

УДК 579.2:551.524
AGRIS F40

https://doi.org/10.33619/2414-2948/106/04

ТЕНДЕНЦИИ ПЫЛЬЦЫ AMARANTHACEAE В ВОЗДУХЕ

©**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
©**Осмонбаева К. Б.**, ORCID: 0000-0001-9606-9392, SPIN-код: 6501-0823, канд. биол. наук, Иссык-Кульский государственный университет, г. Каракол, Кыргызстан, kymbat.950307@gmail.com

AMARANTHACEAE POLLEN TRENDS IN THE AIR

©**Kobzar V.**, ORCID: 0000-0001-9910-0148, SPIN-code: 4669-6355, Dr. habil., Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyzstan, kobzarvn@yandex.ru
©**Osmonbaeva K.**, ORCID: 0000-0001-9606-9392, SPIN-code: 6501-0823, Ph.D., Issyk-Kul State University, Karakol, Kyrgyzstan, kymbat.950307@gmail.com

Аннотация. Понимание тенденций присутствия пыльцевых аллергенов в воздухе имеет большое значение для высокой распространенности и социально-экономического воздействия аллергических заболеваний, связанных с пылью, в глобальном масштабе. Цель — изучить морфологические особенности пыльцы Amaranthaceae, оценить ее вклад в аэриобиологическую ситуацию г. Каракол и выделить периоды повышенной концентрации с целью улучшения диагностики и профилактики симптомов поллинозов у больных. Аэриобиологический отбор проб с применением пыльцеуловителя Ланзони проводился с апреля по октябрь в трехлетний период (2015–2017 годов) в г. Каракол. Идентификация и дифференциальный подсчет пыльцы велись в соответствии с текущей стандартной методологией и специально разработанными определителями и атласами. Характеристики пыльцы 4 видов семейства Amaranthaceae были визуализированы с помощью сканирующей электронной микроскопии (Hitachi) для детального представления о структуре поверхности и орнаментации пыльцевых зерен. Подекадная кривая концентрации пыльцы Amaranthaceae в г. Каракол носит унимодальный характер, часто перекрывающихся количественных характеристик: 6615 (2 декада августа 2015 года), 1326 (1 декада 2016 года) 444 (1 декада 2017 года) п. з./м³. При этом наблюдалась сильная межгодовая изменчивость атмосферных уровней пыльцы, зависящая как от пыльцепродукции самих растений, так и от метеорологических параметров, особенно от температуры и осадков, изменения традиционной системы земледелия. Продемонстрирована реакция сорных растений Amaranthaceae, цветущих летом, на изменение климата, которая заключается в снижении годового индекса пыльцы, что соответствует общемировой тенденции. Пиковые концентрации пыльцы Amaranthaceae многократно превысили клинические пороговые значения в воздухе. На поверхности экзины пыльцы бассии веничной при изучении ультраструктуры были выявлены мельчайшие (1,5–2,0 мкм) гранулы спорополленина или орбикулы (тельца Убиша), играющие роль в распространении аллергенов. Полученные данные продемонстрировали особенности пыльцы Amaranthaceae и вкладе доминантной пыльцы в аэриобиологическую ситуацию г. Каракол, что важно в аспекте повышения осведомленности населения, оптимизации диагностики, лечения и профилактики поллинозов.

Abstract. Understanding the trends of airborne pollen allergens is of great importance given the high prevalence and socioeconomic impact of pollen-related allergic diseases globally. To study the morphological features of Amaranthaceae pollen, assess its contribution to the aerobiological situation in the city of Karakol and identify periods of increased concentration in order to improve the diagnosis and prevention of pollinosis symptoms in patients. Aerobiological sampling using a Lanzoni pollen trap was carried out from April to October over a three-year period (2015–2017) in Karakol city. Pollen identification and differential counting were performed according to current standard methodology and specially developed guides and atlases. Pollen characteristics of 4 Amaranthaceae species were visualized using scanning electron microscopy (Hitachi) to provide a detailed understanding of the surface structure and ornamentation of pollen grains. The decadal curve of Amaranthaceae pollen concentration in Karakol is unimodal, with often overlapping quantitative characteristics: 6615 (2nd decade of August 2015), 1326 (1st decade of 2016), 444 pollen grains / m³ (1st decade of 2017). At the same time, strong interannual variability of atmospheric pollen levels was observed, depending both on the pollen production of the plants themselves and on meteorological parameters, especially temperature and precipitation, changes in the traditional farming system. The response of summer-flowering Amaranthaceae weeds to climate change was demonstrated, which consists in a decrease in the annual pollen index, which corresponds to the global trend. Peak concentrations of Amaranthaceae pollen many times exceeded clinical threshold values in the air. On the surface of the *Bassia scoparia* pollen exine, the ultrastructure study revealed the smallest (1.5-2.0 µm) granules of sporopollenin or orbicules (Ubisch bodies), which play a role in the spread of allergens. The obtained data are important in terms of increasing public awareness of the dominant pollen of the Amaranthaceae family, optimizing diagnostics, treatment and prevention of pollinosis.

Ключевые слова: пыльца, амарантовые, фрагментация, орбикулы, палиноморфология метеорологические факторы, изменение климата, изменение системы землепользования, загрязнения окружающей среды, урбанизация, пороговые концентрации.

Keywords: pollen, Amaranthaceae, fragmentation, orbicules, palynomorphology, meteorological factors, climate change and land use systems, environmental pollution, urbanization, threshold concentrations.

Многочисленные аэриобиологические исследования в мировом масштабе показали, что ожидается прогрессивный рост числа больных поллиноза в будущем из-за климатической изменчивости, урбанизации, индустриализации и выбросов загрязняющих веществ [1, 2]. Поэтому мониторинг пыльцы имеет решающее значение в контексте антропогенных изменений, влияющих на физиологию и спектр пыльцы в воздухе. С этих позиций уникальными являются таксоны семейства Amaranthaceae, идеально адаптированные к аридным условиям обитания и вместе с представителями рода *Artemisia*, служащими индикаторами засушливости. Этот тип пыльцы становится все более важным в тех регионах, где изменение климата расширяет процесс опустынивания. Их быстрое распространение и адаптация к водному стрессу могут объяснить эту тенденцию [3].

Современная система филогении APG IV (The Angiosperm Phylogeny Group, 2016) объединила представителей обоих этих семейств в один таксон – семейство Amaranthaceae. Виды, принадлежащие к нему, ранее называвшиеся Chenopodiaceae/Amaranthaceae, которое сейчас включает Chenoporoideae как подсемейство, космополиты, инвазийные виды встречаются почти во всем мире [4]. Многие из них являются галофитами, сорняками и

рудеральными растениями, которые встречаются в морских местообитаниях, на полях, в степях и полупустынных регионах [5].

Семейство *Amaranthaceae* (порядок *Caryophyllales*, гвоздичноцветные) насчитывает около 186 родов и > 2000 видов [6], включая однолетние или многолетние травы, которые широко представлены в тех оптимальных условиях, в которых они произрастают: засушливые и полусушливые климатические зоны.

В аэриобиологических исследованиях пыльцевые зерна *Amaranthaceae* были зарегистрированы в высоких концентрациях в воздухе стран мира. Пыльца *Amaranthaceae* является второй ведущей причиной поллинозов на юго-востоке Испании Пиренейского полуострова, особенно распространенной летом/осенью, когда она встречается практически одна в биоаэрозоле или в значительных пропорциях, превышающих 70% [5].

В Кувейте доминировали пыльцевые зерна *Chenopodiaceae/Amaranthaceae* (в среднем 31%) и были доминантными триггерами аллергии, наряду с пылью *Malvaceae* и *Asteraceae* [7]. Поскольку семейство *Amaranthaceae* представлено многими видами, для него характерен длительный сезон пыльцы со многими максимальными значениями [8]. Второе место по процентному содержанию пыльцы в воздухе городов Пакистана занимают *Amaranthaceae* — 16,2% (754 пыльцевых зерна/м³, п.з./м³) [9].

Значительное количество случаев аллергии на пыльцу *Chenopodiaceae/Amaranthaceae* было обнаружено в Греции, Венгрии, Испании, Польше Турции и Индии [5, 10-13].

Оценка аллергенности пыльцы растений *Amaranthaceae* варьирует от низкой, умеренной или высокой [13, 14], также выражена перекрестная реактивность внутри семейства. Эффекты однократного воздействия высокой концентрации аллергена меньше влияют на бронхиальную чувствительность по сравнению с повторным воздействием значительно более низких уровней аллергена.

В настоящее время сезон пыльцы *Amaranthaceae* в Польше длится около 3,5 месяцев, а самые высокие концентрации пыльцы регистрируются во второй и третьей декадах августа и в начале сентября. В этот период у чувствительных пациентов высок риск развития аллергии на пыльцу. Новые климатические сценарии приводят к широкому распространению *Amaranthaceae* в засушливых зонах [13].

Цель исследования: изучить морфологические особенности пыльцы *Amaranthaceae*, оценить её вклад в аэриобиологическую ситуацию и выделить периоды повышенной концентрации с целью улучшения диагностики и профилактики симптомов поллинозов у больных.

Материалы и методы

Аэриобиологический отбор проб с применением пыльцеуловителя Ланзони проводился с апреля по октябрь в трехлетний период (2015–2017 гг) в г. Каракол. Идентификация и дифференциальный подсчет пыльцы велись в соответствии с текущей стандартной методологией и специально разработанными определителями и атласами. Компетентностный подход к палиноморфологическому исследованию позволил нам точно определить морфологию и повысить уровень микроскопической идентификации, создав дифференцированный ключ для таксономического определения пыльцы амарантовых.

Характеристики пыльцы 4 видов *Amaranthaceae* были визуализированы с помощью сканирующей электронной микроскопии (Hitachi) для детального представления о структуре поверхности и орнаментации пыльцевых зерен. Статистическая обработка данных и построение графиков проводились на основе пакета программ Microsoft Excel версия 5.0. Графическое резюме иллюстрирует алгоритм и дизайн исследования (Рисунок 1).

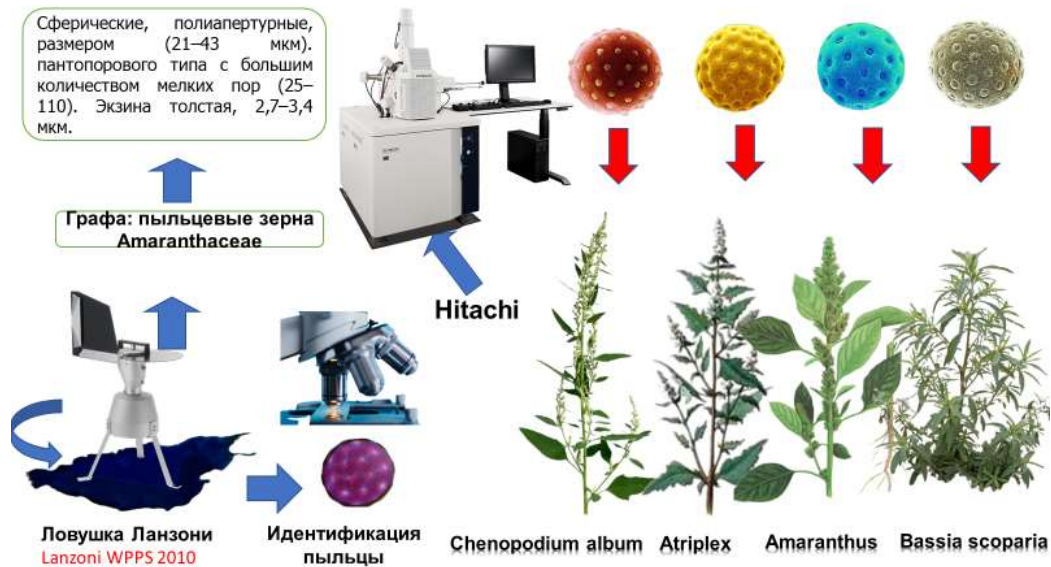


Рисунок 1. Алгоритм и дизайн проведенных исследований

Результаты исследований и их обсуждение

Понимание тенденций присутствия пыльцевых аллергенов в воздухе имеет большое значение для высокой распространенности и социально-экономического воздействия аллергических заболеваний, связанных с пылью, в глобальном масштабе [15]. Результаты многолетних исследований показывают четкую реакцию растений семейства Amaranthaceae на изменение климата, что выражается в ускорении начала (на 14 дней) и окончания (на 24 дня) цветения растений [13].



Рисунок 2. Графическое резюме. Интегральный индекс вклада пыльцы Amaranthaceae в аэриобиологическую ситуацию

Установлено, что в Караколе, как и на всей территории Кыргызстана, летне-осенняя волна пыления была наиболее мощная и продолжительная и обусловлена, прежде всего пылением полыни (*Artemisia*), амарантовых (*Amaranthaceae*) и мятликовых (*Рoaceae*). Флора представлена 17 родами семейства Amaranthaceae в основном сорняками родов *Atriplex*, *Chenopodium*, *Bassia* (*Kochia*) и *Amaranthus*, культурными растениями *Beta vulgaris* и *Spinacia oleracea* или декоративными растениями (*Kochia*, *Amaranthus*, *Celosia*). В естественной

растительности республики распространены солянковые пустыни с бедным видовым составом, включающих сведу и поташник, относящихся к то же семейству.

В воздухе г. Каракол в летний период циркулировала пыльца *Amaranthaceae* длительный период и в значительных количествах:

2015 г: со 2 июня по 11 октября (162 дня). Максимальное суточное число — 1743 (13 августа), всего за сезон — 15168 п. з./м³;

2016 г: с 15 мая по 11 октября (149 дней). Максимальное суточное число — 335 (27 июля), всего за сезон — 4051 п. з./м³;

2017 г: с 17 мая по 3 октября (144 дня). Максимальное суточное число — 535 (25 августа), всего за сезон — 5171 п. з./м³.

Продемонстрировано, что подекадная кривая концентрации пыльца *Amaranthaceae* в г. Каракол носит унимодальный характер, часто перекрывающихся количественных характеристик: 6615 (2 декада августа 2015 г), 1326 (1 декада 2016 г) 444 (1 декада 2017 г) (Рисунок 3).

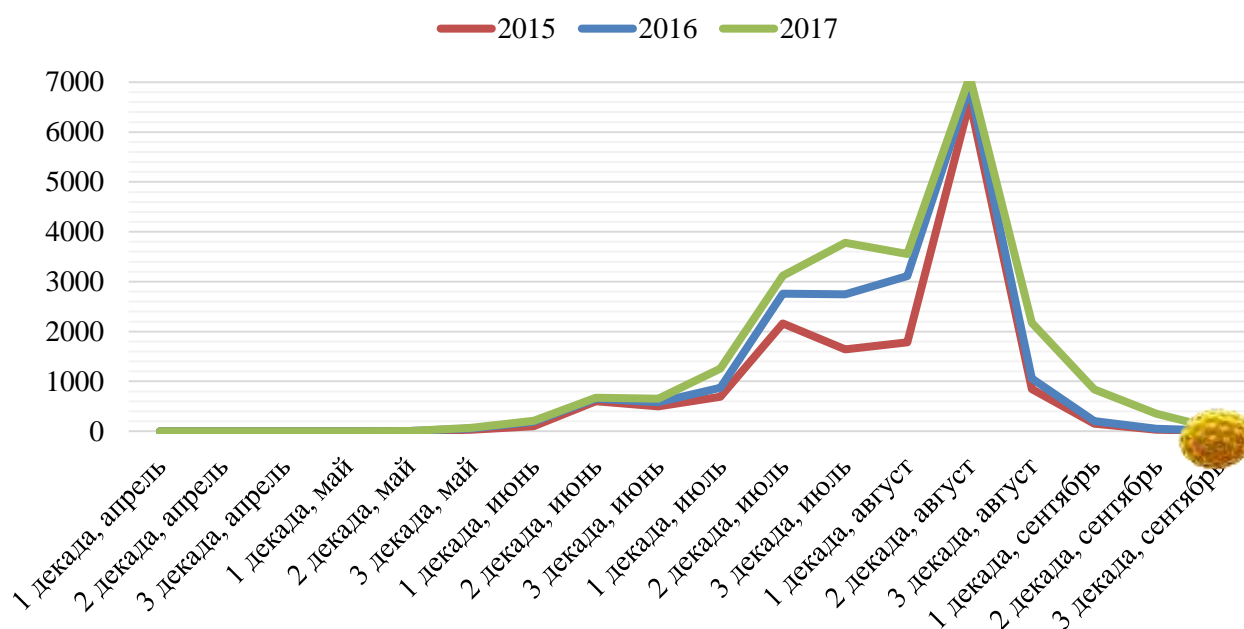


Рисунок 3. Кривая концентрации пыльцы *Amaranthaceae*

При этом наблюдалась сильная межгодовая изменчивость атмосферных уровней пыльцы, зависящая от метеорологических параметров, особенно от температуры и осадков. Максимальный пик пыльцы за три года исследования — 1743 п. з./м³ зафиксирован 13 августа 2015 г в чрезвычайно сухой год, затем 535 (25 августа 2017 г) и 335 п. з./м³ (27 июля 2016 г). Также выявлен другой, менее значимый подекадный пик, обнаруженный во второй и третьей декаде июля. Пыльца *Amaranthaceae* присутствовала в воздухе г. Каракол все сезоны исследования от 144 до 162 дней. Суточные максимумы зафиксированы в июле-августе. При самых высоких температурах 2015 г в 30,1°C значительные концентрации пыльцы (61% суммарной пыльцы за сезон) отмечены при температурах до 25°C. В 2016 г при температурах 25,2°C и 33,4°C зафиксированы наивысшие пики пыления *Amaranthaceae* (соответственно 46% и 45% суммарной пыльцы за сезон). 2017 г был очень похож с предыдущим годом наличием унимодального пика пыления растений этого семейства, при температурах 28,3°C и 25,2°C (соответственно 38% суммарной пыльцы за сезон).

К реакции таксонов семейства *Amaranthaceae* на изменение климата можно отнести снижение пыльцевой продукции, что проявилось в понижении годового индекса

концентраций пыльцы в воздухе в среднем на 27% (2016 г) и 34% (2017 г) снижении максимальной концентрации пыльцы в 5,2 раза (2016 г) и 2,9 раза (2017 г). Воздушная пыльца *Amaranthaceae* составляла от 17,7% (2015 г) до 4,4% (2016 г) и 4,6% (2017 г) от годового общего количества пыльцевых зерен травянистых растений, то есть понизилась в рейтинге со второго в 2015 г до четвертого места в 2017 г. Самый высокий годовой уровень был достигнут в 2015 году — 1568 п.з./м³.

Согласно известному пороговому значению (10–15 п.з./м³) для возникновения симптомов поллиноза у больных, концентрация пыльцы *Amaranthaceae* многократно его превышала в июле-августе трехлетнего периода исследований. К наиболее известным видам амарантовых (*Amaranthaceae*) относятся щирица колосистая, щ. запрокинутая и щ. колючая. Количество пыльцы, которую продуцирует одно растение амаранта, может варьироваться в зависимости от вида и условий его роста: до 100 000 пыльцевых зерен на цветок. Обильно продуцируя пыльцу, они могут вызывать поллиноз в тех областях, где они широко распространены. Род *Chenopodium* насчитывает около 150 видов, среди которых есть как однолетние, так и многолетние растения. Типичным представителем подсемейства маревые (*Chenopodiaceae*) является марь белая. Одно растение может производить около 20 000 пыльцевых зерен за сезон, но в некоторых регионах их широкое распространение приводит к обилию их пыльцы в воздухе. Другие представители — солянка, поташник и бассия (кохия) веничная обладают более выраженными аллергенными свойствами, чем марь белая. Русская солянка известна также как перекасти-поле, поскольку опадающая верхняя часть растения отделяется от его корней и может катиться по земле, подталкиваемая ветром. Бассию можно узнать по тонким крыловидным выступам вдоль её стеблей и по опавшим листьям огненно-красного цвета. Сорное растение, но есть декоративные формы, которые активно используют при озеленении. В зависимости от условий роста, одно растение бассии может производить от 10 до 100 тысяч пыльцевых зёрен за один сезон. К роду лебеда относятся л. густолиственная и л. седоватая, имеющие определённое аллергенное значение на западе и юго-западе США. Посевные культуры, такие как свекла и шпинат могут вызвать аллергические симптомы у больных в местах их интенсивного выращивания. Пыльцевые зерна у видов семейства *Amaranthaceae* радиально-симметричные, сферические, перфорированные, полиапертурные, разного размера (21-43 мкм). Они представляют пантопоровый тип, который характеризуется большим количеством мелких пор (25-110), расположенных на небольших расстояниях (4-7 мкм). Диаметр пор находится в диапазоне 1,1-3,0 мкм. Самые мелкие пыльцевые зерна продуцируют растения рода *Beta*, у них также зафиксировано наименьшее число пор (35-40). Напротив, самые большие размеры и чисто пор (90–110) отмечены у рода *Spinacia* [16].

Как и у некоторых анемофильных растений, экзина пыльцевого зерна у *Amaranthaceae*, включая подрод *Chenopoideae*, покрыта полленкиттом [13, 17], то есть липким материалом пыльцевой оболочки, вырабатываемым тапетумом пыльника (Рисунок 5). Протопласты тапетальных клеток дегенерируют, и пыльцевые зерна окружаются клеящим материалом. У анемофильных растений полленкитт выполняет множество функций, например, защищает пыльцу от потери воды и ультрафиолетового излучения и способствует регидратации пыльцы. Исследования с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) показали, что поверхность пыльцевых зерен у таксонов семейства была полностью или частично покрыта полленкиттом. По это причине типичные апертуры при идентификации пыльцы семейства *Amaranthaceae* под световым микроскопом в настоящих исследованиях были плохо видны. Наличие полленкитта на поверхности пантопоровых пыльцевых зерен может играть

важную роль в предотвращении потери воды во время аэронавигации пыльцы, что было подтверждено исследованиями в Польши [13].



Рисунок 5. Строение оболочки пыльцы растений с акцентом на полленкитт

Под СЭМ была изучена палиноморфология 4 таксонов семейства *Amaranthaceae*, что проиллюстрировано на Рисунке 5. В настоящем исследовании при изучении ультраструктуры на поверхности экзины пыльцы *бассии веничной* были выявлены мельчайшие (1,5-2,0 мкм) гранулы спорополленина или орбикулы (тельца Убиша). Палиноморфологию семейства *Amaranthaceae* неоднократно изучали. Так, в Иране пыльца 14 видов, принадлежащих к роду *Chenopodium*, была изучена с помощью сканирующего электронного микроскопа. Все изученные виды имели пыльцу сфероидальной формы, радиально-симметричную, изополярную и перипольпорную [18]. Подробно описана морфология пыльцы *Chenopodiaceae*, охватывающая 13 родов и 24 вида доминирующих пустынных растений в восточной части Китая [19]. Авторы использовали световую и сканирующую электронную микроскопию для изучения формы и изменений пыльцы 16 типов растений *Amaranthaceae* из соленой засушливой зоны Эр-Рияда, Саудовская Аравия. Выявлены тонкие различия среди изученных видов посредством тщательного изучения палиноморфологических особенностей, таких как симметрия, размер, форма, орнаментация пор и характеристики экзины [20]. В последние десятилетия наблюдается рост аллергических заболеваний у людей, в значительной степени являющихся результатом изменения климата, связанного с увеличением производства пыльцы анемофильных растениями и со сдвигами в сезонах пыльцы, переносимой по воздуху. Кроме того, повышение температуры может привести к увеличению содержания аллергенов в пыльцевых зернах [21, 22].

Пыльцевое зерно состоит из белков, липидов, полисахаридов и низкомолекулярных гликопротеинов, поэтому, когда они находятся в контакте с влажной средой слизистой оболочки носа и конъюнктивы, то быстро распространяются из-за своей гидрофильной природы. Авторы сообщают о фрагментах пыльцы в воздухе, меньших, чем цельные пыльцевые зерна. Доказана их роль в аллергенности и наличие белков пыльцы (*Bet v1*, *Amb a1*, *Phl p5*) размером менее 2,5 мкм.

Воздействие экстремальных погодных явлений (ливневые дожди и грозы) может привести к высвобождению субмикронных частиц из пыльцевых зерен, представленных гранулами диаметром менее 5 мкм из тканей пыльников (гранулы крахмала, везикулы, тельца Убиша).

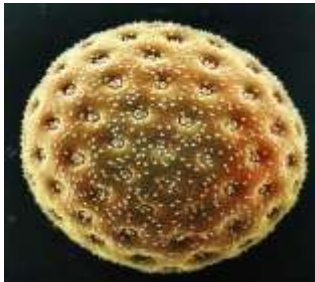
Изображение СЭМ,
увеличение 2000-3000



1



3



5



7



9

Изображение СЭМ,
увеличение 10 000



2



4



6



8



10

Описание пыльцевых зерен

ПЗ бассии веничной крупные сфероидальные, диаметром 27,9–34,1 мкм. Контур зерна слабоволнистый. Поры диаметром 2,5–3,4 мкм, с четкой и широкой окантованностью. Число пор 71–84 (90), расстояния между ними 4,5–6,3 мкм. Скульптура экзины микрошиповатая, толщиной 2,7–3,4 мкм. Слои экзины и поровые каналцы чаще всего четкие. На поровых мембранах расположено 10 микрошипов (СЭМ).

ПЗ лебеды копьелистной сфероидальные, диаметром 24,8–27,9 мкм. Контур зерна волнистый. Поры диаметром 2,2–2,7 мкм с четкой и широкой окантованностью. Число пор 45–55, расстояния между ними 3,4–5,1 мкм. Экзина микрошиповатая, ее толщина 2,2–2,7 мкм. Поровые каналцы очень четкие, на мембранах расположено 5 микрошипов (СЭМ). Есть дополнительный оперкулум.

ПЗ мари белой сфероидальные, диаметром 24,8–31,0 мкм. Контур зерна слабоволнистый. Поры диаметром 2,0–3,0 мкм с заметно волнистым ободком, слабо погруженные. Число пор 50–70. Экзина микрошиповатая, ее толщина 2,3–3,5 мкм. Поровые каналцы очень четкие, на поровых мембранах расположено более 5–6 микрошипов (СЭМ).

ПЗ амаранта отогнутого многопоровые, шаровидные, в очертании округлые, диаметром 27,6–28,8 мкм. Поры в числе 18–24 (30) в диаметре 2,2–2,8 мкм, ободок не выражен, глубоко погруженные. Поровые мембраны с крупно бугорчатыми выростами, на их поверхности расположено 5–7 бугорков, различающихся по форме. Экзина микрошиповатая, ее толщина 1,4–1,8 мкм, шипики почти все одинаковые, расположенные на расстоянии 0,3–1,0 мкм (СЭМ).



11

Рисунок 6. Нормально развитое пыльцевое зерно: (1–2) бассии (кохии веничной); (3–4) лебеды веерообразной; (5–6) мари белой и (7–8) амаранта опрокинутого. (9) Дегидратированное, деформированное пыльцевое зерно мари белой; (10) пыльца бассии веничной, пораженная спорами гриба пеницилла; (11) на поверхности пыльцы бассии веничной виден эффект оплавления, орбикулы и агломерированные частички



Рисунок 7. Схема изменчивости пыльцы семейства Amaranthaceae под воздействием абиотических, биотических и антропогенных факторов

В умеренных регионах наблюдалось до 50% разрыва пыльцевых зерен. В отличие от целых пыльцевых зерен, диаметр которых колеблется от 10 до 100 мкм, эти более мелкие носители аллергенов не идентифицируются при световой микроскопии традиционного аэробиологического мониторинга, циркулируя в воздухе более длительное время. Но они могут нести значительное количество аллергенов с негативным воздействием на аллергиков и астматиков [23].

Чтобы экспериментально подтвердить влияние воды на разрыв пыльцы и высвобождение субпыльцевых частиц, мы поместили 10 мг пыльцы бассии веничной в дистиллированную воду и после инкубации (15 мин) и окраски фуксином подсчитали под световым микроскопом число поврежденной и нормальной пыльцы на 100 пыльцевых зерен. В результате выявлено около 20% поврежденной пыльцы. Более подробный эксперимент и количественное определение белка было описано ранее [24].

В результате настоящих палиноморфологических исследований пыльцы лебеды копьелистной и бассии веничной была выявлена колонизация спорами гриба пенициллина поверхности экзины, изменяющие её микробиом.

Однако существуют и другие антропогенные факторы, воздействующие на колебания годового интеграла пыльцы, например, изменения в традиционной системе землепользования. В настоящее время сельское хозяйство оказывает положительное влияние на расширение субтропических трав в дополнение к изменению климата, что благоприятствует росту популяций растений и их распространению в ранее нетипичных местах. Так, Кыргызстан, как Австралия и Аргентина входят в число стран с растущими площадями, отведенными под сельское хозяйство, фактор, который, безусловно, может иметь последствия в отношении аллергии [25-27].

На Рисунке 8 изображены факторы, воздействующие на пыльцу амарантовых. Внутренние факторы эффекта действия на иммуномодулирующие эффекты (слева): основные аллергены относятся к семействам пектинметилэстеразы, Ole e 1-подобных и профилиновых паналлергенов, второстепенные – полкальциновые паналлергены. Кроме того, в пыльце амарантовых в больших количествах присутствуют липиды.

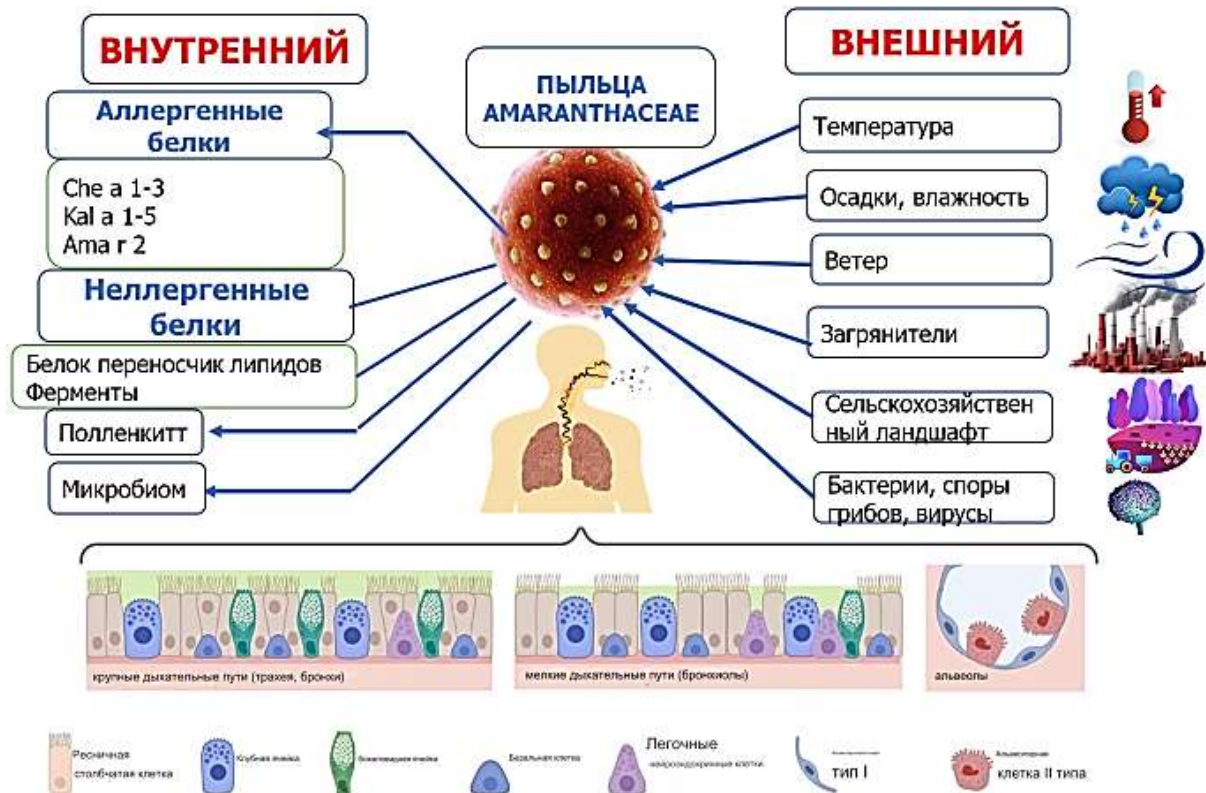


Рисунок 8. Внутренние и внешние факторы воздействия на пыльцу амарантовых и взаимодействие пыльцы с дыхательными путями человека

Микробиом пыльцы может содержать споры грибов (справа): Метеорологические воздействия, такие как температура, ветер и осадки влажность, могут влиять на иммуномодулирующую активность пыльцы и пыльцевую нагрузку, но другие биотические (споры грибов, микробы и вирусы) и антропогенные (загрязнители воздуха) факторы также могут влиять на аллергенность пыльцы. Дыхательные клетки организма человека, которые взаимодействуют с пылью амарантовых. Клеточный состав эпителия дыхательных путей изменяется на протяжении всего дыхательного тракта, при этом крупные дыхательные пути (трахея, бронхи) имеют большее количество бокаловидных клеток, чем мелкие дыхательные пути (бронхиолы) или альвеолы (снизу).

На продолжительность сезона пыльцы в воздухе влияют: 1) таксономический уровень идентификации под световым микроскопом: определяется до вида, рода или семейства; 2) цветут ли специфичные растения в одно и то же время (синхронно) или непрерывно поочередно (асинхронно) и сколько цветков открывается в день (скорость цветения); 3) погодные условия. Начало и конец сезона пыльцы травянистых растений демонстрируют значительные колебания в течение сезонов пыльцы и длительные сроки цветения; 4) вертикальная зональность. В горных условиях наблюдаются ранне- и позднецветущие растения. Таким образом, пыльца амарантовых (*Amaranthaceae*) имеет следующие характерные особенности, которые её отличают от пыльцы других растений:

1. Форма и размер: сферическая или эллипсоидная форма, округлая по контуру. Размеры колеблются в зависимости от вида, но обычно они находятся в диапазоне от 10 до 50 мкм.

2. Апертуры. Полиапертурные. Пантопоровый тип: много мелких пор (25–110), расположенных на небольших расстояниях (4–7 мкм). Диаметр пор находится в диапазоне 1,1–3,0 мкм.

3. Структура экзины (внешний слой): сэкзина и нэкзина. Сэкзина часто тегиллатная, волнистая с зернистой поверхностью, которая является шипиковой. Нэкзина такой же толщины или тоньше сэкзины. Интина (внутренний слой) толстая или нечеткая.
4. Толщина оболочки: 2,7–3,4 мкм.
5. Полленкитт: покрытие, образованное из полимеров или воскоподобных веществ. Функции защиты пыльцы от внешних факторов и повышения её жизнеспособности.
6. Текстура и орнаментация: шипиковая, микрошипиковая и другие микроструктурные элементы, которые могут быть использованы для точной идентификации видов.
7. Орбикулы: мелкие спорополлениновые частицы диаметром менее 1 мкм на поверхности экзины, имеют различную морфологию и их количество может варьировать между видами, играют роль в аллергенности. Например, у видов семейства Asteraceae их нет, а Poaceae есть.
8. Трудности идентификации: до уровня семейства.
9. Хорошая аэронавигация: легкость, размер и структура.
10. Высокая перекрестная реактивность.

Выводы:

Наши исследования продемонстрировали реакцию сорных растений Amaranthaceae, цветущих летом в г. Каракол, на изменение климата, которая заключается в снижении годового индекса пыльцы, что соответствует общемировой тенденции [11, 28, 29].

1. Сезон пыльцы Amaranthaceae длится от 144 до 162 дней, а самые высокие концентрации пыльцы регистрируются в первой и второй декадах августа, когда у чувствительных больных высок риск развития аллергии на пыльцу одновременно цветущих видов мятликовых, полыни и конопли.

2. Подекадная кривая концентрации пыльцы Amaranthaceae в г. Каракол носит унимодальный характер, часто перекрывающихся количественных характеристик: 6615 (2 декада августа 2015 г), 1326 (1 декада 2016 г) 444 п. з./м³ п. з./м³ (1 декада 2017 г). При этом наблюдалась сильная межгодовая изменчивость атмосферных уровней пыльцы, зависящая как от пыльцепродукции самих растений, так и от метеорологических параметров, особенно от температуры и осадков, а также изменения традиционной системы земледелия.

3. При самых высоких температурах 2015 г в 30,1°C значительные концентрации пыльцы (61% суммарной пыльцы за сезон) отмечены при температурах до 25°C. В 2016 г при температурах 25,2°C и 33,4°C зафиксированы наивысшие пики пыления семейства Amaranthaceae (соответственно 46% и 45% суммарной пыльцы за сезон). 2017 г был очень похож с предыдущим годом наличием унимодального пика пыления растений этого семейства при температурах 28,3°C и 25,2°C (соответственно 38% суммарной пыльцы за сезон).

4. На поверхности экзины пыльцы бассии веничной при изучении ультраструктуры были выявлены мельчайшие (1,5–2,0 мкм) гранулы спорополленина или орбикулы (тельца Убиша), играющие роль в распространении аллергенов.

Важность проведения идентификации и подсчета пыльцы заключается в возможности оценки риска сенсибилизации: чем больше аллергенная нагрузка, тем сильнее сенсибилизация и тяжесть симптомов у больных поллинозом.

Результаты настоящего исследования не только имеют практическое значение для общественного здравоохранения в аспекте риска аллергии, но и могут помочь в оценке изменений окружающей среды.

Список литературы:

1. D'Amato G., D'Amato M. Climate change, air pollution, pollen allergy and extreme atmospheric events // *Current Opinion in Pediatrics*. – 2023. – Т. 35. – №. 3. – С. 356-361. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000001237>
2. D' Amato G., Chong-Neto H. J., Monge Ortega O. P., Vitale C., Ansotegui I., Rosario N., Annesi-Maesano I. The effects of climate change on respiratory allergy and asthma induced by pollen and mold allergens // *Allergy*. 2020. V. 75. №9. P. 2219-2228. <https://doi.org/10.1111/all.14476>
3. Pyšek P., Hulme P. E., Simberloff D., Bacher S., Blackburn T. M., Carlton J. T., Richardson D. M. Scientists' warning on invasive alien species // *Biological Reviews*. 2020. V. 95. №6. P. 1511-1534. <https://doi.org/10.1111/brv.12627>
4. Ruiz-Valenzuela L., Aguilera F. Trends in airborne pollen and pollen-season-related features of anemophilous species in Jaen (south Spain): A 23-year perspective // *Atmospheric environment*. 2018. V. 180. P. 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.012>
5. Elvira-Rendueles B., Zapata J. J., Miralles J. C., Moreno J. M., Garcia-Sanchez A., Negral L., Moreno-Grau S. Aerobiological importance and allergic sensitization to Amaranthaceae under arid climate conditions // *Science of the Total Environment*. 2017. V. 583. P. 478-486. Al-Dousari A.M., Ibrahim M.I., Al-Dousari N. et al. Pollen in aeolian dust with relation to allergy and asthma in Kuwait. *Aerobiologia*. 2018.34: 325–336. <https://doi.org/10.1007/s10453-018-9516-7>.
6. Stevens P. F., Davis H. M. The angiosperm phylogeny Website-a tool for reference and teaching in a time of change // *Proceedings of the American Society for Information Science and Technology*. 2005. V. 42. №1. <https://doi.org/10.1002/meet.14504201249>
7. Al-Dousari A. M., Ibrahim M. I., Al-Dousari N., Ahmed M., Al-Awadhi S. Pollen in aeolian dust with relation to allergy and asthma in Kuwait // *Aerobiologia*. 2018. V. 34. P. 325-336. <https://doi.org/10.1007/s10453-018-9516-8>
8. Parveen A., Khan M., Zeb S. Identification and quantification of airborne pollen from Hyderabad: Tando-Jam, Sindh // *Pak. J. Bot*. 2012. V. 44. №5. P. 1755-1762.
9. Alcázar P., Stach A., Nowak M., Galán C. Comparison of airborne herb pollen types in Córdoba (Southwestern Spain) and Poznan (Western Poland) // *Aerobiologia*. 2009. V. 25. P. 55-63. <https://doi.org/10.1007/s10453-009-9109-7>
10. Rodríguez de la Cruz D., Sánchez-Reyes E., Sánchez-Sánchez J. Analysis of Chenopodiaceae-Amaranthaceae airborne pollen in Salamanca, Spain. 2012. <https://doi.org/10.3906/bot-1105-17>
11. Sulborska-Różycka A., Weryszko-Chmielewska E., Ziemianin M., Puc M., Siergiejko G., Rapiejko A., Lipiec A. Amaranthaceae pollen grains in the atmospheric air in selected Polish cities in 2022 // *Alergoprofil*. 2022. V. 18. №4. P. 26-32. <https://doi.org/10.24292/01.AP.184131222>
12. Biçakçi A., Altunoğlu M. K., Tosunoğlu A., Akkaya A., Malyer H., Sapan N. Allergenic airborne pollen concentrations of Chenopodiaceae/Amaranthaceae (goosefoot/pigweed families) in Turkey // *Asthma Allergy Immunology*. 2022. V. 8. №3. P. 170-179.
13. Ravindra K., Goyal A., Kumar S., Aggarwal A., Mor S. Pollen Calendar to depict seasonal periodicities of airborne pollen species in a city situated in Indo-Gangetic plain, India // *Atmospheric Environment*. 2021. V. 262. P. 118649. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118649>
14. Piotrowska-Weryszko K., Weryszko-Chmielewska E., Sulborska A., Konarska A., Dmitruk M., Kaszewski B. M. Amaranthaceae pollen grains as indicator of climate change in Lublin (Poland) // *Environmental Research*. 2021. V. 193. P. 110542. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110542>

15. Suanno C., Aloisi I., Fernández-González D., Del Duca S. Monitoring techniques for pollen allergy risk assessment // *Environmental Research*. 2021. V. 197. P. 111109. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111109>
16. Beug H. J. Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. 1961.
17. Lumaga M. R. B., Santangelo A., Strumia S. Morpho-functional traits influencing the fitness of highly endangered *Eokochia saxicola* (Guss.) Freitag & G. Kadereit (Amaranthaceae) // *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*. 2016. V. 218. P. 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.11.005>
18. Hamdi S. M. M., Malekloo M., Assadi M., Nejadstari T. Pollen micromorphological studies of the genus *Chenopodium* (Chenopodiaceae) in Iran // *Asian Journal of Plant Sciences*. 2009.
19. Lu K. Q., Li M., Wang G. H., Xu L. S., Ferguson D. K., Trivedi A., Wang Y. F. New pollen classification of *Chenopodiaceae* for exploring and tracing desert vegetation evolution in eastern arid central Asia // *Journal of Systematics and Evolution*. 2019. V. 57. №2. P. 190-199. <https://doi.org/10.1111/jse.12462>
20. Al-Qahtani W. H. Unveiling the intricacies of Amaranthaceous pollen diversity: Advancing ultra sculpture analysis through LM and SEM // *Microscopy Research and Technique*. 2023. V. 86. №12. P. 1691-1698. <https://doi.org/10.1002/jemt.24408>
21. Fatmi H., Mâalem S., Harsa B., Dekak A., Chenchouni H. Pollen morphological variability correlates with a large-scale gradient of aridity // *Web Ecology*. 2020. V. 20. №1. P. 19-32. <https://doi.org/10.5194/we-20-19-2020>
22. Oh J. W. Pollen allergy in a changing planetary environment // *Allergy, asthma & immunology research*. 2022. V. 14. №2. P. 168. <https://doi.org/10.4168%2Faaair.2022.14.2.168>
23. D'Amato G., Holgate S. T., Pawankar R., Ledford D. K., Cecchi L., Al-Ahmad M., Annesi-Maesano I. Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. A statement of the World Allergy Organization // *World allergy organization journal*. 2015. V. 8. P. 1-52. <https://doi.org/10.1186/s40413-015-0073-0>
24. Siri wattanakul U., Piboonpocanun S., Traiperm P., Pichakam A., Songnuan W. *Amaranthus* species around Bangkok, Thailand and the release of allergenic proteins from their pollens // *Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology*. 2015. V. 33. №3. <https://doi.org/10.12932/AP0547.33.3.2015>
25. Gornall J., Betts R., Burke E., Clark R., Camp J., Willett K., Wiltshire A. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2010. V. 365. №1554. P. 2973-2989. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0158>
26. García-Mozo H., Oteros J. A., Galán C. Impact of land cover changes and climate on the main airborne pollen types in Southern Spain // *Science of the Total Environment*. 2016. V. 548. P. 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.005>
27. Raiten D. J., Allen L. H., Slavin J. L., Mitloehner F. M., Thoma G. J., Haggerty P. A., Finley J. W. Understanding the intersection of climate/environmental change, health, agriculture, and improved nutrition: a case study on micronutrient nutrition and animal source foods // *Current Developments in Nutrition*. 2020. V. 4. №7. P. nzaa087. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa087>
28. Waisel Y., Mienis Z., Kosman E., Geller-Bernstein C. The partial contribution of specific airborne pollen to pollen induced allergy // *Aerobiologia*. 2004. V. 20. P. 197-208. <https://doi.org/10.1007/s10453-004-1183-2>

29. Boullayali A., Elhassani L., Janati A., Achmakh L., Bouziane H. Airborne pollen trends in Tétouan (NW of Morocco) // *Aerobiologia*. 2021. V. 37. P. 479-505. <https://doi.org/10.1007/s10453-021-09700-z>

References:

1. D'Amato, G., & D'Amato, M. (2023). Climate change, air pollution, pollen allergy and extreme atmospheric events. *Current Opinion in Pediatrics*, 35(3), 356-361. <https://doi.org/10.1097/MOP.0000000000001237>
2. D'Amato, G., Chong-Neto, H. J., Monge Ortega, O. P., Vitale, C., Ansotegui, I., Rosario, N., ... & Annesi-Maesano, I. (2020). The effects of climate change on respiratory allergy and asthma induced by pollen and mold allergens. *Allergy*, 75(9), 2219-2228. <https://doi.org/10.1111/all.14476>
3. Pyšek, P., Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., ... & Richardson, D. M. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6), 1511-1534. <https://doi.org/10.1111/brv.12627>
4. Ruiz-Valenzuela, L., & Aguilera, F. (2018). Trends in airborne pollen and pollen-season-related features of anemophilous species in Jaen (south Spain): A 23-year perspective. *Atmospheric environment*, 180, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.012>
5. Elvira-Rendueles, B., Zapata, J. J., Miralles, J. C., Moreno, J. M., Garcia-Sanchez, A., Negral, L., & Moreno-Grau, S. (2017). Aerobiological importance and allergic sensitization to Amaranthaceae under arid climate conditions. *Science of the Total Environment*, 583, 478-486. Al-Dousari A.M., Ibrahim M.I., Al-Dousari N. et al. Pollen in aeolian dust with relation to allergy and asthma in Kuwait. *Aerobiologia*. 2018.34: 325–336. <https://doi.org/10.1007/s10453-018-9516-7>.
6. Stevens, P. F., & Davis, H. M. (2005). The angiosperm phylogeny Website—a tool for reference and teaching in a time of change. *Proceedings of the American Society for Information Science and Technology*, 42(1). <https://doi.org/10.1002/meet.14504201249>
7. Al-Dousari, A. M., Ibrahim, M. I., Al-Dousari, N., Ahmed, M., & Al-Awadhi, S. (2018). Pollen in aeolian dust with relation to allergy and asthma in Kuwait. *Aerobiologia*, 34, 325-336. <https://doi.org/10.1007/s10453-018-9516-8>
8. Parveen, A., Khan, M., & Zeb, S. (2012). Identification and quantification of airborne pollen from Hyderabad: Tando-Jam, Sindh. *Pak. J. Bot*, 44(5), 1755-1762.
9. Alcázar, P., Stach, A., Nowak, M., & Galán, C. (2009). Comparison of airborne herb pollen types in Córdoba (Southwestern Spain) and Poznan (Western Poland). *Aerobiologia*, 25, 55-63. <https://doi.org/10.1007/s10453-009-9109-7>
10. Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez-Reyes, E., & Sánchez-Sánchez, J. (2012). Analysis of Chenopodiaceae-Amaranthaceae airborne pollen in Salamanca, Spain. <https://doi.org/10.3906/bot-1105-17>
11. Sulborska-Różycka, A., Weryszko-Chmielewska, E., Ziemianin, M., Puc, M., Siergiejko, G., Rapiejko, A., ... & Lipiec, A. (2022). Amaranthaceae pollen grains in the atmospheric air in selected Polish cities in 2022. *Alergoprofil*, 18(4), 26-32. <https://doi.org/10.24292/01.AP.184131222>
12. Biçakçı, A., Altunoğlu, M. K., Tosunoğlu, A., Akkaya, A., Malyer, H., & Sapan, N. (2022). Allergenic airborne pollen concentrations of Chenopodiaceae/Amaranthaceae (goosefoot/pigweed families) in Turkey. *Asthma Allergy Immunology*, 8(3), 170-179.
13. Ravindra, K., Goyal, A., Kumar, S., Aggarwal, A., & Mor, S. (2021). Pollen Calendar to depict seasonal periodicities of airborne pollen species in a city situated in Indo-Gangetic plain, India. *Atmospheric Environment*, 262, 118649. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118649>

14. Piotrowska-Weryszko, K., Weryszko-Chmielewska, E., Sulborska, A., Konarska, A., Dmitruk, M., & Kaszewski, B. M. (2021). Amaranthaceae pollen grains as indicator of climate change in Lublin (Poland). *Environmental Research*, 193, 110542. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110542>
15. Suanno, C., Aloisi, I., Fernández-González, D., & Del Duca, S. (2021). Monitoring techniques for pollen allergy risk assessment. *Environmental Research*, 197, 111109. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111109>
16. Beug, H. J. (1961). Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete.
17. Lumaga, M. R. B., Santangelo, A., & Strumia, S. (2016). Morpho-functional traits influencing the fitness of highly endangered *Echiochloa saxicola* (Guss.) Freitag & G. Kadereit (Amaranthaceae). *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 218, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.11.005>
18. Hamdi, S. M. M., Malekloo, M., Assadi, M., & Nejadstari, T. (2009). Pollen micromorphological studies of the genus *Chenopodium* (Chenopodiaceae) in Iran. *Asian Journal of Plant Sciences*.
19. Lu, K. Q., Li, M., Wang, G. H., Xu, L. S., Ferguson, D. K., Trivedi, A., ... & Wang, Y. F. (2019). New pollen classification of Chenopodiaceae for exploring and tracing desert vegetation evolution in eastern arid central Asia. *Journal of Systematics and Evolution*, 57(2), 190-199. <https://doi.org/10.1111/jse.12462>
20. Al-Qahtani, W. H. (2023). Unveiling the intricacies of Amaranthaceous pollen diversity: Advancing ultra sculpture analysis through LM and SEM. *Microscopy Research and Technique*, 86(12), 1691-1698. <https://doi.org/10.1002/jemt.24408>
21. Fatmi, H., Mâalem, S., Harsa, B., Dekak, A., & Chenchouni, H. (2020). Pollen morphological variability correlates with a large-scale gradient of aridity. *Web Ecology*, 20(1), 19-32. <https://doi.org/10.5194/we-20-19-2020>
22. Oh, J. W. (2022). Pollen allergy in a changing planetary environment. *Allergy, asthma & immunology research*, 14(2), 168. <https://doi.org/10.4168%2Ffair.2022.14.2.168>
23. D'Amato, G., Holgate, S. T., Pawankar, R., Ledford, D. K., Cecchi, L., Al-Ahmad, M., ... & Annesi-Maesano, I. (2015). Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. A statement of the World Allergy Organization. *World allergy organization journal*, 8, 1-52. <https://doi.org/10.1186/s40413-015-0073-0>
24. Siritwattanakul, U., Piboonpocanun, S., Traiperm, P., Pichakam, A., & Songnuan, W. (2015). Amaranthus species around Bangkok, Thailand and the release of allergenic proteins from their pollens. *Asian Pacific Journal of Allergy and Immunology*, 33(3). <https://doi.org/10.12932/AP0547.33.3.2015>
25. Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett, K., & Wiltshire, A. (2010). Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2973-2989. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0158>
26. García-Mozo, H., Oteros, J. A., & Galán, C. (2016). Impact of land cover changes and climate on the main airborne pollen types in Southern Spain. *Science of the Total Environment*, 548, 221-228. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.005>
27. Raiten, D. J., Allen, L. H., Slavin, J. L., Mitloehner, F. M., Thoma, G. J., Haggerty, P. A., & Finley, J. W. (2020). Understanding the intersection of climate/environmental change, health, agriculture, and improved nutrition: a case study on micronutrient nutrition and animal source foods. *Current Developments in Nutrition*, 4(7), nzaa087. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa087>

28. Waisel, Y., Mienis, Z., Kosman, E., & Geller-Bernstein, C. (2004). The partial contribution of specific airborne pollen to pollen induced allergy. *Aerobiologia*, 20, 197-208. <https://doi.org/10.1007/s10453-004-1183-2>

29. Boullayali, A., Elhassani, L., Janati, A., Achmakh, L., & Bouziane, H. (2021). Airborne pollen trends in Tétouan (NW of Morocco). *Aerobiologia*, 37, 479-505. <https://doi.org/10.1007/s10453-021-09700-z>

*Работа поступила
в редакцию 07.08.2024 г.*

*Принята к публикации
14.08.2024 г.*

Ссылка для цитирования:

Кобзарь В. Н., Осмонбаева К. Б. Тенденции пыльцы Amaranthaceae в воздухе // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №9. С. 44-59. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/106/04>

Cite as (APA):

Kobzar V. & Osmonbaeva K. (2024). Amaranthaceae Pollen Trends in the Air. *Bulletin of Science and Practice*, 10(9), 44-59. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/106/04>