

Кластерный состав пыльцы анемофильных растений, поступающей в атмосферу

В.В. Головки^{✉1}, Г.А. Зуева², Т.И. Киселева^{1,2*}

¹Институт химической кинетики горения СО РАН
630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3

²Центральный сибирский ботанический сад СО РАН
630090, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101

Поступила в редакцию 23.03.2022 г.;
после доработки 31.03.2022 г.;
принята к печати 11.04.2022 г.

Приведены результаты исследования эмиссии в атмосферу пыльцы 26 видов анемофильных растений и 3 видов энтомофильных растений, для которых возможна факультативная анемофилия. Оценена доля кластеров из двух и более пыльцевых зерен от суммарного числа пыльцевых частиц, поступающих в атмосферу. Показано, что подобные кластеры в значительных количествах образовывались во всех сериях опытов. Доля пыльцевых кластеров достигала ~71% от общего числа пыльцевых частиц. Доля пыльцевых зерен в составе кластеров достигала ~94% от общего числа зерен пыльцы.

Ключевые слова: пыльца, анемофильные растения, атмосферный аэрозоль, кластер; pollen, anemophilic plant, atmospheric aerosol, cluster.

Введение

Пыльца анемофильных растений — неизменная компонента грубодисперсной фракции атмосферного аэрозоля. Ее распространение в атмосфере — физический процесс, необходимый для семенного размножения анемофильных растений — основных продуцентов биомассы внетропической суши. Пыльцевые зерна (ПЗ) вызывают вспышки аллергических реакций у 30% населения [1], участвуют в переносе химических элементов в биоценозах.

Высокой аллергенностью пыльцы обусловлено создание множества станций аэропалеонтологического мониторинга по всей Земле. Их часто объединяют в региональные и национальные сети и проводят многолетние наблюдения по стандартным методикам. В 2016 г. в мире действовало 879 станций отбора проб пыльцевого аэрозоля: 9 — в Африке, 151 — в Америке, 182 — в Азии (143 — в Японии), 525 — в Европе и 12 — в Океании [2]. В России — 9 станций: в Москве, Санкт-Петербурге, Екатеринбурге, Краснодаре, Перми, Ростове-на-Дону, Рязани, Ставрополе, Тюмени (<https://allergotop.com>).

При определении концентрации пыльцы в атмосфере наиболее часто используются щелевые аспирационные отборники Хирста, Буркарда и Лан-

зони (> 600 или 70% станций). Особенности морфологии пыльцевых частиц (ПЧ) (большие размеры — средний диаметр ПЗ анемофильных растений — 20–40 мкм, деформация при высушивании, наличие кластеров) обусловлены существенные трудности при улавливании пыльцевого аэрозоля (ПА). Отбор проб не является изокинетическим, наблюдается оседание ПЧ на стенки отбирающих устройств [3, 4], при отборе разрушаются кластеры [5], недостаточна эффективность улавливания частиц > 10 мкм [6] (например, не улавливается ~15% пыльцы злаков). Анализ отобранных импакторами проб требует квалифицированных исполнителей и занимает 3–10 дней. Погрешность измерений концентрации пыльцы в воздухе составляет ~30% [7]. Существующая методика отбора проб ПА не обеспечила непрерывный мониторинг при пандемии COVID-19 [8]. Карантин и изоляция персонала препятствовали проведению наблюдений. Необходимо также отметить, что отборы проб ПА позволяют судить о содержании пыльцы в атмосфере лишь в окрестностях пункта наблюдения. Даже в Европе (например, в Баварии) число пунктов пыльцевого мониторинга недостаточно для прогнозирования переноса пыльцы в атмосфере [2].

В настоящее время в Европе действует программа AutoPollen, цель которой — создание прототипа сети из полностью автоматических станций мониторинга пыльцы. Для охвата основных биоклиматических зон Европы предполагается дополнительное развертывание 200–300 автоматических

* Владимир Викторович Головки (golovko@kinetics.nsc.ru); Галина Александровна Зуева (zuevagalina70@yandex.ru); Татьяна Ивановна Киселева (tk552008@yandex.ru).

станций, позволяющих получать данные в режиме реального времени (за несколько минут после отбора проб). Считается, что своевременное получение информации о таксономической принадлежности, сроках поступления и концентрациях ПЧ в атмосфере заметно снизит прямые и косвенные расходы на здравоохранение, связанные с аллергией, которые оцениваются в 50–150 млрд евро в год [8].

Площадь России, втрое превосходящая площадь Европы, много меньшая плотность населения и его крайне неравномерное распределение объективно препятствуют созданию сети станций пыльцевого мониторинга. Более перспективным для прогнозирования содержания пыльцы в атмосфере представляются модели ее переноса, при создании которых учитывались бы особенности растительности, пыльцевая продуктивность растений и процессы распространения ПЧ.

Эффективность сдувания ветром ПЧ с поверхности пыльников, сроки их нахождения в воздухе и дальность переноса, а также эффективность захвата отбирающими поверхностями зависят от скорости оседания.

Поступающие в атмосферу ПЗ анемофильных растений высыхают, изменяют размеры, форму и плотность протопласта [9, 10]. В цитоплазме вегетативной клетки ПЗ могут возникать воздушные полости [11]. Наиболее сильно на скорость оседания ПЧ влияет образование кластеров из двух и более ПЗ [12] – процесс, который до сих пор слабо изучен.

В настоящей работе продолжены исследования [13–15] кластерного состава ПА в ходе эмиссии в атмосферу пыльцы 29 видов растений, представленных в экспозиции ЦСБС СО РАН.

Материалы и методы

Все опыты проводились в полевых условиях. Исследовался кластерный состав ПА, поступающего в атмосферу с растений, растущих в открытом грунте, как в природных популяциях, так и на коллекционных участках ЦСБС СО РАН. ПЧ сдувались ветром с соцветий растений на подложки, покрытые глицерин-желатином с добавлением красителя кумаша голубого (рис. 1). Скорость порывов ветра измерялась анемометром и составляла 0,3–2,0 м/с. Подложки располагались по направлению ветра. Расстояние до подложек составляло 20–25 см, что позволяло уловить достаточное количество ПЧ и избежать контакта подложек с соцветиями. Отборы проб пыльцы каждого вида повторялись пятикратно с интервалами в несколько минут. Экспозиция подложек составляла 1–2 с. Одновременно прибором Center 311 измерялись температура и относительная влажность воздуха. Подсчет ПЧ (одиночных ПЗ и их кластеров) проводился на 10 трансектах при 10–40-кратном увеличении объектива микроскопа МБИ-11У42.

Особенности морфологии ПЗ ветроопыляемых растений (пыльца сухая, с тонкой и гладкой внешней оболочкой – экзиной) препятствуют их слипанию, однако неясно, насколько эффективно они

мешают образованию кластеров. Предполагают, что в ходе эмиссии в атмосферу из пыльников поступают одиночные ПЗ, а наблюдаемые кластеры образуются при оседании непосредственно на предметном стекле микроскопа (рис. 2, 3).

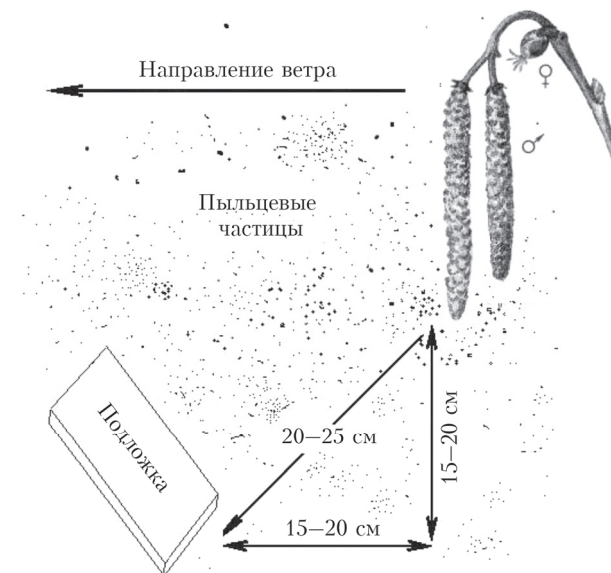


Рис. 1. Улавливание пыльцы лещины древовидной в момент ее высыпания из пыльников

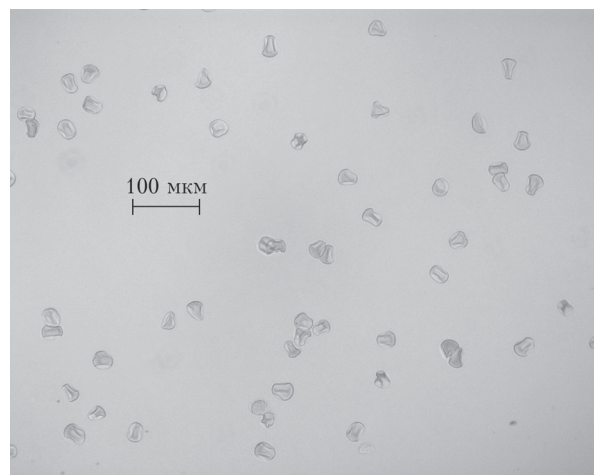


Рис. 2. Примеры кластеров ПЗ житняка гребенчатого

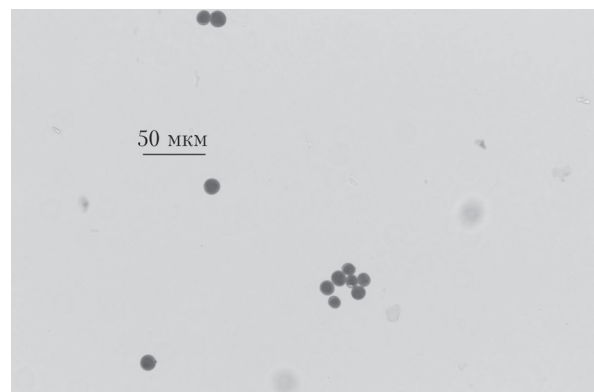


Рис. 3. Плотность осадка ПЗ мятлика луговой на подложке

При оценке числа кластеров из двух и более ПЗ, которые могли бы образоваться на подложке, сделаны следующие допущения: 1) оседание ПЗ на подложку не зависит от оседания других ПЗ; 2) в формирующемся кластере ПЗ располагаются в один слой. С ростом числа ПЗ в кластерах их число на подложке должно уменьшаться. Если математическое ожидание количества кластеров из произвольного числа ПЗ меньше единицы, то подобные (и более крупные) ПЧ на препарате при заданном числе ПЗ на единицу площади не образуются.

Кластер образуется, если расстояние между геометрическими центрами ПЗ не превышает двух радиусов. Таким образом, математическое ожидание количества кластеров, в состав которых входит два или более ПЗ ($N_{\geq 2}$), можно представить в виде

$$N_{\geq 2} = 4pN_{\geq 1}, \quad (1)$$

где $N_{\geq 1}$ — число ПЗ в кластерах из одного и более ПЗ (фактически — общее количество ПЗ, осевших на подложки);

$$p = S_{pg}N_{\geq 1}/S_T \quad (2)$$

— доля поверхности препаратов, которую занимают ПЗ (см. рис. 1), S_{pg} — среднее значение площади проекции ПЗ, S_T — площадь просмотренных препаратов.

Для оценки площади индивидуальных ПЗ в Центре коллективного пользования микроскопического анализа биологических объектов СО РАН были сделаны снимки ~200 ПЗ каждого из исследуемых видов растений. Площади проекции ПЗ на снимках определялись при обработке изображений программой MapInfo Professional.

Математическое ожидание числа кластеров из двух ПЗ можно оценить соотношением

$$N_2 = N_{\geq 2} - N_{\geq 3}, \quad (3)$$

где $N_{\geq 3}$ — математическое ожидание числа кластеров из трех и более ПЗ,

$$N_{\geq 3} = 7pN_{\geq 2}. \quad (4)$$

В общем случае математические ожидания количества кластеров $N_{\geq j}$ и N_j из j и более ПЗ можно представить в виде

$$N_{\geq j} = (3(j-1) + 4)pN_{\geq(j-1)}; \quad (5)$$

$$N_j = N_{\geq j} - N_{\geq j+1}. \quad (6)$$

Математическое ожидание количества одиночных ПЗ

$$N_1 = N_{\geq 1} - 2N_2 - 3N_3 - \dots - jN_j. \quad (7)$$

При оседании ПЗ на подложку возможны два альтернативных варианта: либо на подложке оказывается одиночное ПЗ, либо оно входит в состав кластера из двух и более ПЗ. Таким образом, задачу можно свести к сравнению долей одиночных ПЗ от общего количества осевших на подложки ПЗ — к оценке достоверности различия долей или процентов признака, характеризующегося альтернативным распределением. С этой целью был использован критерий Фишера F с ϕ -преобразованием (угловое преобразование Фишера), предназначенный для сопоставления двух выборок по частоте встречаемости интересующего исследователя показателя:

$$F = \frac{(\phi_1 - \phi_2)^2 \cdot N_{a \geq 1} N_{b \geq 1}}{N_{a \geq 1} N_{b \geq 1}} \sim F_{(a, df_1, df_2)}, \quad (8)$$

где ϕ_1 и ϕ_2 — преобразованные доли; $N_{a \geq 1}$, $N_{b \geq 1}$ — объемы выборок (суммарные количества ПЗ на подложках). Полученное значение сравнивалось с табличным при заданном уровне значимости и числе степеней свободы $df_1 = 1$; $df_2 = N_{a \geq 1} + N_{b \geq 2} - 2$.

Когда объемы выборок исчисляются сотнями и тысячами, $F = 3,8$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$; $F = 6,6$ при $\alpha = 0,01$; $F = 10,8$ при $\alpha = 0,001$. Если вычисленные значения F превышают указанные величины, то нулевую гипотезу при заданном уровне значимости следует отбросить.

Результаты

Исследована эмиссия пыльцы, поступающей в атмосферу непосредственно из пыльников 29 видов растений, представленных в экспозиции ЦСБС СО РАН, в том числе 26 анемофильных видов растений: 7 видов древесных, 14 видов злаков и 5 видов сорных трав (разнотравья). Данные о наличии кластеров в пыльце исследованных растений представлены в табл. 1. Кластеры отмечены в пыльцевых пробах всех исследованных растений. Доля кластеров из двух и более ПЗ достигала 71% от общего числа ПЧ (ольха волосистая), доля ПЗ в их составе 93,7% (тополь белый) от общего числа уловленных ПЗ.

Результаты статистического анализа проб растений приведены в табл. 2.

Критерий Фишера варьировался от 16,9 (сыть папирусовая) до 208 (тополь белый), что заведомо выше его значения даже при уровне значимости 0,001 (10,8). Нулевую гипотезу об образовании кластеров на подложках из одиночных ПЗ следует отбросить.

Пыльца насекомоопыляемых растений по своему кластерному составу достоверно ($\alpha = 0,001$) отличалась от ПА, продуцируемого анемофильными растениями. Например, при сравнении долей одиночных ПЗ, продуцируемых кислицей обыкновенной и чозенией толокнянколистной, $F = 42,3$.

Таблица 1

Наличие кластеров в пыльце растений, поступающей в атмосферу

Видовое название	Дата наблюдения	$t, ^\circ\text{C}$	$RH, \%$	Число		Доля кластеров из двух и более ПЗ, %	Доля ПЗ в кластерах из двух и более ПЗ, %
				ПЧ	ПЗ		
<i>Анемофильные растения</i>							
Сосна горная	13.06.2020	27,0	54,0	3195	5762	36,0	64,5
Осока дернистая	01.06.2021	34,2	32,7	2072	2500	12,7	27,7
Житняк гребенчатый	23.06.2020	26,8	52,7	4293	5143	13,4	27,7
Полевица тонкая	23.06.2020	32,0	43,3	1351	2019	24,6	49,5
Сыть папирусовая	03.06.2021	22,4	62,8	494	607	12,3	28,7
Овсяница красная	08.06.2020	29,7	95,6	921	1259	21,0	42,2
Кровохлебка лекарственная	26.07.2017	28,8	42,6	1637	1963	14,7	28,9
Лещина древовидная	03.05.2021	14,2	30,7	4469	5356	13,5	27,8
Овсяница овечья	02.06.2020	22,4	61,9	1352	1593	12,1	25,4
Мятлик луговой	08.06.2020	26,6	49,7	396	566	16,4	41,5
Овсец вечнозеленый	01.06.2021	35,9	20,8	422	685	25,4	54,0
Амарант хвостатый	09.09.2019	24,4	50,7	822	1572	35,4	66,2
Осока заячья	01.06.2021	31,7	41,8	670	914	19,1	40,7
Келерия сизая	08.06.2020	28,8	51,3	1604	2206	18,6	40,8
Вейник остроцветковый	09.09.2019	23,0	38,5	676	909	19,1	39,8
Ясень пенсильванский	15.05.2021	23,6	19,7	4917	6195	15,7	33,1
Пшеница мягкая	26.07.2019	24,2	72,7	514	730	18,5	42,6
Пшеница твердая	26.07.2019	29,6	65,0	428	659	26,9	52,5
Микробиота перекрестно-парная	30.04.2019	26,7	24,5	1539	2212	22,3	45,9
Овсяница сизая	08.06.2020	25,7	65,4	1145	1645	17,6	42,6
Трясушка средняя	23.06.2020	37,0	46,9	584	1175	33,7	67,1
Ольха волосистая	26.04.2019	12,2	47,8	3805	7877	71,0	86,0
Чозения толокнянколистная	08.05.2019	22,2	37,4	380	462	15,5	30,5
Тополь белый	26.04.2017	17,6	53,2	2609	18321	55,4	93,7
Перистоцветник лисохвостный	09.09.2019	28,5	80,1	3394	4693	19,4	41,7
Овсик извилистый	08.06.2020	26,6	51,7	3499	4722	16,9	38,4
<i>Энтомофильные растения, у которых возможно опыление ветром</i>							
Кислица обыкновенная	09.08.2018	39,5	54,0	487	1347	38,8	77,9
Липа амурская	13.07.2019	27,7	39,6	1669	2489	25,3	49,9
Липа крупнолистная	10.07.2019	26,9	47,7	496	1240	40,5	76,2

Таблица 2

Количество (n_j) и математическое ожидание (N_j) кластеров ПЗ

Видовое название	$N_{\geq 1}$	$p, \%$	Параметр	Количество j ПЗ в составе кластера											F
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	≥ 10	≥ 20	
<i>Анемофильные растения</i>															
Сосна горная	5762	0,98	n_j	2046	566	268	140	73	37	19	8	4	28	6	69,0
			N_j	5293	211	14	1								
Осока дернистая	2500	0,13	n_j	1808	185	38	21	9	5	1	3	2			31,8
			N_j	2416	13										
Житняк гребенчатый	5143	0,37	n_j	3716	447	67	26	21	6	2	3	1	4		38,7
			N_j	4989	74	2									
Полевица тонкая	2019	0,15	n_j	1019	178	68	44	16	14	3	4	3	2		39,2
			N_j	1995	12										
Сыть папирусовая	607	0,09	n_j	433	45	5	2	3	2	1	1	1	1		16,9
			N_j	603	2										
Овсяница красная	1259	0,07	n_j	728	135	34	4	4	6	3	2	0	5		31,5
			N_j	1251	4										
Кровохлебка лекарственная	1963	0,06	n_j	1396	192	35	7	4	0	0	0	0	3		53,4
			N_j	1955	4										
Лещина древовидная	5356	0,14	n_j	3865	430	120	31	11	8	2	0	0	1	1	46,5
			N_j	5296	30										
Овсяница овечья	1593	0,10	n_j	1188	135	12	5	3	5	2	0	0	2		24,9
			N_j	1581	6										
Мятлик луговой	566	0,02	n_j	331	25	17	8	5	4	2	0	1	3		21,6
			N_j	564	1										

Видовое название	$N_{\geq 1}$	$p, \%$	Параметр	Количество j ПЗ в составе кластера												F
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	≥ 10	≥ 20	≥ 100	
Овсец вечнозеленый	685	0,05	n_j N_j	315 683	55 1	17	11	6	7	4	1	3	3			28,6
Амарант хвостатый	1572	0,04	n_j N_j	531 1568	125 2	73	37	13	11	9	9	2	10	2		50,1
Осока заячья	914	0,05	n_j N_j	542 910	58 2	46	14	6	2	0	0	0	2			26,7
Келерия сизая	2206	0,12	n_j N_j	1305 2186	153 10	83	28	12	7	4	7	2	3			39,7
Вейник остроцветковый	909	0,07	n_j N_j	547 905	75 2	26	16	6	4	0	2					26,3
Ясень пенсильванский	6307	0,18	n_j N_j	4253 6214	505 46	145	52	30	8	5	4	4	10			54,5
Пшеница мягкая	730	0,08	n_j N_j	419 726	51 2	18	6	7	5	2	3	2	1			23,7
Пшеница твердая	659	0,07	n_j N_j	313 655	64 2	21	17	4	4	2	0	1	2			27,1
Микробиота перекрестно-парная	2212	0,18	n_j N_j	1196 2179	213 16	71	23	14	10	1	1	0	6	4		41,3
Овсяница сизая	1645	0,11	n_j N_j	944 1631	130 7	18	14	7	8	7	3	5	5	4		35,5
Трясунка средняя	1175	0,10	n_j N_j	387 1167	70 4	38	22	23	17	6	10	3	8			42,5
Ольха волосистая	3897	0,28	n_j N_j	1103 3807	322 43	128	86	46	30	18	25	14	20	12		75,6
Чозения толокнянколистная	462	0,01	n_j N_j	321 462	37 21	1										17,8
Тополь белый	18321	0,63	n_j N_j	1163 17373	318 443	194	93	82	60	43	47	29	270	248	62	208,0
Перистошестинник лисохвостный	4693	0,09	n_j N_j	2734 4659	403 16	118	64	21	21	10	6	6	8	3		54,2
Овсик извилистый	4722	0,10	n_j N_j	2908 4685	344 12	100	58	26	26	16	10	4	6	1		56,4
<i>Энтомофильные растения, у которых возможно опыление ветром</i>																
Кислица обыкновенная	1347	0,03	n_j N_j	298 1343	90 2	33	18	10	8	2	5	4	11	5	3	53,3
Липа амурская	2489	0,11	n_j N_j	1246 2467	227 11	103	45	27	6	9	2	0	3	1		48,7
Липа крупнолистная	1240	0,06	n_j N_j	295 1234	73 3	42	22	13	7	4	11	8	13	8		49,4

Заключение

Результаты исследования поступления в атмосферу пыльцы $\sim 1/12$ части от общего числа (417) видов, представленных во флоре Академгородка г. Новосибирска, подтверждают предварительные выводы о характере пыльцевой эмиссии [9–11]. Поступающая в атмосферу пыльца ветроопыляемых растений не монодисперсна. Помимо одиночных ПЗ в атмосферу поступают кластеры, содержащие от двух и более ПЗ. Процентная доля таких кластеров от общего количества образовавшихся частиц варьируется в широких пределах и может сильно различаться у разных видов растений.

По итогам работы можно сделать следующие выводы.

1. Морфологические особенности строения пыльцевых зерен анемофильных растений не предотвращают образование кластеров при эмиссии пыльцы в атмосферу.

2. Поступающая в атмосферу пыльца ветроопыляемых растений не монодисперсна, а представлена как одиночными ПЗ, так и кластерами из двух и более ПЗ.

3. Доля кластеров от общего количества образовавшихся частиц и процентная доля ПЗ в их составе варьируется в широких пределах и может достигать 71 и 93% соответственно.

4. Поступающая в атмосферу пыльца ветроопыляемых растений по своему кластерному составу достоверно отличается от пыльцы насекомоопыляемых растений.

Список литературы

1. Biedermann T., Winther L., Till S.J., Panzner P., Knulst A., Valovirta E. Birch pollen allergy in Europe // Allergy. 2019. V. 74, N 7. P. 1237–1248.
2. Buters J.T.M., Antunes C., Galveias A., Bergmann K.C., Thibaudon M., Galán C., Schmidt-Weber C., Oteros J.

- Pollen and spore monitoring in the world // Clin. Transl. Allergy. 2018. V. 8, N 9. DOI: 10.1186/s13601-018-0197-8.
3. *Crook B.* Inertial samplers: Biological perspectives // Bioaerosols. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1995. P. 247–267.
 4. *Crook B.* Non-inertial samplers: Biological perspectives // Bioaerosols Handbook / Cox C.S., Wathes C.M. (eds.). Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1995. P. 269–283.
 5. *Фукс Н. А.* Механика аэрозолей. М.: Изд-во Академии Наук СССР, 1955. 352 с.
 6. *Bohlmann S., Shang X., Giannakaki E., Filioglou M., Romakkaniemi S., Komppula M., Saarto A.* Action and characterization of birch pollen in the atmosphere using a multiwavelength Raman polarization lidar and Hirst-type pollen sampler in Finland // Atmos. Chem. Phys. 2019. V. 19, N 23. P. 14559–14569.
 7. *Beggs P.J., Davies J.M., Milic A., Habberl S.G., Johnston F.H., Jones P.J., Katelaris C.H., Newbiggin E.* Australian Airborne Pollen and Spore Monitoring Network Interim Standard and Protocols. Macquarie University, Queensland University of Technology, 2018. 77 p.
 8. *Tummon F., Arboledas L.A., Bonini M., Guinot B., Hicke M., Christophe J., Kendrovski V., McCairns W., Petermann E., Peuch V.H., Pfaar O., Sicard M., Sikoparija B., Clot B.* The need for Pan-European automatic pollen and fungal spore monitoring: A stakeholder workshop position paper. // Clin. Transl. Allergy. 2021. V. 11, N 3. P. e12015. DOI: 10.1002/clt2.12015.
 9. *Raynor G.S., Ogden E.C., Haes J.V.* Dispersion and deposition of Ragweed Pollen from experimental sources // J. Appl. Meteorol. 1970. V. 9, N 6. P. 885–895.
 10. *Blackmore S., Barnes Y.S.* Harmomegathic mechanisms in pollen grains // Pollen and Spores. Form and Function. London: Academic Press, 1986. P. 137–149.
 11. *Harrington J.B., Kurt M.* Ragweed pollen density // Amer. J. Bot. 1963. V. 50, N 6. P. 532–539.
 12. *Lacey J.* Aggregation of spores and its effect on aerodynamic behavior // Grana. 1991. N 30. P. 437–445.
 13. *Головко В.В., Куценогий К.П., Истомин В.Л.* Агрегатный состав пыльцевого аэрозоля в атмосфере г. Новосибирска // Оптика атмосф. и океана. 2014. Т. 27, № 6. С. 553–559.
 14. *Головко В.В., Беланова А.П., Зуева Г.А.* Исследование кластерного состава пыльцевых частиц, поступающих в атмосферу во время цветения анемофильных растений // Оптика атмосф. и океана. 2019. Т. 32, № 6. С. 476–481. DOI: 10.15372/АОО20190610.
 15. *Головко В.В., Зуева Г.А., Киселева Т.И.* Пыльцевые частицы анемофильных растений, поступающие в атмосферу. Кластерный состав // Оптика атмосф. и океана. 2021. Т. 34, № 6. С. 446–452; *Golovko V.V., Zueva G.A., Kiseleva T.I.* Anemophilous plant pollen grains entering the atmosphere: Cluster composition // Atmos. Ocean. Opt. 2021. V. 34, N 5. P. 483–490.

V.V. Golovko, G.A. Zueva, T.I. Kiseleva. **Cluster composition of anemophilic plant pollen entering the atmosphere.**

The results of the study of pollen emission into the atmosphere of 24 anemophilic plant species and 3 entomophilic plant species for which optional anemophilia is possible are given. The percentage of clusters of two or more pollen grains of the total number of pollen particles entering the atmosphere is estimated. It is shown that such clusters were formed in significant quantities in all series of experiments. The percentage of pollen clusters attained ~71% of the total number of pollen particles, and of pollen grains in the clusters, ~94% of the total number of pollen grains.