

УДК 575.224 504.53.054  
AGRIS F40

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/123/05>

## ПЫЛЬЦА СОСНОВЫХ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ АЭРОАЛЛЕРГЕН

©**Кобзарь В. Н.**, ORCID: 0000-0001-9910-0148, SPIN-код: 4669-6355, д-р биол. наук,  
Киргизско-Российский славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан, [kobzarvn@yandex.ru](mailto:kobzarvn@yandex.ru)  
©**Осмонбаева К. Б.**, ORCID: 0000-0001-9606-9392, SPIN-код: 6501-0823, канд. биол. наук,  
Иссык-Кульский государственный университет им. К. Тыныстанова,  
г. Каракол, Кыргызстан, [kymbat\\_desperandum@rambler.ru](mailto:kymbat_desperandum@rambler.ru)

## PINE POLLEN AS A POTENTIAL AIRBORNE ALLERGEN

©**Kobzar V.**, ORCID: 0000-0001-9910-0148, SPIN-code: 4669-6355; Dr. habil.,  
Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyzstan, [kobzarvn@yandex.ru](mailto:kobzarvn@yandex.ru)  
©**Osmonbaeva K.**, ORCID: 0000-0001-9606-9392, SPIN- code: 6501-0823,  
Dr. habil., Issyk-Kul State University named after K. Tynystanov,  
Karakol, Kyrgyzstan, [kymbat\\_desperandum@rambler.ru](mailto:kymbat_desperandum@rambler.ru)

**Аннотация.** Рост больных поллинозами во всем мире актуализирует Международную аэробиологическую ассоциацию (IAA) выпускать два раза в год. Известно, что семейство Pinaceae включает 650 видов, ее пыльца обладает слабо выраженными аллергенными свойствами. Характеристика указанной пыльцы: крупный размер, высокая летучесть благодаря воздушным мешочкам, уникальная палимorfология, высокая пыльцепродукция. Она подвержена влиянию изменения климата и загрязнению антропогенной среды, что выражается в меняющихся сроках фенологии и пыльцепродукции растений и аллергенных свойств, а также в появлении тератоморфов. Цель настоящей статьи – изучить концентрацию пыльцы Pinaceae в воздухе, их интегративный вклад в аэробиологический спектр г. Каракол как потенциальных пыльцевых аллергенов. Воздушная пыльца, относящаяся к семейству Pinaceae, была собрана и идентифицирована в период 3-летней (2015–2017 гг.) программы аэробиологического мониторинга в г. Каракол, Кыргызстан с использованием ловушки Lanzoni VPPS 2000. В течение исследуемого периода были зарегистрированы межгодовые изменения, касающиеся общего годового индекса пыльцы, а также дат начала, пика и окончания пыльцевого сезона. Продолжительность сезона, датирование пиковых дней и максимальные суточные концентрации пыльцевых зёрен в разные годы различались резко, в связи с изменением климата и особенностью пыльцепродукции в разные годы. Пыльца Pinaceae доминировала в пыльцевом спектре древесно-кустарников и варьировала в диапазоне 68–75% от годового суммарного количества пыльцы. Она циркулировала в воздухе г. Каракол все сезоны исследования и составляла от 108 до 130 дней. Суточные пики концентрации пыльцы Pinus выявлены в мае-июне, достигая максимального числа 4259 п.з./см<sup>3</sup>. Среднегодовая концентрация за 3 летний период исследования составила 10555,3 п.з./см<sup>3</sup>. Самый высокий годовой уровень пыльцы Pinus был достигнут в 2016 году (16002 п.з./см<sup>3</sup>), а самый низкий – в экстремально жарком 2015 году (1220 п.з./см<sup>3</sup>). Таким образом, у сосны зафиксирован относительно короткий сезон в сравнении с пыльцой ведущих аэроаллергенов (например, злаков – 171 день), но с высокой концентрацией пыльцы. Высокая концентрация пыльцы Pinus в воздухе г. Каракол и ее перекрестная реактивность с пыльцой других растений позволяют отнести пыльцу Pinaceae к потенциально аллергенной. Крупный размер пыльцы и низкое содержание белков, защищенных восковой оболочкой, являются основными причинами, объясняющими её низкую аллергенность. Под воздействием негативных антропогенных

факторов и изменения климата восковая оболочка разрушается, аллергенные белки раскрываются и легче проникают в слизистые оболочки, провоцируя аллергические реакции.

*Abstract.* The rise in hay fever cases worldwide prompts the International Association of Aerobiology (IAA) to publish the International Aerobiology Newsletter twice a year, announcing international congresses and educational programs for professionals. The Pinaceae family, comprising 650 species, is known to have mildly allergenic pollen. This pollen is characterized by its large size, high volatility due to air sacs, unique palymorphology, and high pollen production. It is susceptible to climate change and environmental pollution, which is reflected in changing timing of plant phenology and pollen production, allergenic properties, and the emergence of teratomorphs. The purpose is to study the concentration of Pinaceae pollen in the air and their integrative contribution to the aerobiological spectrum of Karakol as potential pollen allergens. Airborne pollen belonging to the Pinaceae family was collected and identified during a 3-year (2015–2017) aerobiological monitoring program in Karakol, Kyrgyzstan, using a Lanzoni VPPS 2000 trap. During the study period, interannual variations in the total annual pollen index, as well as the dates of the beginning, peak, and end of the pollen season, were recorded. Season length, peak day dating, and maximum daily pollen concentrations varied significantly between years due to climate change and the peculiarities of pollen production in different years. Pinaceae pollen dominated the pollen spectrum of trees and shrubs, accounting for 68–75% of the annual total pollen count. It circulated in the air of Karakol throughout all study seasons, lasting from 108 to 130 days. Daily peaks in Pinus pollen concentration were recorded in May–June, reaching a maximum of 4,259 pollen grains/cm<sup>3</sup>. The average annual concentration over the 3-year study period was 10,555.3 pollen grains/cm<sup>3</sup>. The highest annual Pinus pollen level was reached in 2016 (16,002 pollen grains/cm<sup>3</sup>), and the lowest in the extremely hot year of 2015 (1,220 pollen grains/cm<sup>3</sup>). Thus, pine has a relatively short pollen season compared to pollen of leading aeroallergens (e.g., cereals – 171 days), but with a high pollen concentration. The high concentration of Pinus pollen in the air of Karakol and its cross-reactivity with other plant pollen allow Pinaceae pollen to be classified as potentially allergenic. The large pollen size and low protein content protected by a waxy coat are the main reasons for its low allergenicity. Under the influence of adverse anthropogenic factors and climate change, the waxy coat is destroyed, opening up allergenic proteins and allowing them to more easily penetrate mucous membranes, triggering allergic reactions.

**Ключевые слова:** пыльца растений, Pinaceae, поллиноз, изменение климата, урбанизация, загрязнение.

**Keywords:** plant pollen, Pinaceae, hay fever, climate change, environmental pollution.

Рост больных поллинозами во всем мире актуализирует Международную аэробиологическую ассоциацию (IAA) выпускать два раза в год Международный информационный бюллетень по аэробиологии, сообщающий о международных конгрессах и образовательных программах для специалистов. Следующий (13-й) Международный конгресс по аэробиологии пройдет в Калькутте, Индия, с 25 по 29 ноября 2026 года. 21 марта 2025 года, по случаю XVIII Национального дня пыльцы в Италии, Высший институт охраны окружающей среды и исследований и тематическая сеть POLLnet SNPA провели семинар «Аэробиологический мониторинг между природным наследием и искусственным интеллектом». направленный на популяризацию аэробиологии как фундаментальной дисциплины в изучении экологических проблем, связанных с интерпретацией аллергических

заболеваний. Аэробиологический мониторинг с применением волюметрических ловушек и идентификацией аэроаллергенов под микроскопом человеком, а не ИИ, остается золотым стандартом исследования. В мире широко распространена сеть биологического мониторинга качества воздуха, включающая изучение концентрации пыльцы растений и спор грибов. В реальном времени онлайн-дневники пыльцы и мобильные приложения позволяют легко и быстро документировать симптомы пыльцевой аллергии. Такие краудсорсинговые данные о симптомах дают представление о развитии и начале пыльцевой аллергии [1].

Через приложение на мобильном телефоне можно узнать прогноз периодов максимального риска, в течение которых конкретные больные поллинозом подвергаются воздействию ведущих аэроаллергенов. Известно, что семейство Pinaceae включает 650 видов, ее пыльца обладает слабовыраженными аллергенными свойствами. Характеристика пыльцы *Pinus*: крупный размер, высокая летучесть благодаря воздушным мешочкам (крыльям), уникальная палимморфология, высокая пыльцепродукция. Она подвержена влиянию изменения климата и загрязнению антропогенной среды, что выражается в меняющихся сроках фенологии и пыльцепродукции растений и аллергенных свойств, появлению тератоморфов.

Цель настоящей статьи — изучить концентрацию пыльцы Pinaceae в воздухе, их интегративный вклад в аэробиологический спектр г. Каракол как потенциальных пыльцевых аллергенов.

#### *Материал и методы исследования*

Каракол (Киргизия) расположен в среднегорье на высоте 1 800 м над у. м. (НУМ) на юго-востоке Иссык-Кульской области, у северного подножья хребта Терской Ала-Тоо. Горные еловые леса Кыргызской Республики представлены главной лесообразующей породой — елью тянь-шаньской (*Picea Schrenkiana*), на долю которой приходится 12,7% от всей площади лесов. Основные массивы еловых лесов сосредоточены в северной части республики по склонам гор, окаймляющих озеро Иссык-Куль и по бассейну реки Нарын. В них произрастает занесенная в Красную книгу Кыргызской Республики пихта Семенова (*Abies semonovii*) (3,4 тыс. га). Здесь же произрастают интродуцированные породы: береза повислая, сосна обыкновенная, лиственница сибирская. Среднегодовая температура в городе Каракол за более недавний период (с 2010 по 2025 г) увеличилась в среднем на 1,9<sup>0</sup>С, а годовое количество осадков уменьшилось примерно на 22,7%.

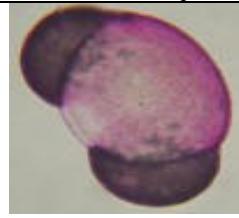
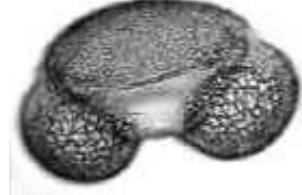
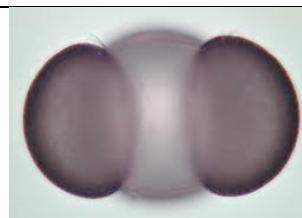
Метод исследования: волюметрический с применением стандартизированной ловушки Ланзони, установленной на крыше здания в пределах городской черты Каракол, вдали от парковых зон и промышленных предприятий, на высоте 13 метров над уровнем почвы.

Микроскопия. Идентификация и подсчет пыльцевых зерен, включая сосновых, производились под световыми микроскопами “Carl Zeiss” (Германия) и MEIJI (Япония) с 100-400x-кратным увеличением. Для этого применялись специальные определители и атласы пыльцы, включая авторские разработки (Таблица 1).

Идентификация. Пыльцевые зерна Pinaceae имеют крупные размеры из-за своих воздушных мешочек или пузырей, которые делают их одними из самых узнаваемых для идентификации пыльцевых зерен. Благодаря им они переносятся ветром на большие расстояния. Среди крылатых пыльцевых зерен тело имеет форму от субсфериодальной до широко-эллипсоидальной. Воздушные мешочки обычно сетчатые или иногда гладкие. Размер пыльцевых зерен варьирует от 80 до 130 мкм. Они регистрируются в общей графе – семейства Pinaceae с дифференцировкой до рода. Статистическая обработка и графическое изображение порученных результатов аэробиологического мониторинга проводились на основе пакета программы «Microsoft Exel» (Рисунок 1).

Концентрация пыльцы Pinaceae в воздухе была выражена в виде пыльцевого индекса (ПИ – процент от годовой суммы типов пыльцы за общий период отбора проб 2015-2017 гг.).

Таблица 1  
ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ  
НОРМАЛЬНО РАЗВИТОЙ ПЫЛЬЦЫ СЕМЕЙСТВА СОСНОВЫЕ

Мелкобугорчато-ямчатая экзина	ПЗ одиночные крупные, 80–130 мкм, билатерально-симметричные, с воздушными мешками или без.	СОСНОВЫЕ	
Мелкобугорчато-ямчатая	Щит равномерно утолщен. ПЗ 120–130 мкм. Воздушные мешки в месте прикрепления образуют почти развернутый угол 180 градусов	Ель <i>Picea</i>	 
Мелкобугорчатая	Щит равномерно утолщен. ПЗ 120–130 мкм. Воздушные мешки в месте прикрепления образуют угол 90 градусов	Сосна <i>Pinus</i>	 
	Щит неравномерно утолщен. ПЗ 129–132 мкм в диаметре, мешковые, широко эллипсоидальные.	Пихта <i>Abies</i>	 
Мелкобугорчатая	ПЗ 80–90 мкм в диаметре, сфероидальные, 1-лептомные, безмешковые. Лептотома слабо заметная, погруженная	Лиственница <i>Larix</i>	 

Интегральная оценка жизнеспособности и фертильности пыльцы ели была произведена с помощью метода Шардакова. Жизнеспособность пыльцы — это способность мужского гаметофита к росту на соответствующих тканях пестика. Также исключительная жизнеспособность способствует рассеиванию пыльцы на далекие расстояния. Для этого используется цветная реакция, в ходе которой пыльцевые зерна, у которых высокая активность пероксидазы, окрашивается в ярко-красный цвет, красноватый или малиновый цвет. Пыльца бесцветная или бледно-желтого цвета имеет низкую пероксидазную активность или полное ее отсутствие, поэтому считается стерильной.

Исследования проводились на базе гидрометеорологического стационара Чон-Кызыл-Суу, на высоте 2555 НУМ (Джеты-Огузский район расположен в 35 км к западу от г. Каракол).

Для оценки результатов аэробиологического мониторинга использовать пыльцевые индексы, имеющие отношение к здоровью: годовой пыльцевой интеграл (APIn), даты начала и окончания сезона и продолжительность сезона. APIn коррелирует с тяжестью симптомов аллергии у сенсибилизованных лиц [2].



Рисунок 1. Графическое резюме. Алгоритм и дизайн проведенного исследования

### Результаты и их обсуждение

В воздушной среде г. Каракол в течение трех сезонов наблюдения циркулировала пыльца 35 таксонов растений, а именно: 20 таксонов древесно-кустарниковых растений (5 таксонов порядка хвойных *Pinopsida*), 15 таксонов трав. Из них 7 таксонов растений доминировали: полынь (*Artemisia sp.*), сосна (*Pinus sp.*), ель (*Picea sp.*), маревые (*Chenopodiaceae*), злаковые (*Poaceae*), коноплевые (*Cannabaceae*), астровые (*Asteraceae*), кипарисовые (*Cupressaceae*).

При принятии решения о том, какие типы пыльцы в воздухе являются наиболее важными в регионе, необходимо учитывать ряд факторов, включая аллергенную способность, а также пыльцепродукцию. Виды семейства сосновые опыляются с помощью ветра, внося большой вклад в подсчет пыльцы, и часто представляя видимые слои на улицах и окнах автомобилей в сезон пыления. Подсчитано, что число пыльцевых зерен лиственных деревьев в 2015 г. составило 767 (35%), 2016 г. — 6031 (25%), 2017 г. — 33596 (32%) п. з./см<sup>3</sup>, хвойных деревьев 1419 (65), 18124 п.з./см<sup>3</sup> (75%), 22855 (68%) спектра соответственно в те же годы (Рисунок 2).

Ранее считалось, что пыльца *Pinaceae* обладает слабо выраженными аллергенными свойствами и не относится к причинно-значимым аэроаллергенам. Распространенность пыльцы *Pinaceae* в воздухе регионов и ее перекрестная реактивность с пыльцой других растений позволяют отнести пыльцу *Pinaceae* к потенциально аллергенной [3].

Крупный размер пыльцы и низкое содержание белков, защищенных восковой оболочкой, являются основными причинами, объясняющими её низкую аллергенность. В последние годы у больных в различных географических районах мира резко возрос уровень сенсибилизации к *Pinaceae* (*Cupressaceae* и *Pinaceae*). Под воздействием негативных антропогенных факторов и изменения климата восковая оболочка пыльцы *Pinaceae* разрушается, аллергенные белки раскрываются и легче проникают в слизистые оболочки, провоцируя аллергические реакции [4–9].



Рисунок 2. Количественный состав пыльцы лиственных и хвойных деревьев (%) в воздухе г. Каракол

В настоящее время указанная пыльца включена в Пыльцевой Мониторинг и разработаны тесты для определения специфических IgE-антител. Количественные тенденции в вариациях показателей пыльцы *Pinus* (период появления, продолжительность, максимальная суточная концентрация и пиковый день) приведены в Таблице 2.

Таблица 2  
ВАРИАЦИИ В ЗНАЧЕНИЯХ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ СЕЗОНЫ ПЫЛЬЦЫ *Pinus* sp.

Регистрируемые показатели	2015	2016	2017
Начало сезона пыления	23 апреля	17 апреля	3 мая
Окончание сезона пыления	12 августа	3 августа	10 сентября
Число дней присутствия в воздухе	110	108	130
Максимальная суточная концентрация п.з./см <sup>3</sup>	681	4259	8017
Дата регистрации	15 июня	3 мая	30 мая
Всего за сезон пыления п. з./см <sup>3</sup>	1220	16002	14444
Пыльцевой индекс % от древесно-кустарникового спектра	1,42	17,5	13

В атмосфере г. Каракол в весенне-летний период также регистрировалась концентрация пыльцы других видов (*Larix*, *Abies*) семейства *Pinaceae*, но среди них по количеству лидировала *Picea*, содержащаяся в воздухе 88 дней, суммарное количество варьировало от 715 (2017) до 1026 (216) п.з./см<sup>3</sup> с максимальным суточным числом в пределах 300 п. з./см<sup>3</sup>. Таким образом, в аэропалинологическом спектре по количественным характеристикам преобладала пыльца сосны, по сравнению с пыльцой ели, что обусловлено их биологическими особенностями деревьев и способностью к распространению пыльцы. У сосны обильная пыльцепродукция: одна ветка может выпустить до 300 млн., а ели — около 100 млн. пыльцевых зерен. Пыльца сосны имеет два характерных воздушных мешочка (крыла), которые значительно увеличивают ее парусность, способствуют горизонтальному переносу ветром на очень большие расстояния, иногда на сотни километров от источника [4].

Для пыльцы деревьев существует следующая оценочная градация уровней: 0–14 — низкий, 15–89 — средний, 90–1499 — высокий, >1500 п.з./см<sup>3</sup> — очень высокий. Пыльца *Pinus* в период массового ее цветения стабильно находилась в высоких диапазонах в воздухе. С учётом того, что концентрация >1500 п.з./см<sup>3</sup> относится к очень высоким уровням, то самый высокий суточный максимум за три года превышал его в 5,3 раза. Известно, что сроки и интенсивность пыльцевого сезона определяются самой генетикой видов, точнее особенностями пыльцепродукции, но фенология растений также зависит от изменения климата, воздействующего на сами растения и концентрацию воздушной пыльцы. Таким образом, пыльцы сосны стабильно циркулировала в воздухе г. Каракол все сезоны

исследования и составляла от 108 до 130 дней. Её максимальные суточные концентрации выявлены в мае-июне, достигая 4259 п.з./см<sup>3</sup>. Среднегодовая концентрация за 3 летний период исследования составила 10 555,3 п.з./см<sup>3</sup>. В сравнении с аналогичными исследованиями, где среднегодовая концентрация за 5 лет исследования в Тимишоаре, Румыния с использованием ловушки Lanzoni VPPS 2000, составила 452,8 п.з./см<sup>3</sup> [5].

Представленные результаты отражают преобладающую унимодальную конфигурацию в концентрации пыльцы *Pinus*, за исключением данных 2016 (Рисунок 3).

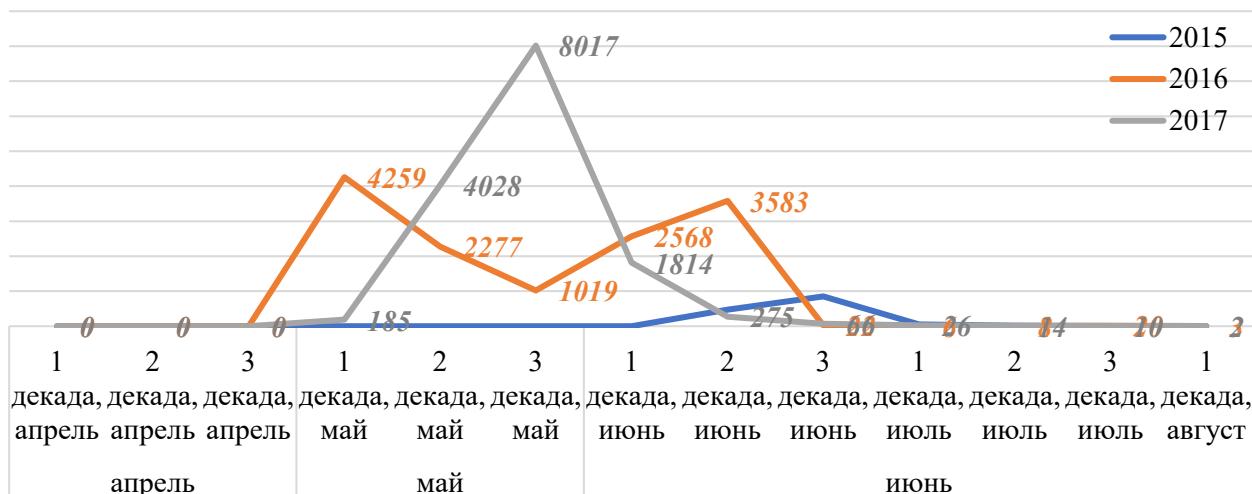


Рисунок 3. Кривая концентрации пыльцы *Pinus* (по декадам) в воздухе г. Каракол

Самый высокий годовой уровень пыльцы *Pinus* был достигнут в 2016 году (16002 п.з./см<sup>3</sup>), а самый низкий — в экстремально жаркий 2015 год (1220 п.з./см<sup>3</sup>). Температуры в 30,1°C в 2015 году негативно повлияли на пыльцепродукцию *Pinus* (3,8% от всей пыльцы за три вегетационных сезона). Кроме того, полное отсутствие пыльцы у хвойных деревьев в отдельные годы может быть связано с различными факторами, включая погодные условия, возраст деревьев или стрессовые ситуации, главный из которых — экономия ресурсов деревом. Сосна (как и многие другие ветроопыляемые деревья) не может позволить себе ежегодно тратить огромные силы на максимальное цветение. Следовательно, у сосны относительно короткий сезон, по сравнению с пыльцой ведущих аэроаллергенов (например, злаков — 171 день), но с высокой концентрацией пыльцы. Для оценки потенциального вклада пыльцы *Pinaceae* в аэробиологическую ситуацию г. Каракол использовали интегрированный индекс вклада пыльцы (Рисунок 3). Он базируется на следующих параметрах: сроках цветения, размере пыльцевых зерен (80–130 мкм), обилии видов в регионе и продукции пыльцы и характеризуют эту пыльцу как потенциальные аллергены [10].

Согласно филогенетической классификации, хвойные деревья состоят из одного класса, *Pinopsida*, и описано семь семейств: *Araucariaceae*, *Podocarpaceae*, *Sciadopityaceae*, *Cupressaceae/Cephalotaxaceae/Taxaceae* и *Pinaceae*. Хвойные, от латинского слова, означающего «носитель шишек», включают около 650 видов, широко распространенных по всему миру [11], наиболее известные среди них: ели, сосны, кипарисы, можжевельники, тисы, лиственницы, пихты. Самую аллергенную пыльцу выделяет семейство *Cupressaceae/Taxaceae* с пятью главными родами: *Cupressus*, *Hesperocyparis*, *Juniperus*, *Cryptomeria* и *Chamaecyparis*. Пыльца сосновых характеризуется наличием воздушных мешочков (сакки), кроме лиственницы, которые выполняют аэродинамическую функцию, способствуя её переносу и распространению в атмосфере [12, 13].



Рисунок 3. Интегративный индекс вклада пыльцы сосновых в аэробиологическую ситуацию г. Каракол

Несмотря на повышенную пыльцевую продукцию, которая, по расчетам, составляет от  $20,9 \times 10^6$  до  $32,3 \times 10^6$  пыльцевых зерен на дерево для сосны приморской и ее анемофильную природу, она обычно не считается важным аллергеном. Приводятся различные причины ее низкой аллергенностии: большой размер пыльцевых зерен, что препятствует ее проникновению в дыхательные пути [14, 15].

Таблица 3  
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПАЛИНОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА Pinaceae

Признак	Ель ( <i>Picea</i> )	Сосна ( <i>Pinus</i> )	Пихта ( <i>Abies</i> )	Лиственница ( <i>Larix</i> )
Воздушные мешки	Два (бисаккатное зерно)	Два (бисаккатное зерно)	Два (бисаккатное зерно)	Отсутствуют (аэллетное зерно)
Размер ПЗ	120–130 мкм	120–130 мкм	90–120 мкм	70–100 мкм
Угол прикрепления	Почти развернутый ( $180^\circ$ )	Прямой ( $90^\circ$ )	Острый ( $< 90^\circ$ )	Н/Д
Утолщение щита	Равномерное	Равномерное	Неравномерное, очень толстое	Н/Д

В источниках литературы сообщается о воздействии изменения климата (температуры) и загрязнения окружающей среды на колебания концентрации пыльцы сосновых, что проявлялось в деградации пыльцевых зерен и появлении поврежденных и неопределенных биологических частиц [15].

Изменчивость пыльцы сосны (как морфологических признаков, так и ее жизнеспособности/химического состава) зависит от целого ряда факторов, которые можно разделить на несколько основных блоков: погодно-климатические, техногенные, эффект «раздражителя» и синдром «пыльцевого зерна-носителя» (Рисунок 4).

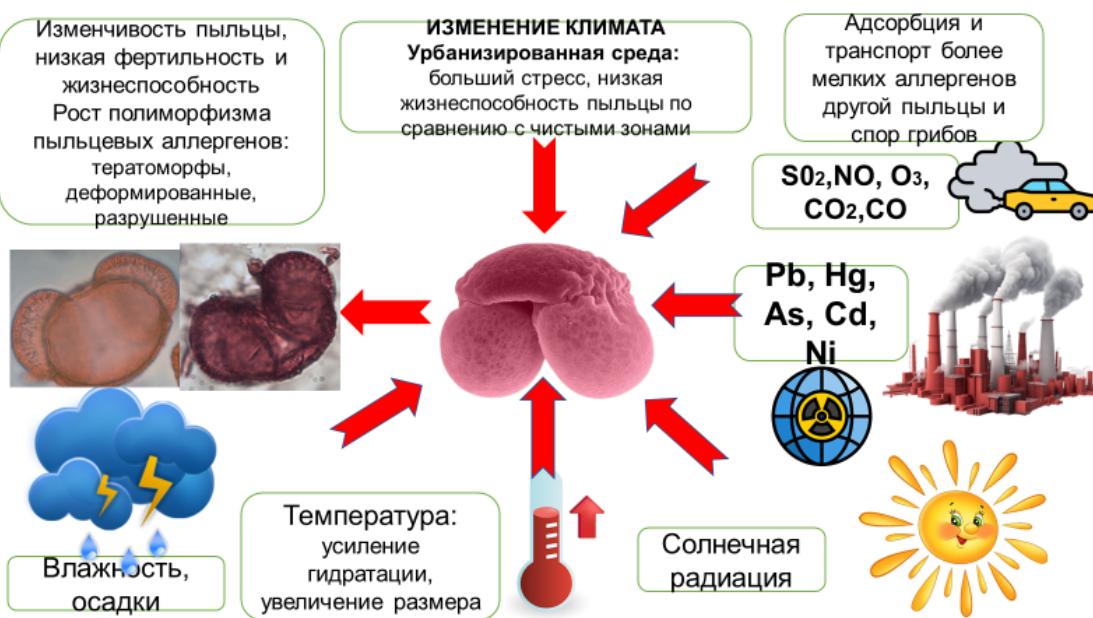


Рисунок 4. Схема воздействия изменения климата и загрязнения среды обитания человека на пыльцу *Pinus sp.*

*Основные факторы, влияющие на изменчивость пыльцы сосны.* Погодно-климатические условия: действуют в период формирования, созревания и рассеивания пыльцы. Температура: критический фактор, влияющий на развитие и жизнеспособность пыльцы (способность к прорастанию) и концентрацию, особенно важен в связи с изменением климата. Влажность и осадки: влияют на выживаемость пыльцевых зерен. Дождь во время опыления может вымывать пыльцу из атмосферы и негативно воздействовать на процесс опыления и качества пыльцы, и её концентрацию. Солнечная радиация (включая УФ-В): влияет на морфологию пыльцы (например, толщину стенок) и накопление УФ-абсорбирующих соединений внутри зерна. Ветер: его скорость и направление влияют на дальность переноса и, как следствие, на потенциальное генетическое разнообразие (приток пыльцы из других популяций). Условия окружающей среды с высоким уровнем антропогенного воздействия вызывают значительные изменения в качестве и характеристиках пыльцы. Загрязнение воздуха: тяжелые металлы, диоксид серы, озон, оксиды азота и другие, особенно в городских или промышленно развитых районах, снижают фертильность (жизнеспособность) пыльцы, вызывают морфологические аномалии и цитогенетические изменения.

*Пыльца как биоиндикатор антропоценозов.* Содержание тератоморфной пыльцы *Pinus sylvestris* в пробах города Апатиты очень высокое (80,4–90,4%). Это свидетельствуют о высоком уровне загрязнения окружающей среды. Среди идентифицированных 23 типов чаще всего встречаются пыльцевые зерна нормальных, карликовых и гигантских размеров с различными аномалиями воздушных мешочков [17].

Аналогичное исследование продемонстрировало в городах Мурманске, Манчигорске — 11 типов тератоморфов пыльцы: без протопласта (неокрашенная, стерильная), с плазмолизированным протопластом (неравномерно окрашенная), без мешочек, с редуцированными мешочками, с одним мешочком, с двумя разнородными мешочками, гипертрофированная с тремя мешочками, с разрывом экзины, карликовая, гигантская и карликовая с выростами. Пыльца *Pinus sylvestris* может быть использована в качестве биомонитора для выявления фитотоксического и мутагенного действия загрязнителей [18, 19].

*Урбанизированная среда:* деревья, растущие в черте города, подвергаются большему стрессу, что выражается в более низкой жизнеспособности пыльцы по сравнению с экологически чистыми территориями. При оценке жизнеспособности в наших исследованиях почти вся пыльца окрашивалась (92,6%), что говорит о высоком ее качестве.

*«Эффект раздражителя» и перекрестная реакция.* Механическое и химическое раздражение: пыльцевые зерна сосны крупные и тяжелые, но они могут механически раздражать слизистые оболочки носа и глаз, особенно у людей с поллинозом или бронхиальной астмой). Сама пыльца может переносить на своей поверхности загрязняющие вещества. Перекрестная аллергия: у многих больных с аллергией на пыльцу березы (которая очень распространена и высокоаллергенна) возникает перекрестная реакция на пыльцу других растений, например сосны.

*Синдром «пыльцевого зерна-носителя».* Также как пыльца полыни, пыльца сосны может быть «такси» (транспортом) для более мелких и высокоаллергенных частиц на свою липкую поверхность экзины может адсорбировать аллергены из пыльцы других растений (например, злаков, цветущих в тот же период), а также споры плесневых грибов (*Alternaria, Cladosporium*), концентрация которых также растет в теплый сезон. Может переносить на себе частицы атмосферных загрязнений (дизельные выхлопы, продукты сгорания, тяжелые металлы). Эти загрязнители сами по себе раздражают слизистые, а также могут модифицировать структуру белков пыльцы, делая их более агрессивными для иммунной системы.

### Выводы

Пыльцу *Pinus* следует рассматривать как потенциально аллергенную, особенно в местах её обильной концентрации, в связи с широким распространением видов. Выявление большого числа пациентов с моносенсибилизацией к пыльце сосны и перекрестной поливалентной реактивностью с другой пыльцой (хвойные, полынь, амброзия, злаки) позволяет проводить специфическую диагностику (Аллерген t16 — сосна белая, IgE, ИФА) и лечения таких пациентов с помощью специфической иммунотерапии.

Исходя из полученных результатов аэробиологических исследований в г. Каракол, следуют выводы:

1. Пыльца *Pinus* преобладала среди всех Pinaceae и циркулировала в воздухе г. Каракол все три сезона исследования и составляла от 108 до 130 дней.

2. Подекадная кривая концентрации пыльцы сосны носит преимущественно унимодальный характер, за исключением данных 2016. Её максимальные суточные концентрации зафиксированы в мае-июне (3598 п. з./см<sup>3</sup>).

3. При этом наблюдалась сильная межгодовая изменчивость атмосферной концентрации пыльцы *Pinus*, зависящая от метеорологических параметров, особенно от температуры и осадков, а также от пыльцевой продукции. Самый высокий годовой уровень пыльцы *Pinus* был достигнут в 2016 году (16002 п. з./см<sup>3</sup>), а самый низкий - в экстремально жаркий 2015 год (1220 п. з./см<sup>3</sup>), так как высокие температуры мая в 30,1°C негативно повлияли на пыльцепродукцию *Pinus* (3,8% от всей пыльцы за три вегетационных сезона).

4. На концентрацию и структуру пыльцы Pinaceae в воздухе влияют антропогенные факторы: изменения климата (температуры) и загрязнения окружающей среды, что проявлялось в деградации пыльцевых зерен и появления поврежденных и неопределенных биочастиц.

*Список литературы:*

1. Bastl K., Kmenta M., Berger M., Berger U. The connection of pollen concentrations and crowd-sourced symptom data: new insights from daily and seasonal symptom load index data from 2013 to 2017 in Vienna // World Allergy Organization Journal. 2018. V. 11. №1. P. 24. <https://doi.org/10.1186/s40413-018-0203-6>
2. Bastl K., Berger U., Kmenta M. Ten questions about pollen and symptom load and the need for indoor measurements in built environment // Building and Environment. 2016. V. 98. P. 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.01.006>
3. Gastaminza G., Lombardero M., Bernaola G., Antepara I., Munoz D., Gamboa P. M., Ansotegui I. J. Allergenicity and cross-reactivity of pine pollen // Clinical & Experimental Allergy. 2009. V. 39. №9. P. 1438-1446. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2009.03308.x>
4. Szczepanek K., Myszkowska D., Worobiec E., Piotrowicz K., Ziemianin M., Bielec-Bąkowska Z. The long-range transport of Pinaceae pollen: an example in Kraków (southern Poland) // Aerobiologia. 2017. V. 33. №1. P. 109-125. <https://doi.org/10.1007/s10453-016-9454-2>
5. Ianovici N. Aerobiological monitoring of Pinaceae pollen in Timisoara over five years. 2007. V. 16. №4. P. 125-132.
6. Akpinar S. Aerobiological Dynamics and Climatic Sensitivity of Airborne Pollen in Southeastern Türkiye: A Two-Year Assessment from Siirt // Biology. 2025. V. 14. №7. P. 841. <https://doi.org/10.3390/biology14070841>
7. Marcos C., Rodriguez F. J., Luna I., Jato V., González R. Pinus pollen aerobiology and clinical sensitization in northwest Spain // Annals of Allergy, Asthma & Immunology. 2001. V. 87. №1. P. 39-42. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)62320-4](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)62320-4)
8. Domínguez-Ortega J., López-Matas M. Á., Alonso M. D., Feliu A., Ruiz-Hornillos J., González E., Carnés J. Prevalence of allergic sensitization to conifer pollen in a high cypress exposure area // Allergy & Rhinology. 2016. V. 7. №4. P. ar. 2016.7. 0183.
9. Docampo S., Recio M., Trigo M. M., Melgar M., Cabezudo B. Risk of pollen allergy in Nerja (southern Spain): a pollen calendar // Aerobiologia. 2007. V. 23. №3. P. 189-199. <https://doi.org/10.1007/s10453-007-9063-1>
10. Romero-Morte J., Rojo J., Rivero R., Fernández-González F., Pérez-Badia R. Standardised index for measuring atmospheric grass-pollen emission // Science of the Total Environment. 2018. V. 612. P. 180-191. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.139>
11. Jato M. V., Rodríguez F. J., Seijo M. C. Pinus pollen in the atmosphere of Vigo and its relationship to meteorological factors // International Journal of Biometeorology. 2000. V. 43. №4. P. 147-153. <https://doi.org/10.1007/s004840050001>
12. Niklas K. J. The aerodynamics of wind pollination // The Botanical Review. 1985. V. 51. №3. P. 328-386. <https://doi.org/10.1007/BF02861079>
13. James Green B., Yli-Panula E., Dettmann M., Rutherford S., Simpson R. Airborne Pinus pollen in the atmosphere of Brisbane, Australia and relationships with meteorological parameters // Aerobiologia. 2003. V. 19. №1. P. 47-55. <https://doi.org/10.1023/A:1022662726623>
14. Molina R. T., Rodríguez A. M., Palaciso I. S., López F. G. Pollen production in anemophilous trees // Grana. 1996. V. 35. №1. P. 38-46. <https://doi.org/10.1080/00173139609430499>
15. Armentia A. Allergy to pine pollen and pinon nuts: a review of three cases. 1990.
16. Willis K. J., Bennett K. D., Birks H. J. B., Richardson D. M. The late Quaternary dynamics of pines in Europe // Ecology and biogeography of Pinus. 1998. P. 107-121.
17. Vasilevskaya N., Osechinskaya P. Teratomorphism of *Pinus sylvestris* L. pollen as the bioindicator of atmospheric air pollution of the Subarctic industrial city // BIO Web of Conferences. EDP Sciences, 2024. V. 145. P. 02014.

18. Vasilevskaya N. Pollution of the environment and pollen: a review // *Stresses*. 2022. V. 2. №4. P. 515-530. <https://doi.org/10.3390/stresses2040035>

*References:*

1. Bastl, K., Kmenta, M., Berger, M., & Berger, U. (2018). The connection of pollen concentrations and crowd-sourced symptom data: new insights from daily and seasonal symptom load index data from 2013 to 2017 in Vienna. *World Allergy Organization Journal*, 11(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s40413-018-0203-6>
2. Bastl, K., Berger, U., & Kmenta, M. (2016). Ten questions about pollen and symptom load and the need for indoor measurements in built environment. *Building and Environment*, 98, 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.01.006>
3. Gastaminza, G., Lombardero, M., Bernaola, G., Antepara, I., Munoz, D., Gamboa, P. M., ... & Ansotegui, I. J. (2009). Allergenicity and cross - reactivity of pine pollen. *Clinical & Experimental Allergy*, 39(9), 1438-1446. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2009.03308.x>
4. Szczepanek, K., Myszkowska, D., Worobiec, E., Piotrowicz, K., Ziemianin, M., & Bielec-Bąkowska, Z. (2017). The long-range transport of Pinaceae pollen: an example in Kraków (southern Poland). *Aerobiologia*, 33(1), 109-125. <https://doi.org/10.1007/s10453-016-9454-2>
5. Ianovici, N. (2007). Aerobiological monitoring of Pinaceae pollen in Timisoara over five years. *16*(4), 125-132.
6. Akpinar, S. (2025). Aerobiological Dynamics and Climatic Sensitivity of Airborne Pollen in Southeastern Türkiye: A Two-Year Assessment from Siirt. *Biology*, 14(7), 841. <https://doi.org/10.3390/biology14070841>
7. Marcos, C., Rodriguez, F. J., Luna, I., Jato, V., & González, R. (2001). Pinus pollen aerobiology and clinical sensitization in northwest Spain. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 87(1), 39-42. [https://doi.org/10.1016/S1081-1206\(10\)62320-4](https://doi.org/10.1016/S1081-1206(10)62320-4)
8. Domínguez-Ortega, J., López-Matas, M. Á., Alonso, M. D., Feliu, A., Ruiz-Hornillos, J., González, E., ... & Carnés, J. (2016). Prevalence of allergic sensitization to conifer pollen in a high cypress exposure area. *Allergy & Rhinology*, 7(4), ar-2016.
9. Docampo, S., Recio, M., Trigo, M. M., Melgar, M., & Cabezudo, B. (2007). Risk of pollen allergy in Nerja (southern Spain): a pollen calendar. *Aerobiologia*, 23(3), 189-199. <https://doi.org/10.1007/s10453-007-9063-1>
10. Romero-Morte, J., Rojo, J., Rivero, R., Fernández-González, F., & Pérez-Badia, R. (2018). Standardised index for measuring atmospheric grass-pollen emission. *Science of the Total Environment*, 612, 180-191. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.139>
11. Jato, M. V., Rodríguez, F. J., & Seijo, M. C. (2000). Pinus pollen in the atmosphere of Vigo and its relationship to meteorological factors. *International Journal of Biometeorology*, 43(4), 147-153. <https://doi.org/10.1007/s004840050001>
12. Niklas, K. J. (1985). The aerodynamics of wind pollination. *The Botanical Review*, 51(3), 328-386. <https://doi.org/10.1007/BF02861079>
13. James Green, B., Yli-Panula, E., Dettmann, M., Rutherford, S., & Simpson, R. (2003). Airborne Pinus pollen in the atmosphere of Brisbane, Australia and relationships with meteorological parameters. *Aerobiologia*, 19(1), 47-55. <https://doi.org/10.1023/A:1022662726623>
14. Molina, R. T., Rodríguez, A. M., Palaciso, I. S., & López, F. G. (1996). Pollen production in anemophilous trees. *Grana*, 35(1), 38-46. <https://doi.org/10.1080/00173139609430499>
15. Armentia, A., Quintero, A., Fernandez-Garcia, A., Salvador, J., & Martin-Santos, J. M. (1990). Allergy to pine pollen and pinon nuts: a review of three cases.

16. Willis, K. J., Bennett, K. D., Birks, H. J. B., & Richardson, D. M. (1998). The late Quaternary dynamics of pines in Europe. *Ecology and biogeography of Pinus*, 107-121.
17. Vasilevskaya, N., & Osechinskaya, P. (2024). Teratomorphism of *Pinus sylvestris* L. pollen as the bioindicator of atmospheric air pollution of the Subarctic industrial city. In BIO Web of Conferences (Vol. 145, p. 02014). EDP Sciences.
18. Vasilevskaya, N. (2022). Pollution of the environment and pollen: a review. *Stresses*, 2(4), 515-530. <https://doi.org/10.3390/stresses2040035>

Поступила в редакцию  
12.12.2025 г.

Принята к публикации  
20.12.2025 г.

*Ссылка для цитирования:*

Кобзарь В. Н., Осмонбаева К. Б. Пыльца сосновых как потенциальный аэроаллерген // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №2. С. 51-63. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/123/05>

*Cite as (APA):*

Kobzar, V., & Osmonbaeva, K. (2026). Pine Pollen as a Potential Airborne Allergen. *Bulletin of Science and Practice*, 12(2), 51-63. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/123/05>