

УДК 581.162.3:551.510.42

Изменчивость счетной и массовой концентрации пылевой компоненты атмосферного аэрозоля летом в окрестностях г. Новосибирска

В.В. Головки, К.П. Куценогий, М.А. Бизин, С.А. Попова*

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

Поступила в редакцию 03.02.2012 г.

Установлены таксономический состав, среднесуточные концентрации и суточная динамика содержания в атмосфере пылевой компоненты атмосферного аэрозоля в пос. Ключи Новосибирской области. С 22 июня по 19 июля 2011 г. в атмосфере преобладала пыльца злаков, на долю которой приходилось до 90% и более от общего количества пылевых зерен. Среднесуточные массовые концентрации пыли составляли $\approx 3,7\%$ от суммарных концентраций атмосферного аэрозоля. В периоды цветения злаков массовые концентрации пыли были сопоставимы и даже превышали среднесуточные концентрации атмосферного аэрозоля.

Ключевые слова: пыльца, атмосферный аэрозоль, счетная концентрация, массовая концентрация, суточная динамика; pollen, atmospheric aerosol, counting concentration, mass concentration, daily dynamics.

Введение

Пыльца растений — неотъемлемая компонента атмосферного аэрозоля, переносимая на тысячи километров [1]. Ее содержание в атмосфере разных регионов Земли определяется характером растительного покрова. В период цветения в атмосферу поступают огромные количества пыли, обеспечивающей обмен генами при семенном размножении, переносимой химические элементы в биоценозах и вызывающей пылевую аллергию [1–4].

Сроки поступления пыли в атмосферу определяются динамикой цветения растений, ее концентрация в атмосфере — их пылевой продуктивностью [5]. В Сибири проявляются три периода эмиссии пыли: первый связан с цветением деревьев, второй — злаков и третий — разнотравья [6]. Чувствительность больных к пылевым аллергенам может отличаться в 100 млн раз. В целом пыльца трав более аллергенна: до 70% больных реагируют на антиген из пыли трав, особенно злаков и лишь 3% — на антиген из пыли деревьев. Широкое распространение аллергических заболеваний, вызываемое пылью данных таксонов, обуславливает повышенный интерес к ее содержанию в воздухе [7].

Цель нашей работы заключалась в определении в период массового цветения злаков: 1) таксономического состава пылевой компоненты атмосферного

аэрозоля (АА); 2) среднесуточной счетной и массовой концентрации пыли; 3) суточной динамики содержания пыли в атмосфере; 4) вклада пылевых частиц в суммарную массовую концентрацию АА, а также сопоставления полученных данных с результатами прошлых лет.

Место и методика отбора проб

С 22 июня по 19 июля 2011 г. на стационаре Института геологии, геофизики и минералогии СО РАН, в пос. Ключи в 30 км от центра Новосибирска, была проведена серия круглосуточных отборов проб пылевой компоненты АА.

Пробы отбирались импактором (рис. 1), представляющим собой цилиндр 1, в который помещен шаговый двигатель (ШД) 2, на валу 7 которого крепится покрытый вакуумной смазкой Arjepzon съемный диск 6.

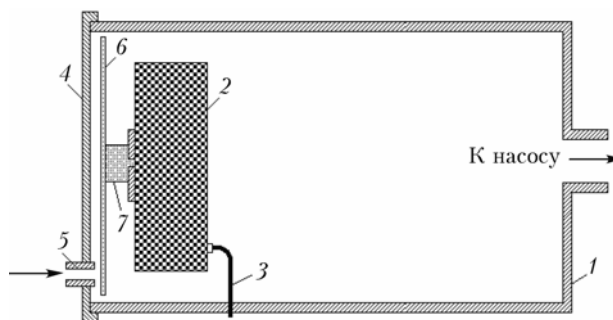


Рис. 1. Схема импактора, использованного при проведении наблюдений

* Владимир Викторович Головки (golovko@ns.kinetics.nsc.ru); Константин Петрович Куценогий (koutsen@ns.kinetics.nsc.ru); Михаил Анатольевич Бизин (bizin@kinetics.nsc.ru); Светлана Анатольевна Попова (popova@kinetics.nsc.ru).

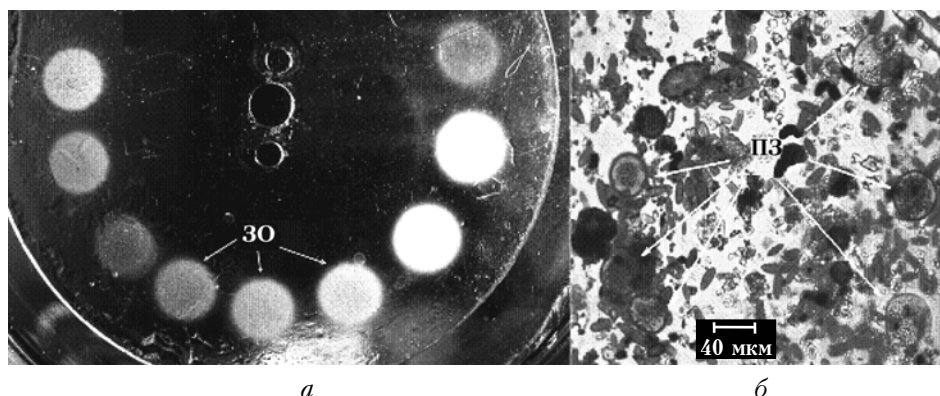


Рис. 2. Осадок атмосферного аэрозоля на диске импактора: *a* – зоны осаждения атмосферного аэрозоля на диске; *б* – пылевые зерна на поле зрения микроскопа

На диске размещалось 12 зон осаждения АА (рис. 2, *a*).

Отбор пробы осуществлялся через сопло 5 в крышке 4 импактора. Диаметр сопла 7,65 мм, расстояние от внутреннего края сопла до поверхности диска 1,5 мм. После его завершения диск устанавливается ШД в положение, в котором начинается отбор новой пробы. Управление ШД осуществляется компьютером через соединительный кабель 3. Продолжительность отбора проб определяется временем работы воздушного насоса (расход воздуха 94 л/мин). Установленное на компьютере программное обеспечение импактора позволяло для каждой из 12 проб АА задавать время начала и длительность отбора.

Отбор проб производился каждые 2 ч. Время экспозиции составляло 10–20 мин. Ориентация импактора по направлению ветра осуществлялась флюгером, установленным на треноге. Устройство для отбора проб было размещено на лугу, в растительном покрове которого доминировали злаки. Пробы АА отбирались на высоте 170 см от поверхности почвы.

Уловленные пылевые частицы окрашивались красителем кумасси голубой и подсчитывались с помощью микроскопа при 40^x увеличении на 100 полях зрения (рис. 2, *б*). Их количество пересчитывалось на площадь зоны осаждения. Таксономическая принадлежность пыли определялась по ее морфологии [8–10] до рода. До семейства определялась пыльца злаков и маревых. Концентрация пыли в воздухе определялась по числу уловленных частиц и объему отбираемого импактором воздуха. При оценке массовой концентрации пыли использовались найденные экспериментальным путем значения массы индивидуальных пылевых зерен (ПЗ) растений [11].

Таксономический состав, среднесуточные концентрации пылевой компоненты атмосферного аэрозоля

В 2011 г. наблюдалась четкая корреляция между содержанием пыли в воздухе и выпадением осадков, не только вымывающих пыльцу из атмо-

сферы, но и препятствующих цветению растений в последующие часы [7]. Интенсивные и продолжительные дожди обусловили практически полное отсутствие пыли в пробах АА, отобранных 1 июля 2011 г.

В пробах АА, отобранных с 22 июня по 19 июля, отмечены ПЗ древесных растений, злаков, анемофильных сорных трав, а также энтомофильных травянистых растений. В атмосфере представлена пыльца и споры 19 родов, относящихся к 17 семействам растений (табл. 1). Их среднесуточные концентрации закономерно изменялись на протяжении периода наблюдений.

Таблица 1
Таксономический состав пылевой компоненты АА в пос. Ключи Новосибирской области с 22 июня по 19 июля 2011 г.

Растения	Таксон	
	Род	Семейство
Древесные	береза	березовые
	липа	липовые
	сосна	сосновые
Разнотравье	конопля	коноплевые
	крапива	крапивные
	—	маревые
	осока	осоковые
	подорожник	подорожниковые
	полынь	сложноцветные
Злаки	рогоза	рогозовые
	щавель	гречишные
	—	злаки
Энтомофильные травянистые	пастушья сумка	капустовые
	люцерна	бобовые
	донник	
	одуванчик	сложноцветные
	осот	
	кровохлебка	розоцветные
Споровые	рябинник	
	борщевик	зонтичные
	хвоц	хвоцевые

В целом в аэрозольных пробах, отобранных в пос. Ключи, присутствовала пыльца практически

всех таксонов, представленных в составе спорово-пыльцевого спектра АА в тот же период 1996–1998 гг. в Академгородке г. Новосибирска [12]. Отсутствовали лишь вторично поднятые с поверхности почвы ПЗ тополя, клена, ели, что можно объяснить отсутствием данных древесных растений вблизи пункта проведения наблюдений.

Древесные растения представлены в пробах АА пыльцевыми зернами сосны и березы, вторично поднятыми с поверхности почвы, и единичными пыльцевыми зернами липы. В период проведения наблюдений среднесуточные концентрации пыльцы древесных растений были невелики и постепенно снижались (рис. 3).

В третью декаду июня они составляли в среднем $3 \cdot 10^{-2}$ мкг/м³, в первую декаду июля – $2 \cdot 10^{-2}$ мкг/м³, во вторую – $6 \cdot 10^{-3}$ мкг/м³. Среднесуточные концентрации ПЗ древесных растений в тот же период 1996–1998 гг. в Академгородке г. Новосибирска были выше в 2–4 раза.

Разнотравье представлено в пробах АА пыльцой осоки и рогозы. Основной вклад вносят ПЗ подорожника, щавеля, крапивы, конопли, маревых. Присутствие пыльцы полыни заметно лишь во второй декаде июля. Концентрации пыльцы разнотравья невелики и возрастают на протяжении периода наблюдения (рис. 3): с $4 \cdot 10^{-2}$ мкг/м³ в третью декаду июня до $7 \cdot 10^{-2}$ мкг/м³ в первую декаду июля,

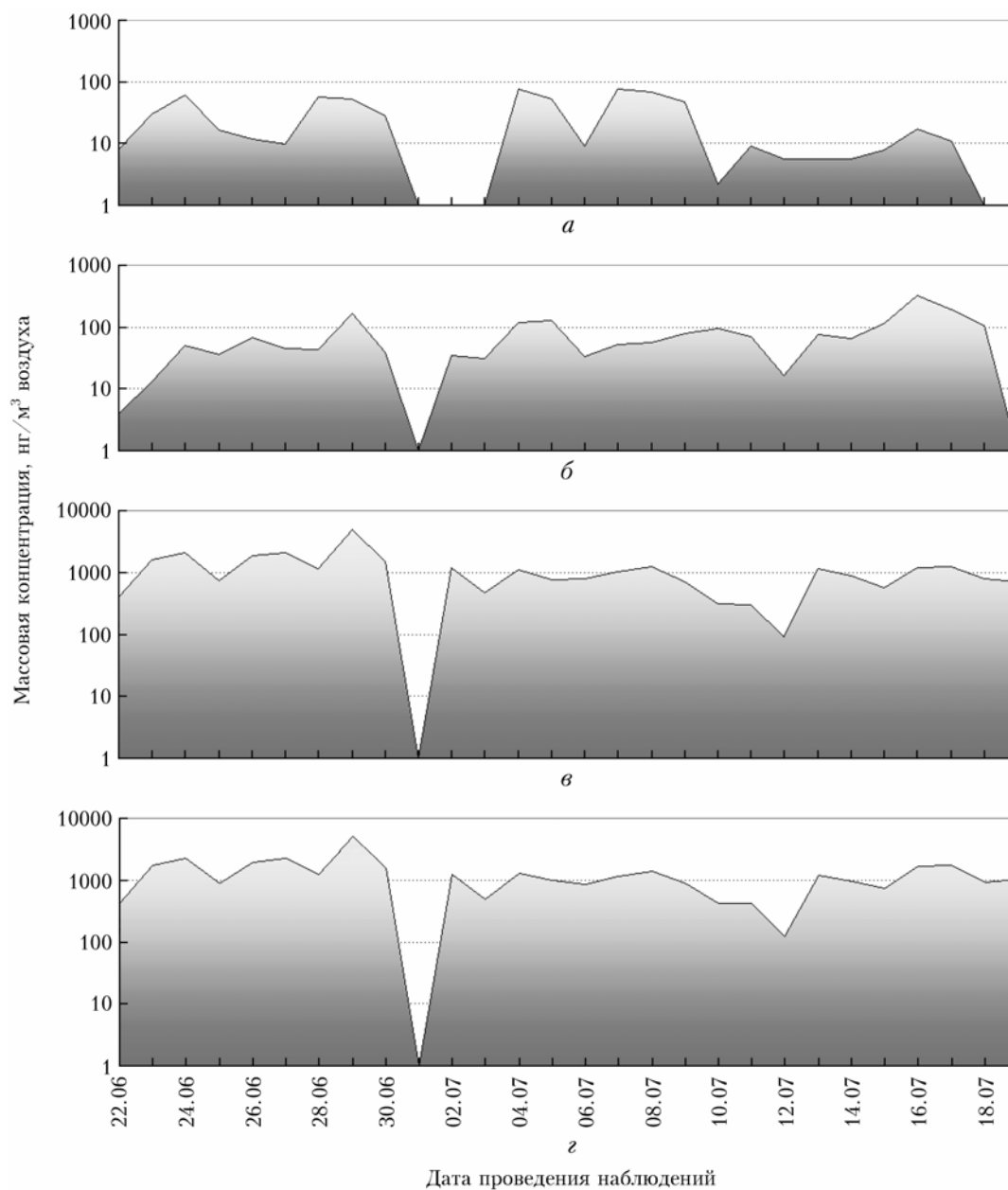


Рис. 3. Среднесуточные концентрации пыльцы: а – древесных растений; б – сорных трав; в – злаков; г – суммарные концентрации пыльцы с 22 июня по 19 июля 2011 г.

$9 \cdot 10^{-2}$ мкг/м³ во вторую декаду июля. Наблюдавшиеся в Академгородке 1996–1998 гг. среднесуточные концентрации пыльцы разнотравья были в несколько раз ниже.

Энтомофильные травянистые растения и споровые растения представлены в отдельных пробах АА единичными зёрнами пыльцы либо спор. Их вклад в массовую концентрацию пыльцевой компоненты АА незначителен и может не учитываться. Аналогичная картина наблюдалась и в Академгородке г. Новосибирска в 1996–1998 гг.

Злаки в период проведения представлены в пробах АА пылью нескольких интенсивно цветущих видов. Их пыльца мономорфна, что препятствует идентификации методами световой микроскопии, затрудняя оценку массовой концентрации. Для получения данной оценки был установлен средний размер пыльцы этого семейства в пробах АА. Средний геометрический диаметр пыльцевых зёрен злаков составил ≈ 37 мкм ($\sigma_g = 1,5$), что близко к размеру ЗП тимфеетки луговой.

С 22 июня по 19 июля среднесуточные концентрации пыльцы злаков варьировали от 6 до 309 зёрен, или от $9 \cdot 10^{-2}$ до 4,9 мкг/м³ воздуха. Доля злаков в суммарной массовой концентрации пыльцевого аэрозоля варьировала от 68,1 до 98,1%, составляя в среднем 85,9%. Средние концентрации пыльцы данного семейства в воздухе постепенно снижались. В третью декаду июня они составляли в среднем 1,5 мкг/м³ воздуха, в первую декаду июля – 0,8, во вторую – 0,6 мкг/м³. Одновременно снижался и вклад злаков в суммарную массовую концентрацию пыльцы: с 92,1% в третью декаду июня до 85,9% в первую декаду июля и до 77,9% во вторую декаду июля.

Полученные значения среднесуточных концентраций ПЗ злаков в среднем на порядок выше значений (0,1–0,2 мкг/м³), полученных в тот же период в 1996–1998 гг. в Академгородке г. Новосибирска. Отличие в среднесуточных концентрациях пыльцевой компоненты атмосферного аэрозоля объясняется следующими причинами:

- 1) разным видовым составом растительного покрова в окрестностях пунктов отбора проб. Доминирование в растительном покрове луга, на котором располагался импактор, злаков обусловило высокие концентрации их пыльцы в отобранных пробах АА;
- 2) разной высотой отбирающих устройств над уровнем почвы.

Из литературных данных [6] известно, что снижение высоты отбора проб АА с 15–20 до 1,5–2 м может привести к 11-кратному увеличению содержания в них пыльцы травянистых растений.

В целом с 22 июня по 19 июля 2011 г. постепенное снижение интенсивности цветения злаков обусловило уменьшение содержания пыльцы в атмосфере (рис. 3).

В третью декаду июня среднесуточные массовые концентрации пыльцевой компоненты АА составляли в среднем 1,6 мкг/м³, в первую декаду июля – 0,9 мкг/м³, во вторую декаду июля произошло дальнейшее снижение – до 0,7 мкг/м³. Массовые среднесуточные концентрации пыльцевой компоненты атмосферного аэрозоля в пос. Ключи были примерно на порядок выше тех, что ранее в тот же период наблюдались в Академгородке г. Новосибирска.

В табл. 2 приводятся значения среднесуточных массовых концентраций АА с 22 июня по 19 июля 2011 г. Приземный аэрозоль в пункте наблюдения отбирался путем прокачки воздуха в течение суток

Таблица 2

Вклад пыльцы в массовую концентрацию атмосферного аэрозоля

Период измерения концентрации	Среднесуточная массовая концентрация АА, мкг/м ³	Массовая концентрация пыльцы			Отношение концентрации пыльцы к концентрации АА, %
		среднегеометрическая среднесуточная, мкг/м ³	стандартное геометрическое отклонение	максимальная, мкг/м ³	
1	2	3	4	5	6
22.06–23.06	33,2	0,4	5,7	11,4	1,3
23.06–24.06	30,0	1,8	6,2	34,1	5,9
24.06–25.06	41,1	2,3	3,2	20,6	5,6
25.06–26.06	39,2	0,9	4,9	10,9	2,2
26.06–27.06	23,5	1,9	3,0	10,2	8,3
27.06–28.06	34,6	2,2	3,3	13,2	6,5
28.06–29.06	43,9	1,2	3,0	8,7	2,8
29.06–29.06	62,2	5,1	1,3	7,6	8,2
30.06–01.07	46,1	1,6	3,8	8,4	3,4
01.07–02.07	49,5	–	–	–	–
02.07–03.07	29,0	1,3	3,9	4,7	4,3
03.07–04.07	17,6	0,5	1,9	1,1	2,8
04.07–05.07	35,5	1,3	3,6	5,7	3,7
05.07–06.07	28,6	1,0	2,5	5,5	3,4
06.07–07.07	17,1	0,8	4,6	5,6	4,9
07.07–08.07	19,0	1,2	1,5	3,2	6,1

1	2	3	4	5	6
08.07–09.07	49,9	1,4	2,1	5,6	2,8
09.07–10.07	20,0	0,9	2,9	3,7	4,4
10.07–10.07	29,6	0,4	2,1	0,8	1,4
11.07–12.07	36,3	0,4	3,3	3,3	1,2
12.07–13.07	23,7	0,1	1,8	0,3	0,5
13.07–14.07	58,6	1,2	4,2	9,9	2,0
14.07–15.07	32,7	0,9	4,0	7,6	2,9
15.07–16.07	32,2	0,7	3,0	8,2	2,3
16.07–17.07	38,3	1,7	1,9	9,6	4,4
17.07–18.07	41,1	1,7	2,6	12,5	4,2
18.07–19.07	29,7	0,9	2,3	8,1	3,1
19.07–20.07	42,7	1,0	2,7	6,9	2,4

через фильтр типа АФА-ХА-20. Массовая концентрация АА определялась по привесу осадка на фильтре. В этот период доля пыльцы в среднесуточной массовой концентрации АА варьировала в широких пределах — от 0,5 до 8,3%, составляя в среднем 3,7%. При этом вклад пыльцы в массовую концентрацию атмосферного аэрозоля постепенно снижался. Если в третью декаду июня доля пыльцы в массовой концентрации атмосферного аэрозоля составляла примерно 4,5%, то в первую декаду июля — 4, а во вторую — 2,6%.

Суточная изменчивость счетной и массовой концентрации пыльцы растений

Древесные растения. На рис. 4 приводится усредненная относительная суточная динамика массовой концентрации пыльцы древесных растений, нормированная на максимальные значения ее концентрации в дни наблюдений.

Максимальные концентрации пыльцы древесных растений наблюдались в интервале с 12 до 16 ч и не превышали 70 зерен в 1 м³ воздуха, или 0,3 мкг. В целом суточный ход содержания пыльцы древесных растений в атмосфере совпадал с изменениями содержания древесной пыльцы в воздухе в течение суток, зафиксированными в 1996–1998 гг., когда максимальные ее концентрации отмечались в послеполуденные часы.

Разнотравье. Интенсивное цветение сорных трав в утренние часы обуславливало наибольшее содержание пыльцы разнотравья в пробах атмосферного аэрозоля, отобранных с 8 до 10 ч (рис. 4). Массовая концентрация пыльцы разнотравья могла изменяться более чем на порядок, достигая в отдельных в пробах АА 1,1 мкг/м³. Суточная динамика содержания в атмосфере пыльцы разнотравья летом 2011 г. несколько отличалась от динамики ее содержания в воздухе в 1996–1998 гг., когда максимальные концентрации чаще всего отмечались в интервалах с 9 до 12 или с 12 до 15 ч.

Злаки. Суточную динамику массовой концентрации пылевого аэрозоля в период проведения наблюдений определяло поступление в атмосферу пыльцы злаков (рис. 4, в, з). На ее долю приходилось до 100% уловленной пыльцы, вклад в массовую концентрацию пылевого компонента атмосферного аэрозоля составлял в среднем 86%.

Цветение злаков характеризуется рядом биологических особенностей: зависимостью от условий погоды, приуроченностью к определенному периоду суток, быстротечностью. В период взрывчатого цветения, наблюдаемого у отдельных видов, все растения одной популяции зацветают одновременно и отцветают в течение 15–20 мин.

В пределах данного семейства выделяют группы видов, различающиеся по характеру суточной ритмики цветения. Особенно многочисленны злаки, цветущие в утренние либо послеполуденные и вечерние часы. Таким образом, в суточном ритме цветения злаков имеются две волны цветения — утренняя и вечерняя, и две паузы — полуденная и полуночная [11].

В период с 22 июня по 19 июля 2011 г. в течение суток наблюдались два максимума содержания пыльцы злаков в атмосфере (см. рис. 4) — в интервалах с 6 до 10 и с 14 до 18 ч. Из-за вымывания пыльцы из атмосферы осадками и наличия порционного цветения пробы атмосферного аэрозоля, отобранные в течение суток, могли различаться по содержанию пыльцы на 2 порядка. В отдельных пробах АА максимальные массовые концентрации пыльцы злаков достигали 34 мкг/м³ воздуха (см. табл. 2).

Аналогичная картина наблюдалась ранее при изучении суточной динамики содержания пыльцы злаков в атмосфере в 1996–1998 гг. Максимальные концентрации отмечались в интервалах с 9 до 12 и с 15 до 18 ч. Однако ранее не отмечалось столь резких изменений концентрации пыльцы злаков в течение суток и столь значительных максимумов ее содержания в воздухе.

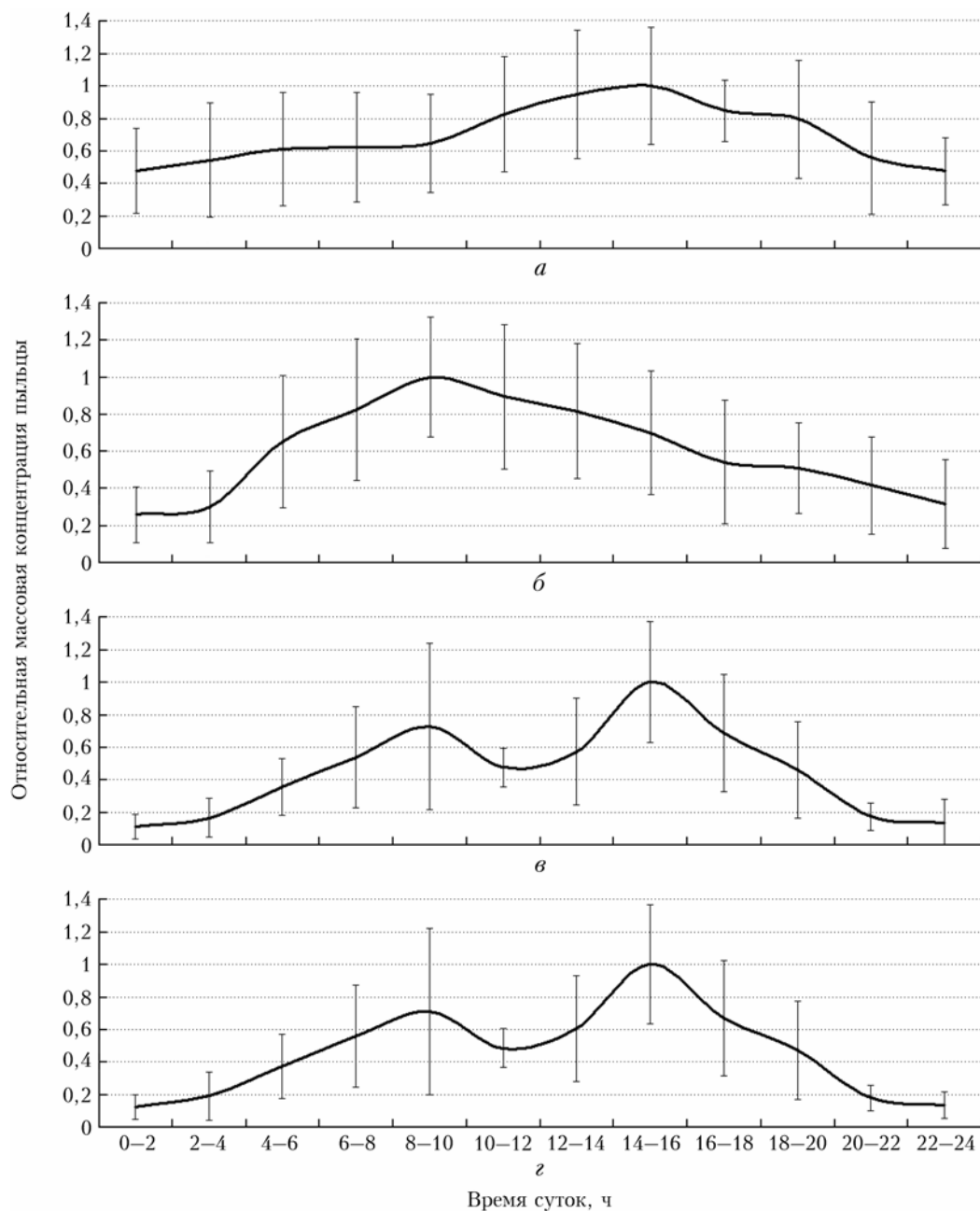


Рис. 4. Усредненная относительная суточная динамика массовой концентрации пыльцы: *а* – древесных растений; *б* – разнотравья; *в* – злаков; *г* – суммарная концентрация пыльцы, нормированная на максимальные значения ее концентрации в дни наблюдений

Заклучение

1. В период проведения наблюдений (с 22 июня по 19 июля 2011 г.) в отобранных пробах АА отмечены пыльца и споры 17 семейств растений. Основной вклад (порядка 86%) в массовую концентрацию пыльцевой компоненты АА вносит пыльца злаков.

2. На протяжении периода наблюдений содержание пыльцы в атмосфере снижалось с $1,6 \text{ мкг/м}^3$ в третью декаду июня до $0,7 \text{ мкг/м}^3$ во вторую декаду июля. Одновременно снижался вклад пыльцы в массовую концентрацию атмосферного аэрозоля с 4,5 до 2,6%.

3. Суточная динамика цветения злаков обусловила наличие двух максимумов содержания пыльцы в атмосфере – в интервалах с 6 до 10 и с 14 до 18 ч. Максимальные массовые концентрации пыльцы в отдельных пробах АА достигали 34 мкг/м^3 .

4. Таксономический состав пыльцевой компоненты атмосферного аэрозоля сходен с пыльцевым спектром аэрозольных проб, исследованных в 1996–1998 гг. в Академгородке г. Новосибирска. Наблюдалось совпадение суточной динамики содержания в атмосфере пыльцы древесных растений и злаков в обоих пунктах наблюдения.

1. Rogers C.A., Levetin E. Evidence of long-distance transport of mountain cedar pollen into Tulsa, Oklahoma // *Int. J. Biometeorol.* 1998. V. 42, N 2. P. 65–72.
2. Сладков А.Н. Введение в спорово-пыльцевой анализ. М.: Наука, 1967. 268 с.
3. Doskey P.V., Ugoagwu B.J. Atmospheric deposition of macronutrients by pollen at a semi-remote site in northern Wisconsin // *Atmos. Environ.* 1989. V. 23, N 12. P. 2761–2766.
4. Rantio-Lehtimäki A. Aerobiology of Pollen and Pollen Antigens // *Bioaerosols Handbook* / Editors: C.S. Cox, S.M. Wathes. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers Inc., 1995. P. 387–406.
5. Пономарев А.Н. Некоторые приспособления злаков к опылению ветром // *Ботан. ж.* 1966. Т. 51, № 1. С. 28–39.
6. Адо В.А., Астафьева Н.Г. Поллинозы. М.: Знание, 1991. 224 с.
7. Беклемишев Н.Д., Ермекова Р.К., Мошкевич В.С. Поллинозы. М.: Медицина, 1985. 240 с.
8. Бобров А.Е., Куприянова Л.А., Литвинцева М.В., Тарасевич В.Ф. Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука, 1983. 208 с.
9. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука, 1972. Т. 1. 172 с.
10. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца и споры двудольных растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука, 1978. Т. 1. 174 с.
11. Головки В.В., Истомин В.Л., Куценогий К.П. Определение массы пыльцевых зерен анемофильных растений // *Проблемы современной палинологии: Мат-лы XIII Российской палинологической конференции.* Т. 2. Сыктывкар, Коми НЦ УрО РАН, 2011. С. 235–238.
12. Головки В.В., Куценогий К.П., Киров Е.И., Куценогий К.П., Истомин В.Л., Рыжаков В.А. Пыльцевая компонента атмосферного аэрозоля в окрестностях Новосибирска // *Оптика атмосф. и океана.* 1998. Т. 11, № 6. С. 645–649.

V.V. Golovko, K.P. Koutzenogii, M.A. Bizin, S.A. Popova. **Components of atmospheric aerosol in the Novosibirsk region in summer.**

The taxonomic composition, daily average concentration and daily dynamics of the content of the pollen component of atmospheric aerosol in the atmosphere have been determined in the village of Kluchi of the Novosibirsk region. From June, 22 to July, 19, 2011, in the atmosphere prevailed the pollen of cereals. It amounted to 90 and more percent of the total number of pollen grains. The daily average mass concentration of the pollen was $\approx 3.7\%$ of the overall concentration of atmospheric aerosol. During cereal blossom the mass concentration of the pollen is comparable and even exceeds the daily average concentration of the atmospheric aerosol.