

УДК 551.510.42 (268.4.45/46)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В ОТКРЫТЫХ РАЙОНАХ БАРЕНЦЕВА И БЕЛОГО МОРЕЙ

© 2002 г. Н. И. Голубева, академик Г. Г. Матишов, Л. В. Бурцева

Поступило 29.05.2002 г.

Концентрации токсичных микроэлементов (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Co, Cr) и Fe, измеренные в июле 2001 г. в сопредельном с морской поверхностью слое атмосферного воздуха в открытых районах российских арктических морей (Баренцево и Белое моря), дали представление о современном фактическом состоянии загрязнения арктического воздушного бассейна тяжелыми металлами.

Актуальность полученных оценок обусловлена тем, что атмосфера Арктики играет важную роль в процессах перераспределения загрязняющих веществ в северном полушарии. Благодаря особенностям ветрового режима и распределения барических полей в тропосфере, загрязняющие вещества от источников средних широт Евразии в зимне-весенний период накапливаются в высоких широтах, а затем перераспределяются в северном полушарии [1, 2].

В обширном европейском регионе ЕМЕП, включающем территории более 50 стран, объединенных совместной программой наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе, в последнее десятилетие произошли изменения в объемах антропогенной эмиссии [3]. Например, выбросы в атмосферу свинца сократились на 60%, кадмия на 40%, ртути на 50%. Этот процесс в большей или меньшей степени касается и других металлов. В результате изменяется состояние загрязнения атмосферного воздуха. Так, по данным систематических наблюдений, в фоновых районах на ЕТ России в приземном воздухе к 1999 г. произошло значительное снижение концентраций Pb [4].

Вопрос о динамике изменений в арктических районах пока остаётся открытым, так как современных данных о содержании тяжелых металлов

в воздушном бассейне Арктики крайне мало, а в атмосфере над открытыми районами российских арктических морей они практически отсутствуют.

Значимость оценок возрастает и в связи с тем, что наряду с глобальными процессами распространения загрязняющих веществ заметное антропогенное воздействие на российские арктические районы оказывают предприятия цветной металлургии и тепловые электростанции, расположенные в российском заполярье (Кольский п-ов и г. Норильск) [1]. Из атмосферы тяжелые металлы поступают в морскую среду. По степени влияния на состояние морских экосистем атмосферное загрязнение следует за речным стоком, играющим ключевую роль. В арктических морях обнаружены очаги повышенных концентраций в морской воде: в Кольском заливе Баренцева моря по Cu, в Карском по Pb, Cu и Zn, в Лаптевых и Восточно-Сибирском морях по Zn [2].

В настоящей работе представлены результаты измерений концентраций тяжелых металлов в аэрозолях атмосферного воздуха, отобранных в июле 2001 г. по пути следования научно-исследовательского судна в Баренцевом и Белом морях. Измерения сопровождалась метеорологическими наблюдениями.

Пробы воздуха отбирались на верхней палубе нис на фильтры ФПА площадью 322 см² электроаспиратором с расходом воздуха до 60 м³/ч, применяемым на станциях комплексного фонового мониторинга Росгидромета для аналогичных задач [5]. Время отбора одной пробы составляло от 47 до 72 ч, объем пробы для атмосферных аэрозолей варьировал от 2500 до 2900 м³.

Измерение концентрации Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Co, Cr и Fe выполнено по [6] методом беспламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии на спектрофотометре КВАНТ-Z.ЭТА с эффектом Зеемана для коррекции фона.

Координаты участков маршрута нис, на которых отбирались пробы, представлены в табл. 1.

Измерения в Баренцевом море выполнены вдоль 69 параллели при движении с запада на вос-

Таблица 1. Координаты маршрутов отбора проб атмосферного воздуха

№ маршрута	Координаты начала маршрута		Координаты конца маршрута	
	широта	долгота	широта	долгота
Баренцево море				
1	69° 20'	40° 40'	69° 19'	55° 00'
2	69 19	55 00	68 54	58 12
3	68 57	58 16	69 13	55 11
4	69 13	55 11	69 46	50 29
5	69 46	50 29	69 30	44 57
6	69 30	44 57	67 43	41 12
Белое море				
7	67° 43'	41° 12'	64° 54'	39° 50'
8	64 54	39 50	66 03	39 33
9	66 06	39 33		

ток (протяженность пути 658 км) и обратно, т.е. в одних и тех же районах Баренцева моря измерения выполнены дважды. В Белом море маршруты имели меридиональное направление (протяженность с севера на юг – 274 км).

В табл. 2 представлены концентрации тяжелых металлов, измеренные в атмосферном воздухе арктических районов до 1997 г., в табл. 3 – данные, полученные в Баренцевом и Белом морях в 2001 г.

Как следует из табл. 2, концентрации Pb, Cd, Cu и Ni в арктических атмосферных аэрозолях в 1983–1986 гг. были выше, чем 10 лет спустя. Этот факт может быть обусловлен, с одной стороны, повышением чувствительности современного поколения аналитической измерительной техники, позволившей получить более достоверные оценки низких арктических концентраций. С другой стороны, возможно, это связано с постепенным снижением степени загрязнения атмосферы антропогенными выбросами в регионе ЕМЕП.

Полученные в настоящей работе данные показали устойчивую тенденцию снижения концентраций в атмосферном воздухе Pb и Cd. За период 1983–2001 гг. концентрации Pb понизились более чем на порядок, а Cd примерно в два раза. По-видимому, снижение концентраций не может быть обусловлено только современными аналитическими достижениями, а связано главным образом с уменьшением объемов антропогенной эмиссии этих металлов. Аргументом такого предположения является отсутствие аналогичной тенденции для других металлов рассматриваемой группы.

Таблица 2. Концентрация тяжелых металлов в атмосферном воздухе в арктических районах Евразии, нг/м³

Год измерений	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Fe
Остров Шпицберген								
1983 [7]	0.1–1	3–20	5–23		0.2–2		0.3–2	
1983–1986 [8]			3.9	<0.9		0.0096	<0.4	17.8
1994 [9]	0.03	0.83	1.91	0.32	0.19	0.01	0.20	
1995 [9]	0.02	0.64	1.47	0.30	0.15	0.01	0.22	
Архипелаг Северная Земля								
1985–1986 [10]	0.09	1.1	5.7			0.02	0.53	
1988 [11]			0.61			0.036	0.65	12
Полуостров Таймыр								
1994	0.013	0.25		2.7	<0.12			15
Остров Врангеля								
1984 [12]	0.05	1.8	4.1	6.7	2.2	0.34	0.5	
1988 [11]			16		0.18–0.05	2.2		75
1989 [11]			12	7.1		7.7		88
Арктика								
До 1990 [13]			3.1	0.69	0.79	0.12	0.28	
Паллаз 67° 22' N, 26° 39' E (Финляндия)								
1994 [9]	0.032	0.93	1.5	0.56	0.51	0.024	0.11	

Таблица 3. Концентрация тяжелых металлов (нг/м³) в атмосферном воздухе в акватории Баренцева и Белого морей, июль 2001 г.

№ маршрута	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr	Fe
Баренцево море								
1	0.024	0.11	31.0	4.0	0.37	0.20	0.39	25.9
2	0.017	0.19	16.0	2.9	0.13	0.36	0.25	15.5
3	0.032	0.27	13.0	5.2	0.19	0.07	0.45	43.0
4	0.029	0.06	4.9	4.9	0.17	0.15	0.37	82.0
5	0.026	0.10	47.0	1.8	0.85	0.30	0.14	58.0
6	0.010	0.07	12.0	0.34	0.12	0.064	0.28	17.3
Средн.	0.023	0.13	24	3.8	0.3	0.19	0.31	40
Белое море								
7	0.006	0.10	6.3	9.0	0.22	0.057	0.11	81.6
8	0.018	0.11	4.5	8.2	0.87	0.073	0.49	34.8
9	0.038	0.16	1.2	5.6	0.20	0.064	0.34	33.0
Средн.	0.02	0.12	4.0	7.6	0.4	0.064	0.31	50

Таблица 4. Коэффициенты обогащения элементов по сравнению с их кларками в земной коре

№ маршрута	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Cr
Баренцево море							
1	300	11	607	139	10	18	8.0
2	363	32	514	168	6.0	52	8.0
3	247	17	153	109	3.0	0.4	5.0
4	117	1.9	409	54	1.5	4.0	2.0
5	147	4.5	367	28	11	12	1.0
6	193	11	18	18	5.0	9.0	8.0
Белое море							
7	245	3.2	39	99	2.0	2.0	0.7
8	172	8.3	65	212	17.0	5.0	7.0
9	383	13	18	152	4.0	4.5	5.0

Сравнение концентраций металлов в атмосферном воздухе над Баренцевым и Белым морями и в арктических районах, расположенных западнее (о. Шпицберген) и восточнее (арх. Северная Земля), показывает их соизмеримость для большинства элементов. Более высокими оказались концентрации Zn и Cu.

В Белом море относительно Баренцева моря выше концентрации Cu и ниже концентрации Zn и Co. Заметно уже интервал колебания концентраций Fe. Концентрации других элементов практически сопоставимы.

Метеорологические наблюдения позволили рассмотреть полученные данные во взаимосвязи с погодными условиями.

В период измерений в исследуемых районах Баренцева и Белого морей выпадали осадки в виде мороси, наблюдались туманы и дымка, влажность была близкой к 100%, температура воздуха изменялась от +4 до +14°C, скорости приземного ветра в своем большинстве были меньше 7 м/с. На маршруте № 1 ветер был переменный (5–7 м/с), на маршруте № 2 направление ветра – ССЗ, ЗСЗ (4–6 м/с), на № 3, 4 – ЮЮВ, ЮЗ (3–6 м/с), на № 5 – переменный (5–7 м/с), на № 6 – ЗСЗ, ЗЮЗ (4 м/с), на № 7 – В (4 м/с), на № 8, 9 – СЗ (3–6 м/с).

В Баренцевом море при ветрах с западной составляющей наблюдалось снижение концентраций Cd, Zn, Cu, Ni, Cr и Fe в восточном направлении (маршруты № 1 и 2). При появлении южной составляющей в направлении ветра (маршруты № 3, 4, 5) четко прослеживается заметный рост

концентраций Fe. На этих же маршрутах получены максимальные из измеренных концентрации Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr. Снижение концентраций металлов происходило при слабом ветре с западной составляющей (маршрут № 6).

Для выявления природы элементов в составе арктического атмосферного аэрозоля рассчитаны коэффициенты их обогащения по отношению к среднему составу земной коры по формуле:

$$K_X^{з.к} = (X/Fe)_{\text{аэр}} / (X/Fe)_{\text{з.к}},$$

где $K_X^{з.к}$ – коэффициент обогащения элемента X (опорный элемент Fe); $(X/Fe)_{\text{аэр}}$ и $(X/Fe)_{\text{з.к}}$ – отношения концентраций элементов X и Fe в аэрозоле и в земной коре соответственно.

Коэффициенты обогащения, представленные в табл. 4, показывают, что арктические аэрозоли в наибольшей степени обогащены Cd, Zn, Cu, что, по-видимому, является результатом расположения в полярных районах России крупных предприятий цветной металлургии (г. Мончегорск, Норильск).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ровинский Ф.Я., Громов С.А. Источники и мониторинг тяжелых металлов в атмосферном воздухе и осадках Российской Арктики: Материалы V конф. консультатив. комитета по защите морей. СПб., 1996.
2. Динамика экосистем Берингова и Чукотского морей / Под ред. Ю.А. Израэля, А.В. Цыбань. М.: Наука, 2000. 357 с.
3. Оценка трансграничного переноса тяжелых металлов в 1999 году: Анализ трендов. ЕМЕП. Отчет 3/2001. М.: Метеорологический синтезирующий центр–Восток, 2001.
4. Обзор фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 1998 г. и его динамики за последние десять лет. СПб.: Гидрометеиздат, 1999.
5. РД 52.04.186-89. Руководящий документ: Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1991, С. 693.
6. РД 52.44.593-97. Руководящий документ: Методические указания. Определение массовой концентрации тяжелых металлов в аэрозолях воздуха. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с беспламенной атомизацией.
7. Jozef M. Pacyna, Brynjulf Ottar // Atmos. Environ. 1985. V. 19. № 6. P. 857–865.
8. Maenthaut W., Cornille P., Pacyn J.M., Vitols V. // Atmos. Environ. 1989. V. 23. № 11. P. 2551–2569.
9. Sirkka Juntto, John Munthe, Liisa Jalkanen. Atmospheric Transport and Deposition of Heavy Metals in Northern Fennoscandia: The AMAP Intern. Simp. on Environmental Pollution in the Arctic. Extended abstr., June 1–5, Tromso, 1997. P. 329–330.
10. Ровинский Ф.Я., Петрухин В.А., Черханов Ю.П. и др. В кн.: Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеиздат, 1989. В. 5. С. 88–97.
11. Виноградова А.А., Малков И.П., Полиссар А.В., Храмов Н.Н. // Изв. РАН. ФАО. 1993. Т. 29. № 2. С. 164–172.
12. Ровинский Ф.Я., Петрухин В.А., Парамонов С.Г. и др. Тр. III Всесоюз. совещ. Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды. Л.: Гидрометеиздат, 1987. С. 4–13.
13. Петрухин В., Бурцева Л., Лапенко Л. и др. В кн.: Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеиздат, 1989. В. 5. С. 4–30.