из подрода *Chamaetia* / А. А. Петрук // Современные подходы к описанию структуры растения. — 2008. — С. 302;

83. Пирогова, М. Е. История и перспективы аэропалинологических исследований в Крыму / М. Е. Пирогова, С. Н. Беляева // Вестник физиотерапии и курортологии. — 2018. — Т. 24. — №. 2. — С. 113;

84. Плаксина, Т. И. Конспект флоры Волго Уральского региона / Т. И. Плаксина. — Самара: Изд-во «Самарский университет», 2001. — С. 87;

85. Посевина, Ю. М. Палиноэкологический мониторинг атмосферного воздуха г. Рязани: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Посевина Юлия Михайловна. — М., 2011. — 150 с.;

86. Посевина, Ю. М. Динамика пыльцевого дождя в Рязани: первые волюметрические данные / Ю. М. Посевина, Е. Э. Северова // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. — 2017. — Т. 122. — №. 4. — С. 102;

87. Посевина, Ю. М. Экология атмосферы: дальнезаносная пыльца в аэропалинологическом спектре г. Рязани / Ю. М. Посевина, Е. С. Иванов, Е.

Э. Северова // Редакционная коллегия: Ответственный редактор. — 2010. — С. 27;

88. Постановление об утверждении перечня деревьев и кустарников, рекомендуемых к использованию в озеленении территории города Рязани от 13 декабря 2022 г. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [a76ce01df5060949500543eabfa4e874.pdf](https://a76ce01df5060949500543eabfa4e874.pdf) (дата обращения: 24.03.2025);

89. Работнов, Т.А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т. А. Работнов // Тр. БИН АН СССР. — 1950. — Вып. 6. — С. 7;

90. Ременникова, М. В. Аэропалинологический мониторинг города Перми / М .В. Ременникова, Е. Н. Новожилова // Биология будущего: традиции и инновации. — 2010. — С. 42;

91. Решение № 158 «Об утверждении единого перечня карантинных объектов. Евразийского экономического союза»: Евразийская экономическая комиссия. Совет. 30 ноября 2016 г. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01413200/cncd\\_06032017\\_158](https://docs.eaeunion.org/docs/ru-ru/01413200/cncd_06032017_158) (дата обращения: 24.03.2025);

92. Россельхознадзор. Информация о создании территориальным управлением Россельхознадзора карантинных фитосанитарных зон и введении карантина на территории Российской Федерации. Официальный сайт Федеральной службы по ветеринарному и фитосанитарному надзору. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.fsvps.ru/> (дата обращения: 15 декабря 2024 г.);

93. Рябина, З.Н. Определитель сосудистых растений Оренбургской области / З.Н. Рябина, М.С. Князев. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. — 758 с., ил.;

94. Савицкий, В. Д. Аэропалинологические особенности техногенно загрязненных локалитетов Украины / В. Д. Савицкий, Е. В. Савицкая, Е. Н. Воронкова // Материалы I Международного Семинара «Пыльца как

индикатор состояния окружающей среды и палеоэкологические реконструкции». — Спб.: ВНИГРИ, 2001. — С. 172;

95. Северова, Е. Е. Мониторинг пыльцы в режиме реального времени / Е. Е. Северова, С. В. Полевова // Актуальные проблемы современной палинологии. — 2022. — С. 325;

96. Северова, Е. Э. Палинология на кафедре высших растений: история и современность / Е. Э. Северова // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. — 2004. — Т. 109. — №. 6. — С. 33;

97. Северова, Е. Э. Палиноэкологическая оценка качества атмосферного воздуха / Е. Э. Северова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. — 2010. — №. 5. — С. 15;

98. Северова, Е. Э. Особенности пыления амброзии (*Ambrosia* sp., Compositae) в г. Ростов-на-Дону по результатам аэропалинологического мониторинга: первые результаты / Е. Э. Северова, А. К. Батанова, О. Н. Демина // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. — 2015. — Т. 120. — №. 6. — С. 65;

99. Северова, Е. Э. Особенности аэропалинологического состава атмосферы в 2017 году / Е. Э. Северова, О. А. Волкова, С. В. Полевова // Эколого-климатические характеристики атмосферы Москвы в 2017 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени МВ Ломоносова. — 2018. — С. 19;

100. Северова, Е. Э. Дальнезаносная пыльца в аэропалинологическом спектре Москвы / Е. Э. Северова, P. Sijlamo, С. А. Skjoth // Палинология: стратиграфия и геоэкология: Сб. науч. тр. XII Всерос. палинол. конф. СПб. — 2008. — Т. 1. — С. 185;

101. Северова, Е. Э. Аэропалинология: современное состояние и перспективы развития / Е. Э. Северова // Материалы XI Всероссийской

Палинологической конференции «Палинология: теория и практика». — 2005. — С. 234;

102. Северова, Е. Э. Дальнезаносная пыльца в аэропалинологическом спектре г. Москвы / Е. Э. Северова, Р. Sijslamo, С. А. Skjoth // Сборник научных трудов XII Всероссийской Палинологической конференции «Палинология: стратиграфия и геоэкология». Спб. — 2008. — С. 185;

103. Северова, Е.Э. Анализ особенностей пыления некоторых таксонов аэропалинологического спектра / Е. Э. Северова, О. В. Кувыкина, С. В. Полевова // Материалы I Междунар. семинара «Пыльца как индикатор состояния окружающей среды и палеоэкологические конструкции». СПб. — 2001. — С. 177;

104. Северова, Е.Э. Пыльца амброзии в аэробиологическом спектре Москвы: локальное цветение или дальний занос? / Е. Э. Северова, С.Р. Майоров — 2025 (в печати);

105. Сероглазова, Н. Г. Палиноиндикационная оценка состояния окружающей среды дельты Волги: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.01 / Сероглазова Наталия Григорьевна. — Астрахань, 2012. — 19 с.;

106. Солянов, А. А. Флора Пензенской области / А. А. Солянов. — Пенза: Пензенский государственный педагогический университет, 2001. — 310 с.;

107. Келлер, Б.А. Сорные растения СССР. Руководство к определению / Б.А. Келлер. — Москва; Ленинград: Издательство Академии Наук СССР, 1935. — Т. 4. — 414 с.;

108. Сухоруков, А. П. Определитель сосудистых растений Тамбовской области: монография / А. П. Сухоруков, А. П. Баландин, С.А. Агафонов [и др.]. — Тула: Гриф и К, 2010. — 349 с.;

109. Тарасова, Е. М.. Флора вятского края. Часть 1. Сосудистые растения / Е. М. Тарасова. — Киров: ОАО «Кировская областная типография», 2007. — 440 с.;

110. Трофименко, С. Л. Заболеваемость поллинозом в Ростове-на-Дону / С. Л. Трофименко, К. А. Ракова // Российская ринология. — 2015. — Т. 23. — № 1. — С. 36;

111. Турина, Н. С. Аэропалинологические исследования и региональные особенности поллинозов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Турина Наталия Сергеевна. — М., 1979. — 20 с.;

112. Уханова, О. П. Аэропалинологический мониторинг пыльцы сорных трав и плесневых грибов / О. П. Уханова, М. А. Богданова, И. В. Желтова, А. А. Юдин // Русский медицинский журнал. Медицинское обозрение. — 2020. — Т. 4. — №. 1. — С. 48;

113. Федорова, Р. В. О закономерностях рассеивания пыльцы и спор в воздухе (для целей палеогеографических реконструкций) / Р.В. Федорова, В. А. Вронский // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. — 1980. — №. 50. — С. 153;

114. Флеров, А. Ф. Список растений Северного Кавказа и Дагестана: справочно-энциклопедическая литература / А. Ф. Флеров. — Ростов-на-Дону, 1938. — 701 с.;

115. Флора Азербайджана: монография / К. Аскерова, Г. Ф. Ахундов, Я. М. Исаев, И. И. Карягин [и др.]. — Баку: Издательство Академии Наук Азербайджанской ССР, 1961. — Том 8. Rubiaceae. — Compositae. — 722 с. — URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=236155> (дата обращения: 15.12.2024). — ISBN 978-5-4458-9461-2;

116. Варлыгина, Т. И. Флора Москвы / Т. И. Варлыгина, Б. Н. Головкин, К. В. Киселева [и др.]. — М.: Голден-Би, 2007. — 511 с.;

117. Хабибулина, Л. Р. Анализ особенностей аэропалинологического спектра в Самаре и его влияние на течение поллиноза / Л. Р. Хабибулина, Н. В. Власова, М. В. Манжос [и др.] // Российский аллергологический журнал. — 2015. — №. 3. — С. 3;

118. Хабибулина, Л. Р. Результаты трехлетнего аэропалинологического мониторинга в г. Самаре (2013-2015 гг.) / Л. Р.

Хабибулина, Н. В. Власова, М. В. Манжос [и др.] // Национальная ассоциация ученых. — 2016. — №. 5-1 (21). — С. 100;

119. Хайретдинов, С.С. Некоторые итоги изучения пыльцы в атмосфере г. Уфы / С. С. Хайретдинов, Э. И. Гандалипова, С. Сарыджи // Тезисы докладов IX Всероссийской палинологической конференции «Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия». — М.: ИГиРГИ, 1999. — С. 317;

120. Ханферян, Р. А. Аллергенные свойства пыльцы некоторых растений Краснодарского края: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.25 / Ханферян Роман Авакович. — Краснодар, 1975. — 13 с.;

121. Чурюкина, Э. В. Аэропалинологический мониторинг воздушной среды в Ростовской области: результаты сезона палинации 2019 года / Э. В. Чурюкина, О. П. Уханова, Е. А. Голошубова // Российский аллергологический журнал. — 2020. — Т. 17. — №. 4. — С. 57;

122. Шамгунова, Б. А. Аэропалинологические аспекты поллинозов / Б. А. Шамгунова, Л. В. Заклятова // Астраханский медицинский журнал. — 2010. — Т. 5. — № 1. — С. 27;

123. Шамгунова, Б. А. Календарь цветения аллергенных растений Астрахани / Б. А. Шамгунова, Л. В. Заклякова // Астраханский медицинский журнал. — 2011. — Т. 6. — №. 2. — С. 201;

124. Шамгунова, Б. А. Свойства пылевых аллергенов и их клиническое значение / Б. А. Шамгунова, Б. Н. Левитан, А. Р. Сартова [и др.] // Российский аллергологический журнал. — 2014. — №. 5. — С. 21;

125. Шарова, Е. И. Экспансины - белки, размягчающие клеточные стенки в процессе роста и морфогенеза растений / Е. И. Шарова // Физиология растений. — 2007. — Т. 54. — С. 805;

126. Шогенова, М. С. Глобальное потепление климата и экспансия амброзии – новые проблемы в распространении аллергопатологии, прогнозы и профилактика / М. С. Шогенова, С. Х. Хутуева, Л. С. Шогенова, Е. Л. Муждабаева // Доклады АМАН. — 2023. — Т. 23. — №2. — С. 40;

127. Abou Chakra, O. R. Ability of pollen cytoplasmic granules to induce biased allergic responses in a rat model / O. R. Abou Chakra, F. Rogerieux, P. Poncet [et. al. ] // Int Arch Allergy Immunol. — 2011a. — V. 154. — № 2. — P. 128;

128. Abou Chakra, O.R. Key Role of water-insoluble allergens of pollen cytoplasmic granules in biased allergic response in a rat model / O. R. Abou Chakra, J. P. Sutra, P. Poncet [et. al. ] // World Allergy Organization Journal. — 2011b. — V. 4. — № 1. — P. 4;

129. Abou Chakra, O.R. Proteomic analysis of major and minor allergens from isolated pollen cytoplasmic granules / O. R. Abou Chakra, J. P. Sutra, E. Demey Thomas [et. al.] // J Proteome Res. — 2012. — V. 11. — № 2. — P. 1208;

130. Aboulaich, N. Pollen production in anemophilous species of the Poaceae family in Tetouan (NW Morocco) / N. Aboulaich, H. Bouziane, Mohamed Kadiri [et. al. ] // Aerobiologia. — 2009. — V. 25. — P. 27;

131. Adams-Groom, B. Predicting the start of the birch pollen season at London, Derby and Cardiff, United Kingdom, using a multiple regression model, based on data from 1987 to 1997 / B. Adams-Groom, J. Emberlin, J. Corden [et. al.] // Aerobiologia. — 2002. — V. 18. — P. 117;

132. Adams-Groom, B. Pollen season trends as markers of climate change impact: *Betula*, *Quercus* and Poaceae / B. Adams-Groom, K. Selby, S. Derrett // Science of the Total Environment. — 2022. — V. 831. — P. 154882;

133. Afonin, A.N. History of introduction and distribution of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in the European part of the Russian Federation and in the Ukraine / A. N. Afonin, N. N. Luneva, Y. A. Fedorova [et. al.] // Eppo Bulletin. — 2018. — V. 48. — №2. — P. 266;

134. Ahlholm. Genetic and environmental factors affecting the allergenicity of birch (*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* [Orl.] Hämet-Ahti) pollen / Ahlholm, Helander, Savolainen // Clinical & Experimental Allergy. — 1998. — V. 28. — №. 11. — P. 1384;

135. Alexeev, Y. E. The family Poaceae / Y. E. Alexeev // Maevskiy PF Flora of the Middle Part of European Russia; KMK: Moscow, Russia. — 2014. — P. 509;
136. Allergen nomenclature IUIS Allergen Nomenclature Sub-Committee [Electronic resource]. URL: <http://www.allergen.org> (date of the application: 31.10.2024);
137. Allergenic pollen: a review of the production, release, distribution and health impacts / M. Sofiev, K-C. Bergmann (eds.). — Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2013;
138. Nilsson, S. Allergy service guide in Europe. – Swedish museum of natural history. Palynological laboratory / S. Nilsson, F. T. M. Spiekma. — Stockholm, 1994. — 123 p;
139. Alonso, A. Design of plant-specific PCR primers for the ETS region with enhanced specificity for tribe Bromaeae and their application to other grasses (Poaceae) / A. Alonso, R. D. Bull, C. Acedo, L. J. Gillespie // Botany. — 2014. — V. 92. — №. 10. — P. 693;
140. Anderegg, W. R. Anthropogenic climate change is worsening North American pollen seasons / W. R. Anderegg, J. T. Abatzoglou, L. D. Anderegg [et. al.] // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2021. — V. 118. — №. 7. — P. e2013284118;
141. Andersson, K. Enhancement of hazelnut extract for IgE testing by recombinant allergen spiking / K. Andersson, B. K. Ballmer-Weber, A. Cistero-Bahima [et. al.] // Allergy. — 2007. — V. 62. — №. 8. — P. 897;
142. Andersson, K. Characteristics and immunobiology of grass pollen allergens / K. Andersson, J. Lidholm // International archives of allergy and immunology. — 2003. — V. 130. — №. 2. — P. 87-107;
143. Antepara, I. In vitro studies on an eventual cross-reactivity between pollens of *Lolium perenne* and *Pinus radiata* / I. Antepara, I. Jauregui, I. Urrutia [et. al.] // Allergy. — 1995. — V. 50 (Suppl. 26). — P. 274;

144. Armentia, A. Allergy to pine pollen and pinon nuts: a review of three cases / A. Armentia, A. Quintero, A. Fernandez-Garcia [et. al.] // *Annals Allergy*. — 1990. — V. 64. — №. 1. — P. 49;

145. Banchi, E. Environmental DNA assessment of airborne plant and fungal seasonal diversity / E. Banchi, C. G. Ametrano, E. Tordoni [et. al.] // *Science of the Total Environment*. — 2020. — V. 738. — P. 140249;

146. Bashir, M. E. H. Dual function of novel pollen coat (surface) proteins: IgE-binding capacity and proteolytic activity disrupting the airway epithelial barrier / M. E. H. Bashir, J. M. Ward, M. Cummings // *PLoS One*. — 2013. — V. 8. — № 1. — P. e53337;

147. Bastl, K. Development of a symptom load index: enabling temporal and regional pollen season comparisons and pointing out the need for personalized pollen information / K. Bastl, M. Kmenta, S. Jäger [et. al.] // *Aerobiologia*. — 2014. — V. 30. — P. 269;

148. Behrendt, H. Secretion of proinflammatory eicosanoid-like substances precedes allergen release from pollen grains in the initiation of allergic sensitization / H. Behrendt, A. Kasche, C. Ebner von Eschenbach // *International archives of allergy and immunology*. — 2001. — V. 124. — №. 1-3. — P. 121;

149. Belin, L. Separation and characterization of birch pollen antigens with special reference to the allergenic components / L. Belin // *International Archives of Allergy and Immunology*. — 1972. — V. 42. — №. 3. — P. 329;

150. Bohle, B. The impact of pollen-related food allergens on pollen allergy / B. Bohle // *Allergy*. — 2007. — V. 62. — №. 1. — P. 3;

151. Bora, K. S. The genus *Artemisia*: a comprehensive review / K. S. Bora, A. Sharma // *Pharmaceutical biology*. — 2011. — V. 49. — №. 1. — P. 101;

152. Boulet, L. P. Comparative degree and type of sensitization to common indoor and outdoor allergens in subjects with allergic rhinitis and/or asthma / L. P. Boulet, H. Turcotte, C. Laprise [et. al.] // *Clinical & Experimental Allergy*. — 1997. — V. 27. — №. 1. — P. 52;

153. Bousquet, J. Differences in reporting the ragweed pollen season using Google Trends across 15 countries / J. Bousquet, I. Agache, U. Berger [et. al.] // International archives of allergy and immunology. — 2018. — V. 176. — №. 3-4. — P. 181;
154. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie / J. Braun-Blanquet — Wien: New York, 1964. — 865 p;
155. Breiteneder, H. Complementary DNA cloning and expression in *Escherichia coli* of *Aln g I*, the major allergen in pollen of alder (*Alnus glutinosa*) / H. Breiteneder, F. Ferreira, A. Reikerstorfer [et. al.] // Journal of allergy and clinical immunology. — 1992. — V. 90. — №. 6. — P. 909;
156. Brennan, G. L. Temperate airborne grass pollen defined by spatio-temporal shifts in community composition / G. L., Brennan, C. Potter, N. De Vere [et. al.] // Nature Ecology & Evolution. — 2019. — V. 3. — №. 5. — P. 7;
157. Bringfelt, B. An evaluation of some models to predict airborne pollen concentration from meteorological conditions in Stockholm, Sweden / B. Bringfelt, I. Engström, S. Nilsson // Grana. — 1982. — V. 21. — №. 1. — P. 59;
158. Burbach, G. J. Ragweed sensitization in Europe-GA (2) LEN study suggests increasing prevalence / G. J. Burbach, L. M. Heinzerling, C. Röhnelt [et. al.] // Allergy. — 2009. — V. 64. — №. 4. — P. 664;
159. Buters, J. Automatic detection of airborne pollen: an overview / J. Buters, B. Clot, C. Galán [et. al.] // Aerobiologia. — 2024. — V. 40. — №. 1. — P. 13;
160. Buters, J. T. M. Release of Bet v 1 from birch pollen from 5 European countries. Results from the HIALINE study / J. T. M. Buters, M. Thibaudon, M. Smith [et. al.] // Atmospheric Environment. — 2012. — V. 55. — P. 496;
161. Buters, J. T. M. Pollen and spore monitoring in the world / Buters, J. T. M., C. Antunes, A. Galveias [et. al.] // Clinical and translational allergy. — 2018. — V. 8. — P. 1;

162. Caesar, J. C. Shoot development in *Betula papyrifera*. II. Comparison of vegetative and reproductive short-shoot growth / J. C. Caesar, A. D. Macdonald // Canadian Journal of Botany. — 1983. — V. 61. — №. 12. — P. 3066;

163. Caesar, J. C. Shoot development in *Betula papyrifera*. IV. Comparisons between growth characteristics and expression of vegetative long and short shoots / J. C. Caesar, A. D. Macdonald // Canadian journal of botany. — 1984 a. — V. 62. — №. 3. — P. 446;

164. Caesar, J. C. Shoot development in *Betula papyrifera*. V. Effect of male inflorescence formation and flowering on long shoot development / J. C. Caesar, A. D. Macdonald // Canadian Journal of Botany. — 1984 b. — V. 62. — №. 8. — P. 1708;

165. Caillaud, D. Effects of airborne birch pollen levels on clinical symptoms of seasonal allergic rhinoconjunctivitis / D. Caillaud, S. Martin, C. Segala [et. al.] // International archives of allergy and immunology. — 2014. — V. 163. — №. 1. — P. 43;

166. Caillaud, D. M. Airborne pollen levels and drug consumption for seasonal allergic rhinoconjunctivitis: a 10-year study in France / D. M. Caillaud, S. Martin, C. Segala [et. al.] // Allergy. — 2015. — V. 70. — №. 1. — P. 99;

167. Calderon, C. Detection of airborne fungal spores sampled by rotating-arm and Hirst-type spore traps using polymerase chain reaction assays / C. Calderon, E. Ward, J. Freeman, A. McCartney // Journal of Aerosol Science. — 2002. — V. 33. — №. 2. — P. 283;

168. Campbell, B. C. Tracking seasonal changes in diversity of pollen allergen exposure: Targeted metabarcoding of a subtropical aerobiome / B. C. Campbell, J. Al Kouba, V. Timbrell [et. al.] // Science of the Total Environment. — 2020. — V. 747. — P. 141189;

169. Cebrino, J. Aerobiological and phenological study of the main Poaceae species in Córdoba City (Spain) and the surrounding hills / J. Cebrino, C. Galán, E. Domínguez-Vilches // Aerobiologia. — 2016. — V. 32. — P. 595;

170. Chappuis, C. Automatic pollen monitoring: first insights from hourly data / C. Chappuis, F. Tummon, B. Clot [et. al.] // *Aerobiologia*. — 2020. — V. 36. — №. 2. — P. 159;
171. Chase, M. W. Barcoding of plants and fungi / M. W. Chase, M. F. Fay // *Science*. — 2009. — V. 325. — №. 5941. — P. 682;
172. Chruszcz, M. Allergens and their associated small molecule ligands— Their dual role in sensitization / M. Chruszcz, F. T. Chew, K. Hoffmann-Sommergruber [et. al.] // *Allergy*. — 2021. — V. 76. — №. 8. — P. 2367;
173. Clot, B. Trends in airborne pollen: an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland) / B. Clot // *Aerobiologia*. — 2003. — V. 19. — P. 227;
174. Connor, H. E. Breeding systems in the grasses: a survey / H. E. Connor // *New Zealand journal of botany*. — 1979. — V. 17. — №. 4. — P. 547;
175. Crawford, R. M. M. Female-biased sex ratios and differential growth in Arctic willows / R. M. M. Crawford, J. Balfour // *Flora*. — 1990. — V. 184. — №. 4. — P. 291;
176. Crouzy, B. All-optical automatic pollen identification: Towards an operational system / B. Crouzy, M. Stella, T. Konzelmann [et. al.] // *Atmospheric Environment*. — 2016. — V. 140. — P. 202;
177. Cruden, R. W. Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants / R. W. Cruden // *Evolution*. — 1977. — P. 32;
178. Cunningham, D. D. Microscopic examinations of air / D. D. Cunningham. — Calcutta: Superintendent of Government Printing, 1873. — 58 p.;
179. D'Amato, G. Allergens and pollution: Consequences for asthma / G. D'Amato // *Second European Symposium on Aerobiology, 5-9 September 2000*. — 2000. — P. 16;
180. Amato, D. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe / D. Amato, G. 'Amato, L. Cecchi [et. al.] // *Allergy*. — 2007. — V. 62. — №. 9. — P. 976;

181. D'Amato, G. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe / G. D'Amato, C. Vitale, A. Sanduzzi // *Allergy and allergen immunotherapy*. — 2017. — P. 287;
182. D'Amato, G. Thunderstorm-asthma and pollen allergy / G. D'Amato, G. Liccardi, G. Frenguelli // *Allergy*. — 2007. — V. 62. — №. 1. — P. 11;
183. Dąbrowska-Zapart, K. E. The influence of meteorological factors on the hazel (*Corylus L.*) pollen concentration in Sosnowiec in the years 1997-2007 / K. E. Dąbrowska-Zapart // *Acta Agrobotanica*. — 2008. — V. 61. — №. 2;
184. Dahl, Å. Predicting the intensity of the birch pollen season / Å. Dahl, S. O. Strandhede // *Aerobiologia*. — 1996. — V. 12. — №. 2. — P. 97;
185. Damialis, A. Climate change and pollen allergies / A. Damialis, C. Traidl-Hoffmann, R. Treudler // *Biodiversity and health in the face of climate change*. — 2019. — P.47;
186. De Vries, A. P. Flowering biology of wheat, particularly in view of hybrid seed production—a review / A. P. De Vries // *Euphytica*. — 1971. — V. 20. — №. 2. — P. 152;
187. De Weger, L. A. The long distance transport of airborne *Ambrosia* pollen to the UK and the Netherlands from Central and south Europe / L. A. De Weger, C. H. Pashley, B. Sikoparija [et. al.] // *International Journal of Biometeorology*. — 2016. — V. 60. — P. 1829;
188. DellaValle, C. T. Effects of ambient pollen concentrations on frequency and severity of asthma symptoms among asthmatic children / C. T. DellaValle, E. W. Triche, B. P. Leaderer, M. L. Bell // *Epidemiology*. — 2012. — V. 23. — №. 1. — P. 55;
189. Dinelli, G. Germination ecology of *Ambrosia artemisiifolia* L. and *Ambrosia trifida* L. biotypes suspected of glyphosate resistance / G. Dinelli, I. Marotti, P. Catizone [et. al.] // *Central European Journal of Biology*. — 2013. — V. 8. — P. 286;

190. Driessen, M. Grass pollen grain determination by light-and UV-microscopy / M. Driessen, M. T. M. Willemse, J. A. G. Van Luijn // Grana. — 1989. — V. 28. — №. 2. — P. 115;

191. Durham, O. C. Air-borne fungus spores as allergens / O. C. Durham // Aerobiology; Moulton, FR, Ed.; American Association for the Advancement of Science: Washington, DC, USA. — 1942. — P. 32;

192. Durham, O. C. The volumetric incidence of atmospheric allergens: IV. A proposed standard method of gravity sampling, counting, and volumetric interpolation of results / O. C. Durham // Journal of Allergy. — 1946. — V. 17. — №. 2. — P. 79;

193. Dutkiewicz, J. Biologiczne czynniki szkodliwe dla zdrowia—klasyfikacja i kryteria oceny narażenia / J. Dutkiewicz, R. L. Gorny // Medycyna pracy. — 2002. — V. 53. — P. 29;

194. Global Atlas of Allergy. [Electronic resource]. — URL: [https://hub.eaaci.org/education\\_books/global-atlas-of-allergy/](https://hub.eaaci.org/education_books/global-atlas-of-allergy/) (date of request: 13.05.2025);

195. Emberlin, J. The trend to earlier birch pollen seasons in the UK: a biotic response to changes in weather conditions? / J. Emberlin, J. Mullins, J. Corden // Grana. — 1997. — V. 36. — №. 1. — P. 29;

196. Emberlin, J. Changes in the pollen seasons of the early flowering trees *Alnus* spp. and *Corylus* spp. in Worcester, United Kingdom, 1996–2005 / J. Emberlin, M. Smith, R. Close, B. Adams-Groom // International Journal of Biometeorology. — 2007. — V. 51. — P. 181;

197. Erdtman, G. Pollen grains recovered from the atmosphere over the Atlantic / G. Erdtman // Meddelanden Fran Göteborgs Botaniska Trädgård. — 1937. — V.12. — P. 185;

198. Essl, F. Biological flora of the British Isles: *Ambrosia artemisiifolia* / F. Essl, K. Biro, D. Brandes [et. al.] // Journal of Ecology. — 2015. — V. 103. — №. 4. — P. 1069;

199. Ferreira, F. Molecular properties of plant food allergens: a current classification into protein families / F. Ferreira, M. Hauser, M. Egger [et. al.] // *Open Immunol J.* — 2008. — V. 1. — № 1. — P. 1;

200. Filon, F. L. Betulaceae and Corylaceae in Trieste (NE-Italy): Aerobiological and clinical data / F. L. Filon, A. Bosco, P. Barbina [et. al.] // *Aerobiologia.* — 2000. — V. 16. — P. 87;

201. Finkina, E. I. Plant pathogenesis-related proteins PR-10 and PR-14 as components of innate immunity system and ubiquitous allergens / E. I. Finkina, D. N. Melnikova, I. V. Bogdanov, T. V. Ovchinnikova // *Current Medicinal Chemistry.* — 2017. — V. 24. — №. 17. — P. 1772;

202. Finkina, E. I. Plant defensins: Structure, functions, biosynthesis, and the role in the immune response / E. I. Finkina, T. V. Ovchinnikova // *Russian journal of bioorganic chemistry.* — 2018. — V. 44. — P. 261;

203. Freeman, G. L. Pine pollen allergy in northern Arizona / G. L. Freeman // *Annals of Allergy.* — 1993. — V. 70. — №. 6. — P. 491;

204. Frei, T. The effects of climate change in Switzerland 1969–1996 on airborne pollen quantities from hazel, birch and grass / T. Frei // *Grana.* — 1998. — V. 37. — №. 3. — P. 172;

205. Frei, T. A change from grass pollen induced allergy to tree pollen induced allergy: 30 years of pollen observation in Switzerland / T. Frei, R. M. Leuschner // *Aerobiologia.* — 2000. — V. 16. — P. 407;

206. Frei, T. Climate change and its impact on birch pollen quantities and the start of the pollen season an example from Switzerland for the period 1969–2006 / T. Frei, E. Gassner // *International Journal of Biometeorology.* — 2008. — V. 52. — P. 667;

207. Frenguelli, G. The influence of air temperature on the starting dates of the pollen season of *Alnus* and *Populus* / G. Frenguelli, F. T. M. Spieksma, E. Bricchi [et. al.] // *Grana.* — 1991. — V. 30. — №. 1. — P. 196;

208. Frenguelli, G. The role of air temperature in determining dormancy release and flowering of *Corylus avellana* L. / G. Frenguelli, E. Bricchi, B. Romano [et. al.] // *Aerobiologia*. — 1992. — V. 8. — P. 415;

209. Frenguelli, G. The use of the pheno-climatic model for forecasting the pollination of some arboreal taxa / G. Frenguelli, E. Bricchi // *Aerobiologia*. — 1998. — V. 14. — P. 39;

210. Frenguelli, G. Bridging allergologic and botanical knowledge in seasonal allergy: a role for phenology / G. Frenguelli, G. Passalacqua, S. Bonini [et. al.] // *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*. — 2010. — V. 105. — №. 3. — P. 223;

211. Frisk, C. A. Atmospheric transport reveals grass pollen dispersion distances / C. A. Frisk, G. P. Apangu, G. M. Petch [et. al.] // *Science of the Total Environment*. — 2022. — V. 814. — P. 152806;

212. Fu, W. Identification of a 62-kDa major allergen from *Artemisia* pollen as a putative galactose oxidase / W. Fu, Z. Gao, L. Gao [et. al.] // *Allergy*. — 2018. — V. 73. — №. 5. — P. 1041;

213. Fuhrman, C. Short-term effect of pollen exposure on antiallergic drug consumption / C. Fuhrman, H. Sarter, M. Thibaudon [et. al.] // *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*. — 2007. — V. 99. — №. 3. — P. 225;

214. Fujimoto, Y. Purification and cDNA cloning of cytokinin-specific binding protein from mung bean (*Vigna radiata*) / Y. Fujimoto, R. Nagata, H. Fukasawa [et. al.] // *European journal of biochemistry*. — 1998. — V. 258. — №. 2. — P. 794;

215. Fumanal, B. Estimation of the pollen and seed production of common ragweed in Europe / B. Fumanal, B. Chauvel, F. Bretagnolle // *Annals of Agricultural and Environmental Medicine (AAEM)*. — 2007. — V. 14. — №. 2. — P. 233;

216. Gadermaier, G. Allergens of weed pollen: an overview on recombinant and natural molecules / G. Gadermaier, M. Hauser, F. Ferreira // *Methods*. — 2014. — V. 66. — №. 1. — P. 55;

217. Galán, C. Theoretical daily variation patterns of airborne pollen in the southwest of Spain / C. Galán // Grana. — 1991. — V. 30. — №. 1. — P. 201;
218. Galán, C. The role of temperature in the onset of the *Olea europaea* L. pollen season in southwestern Spain / C. Galán, H. García-Mozo, P. Cariñanos [et. al.] // International Journal of Biometeorology. — 2001a. — V. 45. — P. 8;
219. Galán, C. Model for forecasting *Olea europaea* L. airborne pollen in South-West Andalusia, Spain / C. Galán, P. Cariñanos, H. García-Mozo [et. al.] // International Journal of Biometeorology. — 2001b. — V. 45. — P. 59;
220. Galán, C. Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis / C. Galán, M. Smith, M. Thibaudon [et. al.] // Aerobiologia. — 2014. — V. 30. — P. 385;
221. Gao, Z. S. Peach allergy in China: a dominant role for mugwort pollen lipid transfer protein as a primary sensitizer / Z. S. Gao, Z. W. Yang, S. D. Wu [et. al.] // Journal of allergy and clinical immunology. — 2013. — V. 131. — №. 1. — P. 224;
222. Gao, Z. *Artemisia* pollen allergy in China: component-resolved diagnosis reveals allergic asthma patients have significant multiple allergen sensitization / Z. Gao, W. Y. Fu, Y. Sun [et. al.] // Allergy. — 2019. — V. 74. — №. 2. — P. 284;
223. García-Mozo, H. Poaceae pollen as the leading aeroallergen worldwide: a review / H. García-Mozo // Allergy. — 2017. — V. 72. — №. 12. — P. 1849;
224. Gastaminza, G. Allergenicity and cross-reactivity of pine pollen / G. Gastaminza, M. Lombardero, G. Bernaola [et. al.] // Clinical & Experimental Allergy. — 2009. — V. 39. — №. 9. — P. 1438;
225. Gehrig, R. 50 years of pollen monitoring in Basel (Switzerland) demonstrate the influence of climate change on airborne pollen / R. Gehrig, B. Clot // Frontiers in Allergy. — 2021. — V. 2. — P. 677159;

226. Gehrig, R. *Alnus × spaethii* pollen can cause allergies already at Christmas / R. Gehrig, M. Gassner, P. Schmid-Grendelmeier [et. al.] // *Aerobiologia*. — 2015. — V. 31. — P. 239;

227. Ghitarrini, S. Phenological analysis of grasses (Poaceae) as a support for the dissection of their pollen season in Perugia (Central Italy) / S. Ghitarrini, C. Galán, G. Frenguelli, E. Tedeschini // *Aerobiologia*. — 2017. — V. 33. — P. 339;

228. Giesecke, T. From early pollen trapping experiments to the Pollen Monitoring Programme / T. Giesecke, S. L. Fontana, W. O. van der Knaap [et. al.] // *Vegetation History and Archaeobotany*. — 2010. — V. 19. — P. 247;

229. Göbl, C. Flexible IgE epitope-containing domains of Phl p 5 cause high allergenic activity / C. Göbl, M. Focke-Tejkl, N. Najafi [et. al.] // *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. — 2017. — V. 140. — №. 4. — P. 1187;

230. Gonzalez-Klein, Z. The key to the allergenicity of lipid transfer protein (LTP) ligands: A structural characterization / Z. Gonzalez-Klein, B. Cuevas-Zuñiga, A. Wangorsch [et. al.] // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*. — 2021. — V. 1866. — №. 7. — P. 158928;

231. Gregory, P. H. Deposition of air-borne *Lycopodium* spores on cylinders / P. H. Gregory // *Annals of Applied Biology*. — 1951. — V. 38. — №. 2. — P. 357;

232. Grewling, L. Clinical relevance of *Corylus* pollen in Poznań, western Poland / L. Grewling, D. Janerowicz, M. Nowak [et. al.] // *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. — 2014. — V. 21. — №. 1;

233. Grewling, Ł. Variations and trends of birch pollen seasons during 15 years (1996–2010) in relation to weather conditions in Poznań (western Poland) / Ł. Grewling, B. Jackowiak, M. Nowak [et. al.] // *Grana*. — 2012. — V. 51. — №. 4. — P. 280;

234. Grote, M. In situ localization of a high molecular weight cross-reactive allergen in pollen and plant-derived food by immunogold electron

microscopy / M. Grote, S. Fischer, W. D. Müller, R. Valenta // Journal of allergy and clinical immunology. — 1998. — V.101. — №. 2. — P. 250;

235. Grote, M. Immuno-electronmicroscopic identification and localization of the antigenic proteins of tree pollen grains / M. Grote, H. Vik, S. Elsayed // Allergy. — 1988. — V. 43. — №. 8. — P. 603;

236. Grote, M. Immunogold electron microscopic localization of timothy grass (*Phleum pratense*) pollen major allergens Phl p I and Phl p V after anhydrous fixation in acrolein vapor / M. Grote, C. Dolecek, R. Van Ree, R. Valenta // Journal of Histochemistry & Cytochemistry. — 1994. — V. 42. — №. 3. — P. 427;

237. Grote, M. Release of allergen-bearing cytoplasm from hydrated pollen: a mechanism common to a variety of grass (Poaceae) species revealed by electron microscopy / M. Grote, S. Vrtala, V. Niederberger [et. al.] // Journal of Allergy and Clinical Immunology. — 2001. — V. 108. — №. 1. — P. 109;

238. Grote, M. Monitoring of two allergens, Bet v I and profilin, in dry and rehydrated birch pollen by immunogold electron microscopy and immunoblotting / M. Grote, S. Vrtala, R. Valenta // Journal of Histochemistry & Cytochemistry. — 1993. — V. 41. — №. 5. — P. 745;

239. Grote, M. Abortive pollen germination: A mechanism of allergen release in birch, alder, and hazel revealed by immunogold electron microscopy / M. Grote, R. Valenta, R. Reichelt // Journal of Allergy and Clinical Immunology. — 2003. — V. 111. — №. 5. — P. 1017;

240. Guilbert, A. Short-term effect of pollen and spore exposure on allergy morbidity in the Brussels-Capital Region / A. Guilbert, K. Simons, L. Hoebeke [et. al.] // EcoHealth. — 2016. — V. 13. — P. 303;

241. Guryanova, S. V. How do pollen allergens sensitize? / S. V. Guryanova, E. I. Finkina, D. N. Melnikova [et. al.] // Frontiers in Molecular Biosciences. — 2022. — V. 9. — P. 900533;

242. Guryanova, S. V. Immunomodulatory and allergenic properties of antimicrobial peptides / S. V. Guryanova, T. V. Ovchinnikova // International journal of molecular sciences. — 2022. — V. 23. — №. 5. — P. 2499;

243. Hao, G. Prevalence of sensitization to weed pollens of *Humulus scandens*, *Artemisia vulgaris*, and *Ambrosia artemisiifolia* in northern China / G. D. Hao, Y. W. Zheng, B. Gjesing [et. al.] // Journal of Zhejiang University Science B. — 2013. — V. 14. — P. 240;

244. Harris, R. M. The incidence of pine pollen reactivity in an allergic atopic population / R. M. Harris, D. F. German // Annals of Allergy. — 1985. — V. 55. — №. 5. — P. 678;

245. Hauser, M. Panallergens and their impact on the allergic patient / M. Hauser, A. Roulias, F. Ferreira, M. Egger // Allergy, Asthma & Clinical Immunology. — 2010. — V. 6. — P. 1;

246. Himly, M. Art v 1, the major allergen of mugwort pollen, is a modular glycoprotein with a defensin-like and a hydroxyproline-rich domain / M. Himly, B. Jahn-Schmid, A. Dedic [et. al.] // The FASEB Journal. — 2003. — V. 17. — №. 1. — P. 106;

247. Hirschwehr, R. Identification of common allergenic structures in hazel pollen and hazelnuts: a possible explanation for sensitivity to hazelnuts in patients allergic to tree pollen / R. Hirschwehr, R. Valenta, C. Ebner [et. al.] // Journal of Allergy and Clinical Immunology. — 1992. — V. 90. — №. 6. — P. 927;

248. Hirschwehr, R. Identification of common allergenic structures in mugwort and ragweed pollen / R. Hirschwehr, C. Heppner, S. Spitzauer [et. al.] // Journal of allergy and clinical immunology. — 1998. — V. 101. — №. 2. — P. 196;

249. Hirst, J. M. An automatic volumetric spore trap / J. M. Hirst // Annals of applied Biology. — 1952. — V. 39. — №. 2. — P. 257;

250. Hjelmroos, M. Evidence of long-distance transport of *Betula* pollen / M. Hjelmroos // Grana. — 1991. — V. 30. — №. 1. — P. 215;

251. Hjelmroos, M. Heterogeneity of pollen proteins within individual *Betula pendula* trees / M. Hjelmroos, M. J. Schumacher, M. Van Hage-Hamsten // *International archives of allergy and immunology*. — 1995. — V. 108. — №. 4. — P. 368;

252. Hoebeke, L. Thirty-four years of pollen monitoring: an evaluation of the temporal variation of pollen seasons in Belgium / L. Hoebeke, N. Bruffaerts, C. Verstraeten [et. al.] // *Aerobiologia*. — 2018. — V. 34. — P. 139;

253. Höflich, C. Management of patients with seasonal allergic rhinitis: diagnostic consideration of sensitization to non-frequent pollen allergens / C. Höflich, G. Balakirski, Z. Hajdu [et. al.] // *Clinical and Translational Allergy*. — 2021. — V. 11. — №. 8. — P. e12058;

254. Hrabina, M. Grass pollen allergens / M. Hrabina, G. Peltre, R. Van Ree, P. Moingeon // *Clinical & Experimental Allergy Reviews*. — 2008. — V. 8. — №. 1. — P. 7;

255. Huffman, J. A. Real-time sensing of bioaerosols: Review and current perspectives / J. A. Huffman, A. E. Perring, N. J. Savage [et. al.] // *Aerosol Science and Technology*. — 2020. — V. 54. — №. 5. — P. 465;

256. Hyde, H. A. Volumetric counts of pollen grains at Cardiff, 1954–1957 / H. A. Hyde // *Journal of Allergy*. — 1959. — V. 30. — №. 3. — P. 219

257. HYSPLIT [Electronic resource]. — URL: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php> (date of acces: 20.04.2024);

258. Iosen, H. 390 Structural similarities between amentiferous tree pollen major allergens / H. Iosen, N. Horn, D. C. Hansen // *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. — 1988. — V. 81. — №. 1. — P. 265;

259. Ipsen, H. Immunotherapy with partially purified and standardized tree pollen extracts: III. Specific IgE response to the major allergens of alder, birch and hazel pollen during immunotherapy / H. Ipsen, B. Schwartz, J. A. Wihl [et. al.] // *Allergy*. — 1988. — V. 43. — №. 5. — P. 370;

260. Ito, K. The associations between daily spring pollen counts, over-the-counter allergy medication sales, and asthma syndrome emergency department

visits in New York City, 2002-2012 / K. Ito, K. R. Weinberger, G. S. Robinson [et. al.] // *Environmental Health*. — 2015. — V. 14. — P. 1;

261. Jäger, S. Fluctuations and trends in airborne concentrations of some abundant pollen types, monitored at Vienna, Leiden, and Brussels / S. Jäger, E. T. M. Spieksma, N. Nolard // *Grana*. — 1991. — V. 30. — №. 2. — P. 309;

262. Jäger, S. Trends of some airborne tree pollen in the Nordic countries and Austria, 1980—1993: a comparison between Stockholm, Trondheim, Turku and Vienna / S. Jäger, S. Nilsson, B. Berggren [et. al.] // *Grana*. — 1996. — V. 35. — №. 3. — P. 171;

263. Jantunen, J. Allergy symptoms in relation to alder and birch pollen concentrations in Finland / J. Jantunen, K. Saarinen, A. Rantio-Lehtimäki // *Aerobiologia*. — 2012. — V. 28. — P. 169;

264. Jarolim, E. IgE and IgG antibodies of patients with allergy to birch pollen as tools to define the allergen profile of *Betula verrucosa* / E. Jarolim, H. Rumpold, A. T. Endler [et. al.] // *Allergy*. — 1989. — V. 44. — №. 6. — P. 385;

265. Jochner-Oette, S. Decrease or increase? Temporal changes in pollen concentrations assessed by Bayesian statistics / S. Jochner-Oette, A. Menzel, R. Gehrig, B. Clot // *Aerobiologia*. — 2019. — V. 35. — P. 153-163.;

266. Kailaivasan, T. H. Biogeographical variation in specific IgE recognition of temperate and subtropical grass pollen allergens in allergic rhinitis patients / T. H. Kailaivasan, V. L. Timbrell, G. Solley [et. al.] // *Clinical & translational immunology*. — 2020. — V. 9. — №. 2. — P. e01103;

267. Kalliel, J. N. Eastern pine sensitivity in New England / J. N. Kalliel, G. A. Settupane // *Allergy and Asthma Proceedings*. — OceanSide Publications, 1988. — V. 9. — №. 3. — P. 233;

268. Kasprzyk, I. The occurrence of Ambrosia pollen in Rzeszów, Kraków and Poznań, Poland: investigation of trends and possible transport of *Ambrosia* pollen from Ukraine / I. Kasprzyk, D. Myszkowska, Ł. Grewling, [et. al.] // *International Journal of Biometeorology*. — 2011. — V. 55. — P. 633;

269. Kawashima, S. Automated pollen monitoring system using laser optics for observing seasonal changes in the concentration of total airborne pollen / S. Kawashima, M. Thibaudon, S. Matsuda // *Aerobiologia*. — 2017. — V. 33. — №. 3. — P. 351;

270. Kim, Y. L. A study of allergy skin tests with Korean pollen extracts / Y. L. Kim, S. K. Lee, S. H. Oh [et. al.] // *Yonsei Medical Journal*. — 1987. — V. 28. — №. 2. — P. 112;

271. Kim, J. H. Changes in sensitization rate to weed allergens in children with increased weeds pollen counts in Seoul metropolitan area / J. H. Kim, J. W. Oh, H. B. Lee [et. al.] // *Journal of Korean Medical Science*. — 2012. — V. 27. — №. 4. — P. 350;

272. King, T. P. Allergen nomenclature / T. P. King, D. Hoffman, H. Løwenstein, [et. al.] // *Allergy*. — 1995. — V. 50. — №. 9;

273. Kleine-Tebbe, J. Grass pollen allergens / J. Kleine-Tebbe, J. Davies // *Global atlas of allergy*. — 2014. — P. 22;

274. Kmenta, M. The grass pollen season 2014 in Vienna: A pilot study combining phenology, aerobiology and symptom data / M. Kmenta, K. Bastl, M. F. Kramer [et. al.] // *Science of the Total Environment*. — 2016. — V. 566. — P. 1614;

275. Knox, B. Environmental and molecular biology of pollen allergens / B. Knox, C. Suphioglu // *Trends in Plant Science*. — 1996. — V. 1. — №. 5. — P. 156;

276. Kraaijeveld, K. Efficient and sensitive identification and quantification of airborne pollen using next-generation DNA sequencing / K. Kraaijeveld, L. A. De Weger, M. Ventayol García [et. al.] // *Molecular ecology resources*. — 2015. — V. 15. — №. 1. — P. 8;

277. Krinitsina, A. A. Aerobiological Monitoring and Metabarcoding of Grass Pollen / A. A. Krinitsina, D. O. Omelchenko, A. S. Kasianov, V. S. Karaseva [et. al.] // *Plants*. — 2023. — V. 12. — №. 12. — P. 2351;

278. Laaidi, M. Regional variations in the pollen season of *Betula* in Burgundy: two models for predicting the start of the pollination / M. Laaidi // *Aerobiologia*. — 2001. — V. 17. — №. 3. — P. 247;
279. Lacey, J. Bioaerosols and occupational lung disease / J. Lacey, J. Dutkiewicz // *Journal of aerosol science*. — 1994. — V. 25. — №. 8. — P. 1371;
280. Lei, D. K. An overview of allergens / D. K. Lei, L. C. Grammer // *Allergy & Asthma Proceedings*. — 2019. — V. 40. — №. 6;
281. León-Ruiz, E. Study of Poaceae phenology in a Mediterranean climate. Which species contribute most to airborne pollen counts? / E. León-Ruiz, P. Alcázar, E. Domínguez-Vilches, C. Galán // *Aerobiologia*. — 2011. — V. 27. — P. 37;
282. Leontidou, K. DNA metabarcoding of airborne pollen: new protocols for improved taxonomic identification of environmental samples / K. Leontidou, C. Vernesi, J. De Groeve [et. al.] // *Aerobiologia*. — 2018. — V. 34. — P. 63-74.;
283. Leontidou, K. Plant biodiversity assessment through pollen DNA metabarcoding in Natura 2000 habitats (Italian Alps) / K. Leontidou, D. Vokou, A. Sandionigi [et. al.] // *Scientific Reports*. — 2021. — V. 11. — №. 1. — P. 18226;
284. Levetin, E. Effects of climate change on airborne pollen / E. Levetin // *J Allergy Clin Immunol*. — 2001. — V. 107. — №. suppl 1. — P. 172;
285. Levetin, E. Pollen count forecasting / E. Levetin, P. K. Van de Water // *Immunology and Allergy Clinics*. — 2003. — V. 23. — №. 3. — P. 423;
286. Li, J. A multicentre study assessing the prevalence of sensitizations in patients with asthma and/or rhinitis in China / J. Li, B. Sun, YHuang [et. al.] // *Allergy*. — 2009. — V. 64. — №. 7. — P. 1083;
287. Li, J. D. Characteristics of pollen-related food allergy based on individual pollen allergy profiles in the Chinese population / J. D. Li, Z. R. Du, J. Liu [et. al.] // *World Allergy Organization Journal*. — 2020. — V. 13. — №. 5. — P. 100120;

288. Lind, T. Pollen season trends (1973-2013) in Stockholm area, Sweden / T. Lind, A. Ekebom, K. Alm Kübler [et. al.] // PloS one. — 2016. — V. 11. — №. 11. — P. e0166887;
289. Linkosalo, T. Twilight far-red treatment advances leaf bud burst of silver birch (*Betula pendula*) / T. Linkosalo, M. J. Lechowicz // Tree physiology. — 2006. — V. 26. — №. 10. — P. 1249;
290. Linkosalo, T. A comparison of phenological models of leaf bud burst and flowering of boreal trees using independent observations / T. Linkosalo, H. K. Lappalainen, P. Hari // Tree physiology. — 2008. — V. 28. — №. 12. — P. 1873;
291. Linkosalo, T. A double-threshold temperature sum model for predicting the flowering duration and relative intensity of *Betula pendula* and *B. pubescens* / T. Linkosalo, H. Ranta, A. Oksanen [et. al.] // Agricultural and Forest Meteorology. — 2010. — V. 150. — №. 12. — P. 1579;
292. Lowenstein, H. Quantitative immunoelectrophoretic methods as a tool for the analysis and isolation of allergens / H. Lowenstein // Prog Allergy. — 1978. — V. 25. — P. 1;
293. Lucas, R. W. A review of pollen counting networks: from the nineteenth century into the twenty-first century / R. W. Lucas, L. Bunderson // Current Allergy and Asthma Reports. — 2024. — V. 24. — №. 1. — P. 1;
294. Maddox, R. L. On an apparatus for collecting atmospheric particles / R. L. Maddox // The Monthly Microscopical Journal. — 1870. — V. 3. — №. 6. — P. 286;
295. Mahura, A. Diurnal Cycle of Birch Pollen: Parameterization for Operational Modelling / A. Mahura, A. Rasmussen, A. Baklanov // The 4th European Symposium on Aerobiology. — 12-16 August. — 2008. — P. 162;
296. Makra, L. Forecasting daily total pollen concentrations on a global scale / L. Makra, L. Coviello, A. Gobbi [et. al.] // Allergy. — 2024. — V. 79. — №. 8. — P. 2173;

297. Marcos, C. *Pinus* pollen aerobiology and clinical sensitization in northwest Spain / C. Marcos, F. J. Rodriguez, I. Luna [et. al.] // *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*. — 2001. — V. 87. — №. 1. — P. 39;

298. Matthews, J. D. The influence of weather on the frequency of beech mast years in England / J. D. Matthews // *Forestry: An International Journal of Forest Research*. — 1955. — V. 28. — №. 2. — P. 107;

299. McQueen-Mason, S. Two endogenous proteins that induce cell wall extension in plants / S. McQueen-Mason, D. M. Durachko, D. J. Cosgrove // *The Plant Cell*. — 1992. — V. 4. — №. 11. — P. 1425;

300. Meier, U. Growth stages of mono-and dicotyledonous plants: BBCH Monograph / U. Meier. — Berlin [etc.]: Blackwell, 1997. — 204 p;

301. Miquel, P. Les organismes vivants de l'atmosphère / P. Miquel. — Gauthier-Villars, 1883;

302. Montagnani, C. The worldwide spread, success, and impact of ragweed (*Ambrosia* spp.) / C. Montagnani, R. Gentili, M. Smith [et. al.] // *Critical Reviews in Plant Sciences*. — 2017. — V. 36. — №. 3. — P. 139;

303. Movérare, R. Different IgE reactivity profiles in birch pollen-sensitive patients from six European populations revealed by recombinant allergens: an imprint of local sensitization / R. Movérare, K. Westritschnig, M. Svensson [et. al.] // *International archives of allergy and immunology*. — 2002. — V. 128. — №. 4. — P. 325;

304. Myszkowska, D. Predicting tree pollen season start dates using thermal conditions / D. Myszkowska // *Aerobiologia*. — 2014. — V. 30. — №. 3. — P. 307;

305. Myszkowska, D. Unusually high birch (*Betula* spp.) pollen concentrations in Poland in 2016 related to long-range transport (LRT) and the regional pollen occurrence / D. Myszkowska, K. Piotrowicz, M. Ziemianin [et. al.] // *Aerobiologia*. — 2021. — V. 37. — P. 543;

306. Nilsson, S. Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden), 1973–1980 / S. Nilsson, S. Persson // Grana. — 1981. — V. 20. — №. 3. — P. 179;

307. Norris-Hill, J. The modelling of daily Poaceae pollen concentrations / J. Norris-Hill // Grana. — 1995. — V. 34. — №. 3. — P. 182;

308. Norris-Hill, J. A method to forecast the start of the *Betula*, *Platanus* and *Quercus* pollen seasons in North London / J. Norris-Hill // *Aerobiologia*. — 1998. — V. 14. — P. 165;

309. Norton, D. A. Mast seeding over 33 years by *Dacrydium cupressinum* Lamb.(rimu)(Podocarpaceae) in New Zealand: the importance of economies of scale / D. A. Norton, D. Kelly // *Functional ecology*. — 1988. — P. 399;

310. O'Connor, D. J. Using the WIBS-4 (Waveband Integrated Bioaerosol Sensor) technique for the on-line detection of pollen grains / D. J. O'Connor, D. A. Healy, S. Hellebust [et. al.] // *Aerosol Science and Technology*. — 2014. — V. 48. — №. 4. — P. 341;

311. Oberhuber, C. Prevalence of IgE-binding to Art v 1, Art v 4 and Amb a 1 in mugwort-allergic patients / C. Oberhuber, Y. Ma, N. Wopfner [et. al.] // *International archives of allergy and immunology*. — 2008. — V. 145. — №. 2. — P. 94;

312. Omelchenko, D. O. Improved protocols of ITS1-based metabarcoding and their application in the analysis of plant-containing products / D. O. Omelchenko, A. S. Speranskaya, A. A. Ayginin [et. al.] // *Genes*. — 2019. — V. 10. — №. 2. — P. 122;

313. Ong, E. K. Aeroallergens of plant origin: molecular basis and aerobiological significance / E. K. Ong, M. B. Singh, R. B. Knox // *Aerobiologia*. — 1995. — V. 11. — P. 219;

314. Ortega, S. Silam in South of Europe: application to birch pollen episodes in Catalonia (NE SPAIN) / S. Ortega, J. Belmonte, M. Alarcon [et. al.] // *Proceedings of the 13th International Conference on Harmonisation within*

Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes: 1-4 June 2010, Paris, France. — 2010. — P. 176.

315. Osterballe, M. The clinical relevance of sensitization to pollen-related fruits and vegetables in unselected pollen-sensitized adults / M. Osterballe, T. K. Hansen, C. G. Mortz, C. Bindslev-Jensen // *Allergy*. — 2005. — V. 60. — №. 2. — P. 218;

316. Oteros, J. An operational robotic pollen monitoring network based on automatic image recognition / J. Oteros, A. Weber, S. Kutzora [et. al.] // *Environmental Research*. — 2020. — V. 191. — P. 110031;

317. Oteros, J. Automatic and online pollen monitoring / J. Oteros, G. Pusch, I. Weichenmeier [et. al.] // *International archives of allergy and immunology*. — 2015. — V. 167. — №. 3. — P. 158;

318. Pablos, I. Pollen allergens for molecular diagnosis / I. Pablos, S. Wildner, C. Asam [et. al.] // *Current allergy and asthma reports*. — 2016. — V. 16. — P. 1;

319. Pablos, I. Similar allergenicity to different artemisia species is a consequence of highly cross-reactive Art v 1-like molecules / I. Pablos, M. Egger, E. Vejvar [et. al.] // *Medicina*. — 2019. — V. 55. — №. 8. — P. 504;

320. Packe, G. E. Asthma outbreak during a thunderstorm / G. E. Packe, J. G. Ayres // *The Lancet*. — 1985. — V. 326. — №. 8448. — P. 199;

321. Park, S. H. Sensitization rates of airborne pollen and mold in children / S. H. Park, D. H. Lim, B. K. Son [et. al.] // *Korean journal of pediatrics*. — 2012. — V. 55. — №. 9. — P. 322;

322. Pastorello, E. A. Hypersensitivity to mugwort (*Artemisia vulgaris*) in patients with peach allergy is due to a common lipid transfer protein allergen and is often without clinical expression / E. A. Pastorello, V. Pravettoni, L. Farioli [et. al.] // *Journal of allergy and clinical immunology*. — 2002. — V. 110. — №. 2. — P. 310;

323. Pawankar, R. State of world allergy report 2008: allergy and chronic respiratory diseases / R. Pawankar, C. E. Baena-Cagnani, J. Bousquet [et. al.] // World Allergy Organization Journal. — 2008. — V. 1. — P. S4;

324. Payne, W. W. Notes on the ragweeds of South America with the description of two new species: *Ambrosia pannosa* and *A. parvifolia* (Compositae) / W. W. Payne // Brittonia. — 1966. — V. 18. — №. 1. — P. 28;

325. Peeters, A. G. Long range transport of *Castanea sativa* pollen / A. G. Peeters, H. Zoller // Grana. — 1988. — V. 27. — №. 3. — P. 203;

326. Peeters, L. Wind to insect pollination ratios and floral traits in five alpine *Salix* species / L. Peeters, Ø. Totland // Canadian Journal of Botany. — 1999. — V. 77. — №. 4. — P. 556;

327. Pichler, U. Pectate lyase pollen allergens: sensitization profiles and cross-reactivity pattern / U. Pichler, M. Hauser, M. Wolf [et. al.] // PloS one. — 2015. — V. 10. — №. 5. — P. e0120038;

328. Piotrowska, K. The influence of meteorological conditions on the start of the hazel (*Corylus* L.) pollen season in Lublin, 2001-2009 / K. Piotrowska, B. M. Kaszewski // Acta Agrobotanica. — 2009. — V. 62. — №. 2;

329. PollenLibrary.com [Electronic resource]. — URL: <https://www.pollenlibrary.com/> (date of the application: 19.06.2024);

330. Prank, M. An operational model for forecasting ragweed pollen release and dispersion in Europe / M. Prank, D. S. Chapman, J. M. Bullock [et. al.] // Agricultural and forest meteorology. — 2013. — V. 182. — P. 43;

331. Prieto-Baena, J. C. Pollen production in the Poaceae family / J. C. Prieto-Baena, P. J. Hidalgo, E. Domínguez, C. Galán // Grana. — 2003. — V. 42. — №. 3. — P. 153;

332. Pyšek, P. Alien vascular plants of Europe / P. Pyšek, P. W. Lambdon, M. Arianoutsou [et. al.] // Handbook of alien species in Europe. — 2009. — P. 43;

333. Qin, Z. Potential distribution of two *Ambrosia* species in China under projected climate change / Z. Qin, A. DiTommaso, R. S. Wu, H. Y. Huang // Weed Research. — 2014. — V. 54. — №. 5. — P. 520;

334. Radauer, C. Pollen allergens are restricted to few protein families and show distinct patterns of species distribution / C. Radauer, H. Breiteneder // Journal of Allergy and Clinical Immunology. — 2006. — V. 117. — №. 1. — P. 141;

335. Ranta, H. Male flowering of birch: Spatial synchronization, year-to-year variation and relation of catkin numbers and airborne pollen counts / H. Ranta, T. Hokkanen, T. Linkosalo [et. al.] // Forest Ecology and Management. — 2008. — V. 255. — №. 3-4. — P. 643;

336. Rantio-Lehtimäki, A. Significance of sampling height of airborne particles for aerobiological information / A. Rantio-Lehtimäki, A. Koivikko, R. Kupias [et. al.] // Allergy. — 1991. — V. 46. — №. 1. — P. 68;

337. Rapiejko, P. Threshold pollen count necessary to evoke allergic symptoms / P. Rapiejko, W. Stanlaewicz, K. Szczygieski, D. Jurkiewicz // Otolaryngologia Polska= The Polish Otolaryngology. — 2007. — V. 61. — №. 4. — P. 591;

338. Rasmussen, A. The effects of climate change on the birch pollen season in Denmark / A. Rasmussen // Aerobiologia. — 2002. — V. 18. — P. 253;

339. Ree, R. Profilin is a cross-reactive allergen in pollen and vegetable foods / R. Ree, V. Voitenko, A. van Leeuwen, R. C. Aalberse // International archives of allergy and immunology. — 1992. — V. 98. — №. 2. — P. 97;

340. Reindl, J. Allergy caused by ingestion of zucchini (*Cucurbita pepo*): characterization of allergens and cross-reactivity to pollen and other foods / J. Reindl, M. D. Anliker, F. Karamloo [et. al.] // Journal of allergy and clinical immunology. — 2000. — V. 106. — №. 2. — P. 379;

341. Rejón, J. D. The pollen coat proteome: at the cutting edge of plant reproduction / J. D. Rejón, F. Delalande, C. Schaeffer-Reiss [et. al.] // Proteomes. — 2016. — V. 4. — №. 1. — P. 5.

342. Rodríguez-Rajo, F. J. Evaluation of atmospheric Poaceae pollen concentration using a neural network applied to a coastal Atlantic climate region /

F. J. Rodríguez-Rajo, G. Astray, J. A. Ferreiro-Lage [et. al.] // Neural Networks. — 2010. — V. 23. — №. 3. — P. 419;

343. Rodríguez, Del Río P. Profilin, a Change in the Paradigm / Del Río P. Rodríguez, A. Díaz-Perales, S. Sánchez-García [et. al.] // Journal of investigational allergology & clinical immunology. — 2017. — V. 28. — №. 1. — P. 1;

344. Rojo, J. Land-use and height of pollen sampling affect pollen exposure in Munich, Germany / J. Rojo, J. Oteros, A. Picornell [et. al.] // Atmosphere. — 2020. — V. 11. — №. 2. — P. 145;

345. Rojo, J. Consequences of climate change on airborne pollen in Bavaria, Central Europe / J. Rojo, A. Picornell, J. Oteros [et. al.] // Regional Environmental Change. — 2021. — V. 21. — P. 1;

346. Rowney, F. M. Environmental DNA reveals links between abundance and composition of airborne grass pollen and respiratory health / F. M. Rowney, G. L. Brennan, C. A. Skjøth [et. al.] // Current Biology. — 2021. — V. 31. — №. 9. — P. 1995;

347. Sampedro, J. The expansin superfamily / J. Sampedro, D. J. Cosgrove // Genome biology. — 2005. — V. 6. — P. 1;

348. Saulienė, I. Automatic pollen recognition with the Rapid-E particle counter: the first-level procedure, experience and next steps / I. Saulienė, L. Sukienė, G. Daunys [et. al.] // Atmospheric Measurement Techniques. — 2019. — V. 12. — №. 6. — P. 3435;

349. Scamoni, A. Beobachtungen über den Pollenflug der Waldbäume in Eberswalde / A. Scamoni // Zeitschrift für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung. — 1955. — V. 4. — P. 113;

350. Schapira, R. Nettle allergy: a review and clinical perspective / R. Schapira, K. Adams // Current Treatment Options in Allergy. — 2018. — V. 5. — P. 310;

351. Scheurer, S. Interaction of non-specific lipid-transfer proteins with plant-derived lipids and its impact on allergic sensitization / S. Scheurer, S. Schülke // Frontiers in Immunology. — 2018. — V. 9. — P. 1389;

352. Shi, H. Y. Clinical efficacy evaluation of 1-year subcutaneous immunotherapy for *Artemisia sieversiana* pollen allergic rhinitis by serum metabolomics / H. Y. Shi, C. Pan, T. T. Ma [et. al.] // *Frontiers in Pharmacology*. — 2020. — V. 11. — P. 305;

353. Seebens, H. No saturation in the accumulation of alien species worldwide / H. Seebens, T. M. Blackburn, E. E. Dyer [et. al.] // *Nature communications*. — 2017. — V. 8. — №. 1. — P.14435;

354. Severova, E. Statistical analysis of *Betula* season in Moscow / E. Severova // The 8th International Congress on Aerobiology «Towards a comprehensive vision» (Neuchatel, Switzerland 21-25 August 2006). — 2006. — P. 247;

355. Severova, E. Southern Russia as a source of *Ambrosia* pollen / E. Severova, O. Volkova // *Proc. of Firth European Symposium on Aerobiology*. — 2012;

356. Severova, E. Variations and trends of *Betula* pollen seasons in Moscow (Russia) in relation to meteorological parameters / E. Severova, O. Volkova // *Aerobiologia*. — 2017. — V. 33. — P. 253;

357. Severova, E. Sampling height in aerobiological monitoring / E. Severova, O. Volkova // *Proceedings of the 11th International Congress on Aerobiology, Parma, Italy*. — 2018. — P. 3;

358. Severova, E. Monitoring of *Ambrosia* pollen in Southern and Central Russia / E. Severova, D. Britsky, E. Churyukina [et. al.] // *In 7th European Symposium on Aerobiology. Bioaerosols and Environmental Impacts. Cordoba*. — 2020. — P. 179;

359. Severova, E. Pollen production of selected grass species in Russia and India at the levels of anther, flower and inflorescence / E. Severova, Y. Kopylov-Guskov, Y. Selezneva [et. al.] // *Plants*. — 2022. — V. 11. — №. 3. — P. 285;

360. Sikoparija, B. A mechanism for long distance transport of *Ambrosia* pollen from the Pannonian Plain / B. Sikoparija, C. Skjøth, K. A. Kübler [et. al.] // *Agricultural and Forest Meteorology*. — 2013. — V. 180. — P. 112;

361. SILAM [Electronic resource]. — URL: <https://silam.fmi.fi/> (date of the application: 15.06.2024);

362. Sitaru, S. Assessing the national burden of allergic asthma by web-search data, pollen counts, and drug prescriptions in Germany and Sweden / S. Sitaru, L. Tizek, J. Buters [et. al.] // World Allergy Organization Journal. — 2023. — V. 16. — №. 2. — P. 100752;

363. Skjøth, C. A. The long-range transport of birch (*Betula*) pollen from Poland and Germany causes significant pre-season concentrations in Denmark / C. A. Skjøth, J. Sommer, A. Stach [et. al.] // Clinical & Experimental Allergy. — 2007. — V. 37. — №. 8. — P. 1204;

364. Skjøth, C. A. Identifying urban sources as cause of elevated grass pollen concentrations using GIS and remote sensing / C. A. Skjøth, P. V. Ørby, T. Becker [et. al.] // Biogeosciences. — 2013. — V. 10. — №. 1. — P. 541;

365. Smart, I. J. Aerobiology of Grass Pollen in the City Atmosphere of Melbourne: Effects of Weather Parameters and Pollen Sources / I. J. Smart, W. G. Tuddenham, R. B. Knox // Australian Journal of Botany. — 1979. — V. 27. — №. 3. — P. 333;

366. Smith, M. Examining high magnitude grass pollen episodes at Worcester, United Kingdom, using back-trajectory analysis / M. Smith, J. Emberlin, A. Kress // Aerobiologia. — 2005. — V. 21. — №. 2. — P. 85;

367. Smith, M. Long-range transport of Ambrosia pollen to Poland / M. Smith, C. A. Skjøth, D. Myszkowska [et. al.] // Agricultural and forest meteorology. — 2008. — V. 148. — №. 10. — P. 1402;

368. Smith, M. An abbreviated method for the quality control of pollen counters / M. Smith, J. Oteros, C. Schmidt-Weber, J. T. Buters // Grana. — 2019. — V. 58. — №. 3. — P. 185;

369. Sofiev, M. Evaluation and forecasting of atmospheric concentrations of allergenic pollen in Europe / M. Sofiev, P. Siljamo, H. Ranta [et. al.] // Poster presented at the NEESPI Science Team Meeting, IIASA, Laxenburg, Austria. — 2006. — P. 22;

370. Sommer, J. Risk of exposure to airborne *Ambrosia* pollen from local and distant sources in Europe-an example from Denmark / J. Sommer, M. Smith, B. Sikoparija [et. al.] // Annals of Agricultural and Environmental Medicine. — 2015. — V. 22. — №. 4;

371. Soreng, R. J. A worldwide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae) III: An update / R. J., Soreng, P. M. Peterson, F. O. Zuloaga [et. al.] // Journal of Systematics and Evolution. — 2022. — V. 60. — №. 3. — P. 476;

372. Speranskaya, A. S. Comparative analysis of Illumina and Ion Torrent high-throughput sequencing platforms for identification of plant components in herbal teas / A. S. Speranskaya, K. Khafizov, A. A. Ayginin [et. al.] // Food control. — 2018. — V. 93. — P. 315;

373. Spieksma, F. T. M. Atmospheric birch (*Betula*) pollen in Europe: Trends and fluctuations in annual quantities and the starting dates of the seasons / F. T. M. Spieksma, J. C. Emberlin, M. Hjelmroos [et. al.] // Grana. — 1995. — V. 34. — №. 1. — P. 51;

374. Steckling-Muschack, N. A systematic review of threshold values of pollen concentrations for symptoms of allergy / N. Steckling-Muschack, H. Mertes, I. Mittermeier [et. al.] // Aerobiologia. — 2021. — V. 37. — №. 3. — P. 395;

375. Reddi, C. S. Pollen production in some anemophilous angiosperms / C. S. Reddi, N. S. Reddi // Grana. — 1986. — V. 25. — №. 1. — P. 55;

376. Suphioglu, C. Mechanism of grass-pollen-induced asthma / C. Suphioglu, M. B. Singh, P. Taylor [et. al.] // The Lancet. — 1992. — V. 339. — №. 8793. — P. 569;

377. Tan, R. X. Biologically active substances from the genus *Artemisia* / R. X. Tan, W. F. Zheng, H. Q. Tang // Planta medica. — 1998. — V. 64. — №. 04. — P. 295;

378. Tang, R. *Artemisia* allergy research in China / R. Tang, J. L. Sun, J. Yin, Z. Li // BioMed Research International. — 2015. — V. 2015. — №. 1. — P. 179426;

379. Thibaudon, M. Ragweed pollen in France: origin, diffusion, exposure / M. Thibaudon, C. Hamberger, L. Guilloux, R. Massot // *European annals of allergy and clinical immunology*. — 2010. — V. 42. — №. 6. — P. 209;

380. Thibaudon, M. IRS (International Ragweed Society), an international tool to help *Ambrosia management* // M. Thibaudon, R. Albertini, M. Bonini [et. al.] / *World Allergy Organization Journal*. — 2020. — V. 13. — №. 8;

381. Tormo, R. Phenological records as a complement to aerobiological data / R. Tormo, I. Silva, A. Gonzalo [et. al.] // *International Journal of Biometeorology*. — 2011. — V. 55. — P. 51;

382. Tormo-Molina, R. Flower production and phenology in *Dactylis glomerata* / R. Tormo-Molina, J. M. Maya-Manzano, I. Silva-Palacios [et. al.] // *Aerobiologia*. — 2015. — V. 31. — P. 469;

383. Tosi, A. Time lag between *Ambrosia* sensitisation and *Ambrosia* allergy / A. Tosi, M. Bonini, B. Wüthrich, B. Pietragalla-Koehler // *Swiss medical weekly*. — 2011. — V. 141. — №. 3940. — P. w13253;

384. Totland, D. Pollen limitation of reproductive success in two sympatric alpine willows (Salicaceae) with contrasting pollination strategies / D. Totland, M. Sottocornola // *American Journal of Botany*. — 2001. — V. 88. — №. 6. — P. 1011;

385. Tseng, Y. T. Algorithm for forecasting the total amount of airborne birch pollen from meteorological conditions of previous years / Y. T. Tseng, S. Kawashima, S. Kobayashi [et. al.] // *Agricultural and Forest Meteorology*. — 2018. — V. 249. — P. 35;

386. Viander, M. The seasonal symptoms of hyposensitized and untreated hay fever patients in relation to birch pollen counts: correlations with nasal sensitivity, prick tests and RAST / M. Viander, A. Koivikko // *Clinical & Experimental Allergy*. — 1978. — V. 8. — №. 4. — P. 387;

387. Voukantsis, D. Forecasting daily pollen concentrations using data-driven modeling methods in Thessaloniki, Greece / D. Voukantsis, H. Niska, K.

Karatzas [et. al.] // Atmospheric Environment. — 2010. — V. 44. — №. 39. — P. 5101;

388. Wang, A. Evaluation of six candidate DNA barcode loci for identification of five important invasive grasses in eastern Australia / A. Wang, D. Gopurenko, H. Wu, B. Lepschi // PloS one. — 2017. — V. 12. — №. 4. — P. e0175338;

389. Weber, R. W. Patterns of pollen cross-allergenicity / R. W. Weber // Journal of allergy and clinical immunology. — 2003. — V. 112. — №. 2. — P. 229;

390. De Weger, L. A. Impact of pollen / L. A. De Weger, K. C. Bergmann, A. -Lehtimäki [et. al.] // Allergenic pollen: A review of the production, release, distribution and health impacts. — 2013. — P. 161;

391. Weryszko-Chmielewska, E. Comparative analysis of pollen counts of *Corylus*, *Alnus* and *Betula* in Szczecin, Warsaw and Lublin [2000-2001] / E. Weryszko-Chmielewska, M. Puc, P. Rapiejko // Annals of Agricultural and Environmental Medicine. — 2001. — V. 8. — №. 2;

392. Williams, R. H. Methods for integrated air sampling and DNA analysis for detection of airborne fungal spores / R. H. Williams, E. Ward, H. A. McCartney // Applied and environmental microbiology. — 2001. — V. 67. — №. 6. — P. 2453;

393. Wopfner, N. Calcium-binding proteins and their role in allergic diseases / N. Wopfner, O. Dissertori, F. Ferreira, P. Lackner // Immunology and allergy clinics of North America. — 2007. — V. 27. — №. 1. — P. 29;

394. Wopfner, N. The spectrum of allergens in ragweed and mugwort pollen / N. Wopfner, G. Gadermaier, M. Egger [et. al.] // International archives of allergy and immunology. — 2005. — V. 138. — №. 4. — P. 337;

395. Yli-Panula, E. Analysis of airborne betula pollen in Finland; a 31-year perspective / E. Yli-Panula, D. B. Fekedulegn, B. J. Green, H. Ranta // International journal of environmental research and public health. — 2009. — V. 6. — №. 6. — P. 1706;

396. Zaum [Electronic resource]. — URL: <https://www.zaum-online.de/pollen/pollen-monitoring-map-of-the-world.html> (date of the application: 15.06.2024);

397. Zeghnoun, A. Short-term effects of airborne pollen on the risk of allergic rhinoconjunctivitis / A. Zeghnoun, C. Ravault, B. Fabres [et. al.] // Archives of Environmental & Occupational Health. — 2005. — V. 60. — №. 3. — P. 170;

398. Zemmer, F. Inhalant Allergen Sensitization and Symptoms in Istanbul / F. Zemmer, C. Evren, A. Dahl [et. al.] // In 7th European Symposium on Aerobiology. Bioaerosols and Environmental Impacts. — Cordoba. — 2020. — P. 113;

399. Ziska, L. H. Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis / L. H. Ziska, L. Makra, S. K. Harry [et. al.] // The Lancet Planetary Health. — 2019. — V. 3. — №. 3. — P. e124.

Таблица 1. Характеристика пыления основных таксонов пыльцевого спектра г. Рязани (2015-2023 гг.)

| Год            | Первое<br>появление<br>пыльцы<br>(дата) | ОПП<br>(начало-<br>окончание) | Продолжительность<br>ОПП (дни) | Пик<br>пыления<br>(дата) | Максимальное<br>суточное<br>содержание<br>(п.з./м <sup>3</sup> ) | Сумма<br>за сезон | Последнее<br>появление<br>пыльцы<br>(дата) |
|----------------|-----------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------|
| 1              | 2                                       | 3                             | 4                              | 5                        | 6                                                                | 7                 | 8                                          |
| <i>Alnus</i>   |                                         |                               |                                |                          |                                                                  |                   |                                            |
| 2016           | 14.03                                   | 29.03-18.04                   | 21                             | 04.04                    | 312                                                              | 1 750             | 19.06                                      |
| 2017           | 01.03                                   | 23.03-11.04                   | 20                             | 24.03                    | 121                                                              | 2 107             | 26.09                                      |
| 2018           | 20.03                                   | 20.03-07.04                   | 14                             | 07.04                    | 250                                                              | 990               | 11.09                                      |
| 2019           | 14.03                                   | 21.03-23.04                   | 34                             | 31.03                    | 2037                                                             | 10 014            | 23.09                                      |
| 2020           | 21.02                                   | 25.02-23.04                   | 58                             | 12.03                    | 134                                                              | 1 070             | 22.09                                      |
| 2021           | 07.03                                   | 01.04-19.04                   | 19                             | 04.04                    | 897                                                              | 3 561             | 21.09                                      |
| 2022           | 21.02                                   | 26.03-21.04                   | 27                             | 15.04                    | 858                                                              | 3 096             | 23.08                                      |
| 2023           | 13.03                                   | 25.03-12.04                   | 19                             | 24.03                    | 257                                                              | 1 159             | 01.10                                      |
| <i>Corylus</i> |                                         |                               |                                |                          |                                                                  |                   |                                            |
| 2016           | 18.03                                   | 31.03-18.05                   | 49                             | 06.04                    | 34                                                               | 175               | 15.09                                      |
| 2017           | 01.03                                   | 06.03-21.04                   | 47                             | 24.03                    | 18                                                               | 117               | 29.08                                      |
| 2018           | 23.03                                   | 07.04-24.04                   | 18                             | 16.04                    | 60                                                               | 255               | 30.08                                      |
| 2019           | 13.03                                   | 27.03-01.05                   | 36                             | 31.03                    | 217                                                              | 763               | 10.09                                      |
| 2020           | 20.02                                   | 03.03-15.05                   | 74                             | 12.03                    | 172                                                              | 625               | 21.08                                      |
| 2021           | 03.03                                   | 02.04-06.05                   | 34                             | 02.04                    | 149                                                              | 750               | 26.08                                      |
| 2022           | 21.02                                   | 26.03-01.05                   | 37                             | 08.04                    | 64                                                               | 480               | 22.09                                      |
| 2023           | 13.03                                   | 23.03-25.04                   | 34                             | 02.04                    | 17                                                               | 196               | 23.09                                      |

## Продолжение таблицы 1

| 1              | 2     | 3           | 4  | 5     | 6      | 7      | 8     |
|----------------|-------|-------------|----|-------|--------|--------|-------|
| <i>Betula</i>  |       |             |    |       |        |        |       |
| 2015           | 07.04 | 28.04-13.05 | 16 | 09.05 | 8671   | 23 363 | 22.09 |
| 2016           | 15.03 | 14.04-11.05 | 28 | 25.04 | 4 922  | 28 985 | 20.09 |
| 2017           | 13.04 | 13.04-25.05 | 43 | 03.05 | 2 403  | 10 589 | 02.10 |
| 2018           | 19.03 | 27.04-14.05 | 18 | 30.04 | 3 844  | 29 421 | 29.09 |
| 2019           | 15.03 | 23.04-09.05 | 17 | 26.04 | 6 190  | 30 355 | 02.10 |
| 2020           | 22.02 | 22.04-12.05 | 21 | 03.05 | 2 950  | 12 625 | 29.09 |
| 2021           | 29.03 | 18.04-12.05 | 25 | 23.04 | 1 761  | 12 441 | 26.09 |
| 2022           | 22.02 | 24.04-18.05 | 25 | 26.04 | 8 146  | 53 964 | 02.10 |
| 2023           | 14.03 | 15.04-07.05 | 23 | 23.04 | 12 647 | 82 320 | 02.10 |
| <i>Acer</i>    |       |             |    |       |        |        |       |
| 2015           | 08.04 | 25.04-21.05 | 27 | 28.04 | 139    | 226    | 01.06 |
| 2016           | 09.04 | 19.04-01.05 | 13 | 19.04 | 497    | 1335   | 27.05 |
| 2017           | 11.04 | 25.04-15.05 | 21 | 02.04 | 233    | 1150   | 24.06 |
| 2018           | 25.04 | 28.04-09.05 | 12 | 29.04 | 356    | 1993   | 14.06 |
| 2019           | 22.05 | 24.05-04.06 | 12 | 29.05 | 275    | 1308   | 03.08 |
| 2020           | 31.03 | 12.04-13.05 | 32 | 22.04 | 271    | 2009   | 07.06 |
| 2021           | 15.04 | 19.04-08.05 | 20 | 23.04 | 500    | 1912   | 17.05 |
| 2022           | 12.04 | 26.04-31.05 | 36 | 28.04 | 303    | 1667   | 29.08 |
| 2023           | 12.04 | 16.04-05.05 | 20 | 18.04 | 375    | 1654   | 19.09 |
| <i>Populus</i> |       |             |    |       |        |        |       |
| 2015           | 08.04 | 11.04-28.04 | 18 | 13.04 | 211    | 937    | 13.06 |
| 2016           | 30.03 | 09.4-21.04  | 13 | 14.04 | 156    | 791    | 12.05 |
| 2017           | 23.03 | 04.04-31.05 | 58 | 20.05 | 46     | 483    | 28.06 |

## Продолжение таблицы 1

| 1              | 2     | 3           | 4  | 5     | 6   | 7    | 8     |
|----------------|-------|-------------|----|-------|-----|------|-------|
| 2018           | 13.04 | 16.04-10.05 | 25 | 21.04 | 196 | 889  | 25.06 |
| 2019           | 09.06 | 16.06-28.06 | 13 | 20.06 | 932 | 4688 | 11.08 |
| 2020           | 26.02 | 19.03-22.04 | 35 | 28.03 | 324 | 1806 | 03.07 |
| 2021           | 10.04 | 10.04-23.04 | 14 | 17.04 | 146 | 913  | 06.05 |
| 2022           | 05.04 | 10.04-08.05 | 29 | 12.04 | 361 | 1852 | 26.07 |
| 2023           | 24.03 | 06.04-24.04 | 19 | 10.04 | 245 | 1948 | 17.07 |
| <i>Salix</i>   |       |             |    |       |     |      |       |
| 2015           | 11.04 | 14.04-17.05 | 34 | 24.04 | 39  | 375  | 13.06 |
| 2016           | 30.03 | 15.04-12.05 | 28 | 01.05 | 184 | 1411 | 02.06 |
| 2017           | 02.04 | 11.04-25.05 | 45 | 03.05 | 312 | 1319 | 13.09 |
| 2018           | 15.04 | 21.04-29.05 | 39 | 06.05 | 162 | 1452 | 02.07 |
| 2019           | 31.03 | 20.04-11.05 | 22 | 28.04 | 456 | 2184 | 15.08 |
| 2020           | 28.02 | 02.04-20.05 | 49 | 05.05 | 104 | 1124 | 15.07 |
| 2021           | 11.04 | 14.04-20.05 | 37 | 06.05 | 102 | 1270 | 05.06 |
| 2022           | 08.04 | 21.04-10.06 | 51 | 09.05 | 217 | 1962 | 04.08 |
| 2023           | 08.04 | 12.04-29.05 | 48 | 13.04 | 127 | 1351 | 08.09 |
| <i>Quercus</i> |       |             |    |       |     |      |       |
| 2015           | 28.04 | 28.04-23.05 | 26 | 13.05 | 55  | 209  | 06.06 |
| 2016           | 04.05 | 07.05-27.05 | 21 | 08.05 | 90  | 582  | 23.06 |
| 2017           | 26.04 | 03.05-21.06 | 31 | 16.05 | 113 | 673  | 12.09 |
| 2018           | 06.04 | 05.05-19.05 | 15 | 06.05 | 162 | 1047 | 16.07 |
| 2019           | 25.04 | 06.05-16.05 | 11 | 06.05 | 230 | 1014 | 17.06 |
| 2020           | 17.04 | 20.04-25.05 | 36 | 07.05 | 406 | 1063 | 06.08 |
| 2021           | 23.04 | 26.04-23.05 | 28 | 15.05 | 428 | 1968 | 31.05 |

## Продолжение таблицы 1

| 1               | 2     | 3           | 4  | 5               | 6    | 7    | 8     |
|-----------------|-------|-------------|----|-----------------|------|------|-------|
| 2022            | 01.05 | 08.05-13.06 | 37 | 18.05           | 156  | 1384 | 27.08 |
| 2023            | 14.04 | 28.04-19.05 | 22 | 03.05           | 262  | 839  | 24.07 |
| <i>Fraxinus</i> |       |             |    |                 |      |      |       |
| 2015            | 13.04 | 30.04-08.05 | 9  | 30.04           | 471  | 649  | 22.05 |
| 2016            | 15.04 | 25.04-04.05 | 10 | 30.04           | 265  | 938  | 20.05 |
| 2017            | 02.04 | 12.04-06.05 | 25 | 02.05           | 130  | 664  | 26.05 |
| 2018            | 11.04 | 01.05-11.05 | 11 | 01.05           | 144  | 762  | 30.06 |
| 2019            | 08.04 | 25.04-05.05 | 11 | 27.04           | 424  | 1186 | 24.05 |
| 2020            | 10.03 | 27.04-11.05 | 15 | 05.05           | 178  | 609  | 19.05 |
| 2021            | 22.04 | 23.04-19.05 | 27 | 18.05           | 51   | 502  | 19.05 |
| 2022            | 08.04 | 29.04-15.05 | 17 | 08.05           | 59   | 338  | 19.06 |
| 2023            | 02.04 | 15.04-14.05 | 30 | 25.04           | 48   | 254  | 19.06 |
| <i>Ulmus</i>    |       |             |    |                 |      |      |       |
| 2015            | 11.04 | 13.04-28.04 | 16 | 23.04           | 35   | 185  | 28.04 |
| 2016            | 07.04 | 09.04-01.05 | 23 | 13.04           | 65   | 225  | 23.05 |
| 2017            | 02.04 | 11.04-05.05 | 25 | 13.04           | 52   | 321  | 28.06 |
| 2018            | 10.04 | 20.04-03.05 | 14 | 21.04           | 236  | 598  | 16.07 |
| 2019            | 08.04 | 10.04-29.04 | 20 | 22.04           | 68   | 390  | 20.07 |
| 2020            | 07.03 | 28.03-21.04 | 25 | 30.03           | 141  | 667  | 31.08 |
| 2021            | 07.04 | 15.04-18.04 | 4  | 16.04           | 1245 | 1759 | 01.05 |
| 2022            | 05.04 | 09.04-30.04 | 22 | 16.04           | 81   | 364  | 11.06 |
| 2023            | 26.03 | 08.04-24.04 | 17 | 11.04,<br>12.04 | 91   | 459  | 18.07 |

## Продолжение таблицы 1

| 1                | 2     | 3           | 4  | 5     | 6    | 7     | 8     |
|------------------|-------|-------------|----|-------|------|-------|-------|
| <i>Pinus</i>     |       |             |    |       |      |       |       |
| 2015             | 14.04 | 21.05-12.06 | 23 | 22.05 | 255  | 1705  | 19.09 |
| 2016             | 18.03 | 13.05-01.06 | 20 | 19.05 | 372  | 1472  | 17.09 |
| 2017             | 20.03 | 25.05-18.06 | 25 | 30.05 | 1171 | 4915  | 22.09 |
| 2018             | 22.03 | 16.05-02.06 | 18 | 21.05 | 2188 | 6868  | 13.09 |
| 2019             | 16.03 | 14.05-29.05 | 16 | 17.05 | 1220 | 7169  | 29.09 |
| 2020             | 20.02 | 26.05-05.06 | 11 | 29.05 | 1699 | 3604  | 27.09 |
| 2021             | 12.04 | 18.05-03.06 | 17 | 19.05 | 2409 | 4551  | 07.08 |
| 2022             | 14.04 | 31.05-22.06 | 23 | 06.06 | 1340 | 6454  | 23.09 |
| 2023             | 13.03 | 17.05-13.06 | 28 | 19.05 | 827  | 3609  | 27.09 |
| <i>Poaceae</i>   |       |             |    |       |      |       |       |
| 2015             | 22.05 | 06.06-21.08 | 77 | 01.07 | 65   | 815   | 27.09 |
| 2016             | 19.05 | 30.05-02.08 | 65 | 25.06 | 105  | 1 460 | 22.09 |
| 2017             | 03.05 | 18.06-23.08 | 67 | 11.07 | 206  | 2 699 | 01.10 |
| 2018             | 03.05 | 31.05-16.08 | 78 | 17.07 | 95   | 2 114 | 28.09 |
| 2019             | 12.05 | 28.05-26.08 | 91 | 12.06 | 93   | 1 347 | 01.10 |
| 2020             | 24.05 | 07.06-07.08 | 62 | 13.07 | 194  | 3 625 | 29.09 |
| 2021             | 17.05 | 28.05-08.08 | 73 | 07.07 | 156  | 1 930 | 29.09 |
| 2022             | 31.05 | 11.06-12.08 | 63 | 07.07 | 168  | 2 888 | 29.09 |
| 2023             | 20.05 | 01.06-30.08 | 91 | 22.06 | 98   | 2 514 | 27.09 |
| <i>Artemisia</i> |       |             |    |       |      |       |       |
| 2015             | 28.07 | 27.07-26.09 | 62 | 08.08 | 359  | 3 347 | 27.09 |
| 2016             | 10.07 | 27.07-25.08 | 30 | 04.08 | 254  | 2 575 | 25.09 |
| 2017             | 11.06 | 26.07-22.08 | 28 | 05.08 | 379  | 4 593 | 29.09 |

## Продолжение таблицы 1

| 1                     | 2     | 3           | 4  | 5               | 6   | 7     | 8     |
|-----------------------|-------|-------------|----|-----------------|-----|-------|-------|
| 2018                  | 20.06 | 26.07-10.09 | 47 | 01.08           | 240 | 2 261 | 05.10 |
| 2019                  | 19.06 | 27.07-12.09 | 48 | 09.08           | 191 | 2 282 | 30.09 |
| 2020                  | 22.06 | 29.07-18.09 | 52 | 09.08           | 178 | 2 194 | 29.09 |
| 2021                  | 02.06 | 25.07-30.08 | 37 | 07.08           | 126 | 1 582 | 28.09 |
| 2022                  | 09.06 | 29.07-01.09 | 35 | 06.08           | 203 | 2 810 | 03.10 |
| 2023                  | 22.05 | 25.07-24.09 | 62 | 08.08           | 155 | 2 116 | 03.10 |
| <i>Ambrosia</i>       |       |             |    |                 |     |       |       |
| 2015                  | 26.07 | 26.08-27.09 | 33 | 17.09           | 25  | 116   | 27.09 |
| 2016                  | 04.07 | 16.08-02.09 | 18 | 21.08           | 24  | 162   | 25.09 |
| 2017                  | 20.07 | 21.08-18.09 | 29 | 11.09           | 91  | 387   | 25.09 |
| 2018                  | 02.07 | 14.08-13.09 | 31 | 29.08           | 50  | 283   | 27.09 |
| 2019                  | 16.07 | 14.08-15.09 | 33 | 15.08           | 118 | 404   | 17.10 |
| 2020                  | 07.07 | 22.08-28.09 | 38 | 31.08           | 349 | 914   | 28.09 |
| 2021                  | 02.07 | 18.08-19.09 | 33 | 30.08           | 61  | 243   | 28.09 |
| 2022                  | 01.07 | 19.08-19.09 | 32 | 19.09           | 22  | 228   | 29.09 |
| 2023                  | 07.07 | 30.08-26.09 | 28 | 02.10           | 70  | 363   | 03.10 |
| <i>Chenopodiaceae</i> |       |             |    |                 |     |       |       |
| 2015                  | 16.04 | 26.06-26.09 | 93 | 27.07           | 13  | 280   | 27.09 |
| 2016                  | 15.06 | 12.07-29.08 | 49 | 24.08           | 58  | 396   | 23.09 |
| 2017                  | 02.05 | 14.07-17.09 | 66 | 15.07           | 17  | 201   | 20.09 |
| 2018                  | 16.04 | 27.07-11.09 | 77 | 29.08,<br>30.08 | 26  | 417   | 24.09 |
| 2019                  | 10.06 | 26.06-05.09 | 72 | 09.08           | 15  | 271   | 29.09 |
| 2020                  | 18.04 | 05.07-19.09 | 77 | 01.09           | 20  | 338   | 30.09 |

## Продолжение таблицы 1

| 1               | 2     | 3           | 4  | 5                                   | 6  | 7   | 8     |
|-----------------|-------|-------------|----|-------------------------------------|----|-----|-------|
| 2021            | 24.06 | 09.07-31.08 | 54 | 08.08                               | 66 | 521 | 18.09 |
| 2022            | 27.07 | 11.07-01.09 | 53 | 29.08                               | 43 | 669 | 21.09 |
| 2023            | 13.06 | 06.07-21.09 | 78 | 27.07                               | 34 | 480 | 01.10 |
| <i>Plantago</i> |       |             |    |                                     |    |     |       |
| 2015            | 01.06 | 10.06-10.08 | 62 | 26.06                               | 21 | 129 | 26.08 |
| 2016            | 23.05 | 08.06-09.08 | 62 | 06.07                               | 44 | 325 | 04.09 |
| 2017            | 02.05 | 24.05-23.08 | 92 | 11.07                               | 19 | 194 | 18.09 |
| 2018            | 07.05 | 29.05-14.08 | 78 | 27.07                               | 13 | 161 | 30.08 |
| 2019            | 05.05 | 08.06-27.07 | 50 | 19.06                               | 17 | 148 | 22.08 |
| 2020            | 30.05 | 16.06-22.08 | 68 | 21.06,<br>25.06                     | 25 | 239 | 06.09 |
| 2021            | 11.06 | 15.06-31.07 | 47 | 24.06                               | 19 | 144 | 19.08 |
| 2022            | 03.06 | 05.06-23.08 | 80 | 04.07                               | 24 | 310 | 06.09 |
| 2023            | 13.05 | 15.06-28.08 | 75 | 22.07                               | 16 | 278 | 18.09 |
| <i>Rumex</i>    |       |             |    |                                     |    |     |       |
| 2015            | 22.05 | 02.06-10.08 | 70 | 12.06,<br>14.06,<br>18.06,<br>22.06 | 7  | 112 | 13.09 |
| 2016            | 16.05 | 28.05-24.08 | 88 | 02.07                               | 18 | 292 | 15.09 |
| 2017            | 02.05 | 06.06-06.08 | 62 | 17.06                               | 10 | 153 | 27.08 |
| 2018            | 11.05 | 28.05-28.07 | 62 | 27.07                               | 11 | 147 | 04.09 |
| 2019            | 21.05 | 31.05-22.08 | 84 | 08.06                               | 8  | 120 | 01.10 |
| 2020            | 10.05 | 31.05-29.07 | 60 | 20.06                               | 27 | 335 | 03.09 |

## Продолжение таблицы 1

| 1             | 2     | 3           | 4  | 5     | 6    | 7     | 8     |
|---------------|-------|-------------|----|-------|------|-------|-------|
| 2021          | 25.05 | 07.06-12.07 | 36 | 28.06 | 15   | 129   | 16.07 |
| 2022          | 30.05 | 11.06-13.08 | 64 | 05.07 | 25   | 297   | 19.09 |
| 2023          | 14.05 | 26.05-11.08 | 78 | 10.06 | 17   | 286   | 04.09 |
| <i>Urtica</i> |       |             |    |       |      |       |       |
| 2015          | 22.05 | 23.06-13.08 | 52 | 26.07 | 966  | 15935 | 27.09 |
| 2016          | 28.05 | 18.06-21.08 | 65 | 21.06 | 1003 | 22761 | 25.09 |
| 2017          | 23.05 | 30.06-14.08 | 46 | 15.07 | 1009 | 20659 | 30.09 |
| 2018          | 04.05 | 21.06-14.08 | 55 | 23.06 | 625  | 15013 | 28.09 |
| 2019          | 05.05 | 17.06-20.08 | 65 | 02.07 | 596  | 14322 | 29.09 |
| 2020          | 07.05 | 25.06-18.08 | 55 | 09.07 | 1319 | 26617 | 01.10 |
| 2021          | 15.05 | 19.06-12.08 | 55 | 21.06 | 720  | 22251 | 28.09 |
| 2022          | 31.05 | 24.06-16.08 | 54 | 25.07 | 935  | 22925 | 02.10 |
| 2023          | 01.05 | 28.06-21.08 | 55 | 22.07 | 1090 | 20859 | 30.09 |

## Приложение Б

Таблица 1. Сопоставление частоты поисковых запросов с концентрацией пыльцы в воздухе, 2022 г.

| Alnus            |                            |                         |            |            |                      |
|------------------|----------------------------|-------------------------|------------|------------|----------------------|
| Период           | Сумма пз ольхи<br>(пз/м³)  | Число запросов в неделю |            |            |                      |
|                  |                            | «Ольха                  | «Поллиноз» | «Аллергия» | «Не хватает воздуха» |
| 1                | 2                          | 3                       | 4          | 5          | 6                    |
| 21-27.02.2022    | 9                          | 349                     | 27         | 3256       | 127                  |
| 28.02-06.03.22   | 4                          | 377                     | 41         | 3244       | 125                  |
| 07.03-13.03.22   | 2                          | 428                     | 64         | 3295       | 85                   |
| 14-20.03.2022    | 9                          | 427                     | 49         | 3325       | 91                   |
| 21-27.03.2022    | 518                        | 486                     | 32         | 3528       | 101                  |
| 28.03-03.04.2022 | 97                         | 622                     | 87         | 3553       | 101                  |
| 04-10.04.2022    | 510                        | 574                     | 83         | 3757       | 137                  |
| 11-17.04.2022    | 1749                       | 607                     | 144        | 4124       | 91                   |
| 18-24.04.2022    | 89                         | 474                     | 87         | 3695       | 110                  |
| r                |                            | 0,61025                 | 0,738704   | 0,867891   | -0,2108              |
| p                |                            | 0,080944                | 0,022998   | 0,002419   |                      |
| Betula           |                            |                         |            |            |                      |
| Период           | Сумма пз березы<br>(пз/м³) | Число запросов в неделю |            |            |                      |
|                  |                            | «Пыльца березы»         | «Поллиноз» | «Аллергия» | «Не хватает воздуха» |

Продолжение таблицы 1

| 1                | 2     | 3               | 4               | 5               | 6               |
|------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 21-27.02.2022    | 2     | 13              | 27              | 3256            | 127             |
| 28.02-06.03.22   | 22    | 27              | 41              | 3244            | 125             |
| 07.03-13.03.22   | 16    | 48              | 64              | 3295            | 85              |
| 14-20.03.2022    | 13    | 22              | 49              | 3325            | 91              |
| 21-27.03.2022    | 5     | 13              | 32              | 3528            | 101             |
| 28.03-03.04.2022 | 1     | 17              | 87              | 3553            | 101             |
| 04-10.04.2022    | 36    | 25              | 83              | 3757            | 137             |
| 11-17.04.2022    | 47    | 36              | 144             | 4124            | 91              |
| 18-24.04.2022    | 2731  | 32              | 87              | 3695            | 110             |
| 25.04-01.05.2022 | 19498 | 85              | 267             | 5611            | 74              |
| 02-08.05.2022    | 18714 | 99              | 344             | 6213            | 103             |
| 09-15.05.2022    | 9090  | 82              | 190             | 4328            | 125             |
| 16-22.05.2022    | 1960  | 32              | 97              | 3805            | 74              |
| 23-29.05.2022    | 923   | 20              | 129             | 4118            | 86              |
| 30.05-05.06.2022 | 119   | 25              | 70              | 3918            | 74              |
| 06-12.06.2022    | 121   | 3               | 77              | 4403            | 70              |
| 13-19.06.2022    | 94    | 6               | 63              | 4669            | 84              |
| 20-26.06.2022    | 57    | 4               | 63              | 4029            | 98              |
| <b>r</b>         |       | <b>0,888841</b> | <b>0,926263</b> | <b>0,846953</b> | <b>-0,06272</b> |

Продолжение таблицы 1

| 1                | 2                                       | 3                       | 4          | 5          | 6                    |
|------------------|-----------------------------------------|-------------------------|------------|------------|----------------------|
| р                |                                         | 8,23E-07                | 3,48E-08   | 9,26E-06   |                      |
| <i>Рoaccae</i>   |                                         |                         |            |            |                      |
| Период           | Сумма пз злаков<br>(пз/м <sup>3</sup> ) | Число запросов в неделю |            |            |                      |
|                  |                                         | «Злаки»                 | «Поллиноз» | «Аллергия» | «Не хватает воздуха» |
| 30.05-05.06.2022 | 36                                      | 214                     | 70         | 3 918      | 74                   |
| 06-12.06.2022    | 205                                     | 315                     | 77         | 4 403      | 70                   |
| 13-19.06.2022    | 349                                     | 267                     | 63         | 4 669      | 84                   |
| 20-26.06.202     | 320                                     | 193                     | 63         | 4 029      | 98                   |
| 27.06-03.07.2022 | 504                                     | 307                     | 100        | 4 000      | 90                   |
| 04-10.07.2022    | 657                                     | 223                     | 54         | 3 660      | 109                  |
| 11-17.07.2022    | 345                                     | 172                     | 15         | 3 391      | 83                   |
| 18-24.07.2022    | 135                                     | 247                     | 37         | 2 947      | 76                   |
| 25-31.07.2022    | 124                                     | 201                     | 29         | 3 284      | 99                   |
| 01.08-07.08.2022 | 57                                      | 146                     | 78         | 3852       | 69                   |
| 08.08-14.08.2022 | 29                                      | 152                     | 37         | 3450       | 100                  |
| 15.08-21.08.2022 | 36                                      | 164                     | 50         | 3564       | 79                   |
| 22.08-28.08.2022 | 48                                      | 162                     | 42         | 3365       | 65                   |
| 29.08-04.09.2022 | 21                                      | 172                     | 26         | 2920       | 87                   |

Продолжение таблицы 1

| 1                | 2                          | 3                       | 4                  | 5                  | 6                    |
|------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| <b>r</b>         |                            | <b>0,515811191</b>      | <b>0,294897962</b> | <b>0,374060107</b> | <b>0,364992448</b>   |
| <b>p</b>         |                            | 0,059024                | 0,45133            | 0,31951            | 0,15359              |
| <i>Artemisia</i> |                            |                         |                    |                    |                      |
| Период           | Сумма пз полыни<br>(пз/м3) | Число запросов в неделю |                    |                    |                      |
|                  |                            | «Полынь»                | «Поллиноз»         | «Аллергия»         | «Не хватает воздуха» |
| 18-24.07.2022    | 16                         | 794                     | 37                 | 2947               | 76                   |
| 25-31.07.2022    | 219                        | 797                     | 29                 | 3284               | 99                   |
| 01.08-07.08.2022 | 839                        | 939                     | 78                 | 3852               | 70                   |
| 08-14.08.2022    | 427                        | 879                     | 37                 | 3450               | 104                  |
| 15-21.08.2022    | 542                        | 737                     | 50                 | 3564               | 79                   |
| 22-28.08.2022    | 479                        | 707                     | 42                 | 3365               | 67                   |
| 29.08-04.09.2022 | 155                        | 497                     | 26                 | 2920               | 92                   |
| 05-11.09.2022    | 20                         | 446                     | 15                 | 2858               | 108                  |
| 12-18.09.2022    | 60                         | 438                     | 33                 | 2700               | 133                  |
| 19-25.09.2022    | 24                         | 495                     | 28                 | 2595               | 106                  |
| 26.09-02.10.2022 | 2                          | 522                     | 36                 | 2564               | 101                  |
| <b>r</b>         |                            | <b>0,736795</b>         | <b>0,846557</b>    | <b>0,943492</b>    | -0,61186             |
| <b>p</b>         |                            | 0,001014                | 1,31E-05           | 0,009695           |                      |

## Продолжение таблицы 1

| 1                | 2                                         | 3                       | 4               | 5               | 6                    |
|------------------|-------------------------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|
| <i>Ambrosia</i>  |                                           |                         |                 |                 |                      |
| Период           | Сумма пз амброзии<br>(пз/м <sup>3</sup> ) | Число запросов в неделю |                 |                 |                      |
|                  |                                           | «Амброзия»              | «Поллиноз»      | «Аллергия»      | «Не хватает воздуха» |
| 15-21.08.2022    | 23                                        | 338                     | 50              | 3564            | 79                   |
| 22-28.08.2022    | 84                                        | 596                     | 42              | 3365            | 67                   |
| 29.08-04.09.2022 | 46                                        | 312                     | 26              | 2920            | 92                   |
| 05-11.09.2022    | 14                                        | 163                     | 15              | 2858            | 108                  |
| 12-18.09.2022    | 17                                        | 145                     | 33              | 2700            | 133                  |
| 19-25.09.2022    | 23                                        | 69                      | 28              | 2595            | 106                  |
| 26.09-02.10.2022 | 2                                         | 88                      | 36              | 2564            | 101                  |
| <b>r</b>         |                                           | <b>0,903246</b>         | <b>0,264757</b> | <b>0,562805</b> | <b>-0,68083</b>      |
| <b>p</b>         |                                           | 0,005306                | 0,18838         | 0,005306        |                      |

Таблица 2. Сопоставление частоты поисковых запросов с концентрацией пыльцы в воздухе, 2023 г.

| Alnus            |                            |                         |            |            |                      |
|------------------|----------------------------|-------------------------|------------|------------|----------------------|
| Период           | Сумма пз ольхи<br>(пз/м³)  | Число запросов в неделю |            |            |                      |
|                  |                            | «Ольха»                 | «Поллиноз» | «Аллергия» | «Не хватает воздуха» |
| 1                | 2                          | 3                       | 4          | 5          | 6                    |
| 13-19.03.2023    | 19                         | 500                     | 55         | 3 992      | 102                  |
| 20-26.03.2023    | 523                        | 401                     | 101        | 3 968      | 141                  |
| 27.03-02.04.2023 | 286                        | 553                     | 98         | 3 909      | 128                  |
| 03-09.04.2023    | 225                        | 552                     | 104        | 4 163      | 95                   |
| 10-16.04.2023    | 27                         | 459                     | 172        | 4 915      | 96                   |
| г                |                            | -0,34229                | -0,12971   | -0,53595   | 0,854548             |
| р                |                            |                         |            |            | 0,065118             |
| Betula           |                            |                         |            |            |                      |
| Период           | Сумма пз березы<br>(пз/м³) | Число запросов в неделю |            |            |                      |
|                  |                            | «Пыльца березы»         | «Поллиноз» | «Аллергия» | «Не хватает воздуха» |
| 13-19.03.2023    | 5                          | 13                      | 55         | 3992       | 102                  |
| 20-26.03.2023    | 3                          | 15                      | 101        | 3968       | 141                  |
| 27.03-02.04.2023 | 3                          | 21                      | 98         | 3909       | 128                  |
| 03-09.04.2023    | 6                          | 23                      | 104        | 4163       | 95                   |

Продолжение таблицы 2

| 1                | 2                          | 3                       | 4           | 5           | 6                    |
|------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|-------------|----------------------|
| 10-16.04.2023    | 5767                       | 59                      | 172         | 4915        | 96                   |
| 17-23.04.2023    | 55236                      | 226                     | 616         | 8657        | 113                  |
| 24-30.04.2023    | 15824                      | 156                     | 374         | 6345        | 97                   |
| 01-07.05.2023    | 1409                       | 65                      | 101         | 4267        | 85                   |
| 08-14.05.2023    | 2563                       | 45                      | 117         | 4464        | 56                   |
| 15-21.05.2023    | 450                        | 36                      | 95          | 4522        | 84                   |
| 22-28.05.2023    | 152                        | 32                      | 60          | 4286        | 129                  |
| 29.05-04.06.2023 | 122                        | 20                      | 95          | 4406        | 79                   |
| 05-11.06.2023    | 171                        | 16                      | 94          | 4167        | 99                   |
| 12-18.06.2023    | 111                        | 13                      | 84          | 4406        | 75                   |
| 19-25.06.2023    | 64                         | 11                      | 61          | 3849        | 91                   |
| <b>r</b>         |                            | <b>0,93</b>             | <b>0,97</b> | <b>0,97</b> | 0,1481483            |
| <b>p</b>         |                            | 5,338E-07               | 4,013E-09   | 1,522E-09   |                      |
| <b>Рoaccae</b>   |                            |                         |             |             |                      |
| Период           | Сумма пз злаков<br>(пз/м³) | Число запросов в неделю |             |             |                      |
|                  |                            | «Злаки»                 | «Поллиноз»  | «Аллергия»  | «Не хватает воздуха» |
| 29.05-04.06.2023 | 89                         | 258                     | 95          | 4 406       | 79                   |
| 05-11.06.2023    | 215                        | 232                     | 94          | 4 167       | 99                   |
| 12-18.06.2023    | 235                        | 210                     | 84          | 4 406       | 75                   |

## Продолжение таблицы 2

| 1                | 2                          | 3                       | 4           | 5           | 6                    |
|------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|-------------|----------------------|
| 19-25.06.2023    | 310                        | 230                     | 61          | 3 849       | 91                   |
| 26.06-02.07.2023 | 211                        | 241                     | 37          | 3 592       | 112                  |
| 03-09.07.2023    | 348                        | 167                     | 35          | 3 918       | 106                  |
| 10-16.07.2023    | 266                        | 167                     | 32          | 3 569       | 99                   |
| 17-23.07.2023    | 148                        | 191                     | 25          | 3 286       | 74                   |
| 24-30.07.2023    | 105                        | 160                     | 35          | 3 593       | 108                  |
| 31.07-06.08.2023 | 48                         | 173                     | 48          | 3 894       | 103                  |
| 07.08-13.08.2023 | 27                         | 169                     | 67          | 4 403       | 83                   |
| 14.08-20.08.2023 | 25                         | 168                     | 63          | 3 456       | 93                   |
| 21.08-27.08.2023 | 22                         | 120                     | 29          | 2 966       | 128                  |
| 28.08-03.09.2023 | 13                         | 154                     | 22          | 2 953       | 53                   |
| r                |                            | 0,415722164             | 0,070803796 | 0,296462994 | 0,047224275          |
| p                |                            | 0,22178                 | 0,8789      | 0,57857     | 0,57269              |
| Artemisia        |                            |                         |             |             |                      |
| Период           | Сумма пз полыни<br>(пз/м³) | Число запросов в неделю |             |             |                      |
|                  |                            | «Полынь»                | «Поллиноз»  | «Аллергия»  | «Не хватает воздуха» |
| 10-16.07.2023    | 5                          | 1220                    | 32          | 3569        | 99                   |
| 17-23.07.2023    | 33                         | 967                     | 25          | 3286        | 74                   |
| 24-30.07.2023    | 215                        | 949                     | 35          | 3593        | 108                  |

Продолжение таблицы 2

| 1                | 2                            | 3                       | 4          | 5          | 6                    |
|------------------|------------------------------|-------------------------|------------|------------|----------------------|
| 31.07-06.08.2023 | 663                          | 1068                    | 48         | 3894       | 103                  |
| 07-13.08.2023    | 630                          | 963                     | 67         | 4403       | 85                   |
| 14-20.08.2023    | 207                          | 1083                    | 63         | 3456       | 95                   |
| 21-27.08.2023    | 28                           | 796                     | 29         | 2966       | 135                  |
| r                |                              | 0,714562                | 0,84254    | 0,047145   | -0,19716             |
| p                |                              | 0,071183                | 0,01733    |            |                      |
| Ambrosia         |                              |                         |            |            |                      |
| Период           | Сумма пз амброзии<br>(пз/м³) | Число запросов в неделю |            |            |                      |
|                  |                              | «Амброзия»              | «Поллиноз» | «Аллергия» | «Не хватает воздуха» |
| 28.08-03.09.2023 | 57                           | 162                     | 22         | 2953       | 57                   |
| 04-10.09.2023    | 25                           | 145                     | 16         | 2808       | 84                   |
| 11-17.09.2023    | 7                            | 122                     | 19         | 2733       | 76                   |
| 18-24.09.2023    | 125                          | 118                     | 20         | 3212       | 106                  |
| 25.09-1.10.2023  | 7                            | 104                     | 37         | 2991       | 63                   |
| 02-08.10.2023    | 71                           | 85                      | 30         | 3030       | 77                   |
| r                |                              | -0,18348                | 0,839238   | -0,09372   | 0,636533             |
| p                |                              |                         | 0,036689   |            | 0,17415              |