

УДК 581.162.3:551.510.42

Агрегатный состав пылицы анемофильных растений, поступающей в атмосферу

В.В. Головки¹, К.П. Куценогий¹, В.Л. Истомин^{2*}

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

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 15

Поступила в редакцию 28.12.2011 г.

Исследован агрегатный состав пылицы анемофильных растений, распыляемой искусственно, а также поступающей в атмосферу в процессе опыления. У всех изученных видов растений в каждом из проведенных опытов при поступлении пылицы в атмосферу образовалось значительное число агломератов, состоящих из двух или большего числа пылевых зерен. В ряде случаев в состав таких агломератов входило более 50% от общего числа уловленных зерен пылицы.

Ключевые слова: пылица, атмосферный аэрозоль, счетная концентрация, массовая концентрация, суточная динамика; pollen, atmospheric aerosol, number concentration, mass concentration, diurnal dynamics.

Рассеивание, перенос и осаждение пылицы зависят преимущественно от абиотических факторов [1]. Помимо скорости ветра, турбулентности, вертикального коэффициента диффузии и высоты источника пылицы они обуславливаются также скоростью осаждения частиц, связанной с их аэродинамическими характеристиками (размером, формой, плотностью и характером поверхности) [2]. Эти параметры определяют эффективность покидания растительного полога, длительность пребывания в атмосфере и, в конечном счете, вероятность переноса пылицы на значительные расстояния и успешность опыления.

Поступая в атмосферу, пылица анемофильных растений претерпевает ряд изменений. При высыхании изменяются размеры и форма пылевых зерен [3]. В ряде случаев, например у амброзии, возникают воздушные полости, снижающие их плотность с 1,2 до 0,84 г/см³ [4]. У той же амброзии многими авторами неоднократно отмечалось образование агломератов, состоящих из значительного количества зерен пылицы [5–7]. При образовании агрегатов аэродинамическое поведение частиц меняется из-за изменения всех их аэродинамических характеристик. Воздушные полости между зёрнами пылицы снижают эффективную плотность частицы, агрегаты могут заметно отклоняться от сферической формы и иметь неровную поверхность, повышающую лобовое сопротивление. Скорость седиментации

таких крупных частиц значительно выше, чем у отдельных зерен, что не способствует их переносу на значительные расстояния.

Пыльца ветроопыляемых растений имеет ряд морфологических особенностей, препятствующих ее слипанию и образованию агломератов. Она сухая, с более или менее тонкой и гладкой экзиной. При этом вопрос, насколько эффективно эти особенности ее морфологии препятствуют образованию агломератов, изучен сравнительно слабо.

Отмечено образование значительного количества агломератов при искусственном распылении пылицы анемофильных растений в ходе экспериментов по определению массы или скорости седиментации индивидуальных пылевых зерен. Подобные исследования проводились в 1996–2011 гг. на экспериментальных установках для распыления порошкообразных материалов. Схема установки и методика проведения экспериментов были описаны ранее [8, 9].

Исследованные нами анемофильные растения цветут в разное время суток как при низкой, так и при высокой относительной влажности воздуха. Поэтому нами не предпринимались усилия по поддержанию максимально низкой относительной влажности воздуха. Температура и относительная влажность воздуха во время экспериментов определялись с помощью психрометра. Собранная пылица хранилась в бумажных пакетах при той же температуре и относительной влажности воздуха, что и во время экспериментов.

В ходе экспериментов на улавливающих поверхностях помимо одиночных пылевых зерен обнаруживались частицы, состоящие из двух и большего количества зерен пылицы (рис. 1).

* Владимир Викторович Головки (golovko@ns.kinetics.nsc.ru); Константин Петрович Куценогий (koutsen@ns.kinetics.nsc.ru); Вячеслав Лазаревич Истомин (impuls@hydro.nsc.ru).

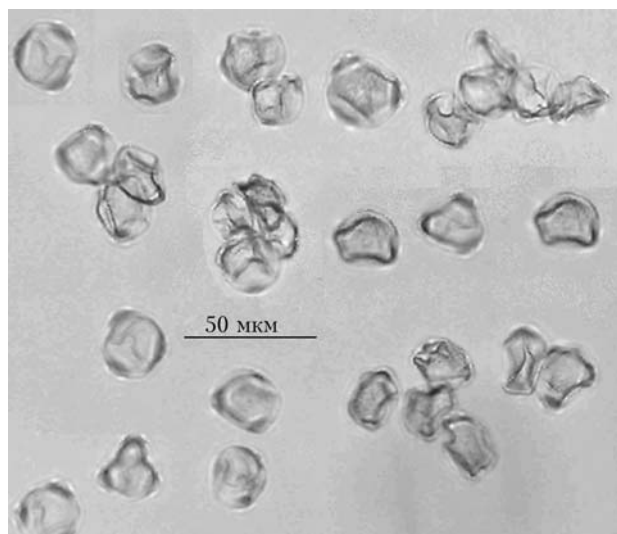


Рис. 1. Агломераты пыльцевых зерен березы повислой, образующиеся при распылении ее пыльцы

Использование светового микроскопа позволяло уверенно идентифицировать частицы, в состав которых входило до 6 пыльцевых зерен. При определении количества пыльцевых зерен, входивших в состав более крупных частиц, изредка возникали затруднения (в тех случаях, когда зерна пыльцы, входившие в состав частицы, располагались более чем в три слоя). Данные частицы образуются, вероятно, из-за механического сцепления между деформированными при высыхании пыльцевыми зернами и (или) слабых электростатических взаимо-

действий между ними. Они имеют малую прочность и часто разрушаются даже при слабом воздействии на них. Тем не менее агломераты пыльцевых зерен в значительных количествах обнаруживались в каждой серии опытов.

В табл. 1 приводятся результаты определения агломератного состава пыльцы 11 видов злаков и 6 видов древесных растений, полученные в сериях опытов по определению скоростей седиментации их пыльцевых частиц. У всех исследованных злаковых и древесных растений всегда встречались агломераты, состоящие из двух или более зерен пыльцы. Количество агломератов уменьшилось с увеличением числа частиц в агломерате. Минимальное количество агломератов из двух или большего количества зерен пыльцы среди злаков отмечено у житняка – 17,7%, а максимальное у двукосточника – 35,7%. У древесных растений разница между минимумом и максимумом больше (соответственно у лиственницы – 13,7 и у сосны – 44,6%). Необходимо особо отметить, что в состав агломератов входит до 73% от общего количества распыленных пыльцевых зерен.

Аналогичная картина наблюдалась в сериях опытов по определению масс индивидуальных пыльцевых зерен анемофильных растений, как показано в табл. 2 и 3.

В табл. 2 приводятся результаты определения агломератного состава пыльцы 13 видов древесных растений, распыленной на фильтры АФА-ХА. Доля агломератов от общего количества уловленных пыльцевых частиц колеблется в широких пределах – от 7,8 (орех маньчжурский) до 30,7% (кедр сибирский).

Таблица 1

Агломератный состав пыльцевых частиц в сериях опытов по определению скорости седиментации пыльцевых зерен

Видовое название	Условия среды		Общее число пыльцевых частиц	Доля агломератов от общего числа пыльцевых частиц, %	Общее число пыльцевых зерен	Доля зерен пыльцы в агломератах, %
	температура, °С	влажность, %				
<i>Злаки</i>						
Двукосточник тростниковый	24	48	19627	35,7	34504	63,4
Ежа сборная	22	64	9592	20,2	13081	41,5
Житняк гребенчатый	23	58	2411	17,7	2982	33,4
Кострец безостый	25	75	2572	20,7	3294	38,1
Овсяница луговая	25	65	12469	29,6	18770	53,2
Овсяница тростниковая	21	55	10090	24,3	14319	46,6
Полевица гигантская	23	62	14639	26,2	21594	50,0
Пырей ползучий	24	59	4100	21,4	5469	41,1
Пырей средний	24	55	4590	22,3	6290	43,3
Райграс высокий	22	56	7167	23,4	9612	42,9
Тимофеевка луговая	22	61	15695	25,6	23976	51,3
<i>Древесные растения</i>						
Береза повислая	23	50	55946	31,2	86984	55,8
Ель сибирская	25	63	3079	40,2	5890	68,8
Лиственница сибирская	25	60	160	13,7	201	31,3
Осина обыкновенная	25	49	64811	22,6	89620	44,0
Сосна обыкновенная	21	51	13553	44,6	27616	72,8
Тополь черный	25	38	15968	14,3	19306	29,1

Таблица 2

Агломератный состав пылевых частиц древесных растений в сериях опытов по определению масс пылевых зерен

Видовое название	Условия среды		Общее число пылевых частиц	Доля агломератов от общего числа пылевых частиц, %	Общее число пылевых зерен	Доля зерен пыли в агломератах, %
	температура, °С	влажность, %				
Береза мелколистная	25	79	1343	12,4	1560	24,6
Ива козья	29	28	1586	28,4	2481	54,3
Ива пятильчатая	20	71	7422	29,3	13947	62,4
Кедр сибирский	20	63	9220	30,7	15792	59,5
Клен ясенелистный	24	59	7498	16,3	9455	33,6
Липа сердцевидная	27	28	814	19,9	1117	41,6
Можжевельник казацкий	25	79	8102	21,4	10944	41,8
Облепиха крушиновидная	21	55	4329	12,9	5128	26,4
Ольха черная	22	48	1314	26	1933	49,4
Орех маньчжурский	25	79	2956	7,8	3240	15,9
Пихта сибирская	25	60	6887	23,1	9622	45,0
Сосна горная	27	30	890	23,4	1266	46,1
Сосна Палласова (крымская)	25	60	14545	31,2	8533	59,6

Таблица 3

Агломератный состав пылевых частиц злаков и разнотравья в сериях опытов по определению масс пылевых зерен

Видовое название	Условия среды		Общее число пылевых частиц	Доля агломератов от общего числа пылевых частиц, %	Общее число пылевых зерен	Доля зерен пыли в агломератах, %
	температура, °С	влажность, %				
<i>Злаки</i>						
Двукосточник тростниковый	28	41	4656	20,1	6276	40,7
Житняк гребенчатый	24	70	4049	13,5	4765	26,5
Кукуруза обыкновенная	24	44	1262	16,9	1554	32,5
Овсяница луговая	24	74	7539	18,2	9806	37,1
Овсяница тростниковая	24	74	7282	18,9	9564	38,2
Полевица гигантская	20	63	23831	26,8	37435	53,4
Пырей ползучий	24	73	23853	17,2	30928	36,2
Пырей средний	22	72	12964	18,2	19364	45,2
Райграс французский	21	64	7183	28,2	11894	56,7
<i>Разнотравье</i>						
Василистник простой	23	65	3317	24,8	4893	49,0
Датиска коноплевая	22	37	2443	27,0	3797	53,0
Золотарник канадский	24	44	2426	19,3	3284	40,4
Осока большехвостая	22	37	958	26,1	1387	49,0
Подорожник ланцетный	23	65	1830	27,0	2773	51,9
Подорожник средний	22	52	2299	13,0	2714	26,3
Полынь Сиверса	27	30	2725	16,3	3357	32,0
Рогоз широколистный	22	52	937	17,8	1164	33,8
Хмель обыкновенный	23	65	2777	27,4	4066	50,4
Щавель конский	23	65	4492	23,6	6313	45,7

Результаты определения агломератного состава пыли 9 видов злаков и 10 видов прочих травянистых растений, распыленной при определении масс их пылевых частиц, приводятся в табл. 3.

В сериях опытов по определению масс индивидуальных пылевых зерен доля агломератов у разных видов злаков варьировала от 13,5 до 28,2%, доля пылевых зерен в составе агломератов колебалась от 26,5 до 56,7%. У 8 исследованных видов злаков агломератный состав их пылевых частиц, оседавший на фильтры АФА-ХА в ходе опытов по определению масс индивидуальных пылевых зерен, несколько отличался от агломератного состава

пылевых частиц, оседавших на стеклянные подложки в ходе опытов по определению их скоростей седиментации (см. табл. 1 и 3). У прочих травянистых растений доля агломератов от общего количества уловленных пылевых частиц колебалась от 13,0 до 27,4%, доля пылевых зерен в составе агломератов — от 26,3 до 53,0%.

Условия, при которых пыльца анемофильных растений распыляется в экспериментальной установке, могут отличаться от условий окружающей среды, при которых она поступает в атмосферу. Тем не менее образование значительных количеств агломератов во всех сериях опытов по искусственному

распылению пыльцы позволяет предположить, что и в ходе естественной эмиссии пыльцы в атмосферу должно наблюдаться подобное явление. В связи с этим в 2006 г. была проведена серия наблюдений для изучения процессов эмиссии пыльцы в атмосфере в природных условиях при фоновых значениях температуры и относительной влажности воздуха (рис. 2).

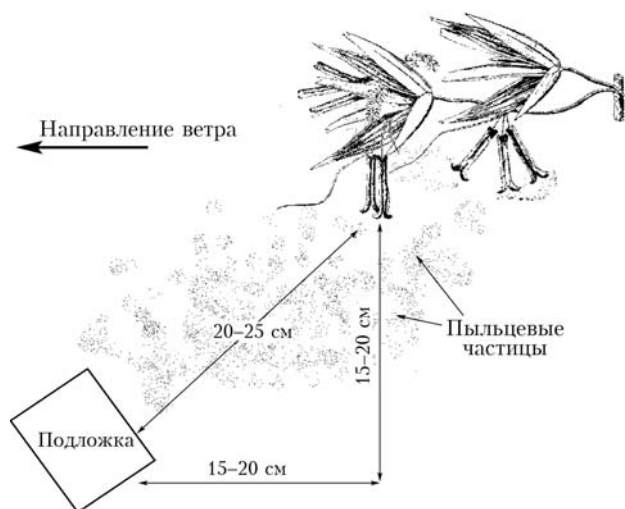


Рис. 2. Схема улавливания пыльцы растений в момент ее высыпания из пыльника

Исследовалась эмиссия пыльцы основных групп анемофильных растений: древесных (13 видов лиственных и хвойных деревьев, являющихся основными лесообразующими породами либо широко ис-

пользующихся при озеленении), 7 видов злаков, доминирующих в травянистых сообществах, и разнотравья (8 видов сорных трав, широко представленных в растительном покрове Новосибирской области).

Наблюдения проводились в природных условиях. Пыльца сдувалась порывами ветра с соцветий цветущих растений на подложки, покрытые глицерин-желатином (с добавлением красителя кумаши голубого) и расположенные на 20–25 см ниже. Скорость порывов ветра во время наблюдения составляла 0,3–2,0 м/с. При расположении подложек учитывалось направление ветра, т.е. подложка располагалась таким образом, чтобы на нее оседала высыпавшаяся из соцветия пыльца. Экспозиция подложек продолжалась 1–2 с (рис. 2).

Одновременно с отбором проб проводились измерения температуры и относительной влажности воздуха с помощью компактного прибора Center 311 temperature meter. Отборы проб пыльцы каждого вида проводились в 5-кратной повторности. Пробы отбирались с соседних, близкорасположенных растений. Временные интервалы между отборами проб составляли порядка 10–15 мин.

Отобранные пробы пыльцы просматривались под микроскопом МБИ-11У42 при 20-кратном увеличении объектива. Подсчет осевших на препараты пыльцевых зерен и их агломератов проводился по методике, которая использовалась при подсчете частиц, оседавших на подложки при искусственном распылении пыльцы.

Как видно из табл. 4, поступающая в атмосферу пыльца ветроопыляемых древесных и травянистых растений не монодисперсна.

Таблица 4

Агрегатный состав пыльцы растений, поступающей в атмосферу во время цветения

Видовое название	Дата	Температура, °С	Влажность, %	Число		Доля	
				частиц	зерен	агломератов из 2 или более зерен пыльцы, %	зерен пыльцы в агломератах из 2 или более зерен пыльцы, %
<i>Древесные растения</i>							
Пихта сибирская	2.06	23	35	1291	1646	18,0	35,8
Ольха черная	5.05	22	21	2023	3364	30,7	55,4
Клен ясенелистный	20.05	22	24	8326	13256	29,6	53,8
Береза повислая	23.05	24	43	2759	3661	18,3	38,1
Облепиха крушиновидная	17.05	19	44	1604	2157	19,9	41,1
Орех маньчжурский	10.06	29	44	4594	5320	10,6	22,3
Лиственница сибирская	15.05	22	41	1659	2092	16,1	32,6
Ель сибирская	1.06	25	21	1935	2381	16,0	31,1
Кедр сибирский	15.06	30	62	6327	8743	24,2	44,8
Сосна обыкновенная	12.06	31	52	5290	7041	20,9	40,6
Тополь черный	19.05	20	25	4043	6002	27,2	51,1
Осина обыкновенная	13.05	23	39	7682	8870	22,6	44,2
Дуб черешчатый	29.05	30	44	2626	3203	14,9	30,5
<i>Злаки</i>							
Полевица гигантская	21.07	21	73	357	453	17,7	35,7
Кострец безостый	12.07	22	82	6824	10213	28,0	52,1
Ежа сборная	12.07	22	82	3904	5654	22,8	46,3
Пырей ползучий	18.06	29	72	2455	3435	23,3	45,0
Овсяница луговая	21.06	28	73	10562	13082	17,6	33,6
Двухкосточник тростниковый	12.07	25	72	7196	11419	31,6	51,2
Тимофеевка луговая	19.07	24	73	2634	3860	24,2	48,2

Видовое название	Дата	Температура, °С	Влажность, %	Число		Доля	
				частиц	зерен	агломератов из 2 или более зерен пыльцы, %	зерен пыльцы в агломератах из 2 или более зерен пыльцы, %
<i>Разнотравье</i>							
Полынь горькая	21.08	20	79	8131	10820	20,6	41,5
Осока большехвостая	5.05	21	22	11014	14492	19,6	38,8
Конопля посевная	10.08	21	72	1560	2154	21,0	42,5
Марь белая	15.08	20	63	1954	3189	31,8	57,8
Хмель обыкновенный	11.08	19	80	3536	5081	24,5	47,4
Подорожник ланцетный	17.07	24	73	5028	7067	22,3	44,8
Василистник простой	20.07	23	58	4318	6227	21,6	45,5
Крапива двудомная	17.08	22	80	7117	10877	30,0	55,5

Помимо одиночных пыльцевых зерен регулярно в атмосферу поступают агломераты, содержащие 2–10 пыльцевых зерен и более. Процентная доля таких агломератов от общего количества образовавшихся частиц сравнительно невелика (не более 32,0%), однако доля пыльцевых зерен, входящих в состав агломератов из 2 или более зерен, составляла от 22,3 до 57,8% от общей пыльцевой продуктивности.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Морфологические особенности строения пыльцевых зерен анемофильных растений, призванные предотвратить слипание зерен пыльцы, могут снижать количество образующихся агломератов, но не предотвращают образование агломератов.

2. В ходе изучения искусственного распыления пыльцы анемофильных растений, а также ее естественного поступления в атмосферу в процессе цветения показано образование значительного количества агломератов из двух или большего количества зерен пыльцы. Доля агломератов от общего количества образовавшихся пыльцевых частиц может превышать 30%, а доля пыльцевых зерен в их составе – 50%.

1. *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.

2. *Bianchi D.E., Schwemmin D.J., Wagner W.H.* Pollen Release in the Common Ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) // *Botanical Gazette.* 1959. V. 120, N 4. P. 235–243.

3. *Blackmore S., Barnes Y.S.* Harmomegathic mechanisms in pollen grains // *S. Blackmore & I.K. Ferguson* (eds.). *Pollen end spores: form and function.* London: Academic Press, 1986. P. 137–149.

4. *Culley T.M., Weller S.W., Sakai A.K.* The evolution of wind pollination in angiosperms // *Trends in Ecology and Evolution.* 2002. V. 17, N 8. P. 361–369.

5. *Jackson S.T., Lypord M.E.* Pollen Dispersal Models in Quaternary Plant Ecology: Assumptions, Parameters, and Prescriptions // *The botanical review.* 1999. V. 65, N 1. P. 39–74.

6. *Harrington J.B., Kurt M.* Ragweed pollen density // *Amer. J. Bot.* 1963. V. 50, N 6. P. 532–539.

7. *Ogden E.C., Haes J.V., Raynor G.S.* Diurnal patterns of pollen emission in *Ambrosia, Pleum, Zea, and Ricinus* // *Amer. J. Bot.* 1969. V. 56, N 1. P. 16–21.

8. *Истомин В.Л., Куценогий К.П., Головки В.В.* Определение аэродинамических характеристик пыльцы // *Аэрозоли Сибири.* Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. С. 260–282.

9. *Головки В.В., Куценогий К.П., Истомин В.Л.* Определение массы индивидуальных пыльцевых зерен сибирских растений // *Оптика атмосф. и океана.* 2011. Т. 24, № 6. С. 525–528.

V.V. Golovko, K.P. Kutsenogii, V.L. Istomin. Aggregate composition of anemophilic plant pollen, entering the atmosphere.

A study is made of the aggregate composition of anemophilic plants pollen, which both is sprayed artificially and enters the atmosphere upon pollination. All experiments on the pollen of all the species studied have revealed a substantial number of agglomerates consisting of two or more pollen grains. In some cases, these agglomerates contain more than 50% of the total number of the captures pollen grains.