

УДК 581.162.3:577.11

**В.В. Головкин, Г.А. Ковальская, Е.И. Киров, К.П. Куценогий, В.Л. Истомин, В.А. Рыжаков**

## **МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПЫЛЬЦЫ РАСТЕНИЙ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

Представлены результаты многоэлементного анализа рентгенофлуоресцентным методом с использованием синхротронного излучения (РФА СИ) пыльцы березы, сосны, ели, лиственницы, осины, ежи сборной, костра безостого, тимopheвки луговой, собранных в Академгородке г. Новосибирска. Приведены данные по 24 элементам, имеющим концентрацию выше предела обнаружения ( $10^{-5}$  г/г для элементов легче Fe и  $10^{-6} - 10^{-7}$  г/г для более тяжелых элементов).

Атмосферные аэрозоли – сложная многокомпонентная система, представленная частицами минерального, биологического и антропогенного происхождения. Такая многокомпонентность состава, вместе с широким диапазоном изменения содержания отдельных составляющих и их низкой массовой концентрацией, затрудняет анализ химического состава аэрозолей. Вместе с тем без знания этой характеристики атмосферного аэрозоля невозможно судить об атмосферном переносе вещества и, стало быть, о состоянии экосистем.

При оценке аэрозольного переноса важно выделить его природную и техногенную компоненты, надежные и исчерпывающие данные о которых необходимы для определения регионального геохимического фона. Природный компонент атмосферного аэрозоля представлен минеральной и биогенной фракциями, резко отличающимися по своему составу. Наиболее распространенные в земной коре Si и Al не играют, за немногими исключениями, существенной роли в строении живого вещества, тогда как Co, Cu, Mo, Se, Cd и др., не отмеченные высокой распространенностью, присутствуют в живых тканях. В настоящее время в них обнаружены практически все элементы, известные на поверхности Земли (найден примерно 70 элементов, причем 47 из них наблюдаются постоянно). Доминируют же лишь шесть элементов – H, O, N, C, P и S. Наибольшее значение, кроме главных шести, имеют десять элементов: пять непереходных с постоянной валентностью (Na, K, Mg, Ca и Zn), пять переходных с переменной валентностью (Mn, Fe, Co, Cu, Mo) и четыре галогена (F, Cl, Br, I) [1, 2].

Биогенная фракция аэрозоля достаточно весома. В ряде регионов Земли на ее долю приходится до 55–95% массовой концентрации атмосферного аэрозоля [3–5]. В ее составе – частицы биологического происхождения: вирусы, бактерии, споры, пыльца, а также различные остатки живых организмов.

Пыльца растений – одна из наиболее массовых составляющих биоаэрозоля. Известны случаи, когда ее облака издали принимали за лесной пожар. В пе-

риод цветения она образуется в огромных количествах. Так, сосна обыкновенная производит до 125 кг/га пыльцы, а кедр сибирский – даже до 150 кг/га. По литературным данным, зольность пыльцы этих растений составляет порядка 3–4% [6]. Благодаря своей массовости она может играть важную роль в атмосферном переносе ряда биогенных элементов. Показано, что в ряд олиготрофных Канадских озер именно с пылью поступает основная часть минеральных веществ [7].

В данной статье приводятся результаты исследования многоэлементного состава пыльцы восьми анемофильных видов растений, доминирующих в растительном покрове.

Сбор пыльцы проводился по стандартной методике в природных популяциях растений в окрестностях г. Новосибирска [6, 8]. Полученную пыльцу напыляли равномерным тонким слоем с помощью установки для импульсного распыления порошкообразных материалов на фильтры АФА-ХА. Напыление производилось на стенде импульсного пневматического транспорта сектора импульсной газодинамики ИГиЛ СО РАН. Все полученные образцы имели поверхностную плотность отложения пыльцы менее  $10 \text{ мг/см}^2$ .

Измерение элементного состава пыльцы производилось с помощью рентгенофлуоресцентного метода с использованием синхротронного излучения на станции элементного анализа в ИЯФ СО РАН (накопитель ВЭПП-3). Данный метод анализа отличается высокой чувствительностью, и его результат практически не зависит от того, в форме какого химического соединения анализируемый элемент содержится в исследуемом образце [9, 10]. При исследовании образцов использовался пучок рентгеновского синхротронного излучения с энергией квантов 23 кэВ. В ходе обработки полученных спектров были рассмотрены все элементы с порядковым номером  $Z > 19$  (начиная с калия и более тяжелые) за исключением Mo, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn. Для измерения содержания этих элементов требуется более жесткое рентгеновское излучение. Для количественной об-

работки образцов использован стандарт, содержащий по 2,2 мг/см<sup>2</sup> Ca, Cr, Fe, Cu, Sr, что было возможно благодаря тонкослойности анализируемых образцов, позволяющей пренебречь вторичными эффектами, основным из которых является вторичное поглощение характеристических квантов.

В таблице представлены результаты многоэлементного анализа рентгенофлуоресцентным методом с использованием синхротронного излучения пыль-

цы березы, сосны, ели, лиственницы, осины, ежи сборной, костра безостого, тимopheевки луговой, собранных в Академгородке г. Новосибирска. Приведены данные по 24 элементам, имеющим концентрацию выше предела обнаружения (10<sup>-5</sup> г/г для элементов легче Fe и 10<sup>-6</sup>–10<sup>-7</sup> г/г для более тяжелых элементов). В связи с трудностью калибровки для легких элементов результаты по К носят оценочный характер.

Содержание химических элементов в составе пылицы восьми видов растений, собранной в Академгородке г. Новосибирска, г/г

Элементы	Видовая принадлежность пылицы							
	Древесные растения					Травянистые растения		
	Сосна обыкновенная	Лиственница сибирская	Ель сибирская	Осина	Береза бородавчатая	Тимopheевка луговая	Костер безостый	Ежа сборная
K	0,08551	0,04202	0,1361	0,16302	0,03128	0,08167	0,05365	0,15878
Ca	0,00069	0,00093	0,00077	0,00678	0,00134	0,00217	0,00204	0,00619
Ti	2,8·10 <sup>-5</sup>	0	0	0	0	4,2·10 <sup>-5</sup>	2,8·10 <sup>-5</sup>	9,1·10 <sup>-5</sup>
Cr	1,9·10 <sup>-5</sup>	5,1·10 <sup>-5</sup>	0	0	3,7·10 <sup>-5</sup>	1,4·10 <sup>-5</sup>	0	4,5·10 <sup>-5</sup>
Mn	4,5·10 <sup>-5</sup>	8,3·10 <sup>-5</sup>	4·10 <sup>-5</sup>	0,00021	4,9·10 <sup>-5</sup>	3,5·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-5</sup>	8,3·10 <sup>-5</sup>
Fe	0,00017	9,5·10 <sup>-5</sup>	0,00015	0	0,0002	0,00019	0,00013	0,00038
Ni	0	3,3·10 <sup>-6</sup>	0	2,2·10 <sup>-5</sup>	0	0	0	0
Cu	1·10 <sup>-5</sup>	1,9·10 <sup>-6</sup>	1,4·10 <sup>-5</sup>	6·10 <sup>-5</sup>	1,6·10 <sup>-5</sup>	1,8·10 <sup>-5</sup>	1,6·10 <sup>-5</sup>	3,9·10 <sup>-5</sup>
Zn	2,7·10 <sup>-5</sup>	4,7·10 <sup>-5</sup>	5,2·10 <sup>-5</sup>	1,9·10 <sup>-6</sup>	1,1·10 <sup>-6</sup>	5·10 <sup>-5</sup>	4·10 <sup>-5</sup>	0,00013
As	1,7·10 <sup>-5</sup>	0	0	1,1·10 <sup>-5</sup>	2,2·10 <sup>-5</sup>	5,1·10 <sup>-7</sup>	1,3·10 <sup>-6</sup>	3·10 <sup>-6</sup>
Br	1,1·10 <sup>-5</sup>	8,8·10 <sup>-6</sup>	2,8·10 <sup>-5</sup>	1,4·10 <sup>-5</sup>	2,8·10 <sup>-6</sup>	4,9·10 <sup>-6</sup>	4,4·10 <sup>-7</sup>	3,3·10 <sup>-6</sup>
Rb	8,7·10 <sup>-6</sup>	4,8·10 <sup>-6</sup>	5,2·10 <sup>-6</sup>	7,6·10 <sup>-6</sup>	1,5·10 <sup>-6</sup>	9,6·10 <sup>-6</sup>	5,2·10 <sup>-6</sup>	2,5·10 <sup>-5</sup>
Sr	0	5,5·10 <sup>-6</sup>	2·10 <sup>-7</sup>	1,5·10 <sup>-6</sup>	3,3·10 <sup>-7</sup>	2,3·10 <sup>-6</sup>	2,7·10 <sup>-6</sup>	9,4·10 <sup>-6</sup>
Y	0	4,3·10 <sup>-7</sup>	0	5,9·10 <sup>-5</sup>	2,4·10 <sup>-6</sup>	0	0	0
Zr	1,3·10 <sup>-6</sup>	9,8·10 <sup>-7</sup>	7,9·10 <sup>-6</sup>	0	0	1,5·10 <sup>-6</sup>	1,7·10 <sup>-6</sup>	4,4·10 <sup>-6</sup>
Nb	0	3,7·10 <sup>-7</sup>	0	0	0,00015	0	0	3,8·10 <sup>-7</sup>
Sb	5·10 <sup>-5</sup>	0	0	0	0	0,00016	0,00011	4,9·10 <sup>-5</sup>
Sm	1,5·10 <sup>-5</sup>	2,9·10 <sup>-6</sup>	0	0	0	0	0	0
Gd	3,4·10 <sup>-7</sup>	0	1,3·10 <sup>-6</sup>	0	0	0	0	2,2·10 <sup>-6</sup>
Yb	6,5·10 <sup>-6</sup>	0	0	0	8,6·10 <sup>-8</sup>	0	0	0
Hf	0	0	0	0	5,7·10 <sup>-7</sup>	3,9·10 <sup>-6</sup>	0	2,2·10 <sup>-6</sup>
W	0	0	0	0	5,5·10 <sup>-7</sup>	0	2,4·10 <sup>-6</sup>	2,4·10 <sup>-6</sup>
Bi	0	2,5·10 <sup>-6</sup>	0	0	0	0	0	0
U	0	0	5,1·10 <sup>-7</sup>	0	0	0	0	0
Nd	0	0	0	0	0	0	3,2·10 <sup>-6</sup>	1,6·10 <sup>-5</sup>
Co	0	0	0	0	0	0	1,9·10 <sup>-6</sup>	6,2·10 <sup>-6</sup>
Tm	0	0	0	0	0	0	0	7,6·10 <sup>-6</sup>
Ra	0	0	0	0	0	0	8,8·10 <sup>-7</sup>	0

## Резюме

1. Разработана методика подготовки образцов пылицы и ее последующего многоэлементного анализа рентгенофлуоресцентным методом на пучках синхротронного излучения.

2. Впервые получены количественные данные по содержанию 24 элементов в пылице анемофильных видов растений, доминирующих в растительном покрове в окрестностях Новосибирска.

1. *Экогеохимия* Западной Сибири. Тяжелые металлы и радионуклиды / Под ред. Г.В. Полякова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИИЦ ОГИМ, 1996. 248 с.
2. *Второва В.Н., Маркерт Б.* // Изв. РАН. Сер. Биология. 1995. N 4. С. 447–454.

3. *Artaxo P., Storms H., Bruynseels F., Van Grieken R., Maenhaut W.* // J. Geoph. Res. 1988. V. 93. N D2. P. 16005–16015.
4. *Artaxo P., Maenhaut W., Storms H., Van Grieken R.* // J. Geoph. Res. 1990. V. 95. N D10. P. 16971–16985.
5. *Малдерен Х. ван, Грикен Р. ван, Ходжер Т.В., Буфетов Н.С., Куценогий К.П.* // Оптика атмосферы и океана. 1994. Т. 7. N 8. С. 1154–1162.
6. *Некрасова Т.П.* Пыльца и пыльцевой режим хвойных Сибири. Новосибирск: Наука, 1983. 168 с.
7. *Doskey P.V., Ugoagwu B.J.* // Atmospheric Environment. 1989. V. 23. N 12. P. 2761–2766.
8. *Пономарев А.Н.* // Полевая геоботаника, Т. 2. М.; Л.: Наука, 1960. С. 9–19.
9. *Куценогий К.П., Ковальская Г.А., Смирнова А.И., Буфетов Н.С., Барышев В.Б.* // Оптика атмосферы и океана. 1997. Т. 10. N 7. С. 820–827.
10. *Синхротронное излучение в геохимии* / Под ред. Г.Н. Аношина, Г.Н. Куликова. Новосибирск: Наука, 1989. 152 с.

*V.V. Golovko, G.A. Kovalskaya, E.I. Kirov, K.P. Koutsenogii, V.L. Istomin, V.A. Ryzhakov.* **Multielement Analysis of Plant Pollen in the South of Western Siberia.**

We present here the results on the multielement X-ray fluorescence study of the pollen of *Betula pendula*, *Pinus silvestris*, *Picea obovata*, *Larix sibirica*, *Populus tremula*, *Dactylis glomerata*, *Bromus inermis*, *Phleum pratense* collected in Akademgorodok, Novosibirsk using synchrotron radiation. The data on 24 elements having concentration higher than the sensitivity limit ( $10^{-5}$  g/g for elements lighter than Fe,  $10^{-6} - 10^{-7}$  g/g for heavier ones) are given.