

КОНЦЕНТРАЦИЯ ПЫЛЬЦЫ ЗЛАКОВ И ОСОК В АТМОСФЕРЕ ВО ВРЕМЯ ЦВЕТЕНИЯ РАСТЕНИЙ

© 2024

Зуева Г.А.¹, Головки В.В.²

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (г. Новосибирск, Российская Федерация)

²Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН (г. Новосибирск, Российская Федерация)

Аннотация. Были проведены исследования поступления пыльцы в атмосферу 11 видов злаков семейства Poaceae Barnh. (=Gramineae Juss.) и 5 видов осок семейства Cyperaceae Juss. Изученные растения произрастают в коллекции «Газонные и декоративные злаки» лаборатории интродукции декоративных растений Центрального сибирского ботанического сада Сибирского отделения Российской академии наук (ЦСБС СО РАН). Они активно используются как компоненты газонных культурфитоценозов и представляют группу декоративных злаков и осок. Будучи доминантами природных растительных сообществ, они образуют огромное количество пыльцы, которая является одним из основных источников аллергических болезней, вызывая сезонные поллинозы. Пыление, распространение и скорость переноса частиц зависит от состава пыльцы. Актуальность изучения этого вопроса привлекает не только аллергологов, но и ученых-ботаников. В результате работы исследован состав пыльцы злаковых и осоковых растений на наличие кластеров и определены доли кластеров и отдельных пыльцевых зерен от общего числа пыльцевых частиц, попадающих в атмосферу во время цветения растений. Наши исследования показали, что во всех проанализированных образцах присутствуют кластеры пыльцы. Экспериментальный анализ состава пыльцы злаков показал, что доля кластеров может варьироваться от 11,5% у *Arrhenatherum elatius* до 35,4% у *Panicum capillare*. При этом доля пыльцевых зерен у этих видов составляет соответственно от 28,2% до 67,6% от общего количества пыльцевых частиц (836; 1086). Что касается изученных видов осок, то здесь кластерный состав может изменяться от минимального значения в 28,6% у *Carex vesicaria* до максимального в 67,9% у *Carex altaica*, а доля пыльцевых зерен варьируется от 52,7% до 90,8% от всех пыльцевых частиц (760; 467).

Ключевые слова: злаки; осоки; цветение растений; атмосферный аэрозоль; влажность воздуха; пыльца; кластеры.

THE CONCENTRATION OF POLLEN FROM CEREALS AND SEDGES IN THE ATMOSPHERE DURING THE FLOWERING OF PLANTS

© 2024

Zueva G.A.¹, Golovko V.V.²

¹Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
(Novosibirsk, Russian Federation)

²Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
(Novosibirsk, Russian Federation)

Abstract. The pollen atmospheric pollen supply of 11 species of grasses of the family Poaceae Barnh. (=Gramineae Juss.) and 5 species of sedges of the family Cyperaceae Juss. was investigated. The studied plants grow in the collection of «Lawn and ornamental grasses» of the Laboratory of Introduction of Ornamental Plants, Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (CSBS SB RAS). They are actively used as components of lawn cultures and represent the group of ornamental grasses and sedges. Being dominants of natural plant communities, they produce a huge amount of pollen, which is one of the main sources of allergic diseases, causing seasonal pollinosis. Pollenization, distribution and particle transport rate depend on pollen composition. The relevance of studying this issue attracts not only allergologists, but also botanical scientists. As a result, we investigated the composition of pollen of cereal and sedge plants for the presence of clusters and determined the shares of clusters and individual pollen grains from the total number of pollen particles entering the atmosphere during flowering of plants. Our studies showed that pollen clusters are present in all analyzed samples. Experimental analysis of cereal pollen composition showed that the proportion of clusters can vary from 11,5% in *Arrhenatherum elatius* to 35,4% in *Panicum capillare*. Meanwhile, the proportion of pollen grains in these species ranges from 28,2% to 67,6% of total pollen particles, respectively (836; 1086). As for the studied sedge species, the cluster composition can vary from a minimum value of 28,6% in *Carex vesicaria* to a maximum of 67,9% in *Carex altaica*, and the proportion of pollen grains varies from 52,7% to 90,8% of all pollen particles (760; 467).

Keywords: cereals; sedges; flowering dates of plants; atmospheric aerosol; air humidity; pollen; clusters.

Введение

Пыльцевые частицы являются основными компонентами биологических аэрозольных частиц. Они играют важную роль в размножении растений, обмениваются генетическим материалом между популяциями. Данная работа имеет ряд циклов исследования, посвященных рассмотрению рассеивания, пере-

носа и улавливания пыльцы. Сложная форма пыльцевых зерен, образование кластеров, перенос пыльцы злаками и осоками в атмосфере дает возможность моделирования ее распространения.

Семейство Злаки – одно из крупных семейств покрытосеменных растений. В результате тщательной ревизии установлено, что в него входит более 440 ви-

дов, диапазон распространения их велик – по всему земному шару [1, с. 5]. Осоковые – обширное семейство однодольных растений, состоящих из 4 тыс. видов многолетних трав, с виду похожих на злаки [2, с. 5]. Исследованные нами 16 видов относятся к 11 родам данных семейств, представленных из разных природно-климатических зон. Фенологические наблюдения позволяют определить переход растений в фазу цветения, а значит, пыление пыльцы и ее сбор. Концентрация ее в атмосфере определяется размером популяции и количеством генеративных побегов. Пыльца переносит химические элементы в пределах биоценозов, влияет на образование облаков, выпадение осадков и на региональный климат в целом [3].

Пыльца злаков и осок, поступающая в атмосферу в огромном количестве, вызывает сезонные заболевания – поллинозы [4; 5, с. 17; 6, р. 385]. В связи с увеличением количества поллинозов растет интерес к изучению распространения пыльцы в воздухе [7, р. 397; 8, р. 39]. Предположение о способности пыльцы растений разноситься движением воздуха на большие расстояния от материнского растения, с учетом ее легкости и летучести, показало, что жизнеспособная пыльца разносится относительно недалеко. Большое значение имеет высота генеративных побегов у растений. У злаков и осок соцветия обычно возвышаются над листовой массой. Они образуют огромное количество пыльцы, которая является одним из основных источников аллергических болезней. Пыление, распространение и скорость переноса частиц зависит от состава пыльцы. Изучение этого вопроса привлекает не только аллергологов, но и ученых-ботаников. G. Erdtman (1969) [9, р. 147] в своей работе сообщает, что злаки характеризуются высокой пыльцевой продуктивностью – до 300 кг на гектар, вследствие доминирующего положения в травянистых ценозах внетропической суши. В работе В.В. Головки и др. (2015) отмечено, что в Новосибирской области в период массового цветения растений 57% от суммарного значения приходится на пыльцу березы в период массового цветения, когда среднесуточные массовые концентрации пыльцы в атмосферном воздухе варьировали от 0,3 до 57,8 мкг/м³, в отдельных пробах атмосферного аэрозоля – до 85 мкг/м³ [10, с. 529].

Анализируя работы по аэропалинологическим исследованиям Г.И. Ненашевой и др. (2011), труды под редакцией Н.Р. Мейер-Меликян, Е.Э. Северовой (1999) и S. Nilsson, F.Th.M. Spieksma (1994), отметили, что, при изучении концентрации пыльцы в атмосфере о наличии кластеров не упоминалось [11–13], хотя в ранних исследованиях D. Pohl (1937) о них говорилось [14, р. 365]. Образование пыльцевых кластеров отмечалось при изучении покрытосеменных и четвертичных растений [15; 16] и некоторых видов амброзии, в состав которых могло входить более сотни пыльцевых зерен [17; 18]. При изучении пыльцы древесных растений авторами В.В. Головки, К.П. Куценогий, В.Л. Истоин (2015) было отмечено, что кластеры у них состоят из двух или большего числа пыльцевых зерен [10, с. 532].

Цель нашего исследования – изучить состав пыльцы злаков и осок на наличие кластеров и определить, какая часть пыльцевых частиц приходится на кластеры и на отдельные пыльцевые зерна.

Объекты и методы изучения

Данная работа является продолжением цикла исследований. Ежегодно работа проводилась с отдельными видами злаков и осок, учитывая благоприятные погодные условия для сбора пыльцы. Злаки: *Alpecurus pratensis* L., *Molina caerulea* (L.) Moench, *Poa annua* L., *Agrostis nebulosa* (Boiss. & Reut.) Tzvelev, *Festuca gigantea* (L.) Vil, *Melica transsilvanica* Schur., *Panicum capillare* L., *Poa alpina* L., *Arrhenatherum elatius* L., *Briza maxima* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv; осоки: (*Carex altaica* (Gorodkov) V.I. Krecz., *Carex pallescens* L., *Carex flacca* Schreb., *Carex vesicaria* L., *Carex diluta* M. Bieb.) из коллекции «Газонные и декоративные злаки» лаборатории интродукции декоративных растений Центрального сибирского ботанического сада Сибирского отделения Российской академии наук ЦСБС СО РАН, USU 440534. Объекты изучения являются доминантами растительных сообществ, широко используются при моделировании газонных культурфитоценозов, имеют декоративное значение, активно используются в озеленении Западносибирского региона. В составе пыльцы трав преобладает пыльца семейств Сурегасеа и Роасеае, которая может переноситься ветром на дальние расстояния.

Сбор пыльцы проводили вручную, используя отработанный метод [19]. Одновременно измерялась температура и относительная влажность воздуха при помощи Center 311 temperature meter. Подсчет пыльцевых частиц (ПЧ) (одиночных ПЗ и их кластеров) проводился на 10 трансектах при 10–40-кратном увеличении объектива микроскопа. Из всех просмотренных препаратов исследуемых видов растений были сделаны снимки ПЗ в центре коллективного пользования микроскопического анализа биологических объектов СО РАН при ИЦИГ (Институт цитологии и генетики) СО РАН. Площади проекций ПЗ этих снимков обрабатывались программой MapInfo Professional.

Проведена проверка гипотезы об образовании кластеров в процессе оседания на подложку из одиночных зерен по методике, использованной ранее [19, с. 477, 478]. Для этого применялся критерий Фишера с ϕ -преобразованием (угловое преобразование Фишера).

$$F = (\varphi_1 - \varphi_2)^2 \times Na \geq 1 \times Nb \geq 1 / \\ / Na \geq 1 \times Nb \geq 1 \sim F(a, df_1, df_2),$$

где φ_1 и φ_2 – преобразованные доли, $Na \geq 1$, $Nb \geq 1$ – объемы выборок (в данном случае – суммарные количества ПЗ на подложках). Полученное значение сравнивалось с табличным при заданном уровне значимости и числом степеней свободы – $df_1 = 1$; $df_2 = Na \geq 1 + Nb \geq 2 - 2$.

При оценке количества кластеров, состоящих из двух или более первичных зерен (ПЗ), которые могли сформироваться на подложке, были сделаны следующие предположения:

1. Оседание ПЗ на подложку происходит независимо от оседания других ПЗ.

2. ПЗ располагаются в кластере в один слой.

Когда объемы выборок исчисляются сотнями или тысячами, значения критерия F Фишера составляют:

- при уровне значимости $\alpha = 0,05$ – 3,8;
- при уровне значимости $\alpha = 0,01$ – 6,6;
- при уровне значимости $\alpha = 0,001$ – 10,8.

Если вычисленные значения критерия F Фишера превышают указанные величины, то нулевую гипотезу следует отклонить при заданном уровне значимости.

С увеличением числа ПЗ в кластере их количество уменьшается. Рассчитаны мат. ожидания чисел кластеров, в состав которых входило ≥ 2 ПЗ, при их образовании на подложке из оседающих ПЗ. Если математическое ожидание числа кластеров из N ПЗ меньше единицы, то частицы из более чем N ПЗ на препарате при заданном количестве ПЗ на единицу площади не образуются.

Результаты и обсуждение

В ходе исследования мы изучили состав пыльцы всех отобранных образцов. Фенологические наблюдения позволили нам определить сроки массового цветения исследуемого вида в популяции в целом и выбрать дату сбора пыльцы. Во время отбора проб измерялась температура воздуха и относительная влажность, чтобы более точно оценить влияние различных экологических факторов на процесс цветения. Резкие изменения температуры, осадки и сильный ветер могут негативно сказаться на цветении растений. Так как пыльца растений неизменно входит в состав крайне разнородной по своему составу и генезису группы биологических материалов и структур атмосферных аэрозольных частиц биологического происхождения [20], мы подсчитали на подложках количество осевших пыльцевых частиц (ПЧ) и пыльцевых зерен (ПЗ) для каждого образца. От общего количества осевших ПЧ мы определили процентные доли кластеров и ПЗ в их составе.

Злаковые растения и осоки относятся к анемофильным видам, что означает, что их пыльца легко переносится по воздуху. Это связано с небольшим ко-

личеством или отсутствием клейких веществ и жирных масел на поверхности пыльцевых зерен, что обеспечивает их сыпучесть. Наши исследования показали, что во всех проанализированных образцах присутствуют кластеры пыльцы (табл. 1). Более половины пыльцевых зерен, попавших в атмосферу, содержится в этих кластерах.

Как видно из таблицы 1, во всех пробах пыльцы были обнаружены пыльцевые кластеры у всех исследованных растений. У злаков доля кластеров была небольшой и варьировалась от 11,5% у *Arrhenatherum elatius* до 35,4% у *Panicum capillare*, составляя от 836 до 1086 пыльцевых частиц (ПЧ) от общего числа. При этом доля зерен пыльцы в них составляла от 28,2% до 67,6%. Морфология пыльцевых оболочек злаков была однотипной, а различия, вероятно, были связаны с разными фазами цветения. У осок же доля кластеров от общего количества ПЧ варьировалась от минимального значения в 28,6% у *Carex vesicaria* до максимального в 67,9% у *Carex altaica*, составляя от 760 до 467 ПЧ. Доля зерен пыльцы у них, соответственно, составляла от 52,7% до 90,8% от общего числа ПЧ соответственно 760; 467.

В таблице 2 представлены экспериментальные данные, полученные для четырех видов злаков и пяти видов осок. Эти данные отражают:

1. Общее количество ПЗ, осевших на подложки ($N \geq 1$).
2. Доля поверхности препаратов, занятой ПЗ (p , %).
3. Число реально наблюдаемых кластеров из j зерен пыльцы на подложках (n_j) и их математические ожидания (N_j).
4. Вычисленные значения критерия Фишера (F_ϕ) для сравнения долей одиночных ПЗ.

Таблица 1 – Образование кластеров в пыльце злаков и осок

Видовое название растений	Дата сбора пыльцы	Темпе- ратура воздуха, °С	Относи- тельная влажность воздуха, %	Число пыльцевых		Относительная доля	
				частиц	зерен	кластеров из ≥2 ПЗ, %	зерен пыльцы в кластерах, %
Злаки							
<i>Agrostis nebulosa</i>	20.05.2022	+25,3	67,0	1460	2434	27,6	56,6
<i>Alopecurus pratensis</i>	20.06.2022	+33,6	65,5	2231	3297	19,5	45,5
<i>Arrhenatherum elatius</i>	26.06.2018	+26,1	74,0	836	1031	11,5*	28,2**
<i>Briza maxima</i>	26.07.2018	+23,8	66,6	349	475	18,9	40,4
<i>Deschampsia cespitosa</i>	18.07.2018	+25,7	60,0	428	565	21,0	40,2
<i>Festuca gigantea</i>	26.06.2020	+27,9	59,0	1467	1838	12,7	30,4
<i>Melica transsilvanica</i>	01.07.2022	+26,5	34,8	3248	5820	31,9	62,0
<i>Molinia caerulea</i>	26.06.2020	+27,3	56,7	619	910	25,0	49,0
<i>Panicum capillare</i>	09.09.2019	+27,0	65,1	1086	2167	35,4*2	67,6**2
<i>Poa alpina</i>	09.06.2018	+23,5	71,2	838	1489	32,3	61,9
<i>Poa annua</i>	26.05.2022	+36,6	29,3	660	944	19,4	43,6
Осоки							
<i>Carex altaica</i>	09.06.2018	+24,2	65,7	467	1626	67,9*2	90,8**2
<i>Carex diluta</i>	09.06.2018	+25,5	63,4	426	748	35,7	63,4
<i>Carex macroura</i>	09.06.2018	+24,4	67,0	398	849	37,9	70,9
<i>Carex pallescens</i>	09.06.2018	+24,2	65,7	2204	3682	32,4	59,6
<i>Carex vesicaria</i>	09.06.2018	+24,4	66,4	760	1149	28,6*	52,7**

Примечание. Полужирным шрифтом выделено: * – малая доля кластеров; *2 – максимальная доля кластеров. ** – малая доля зерен пыльцы в кластерах; **2 – максимальная доля зерен пыльцы в кластерах.

Таблица 2 – Количество и математические ожидания числа кластеров пыльцевых зерен злаковых растений и осок

Видовое название		N ≥ 1	p, %	Количество кластеров, в состав которых входит соответствующее число (j) ПЗ												F _φ
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	≥10	≥20	≥100	
Злаки																
<i>Poa alpina</i>	n _j	1489	0,07	1481	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	45,2
	N _j			567	141	48	32	20	7	7	6	1	6	3	–	
<i>Arrhenatherum elatius</i>	n _j	1031	0,14	1019	6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20,6
	N _j			740	57	16	9	4	4	2	2	1	1	–	–	
<i>Briza maxima</i>	n _j	475	0,03	473	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	19,6
	N _j			283	55	4	–	–	–	–	–	–	7	–	–	
<i>Deschampsia cespitosa</i>	n _j	565	0,03	564	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21,5
	N _j			338	64	16	7	1	–	–	1	–	1	–	–	
Осоки																
<i>Carex altaica</i>	n _j	1626	0,2	1600	13	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	64,8
	N _j			150	90	61	45	31	23	11	15	7	30	4	–	
<i>Carex pallescens</i>	n _j	3682	1,07	3354	146	11	1	–	–	–	–	–	–	–	–	49,6
	N _j			1489	390	144	85	42	17	13	4	4	15	1	–	
<i>Carex flacca</i>	n _j	849	0,07	845	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	38,1
	N _j			247	70	40	10	5	3	3	1	0	15	4	–	
<i>Carex vesicaria</i>	n _j	1149	0,08	1141	4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	35,1
	N _j			543	127	51	15	16	2	2	3	1	–	–	–	
<i>Carex diluta</i>	n _j	748	0,05	744	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	33
	N _j			274	69	38	19	15	7	3	1	–	–	–	–	

Площадь проекции осевших пыльцевых зерен (ПЗ) у злаков варьировала в пределах от 0,03% до 0,14% от общей поверхности препаратов, которые были осмотрены. Значения критерия Фишера находились в диапазоне от 19,6 до 45,2. Анализ препаратов осок показал, что площадь проекции осевших ПЗ определялась в пределах от 0,05% до 1,07%. Значения критерия Фишера варьировались от 33,0 до 64,8.

У всех исследованных видов растений значения углового критерия Фишера были выше 10,8, что соответствует уровню значимости $\alpha = 0,001$. Это свидетельствует о том, что в атмосферу попадают одиночные ПЗ, которые образуют кластеры уже на предметном стекле микроскопа. Угловой критерий Фишера позволяет сделать вывод о том, что нулевая гипотеза несостоятельна.

Заключение

Исследования пыльцы в атмосфере у различных видов растений показали, что пыльцевые частицы (ПЧ), попадающие в воздух в период цветения, не являются однородными. Пыльца изученных растений представлена как одиночными пыльцевыми зернами (ПЗ), так и их кластерами, которые могут включать от двух и более зерен.

Наши результаты подтверждают, что процентное содержание кластеров в общем объеме образовав-

шихся частиц может сильно различаться у разных видов растений. Формирование кластеров происходит в процессе эмиссии пыльцы в атмосферу, что свидетельствует о том, что морфологические особенности строения пыльцевых зерен злаков и осок не препятствуют их объединению. Стоит отметить, что первоначальная гипотеза о формировании пыльцевых скоплений на подложке у изученных образцов не подтвердилась. Это позволяет предположить, что формирование скоплений у злаков и осок происходит непосредственно в пыльниках, когда пыльца попадает в атмосферу.

Выводы, полученные при исследовании других видов злаков и осок [21], не противоречат нашим результатам. Дальнейшие исследования видов растений из этой коллекции будут посвящены изучению скорости оседания пыльцы и ее массы.

Список литературы:

1. Флора Сибири. Т. 2. Poaceae (Gramineae) / сост. Г.А. Пешкова, О.Д. Никифорова, М.Н. Ломоносова и др. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 361 с.
2. Флора Сибири. Т. 3. Cyperaceae / сост. Л.И. Малышев, С.А. Тимохина, С.В. Бубнова. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 280 с.
3. Després V.R., Huffman J.A., Burrows S.M., Hoose C., Safatov A.S., Buryak G., Fröhlich-Nowoisky J., Elbert W.,

Andreae M.O., Pöschl U., Jaenicke R. Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review // *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*. 2012. Vol. 64. DOI: 10.3402/tellusb.v64i0.15598.

4. D'Amato M., Vitale C., Molino A., Mormile M., Vatterella A., Sanduzzi A., D'Amato G. Pollen allergy, asthma and climate change // *International Journal of Immunorehabilitation*. 2018. Vol. 20, № 1. P. 5–9.

5. Астафьева Н.Г., Удовиченко Е.Н., Гамова И.В., Перфилова И.А., Кобзев Д.Ю. Пыльцевая аллергия в Саратовской области // *Российский аллергологический журнал*. 2010. № 1. С. 17–25.

6. Lake I.R., Jones N.R., Agnew M., Goodess C.M., Giorgi F., Hamaoui-Laguel L., Semenov M.A., Solomon F., Storky J., Vautard R., Epstein M.M. Climate change and future pollen allergy in Europe // *Environmental Health Perspectives*. 2017. Vol. 125, iss. № 3. P. 385–391. DOI: 10.1289/ehp173.

7. Han S.M., Won O.J., Hwang K.S., Suh S.J., Park K.W., Lee B., Kim C.-G. Gene flow from herbicide resistant genetically modified rice to conventional rice (*Oryza sativa* L.) cultivars // *Journal of Ecology and Environment*. 2015. Vol. 38, iss. 4. P. 397–403. DOI: 10.5141/ecoenv.2015.042.

8. Jackson S.T., Lyford M.E. Pollen dispersal models in Quaternary plant ecology: Assumptions, parameters, and prescriptions // *The Botanical Review*. 1999. Vol. 65, № 1. P. 39–75. DOI: 10.1007/bf02856557.

9. Erdtman G. Handbook of palynology. Morphology, taxonomy, ecology. An introduction to the study of pollen grains and spores. New York, 1969. 486 p.

10. Головки В.В., Куценогий К.П., Истомина В.Л. Счетные и массовые концентрации пыльцевой компоненты атмосферного аэрозоля в окрестностях г. Новосибирска в период цветения древесных растений // *Оптика атмосферы и океана*. 2015. Т. 28, № 6. С. 529–533. DOI: 10.15372/aoo20150605.

11. Принципы и методы аэропаллинологических исследований / под ред. Н.Р. Мейер-Меликян, Е.Э. Севе-ровой. М., 1999. 48 с.

12. Ненашева Г.И., Репин Н.В., Репина К.Н. Прикладные аспекты аэропаллинологических исследований на примере Алтайского края // *Известия Алтайского государственного университета*. 2011. № 3–1 (71). С. 84–87.

13. Allergy service guide in Europe / eds.: S. Nilsson, F.Th.M. Spielsma. Stockholm, 1994. 123 p.

14. Pohl D. Die Pollenerzeugung der Windblütler. Eine vergleichende Untersuchung mit Ausblicken auf die Be-

staubung der tierblütigen Gewächse und die pollenanalytische Waldgeschichte // *Zur Morphologie und Biologie des Pollen*. 1937. Vol. 56. P. 365–470.

15. Culley T.M., Weller S.G., Sakai A.K. The evolution of wind pollination in angiosperms // *Trends in Ecology and Evolution*. 2002. Vol. 17, iss. 8. P. 361–369. DOI: 10.1016/s0169-5347(02)02540-5.

16. Jackson S.T., Lyford M.E. Pollen dispersal models in Quaternary plant ecology: Assumptions, parameters, and prescriptions // *The Botanical Review*. 1999. Vol. 65, iss. 1. P. 39–74. DOI: 10.1007/bf02856557.

17. Harrington J.B., Metzger K. Ragweed pollen density // *American Journal of Botany*. 1963. Vol. 50, iss. 6. P. 532–539. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1963.tb07226.x.

18. Ogden E.C., Hayes J.V., Raynor G.S. Diurnal patterns of pollen emission in *Ambrosia*, *Phleum*, *Zea*, and *Ricinus* // *American Journal of Botany*. 1969. Vol. 56, iss. 1. P. 16–21. DOI: 10.1002/j.1537-2197.1969.tb07500.x.

19. Головки В.В., Беланова А.П., Зуева Г.А. Исследование кластерного состава пыльцевых частиц, поступающих в атмосферу во время цветения анемофильных растений // *Оптика атмосферы и океана*. 2019. Т. 32, № 6. С. 476–481. DOI: 10.15372/aoo20190610.

20. Després V.R., Huffman J.A., Burrows S.M., Hoose C., Safatov A.S., Buryak G., Fröhlich-Nowoisky J., Elbert W., Andreae M.O., Pöschl U. Jaenicke R. Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review // *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*. 2012. Vol. 64, iss. 1. DOI: 10.3402/tellusb.v64i0.15598.

21. Zueva G.A., Golovko V.V. Diversity of grasses as producers of atmospheric aerosol pollen component // *Bio Web of Conferences*. 2020. Vol. 24. DOI: 10.1051/bioconf/20202400101.

Исследования были выполнены в рамках комплексной программы фундаментальных научных исследований Сибирского отделения Российской академии наук в рамках проекта «Анализ биоразнообразия, сохранение и реставрация редких и ресурсных видов растений экспериментальными методами» (государственный регистрационный номер ААААА-А21-121011290025-2), а также с использованием материалов научной биоресурсной «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» USU 440534.

Информация об авторе(-ах):	Information about the author(-s):
Зуева Галина Александровна , кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории интродукции декоративных растений; Центральный сибирский ботанический сад СО РАН (г. Новосибирск, Российская Федерация). E-mail: zuevagalina70@yandex.ru.	Zueva Galina Alexandrovna , candidate of biological sciences, senior researcher of Ornamental Plants Introduction Laboratory; Central Siberian Botanical Garden of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russian Federation). E-mail: zuevagalina70@yandex.ru.
Головки Владимир Викторович , кандидат биологических наук, инженер лаборатории дисперсных систем; Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН (г. Новосибирск, Российская Федерация). E-mail: golovko@kinetics.nsc.ru.	Golovko Vladimir Viktorovich , candidate of biological sciences, engineer of Dispersed Systems Laboratory; Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russian Federation). E-mail: golovko@kinetics.nsc.ru.

Для цитирования:

Зуева Г.А., Головки В.В. Концентрация пыльцы злаков и осок в атмосфере во время цветения растений // Самарский научный вестник. 2024. Т. 13, № 3. С. 26–30. DOI: 10.55355/snv2024133104.