

КЛАСТЕРНЫЙ СОСТАВ ПЫЛЬЦЕВЫХ ЧАСТИЦ АНЕМОФИЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ, ПОСТУПАЮЩИХ В АТМОСФЕРУ

Владимир Викторович Головко

Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского, СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3, кандидат биологических наук, ведущий инженер, тел. (383)330-77-43, e-mail: golovko@ns.kinetics.nsc.ru

Галина Александровна Зуева

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)339-97-94, e-mail: zuevagalina70@yandex.ru

Татьяна Ивановна Киселева

Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101, кандидат биологических наук, главный специалист, тел. (383)339-97-49, e-mail: tk552008@yandex.ru

Исследована эмиссия пыльцы в атмосферу 21 вида ветроопыляемых растений (*Betula divaricata* Ledeb., *Betula costata* Trautv., *Betula davurica* Pall., *Betula fruticosa* Pall., *Ulmus japonica* (Rehd.)Sarg., *Salix acutifolia* Willd., *Salix cinerea* L., *Salix purpurea* L., *Salix rosmarinifolia* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Poa alpina* L., *Arrhenatherum elatius* (L.) J. Presl & C. Presl, *Briza maxima* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Urtica urens* L., *Carex altaica* (Gorodkov) V.I. Krecz., *Carex pallescens* L., *Carex flacca* Schreb., *Carex vesicaria* L., *Carex diluta* M. Vieb., *Plantago lanceolata* L.) представленных в экспозиции ЦСБС СО РАН. Данные растения продуцируют значительные количества аллергенной пыльцы и широко распространены в Российской Федерации.

Оценена доля кластеров из двух или большего числа пыльцевых зерен от суммарного числа пыльцевых частиц, поступающих в атмосферу в периоды цветения данных видов растений. Показано что подобные кластеры в значительных количествах образовывались во всех сериях опытов. При этом доля пыльцевых зерен в их составе могла достигать 95% от общего числа зерен пыльцы, поступивших в атмосферу.

Ключевые слова: пыльца, анемофильные растения, атмосферный аэрозоль, кластеры

CLUSTER COMPOSITION OF POLLEN PARTICLES OF ANEMOPHILIC PLANTS ENTERING ATMOSPHERE

Vladimir V. Golovko

Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion, SB RAS, 3, Institutskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Leading Engineer, phone: (383)330-77-43, e-mail: golovko@ns.kinetics.nsc.ru

Galina A. Zueva

Central Siberian Botanical Gardens, SB RAS, 101, Zolotodalinskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (383)339-97-94, e-mail: zuevagalina70@yandex.ru

Tatyana I. Kiseleva

Central Siberian Botanical Gardens, SB RAS, 101, Zolotodalinskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Head Specialist, phone: (383)339-97-49, e-mail: tk552008@yandex.ru

A study is made on pollen emission into atmosphere of 21 species of anemophilous plants (*Betula divaricata* Ledeb., *Betula costata* Trautv., *Betula davurica* Pall., *Betula fruticosa* Pall., *Ulmus japonica* (Rehd.)Sarg., *Salix acutifolia* Willd., *Salix cinerea* L., *Salix purpurea* L., *Salix rosmarinifolia* L., *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Poa alpina* L., *Arrhenatherum elatius* (L.) J. Presl & C. Presl, *Briza maxima* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Urtica urens* L., *Carex altaica* (Gorodkov) V.I. Krecz., *Carex pallescens* L., *Carex flacca* Schreb., *Carex vesicaria* L., *Carex diluta* M. Bieb., *Plantago lanceolata* L.), exposed by the Central Siberian Botanical Garden, SB RAS. These plants are widely spread over the territory of the Russian Federation and produce great amounts of allergenic pollen.

The proportion of clusters of two or more pollen grains from the total number of pollen particles entering the atmosphere during the flowering periods of these plant species is estimated. It was shown that such clusters in significant quantities were formed in all series of experiments. At the same time, the proportion of pollen grains in their composition could reach 95% of the total number of pollen grains entering the atmosphere.

Keywords: pollen, anemophilic plants, atmospheric aerosol, clusters

Введение

Перенос пыльцы ветроопыляемых растений - необходимое условие их семенного размножения. Уступая энтомофильным растениям по числу видов во флорах [1], они доминируют по числу особей в растительном покрове внетропических областей, являясь основными продуцентами биомассы. Им присуща высокая пыльцевая продуктивность [2]. Поступающие в атмосферу пыльцевые зерна (ПЗ) – одна из наиболее массовых и повсеместно распространенных компонент грубодисперсной фракции ($d > 1$ мкм) биоаэрозоля [3]. Ее вклад в суммарную массовую концентрацию атмосферного аэрозоля (АА) может достигать 57-66 % [4], влияя на его химический состав [5], оптические свойства атмосферы [6], вызывая аллергию у 30% населения [7-8].

Для мониторинга пыльцевой компоненты АА на 2016 год в мире имелось 879 действующих станций [7]. В России - девять станций (Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Краснодар, Пермь, Ростов-на-Дону, Рязань, Ставрополь, Тюмень). Крупные размеры ПЗ, их сложная морфология [9] существенно затрудняют отбор проб из АА. Используемые отбирающие устройства не изокинетические [10, 11], разрушают кластеры [12], недостаточно эффективно разделяют частицы по размерам [7].

Даже в Европе число пунктов наблюдения недостаточно для всеобъемлющего мониторинга пыльцевой компоненты АА [7]. В России созданию сети пыльцевого мониторинга препятствуют большая площадь и низкая плотность населения. Перспективным представляется моделирование распространения пыльцы исходя из пыльцевой продуктивности растений и физических процессов рассеивания и осаждения пыльцевых частиц (ПЧ) в атмосфере. Дальность переноса ПЧ обусловлена скоростью их оседания. Последняя зависит от размеров и плотности ПЗ, и кластерного состава ПЧ. В данной работе исследовалась эмиссия пыльцы в атмосферу 21 вида анемофильных растений, представленных в экспозиции ЦСБС СО РАН.

Материалы и методы

Пыльца сдувалась ветром с соцветий на предметные стекла, покрытые глицерин-желатином с добавлением красителя кумаши голубого. Расстояние от соцветий до подложек – 20-25 см, экспонирование – несколько секунд. Отборы ПЧ каждого вида проводились в пятикратной повторности. Одновременно Center 311 temperature meter измерялась температура и относительная влажность воздуха. Подсчет ПЧ (одиночных ПЗ и их кластеров) проводился на 10 трансектах при 10-40 кратном увеличении объектива микроскопа.

Проверена гипотеза об образовании кластеров на подложках из ПЗ. Одиночные ПЗ и кластеры из ≥ 2 ПЗ подсчитывались отдельно. Исходя из суммарного числа осевших ПЗ, площади проекции индивидуальных ПЗ, суммарной площади просмотренных препаратов по методике, описанной ранее [13] рассчитаны матожидания чисел кластеров, в состав которых входило ≥ 2 ПЗ, при их образовании на подложке из оседающих ПЗ.

Подсчитано число ПЗ в составе осевших на подложки кластеров и в составе кластеров, которые могли образоваться на подложках. Определены доли одиночных ПЗ от общего числа осевших на подложки ПЗ и вычислен критерий Фишера с ϕ -преобразованием (угловое преобразование Фишера). Полученное значение сравнивалось с табличным при заданном уровне значимости и числом степеней свободы.

Результаты

Исследован кластерный состав поступающей в атмосферу пыльцы 10 видов древесных растений, 4 видов злаков и 7 видов разнотравья.

Кластеры из ≥ 2 ПЗ отмечены в отобранных пыльцевых пробах всех анемофильных растений (табл. 1). У древесных растений доля кластеров из ≥ 2 ПЗ от общего количества ПЧ, осевших на подложки, варьировала от 6,8% (*Alnus glutinosa*) до 66,1% (*Salix purpurea*). В состав кластеров входило 15,3 - 94,8% от общего числа ПЗ, осевших на подложки. Варьирование в широком диапазоне обусловлено, видимо, различиями морфологии пыльцевых оболочек у видов различных семейств и разными фазами цветения.

У злаков доля кластеров от общего количества ПЧ, варьировала от 11,5% (*Arrhenatherum elatius*) до 32,3% (*Poa alpina*). В их состав входило 28,2% до 61,9% от общего числа ПЗ. Морфология пыльцевых оболочек злаков монотипная, и различия, видимо, обусловлены разными фазами цветения.

У прочих травянистых растений – разнотравья доля кластеров от общего количества ПЧ, варьировала от 25,2% (*Plantago lanceolata*) до 67,9% (*Carex altaica*). В их состав входило от 52,7% (*Carex vesicaria*) до 90,8% от общего числа осевших ПЗ. Варьирование видимо обусловлено различиями морфологии пыльцевых оболочек у видов различных семейств и разными фазами цветения.

Кластеры в пыльце ветроопыляемых растений,
поступающей в атмосферу

№	Видовое название	Дата	$t, ^\circ\text{C}$	RH, %	Число частиц	Число зерен	доля кластеров из ≥ 2 ПЗ, %	доля ПЗ в кластерах из ≥ 2 ПЗ, %
Древесные растения								
1	<i>Betula divaricata</i>	01/05.2018	14,0	57,0	774	2025	39,3	76,8
2	<i>Betula davurica</i>	29/05.2018	14,7	53,8	2837	4928	34,7	62,4
3	<i>Betula costata</i>	30/05.2018	14,9°	55,6	492	883	25,8	58,7
4	<i>Betula fruticosa</i>	30/05.2018	16,7	49,6	977	1284	19,3	38,6
5	<i>Ulmus japonica</i>	06/05.2018	26,3	22,3	1836	2897	30,1	55,7
6	<i>Salix acutifolia</i>	11/05.2018	15,0	28,5	1829	6617	62,7	89,7
7	<i>Salix cinerea</i>	18/05.2018	16,0	34,0	1232	6289	58,6	91,9
8	<i>Salix purpurea</i>	16/05.2018	16,2	31,0	694	4553	66,1	94,8
9	<i>Salix rosmarinifolia</i>	18/05.2018	17,0	37,0	645	2225	55,3	87,1
10	<i>Alnus glutinosa</i>	26/04.2018	13,9	38,2	2170	2388	6,8	15,3
Злаки								
1	<i>Poa alpina</i>	09/06.2018	23,5	71,2	838	1489	32,3	61,9
2	<i>Arrhenatherum elatius</i>	26/06.2018	26,1	74,0	836	1031	11,5	28,2
3	<i>Briza maxima</i>	26/07.2018	23,8	66,6	349	475	18,9	40,4
4	<i>Deschampsia cespitosa</i>	18/07.2018	25,7	60,0	428	565	21,0	40,2
Разнотравье								
1	<i>Urtica urens</i>	24/06.2018	23,1	60,3	1029	2165	38,7	70,9
2	<i>Carex altaica</i>	09/06.2018	24,2	65,7	467	1626	67,9	90,8
3	<i>Carex pallescens</i>	09/06.2018	24,2	65,7	2204	3682	32,4	59,6
4	<i>Carex flacca</i>	09/06.2018	24,4	67,0	398	849	37,9	70,9
5	<i>Carex vesicaria</i>	09/06.2018	24,4	66,4	760	1149	28,6	52,7
6	<i>Carex diluta</i>	09/06.2018	25,5	63,4	426	748	35,7	63,4
7	<i>Plantago lanceolata</i>	26.07.2018	24,3	70,0	1105	1756	25,2	53,0

В табл. 2, 3 приводятся: 1) общие количества ПЗ, осевших на подложки ($N_{\geq 1}$); 2) доля поверхности препаратов, которую занимают ПЗ ($p, \%$); 3) реально наблюдавшиеся (n_j) и математические ожидания (N_j) числа кластеров из j зерен пыльцы на подложках; 4) вычисленные значения критерия Фишера (F_ϕ) при сравнении долей одиночных ПЗ.

Таблица 2

Количества (n_j) и матожидания (N_j) кластеров ПЗ древесных растений

Видовое название		$N_{\geq 1}$	$p, \%$	Количество кластеров, в состав которых входит соответствующее число (j) ПЗ												F_{ϕ}
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	≥ 10	≥ 20	≥ 100	
<i>Betula divaricata</i>	n_j	2025	0,08	2013	6											63,1
	N_j			470	76	63	40	36	18	9	9	9	33	11		
<i>Betula costata</i>	n_j	883	0,03	881	1											34,7
	N_j			365	58	18	11	5	11	8	6	1	8	1		
<i>Betula fruticosa</i>	n_j	1284	0,08	1276	4											30,0
	N_j			788	141	23	12	7	1	1	0	1	2	1		
<i>Betula davurica</i>	n_j	4928	0,88	4567	164	10	1									63,2
	N_j			1853	528	212	102	55	29	16	13	10	16	3		
<i>Ulmus japonica</i>	n_j	2897	0,23	2845	26											53,8
	N_j			1284	340	96	54	26	15	7	5	0	6	3		
<i>Salix acutifolia</i>	n_j	6617	0,57	6307	146	6										118,0
	N_j			682	332	196	129	185	54	40	32	18	100	61		
<i>Salix cinerea</i>	n_j	6289	0,58	5995	139	5										119,3
	N_j			510	194	111	68	67	41	27	30	24	92	52	16	
<i>Salix purpurea</i>	n_j	4553	0,27	4454	48	1										113,9
	N_j			235	116	60	34	28	23	27	16	15	72	56	12	
<i>Salix rosmarinifolia</i>	n_j	2225	0,22	2187	19											71,4
	N_j			288	113	59	31	27	27	15	15	12	38	20		
<i>Alnus glutinosa</i>	n_j	2388	0,39	2312	37	1										15,4
	N_j			2022	115	20	7	3	1	1				1		

Площадь проекции осевших на подложки ПЗ древесных растений (табл. 2) составляла 0,03% – 0,58% площади просмотренных препаратов. Кластерные составы осадков пыльцы на подложки резко отличались от тех, которые могли возникнуть при формировании кластеров на предметных стеклах из оседающих на них одиночных ПЗ. Значения критерия Фишера варьировали от 15,4 до 113,9, что значительно выше его значения (10,8) при 0,001 уровне значимости.

Площадь проекции осевших ПЗ злаков (табл. 3) варьировала от 0,03% до 0,4% от просмотренной поверхности препаратов. Значения критерия Фишера варьировали от 16,4 до 45,2. Площадь проекции осевших ПЗ разнотравья, варьировала от 0,05% до 1,07% от просмотренной поверхности препаратов. Значения критерия Фишера варьировали от 33 до 64,8.

Таблица 3

Количества (n_j) и матожидания (N_j) кластеров ПЗ
травянистых растений

Видовое название		$N_{\geq 1}$	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			
Разнотравье																
<i>Urtica urens</i>	n_j	2165	0,08	2151	7											60,5
	N_j			631	175	77	55	22	9	4	10	9	36	1		
<i>Carex altaica</i>	n_j	1626	0,20	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											33,0
	N_j			274	69	38	19	15	7	3	1					
Подорожник ланцетолистный	n_j	1756	0,31	1714	21											38,9
	N_j			826	141	63	27	11	12	6	6	6	6	1		

Исходя из вышеизложенного, следует отвергнуть исходную гипотезу о формировании пыльцевых кластеров непосредственно на подложке у исследованных видов растений. Формирование кластеров у них происходит непосредственно в пыльниках в процессе поступления пыльцы в атмосферу.

Заключение

Исследован кластерный состав поступающей в атмосферу пыльцы $\approx 1/20$ от общего числа (417) анемофильных видов растений Новосибирской области. Поступающая в атмосферу пыльца ветроопыляемых растений не монодисперсна. Помимо одиночных ПЗ в атмосферу поступают кластеры, содержащие ≥ 2 ПЗ. Их % доля от общего количества образовавшихся ПЧ варьирует в широких пределах и может сильно различаться у разных видов растений. Подобное варьирование, вероятно, обусловлено различиями в морфологии оболочек ПЗ и разными фазами цветения анемофильных растений.

Выводы

1. Морфология ПЗ анемофильных растений не предотвращает образование кластеров при эмиссии пыльцы в атмосферу.

2. В атмосферу поступают как одиночные ПЗ, так и кластерами из ≥ 2 ПЗ ветроопыляемых растений (пыльца не монодисперсная).

3. Доля кластеров от общего числа образовавшихся частиц, и процентная доля ПЗ в их составе значительны и варьируют в широких пределах.

При подготовке статьи использовались материалы Биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН, УНУ "Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте", USU 440534.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ackerman J. D. Abiotic pollen and pollination: ecological, functional, and evolutionary perspectives // *Plant Syst. Evol.* – 2000, Vol. 222. – P. 167-185.
2. Erdtman G. *Handbook of Palynology* // Munksgaard, - 1969. - 487 p.
3. Despre V. R., Huffman A. J., Burrows S. M., Hoose C., Safatov A. S., Buryak G., Fröhlich-Nowoisky J., Elbert W., Andreae M. O., Pösch, U. and Jaenicke, R. Primary biological aerosol particles in the atmosphere: a review // *Tellus.* – 2012, Vol. 64. – P. 1-58.
4. Головкин В. В., Куценогий К. П., Истомина В. Л. Счетные и массовые концентрации пылевой компоненты атмосферного аэрозоля в окрестностях г. Новосибирска в период цветения древесных растений. // *Оптика атмосферы и океана* / – 2015. – Т. 28. – № 6. – С. 529–533.
5. Greenfield L. G. Weight loss and release of mineral nitrogen from decomposing pollen // *Soil Biology and Biochemistry.* – 1999. – Vol. 31, No 3. – P. 353-351.
6. Bohlmann S., Shang X., Giannakaki E., Filioglou M., Romakkaniemi S., Komppula M., Saarto A. Ection and characterization of birch pollen in the atmosphere using a multiwavelength RAMAN POLARIZATION LIDAR and Hirst-type pollen sampler in Finland // *Atmospheric Chemistry and Physics.* – 2019. – Vol. 19. – № 23. – P. 14559-14569.
7. 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. // *Clinical and Translational Allergy.* – 2018. – Vol. 8, article number: 9
8. Beggs P.J. Allergen aerosol from pollen-nucleated precipitation: A novel thunderstorm asthma trigger. // *Atmos Environ.* – 2017. – Vol. 152. – P. 455–7.
9. Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца и споры двудольных растений флоры европейской части СССР. – Л.: Наука, 1978. – Т. 1. – 174 с.

10. Crook B. Inertial Samplers: Biological Perspectives // *Bioaerosols Handbook* / Editors: Cox C. S., Wathes C. M. / Boca Raton, Florida, Lewis Publishers Inc. – 1995. – pp. 247-267.
11. Crook B. Non-Inertial Samplers: Biological Perspectives // *Bioaerosols Handbook* / Editors: Cox C. S., Wathes C. M. / Boca Raton, Florida, Lewis Publishers Inc. . – 1995. – pp. 269-283.
12. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. – Изд-во АН СССР, М., 1955, 352 с.
13. 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. – № 06. – С. 476–481.

© В. В. Головки, Г. А. Зуева, Т. И. Киселева, 2021