
**ЗАГРЯЗНЕНИЕ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ**

УДК 504.37:543.621

**НАКОПЛЕНИЕ РАСТВОРИМЫХ И МАЛОРАСТВОРИМЫХ
ФОРМ МЕТАЛЛОВ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ
ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ**

© 2015 г. М. И. Василевич, В. А. Безносиков, Б. М. Кондратёнок

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, Республика Коми, 167982 Россия.
E-mail: mivasilevich@rambler.ru*

Поступила в редакцию 12.11.2013 г.
После исправления 15.05.2014 г.

Проведен количественный химический анализ снежного покрова на фоновых территориях таежной зоны Европейского северо-востока России. Сравнительный анализ химического состава растворимой и нерастворимой фаз талой воды, а также результатов определения состава атмосферного аэрозоля и органогенных горизонтов почв показал, что формирование химического состава снежного покрова исследованной территории происходит главным образом за счет дальнего переноса веществ. Рассчитаны коэффициенты обогащения элементами талой воды и атмосферного аэрозоля, оценено накопление металлов в снеге, аэрозоле и почвах.

Ключевые слова: *снежный покров, металлы, органогенные горизонты почв, аэрозоль.*

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время усиливается интерес к теоретической и прикладной направленности исследований снежного покрова [1, 3, 7, 15]. Снежный покров – эффективный накопитель поллютантов, которые аккумулируются и сохраняются в нем в неизменном состоянии в течение зимы. Концентрация загрязняющих веществ в снеге оказывается обычно на 2–3 порядка выше, чем в атмосферном воздухе. По результатам изучения снежного покрова как естественного накопителя можно установить действительную величину сухих и влажных выпадений и количественные параметры загрязнения экосистем. Анализ состава снега и аэрозолей и соотношение макро- и микрокомпонентов обеспечивает получение полезной информации относительно дальнего переноса веществ, поступивших в атмосферу от различных источников. В целом количественная химическая характеристика снежного покрова и аэрозолей – надежный маркер при оценке загрязнения окружающей среды [5, 6].

Исследования последних десятилетий свидетельствуют о значительном росте содержания тяжелых металлов в атмосфере, осадках, почвах и других природных объектах, находящихся на весьма удаленных расстояниях от источников

эмиссии [9, 10]. Элементный состав снежного покрова фоновых территорий определяется поступающими на подстилающую поверхность аэрозолями, химический состав которых обусловлен дальностью их переноса. Формирование химического состава снежного покрова фоновых территорий обусловлено загрязненностью воздуха в результате дальних и региональных переносов поллютантов, а массовая доля элементов в почвах зависит не только от факторов почвообразования, но и от количественного вещественного состава выпавшего снега. На основании сопоставления установленных геохимических рядов накопления металлов в снежном покрове и органогенном (подстилочном) слое почв можно выявить роль дальних и региональных переносов в формировании химического состава снежного покрова [15].

Для определения источников поступления металлов в аэрозоли, вышедших на поверхность в составе снежного покрова, часто используют коэффициент обогащения ($K_{об}$), который при значительном влиянии дальнего переноса будет иметь наибольшие значения для аэрозоля [1].

Известно, что соотношение содержания металлов в водорастворимых соединениях и в составе взвешенных частиц зависит от степени загрязнения окружающей среды. В фоновых районах в

составе снежного покрова преобладают растворимые соединения металлов. Вблизи источников выбросов одновременно с увеличением общей пылевой нагрузки преобладают малорастворимые соединения большинства элементов [2, 6, 8, 12].

Цель данного исследования – оценить поступление растворимых и малорастворимых форм металлов и на основе этого выявить роль дальнего и регионального переносов веществ в формировании химического состава снежного покрова на фоновых территориях таежной зоны Европейского северо-востока России (Республики Коми).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объекты исследования – снежный покров, атмосферный аэрозоль и образцы органогенных (подстилочных) горизонтов почв фоновых территорий таежной зоны Европейского северо-востока России (Республика Коми). Отбор образцов проведен по подзонам тайги: южная, средняя, северная. Схема отбора образцов снега, аэрозоля и почв представлена на рис. 1.

Отбор проб, хранение образцов снежного покрова, химический анализ талой воды и

аэрозолей выполнены в соответствии с руководством по контролю загрязнения атмосферы РД.52.04.186-89. Пробы атмосферного аэрозоля отбирали в нескольких пунктах, приуроченных к местам отбора образцов снежного покрова. Отбор аэрозолей проводили фильтрацией фиксированного объема воздуха через ацетат-целлюлозные фильтры АФА-ХА-20 с помощью аспиратора АВА-3-180-01А. Воздухозабор осуществляли на высоте 1.5–2 м от земли по направлению ветра. Длительность отбора одной пробы составляла от 1.5 до 2 час., а объем прокаченного через фильтр воздуха для одной пробы – не менее 20 м³. Отбор образцов почв проводили согласно ГОСТ 17.4.3.01. Для оценки вариабельности содержания металлов в органогенных горизонтах почв (О) отобрали смешанные образцы, состоящие из 15 индивидуальных проб. Для определения содержания тяжелых металлов в почве руководствовались РД 52.18.191-89.

Количественный химический анализ металлов проводился методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98, ПНД Ф 14.1:2:4.135-98). Определяли количественное содержание в снеге

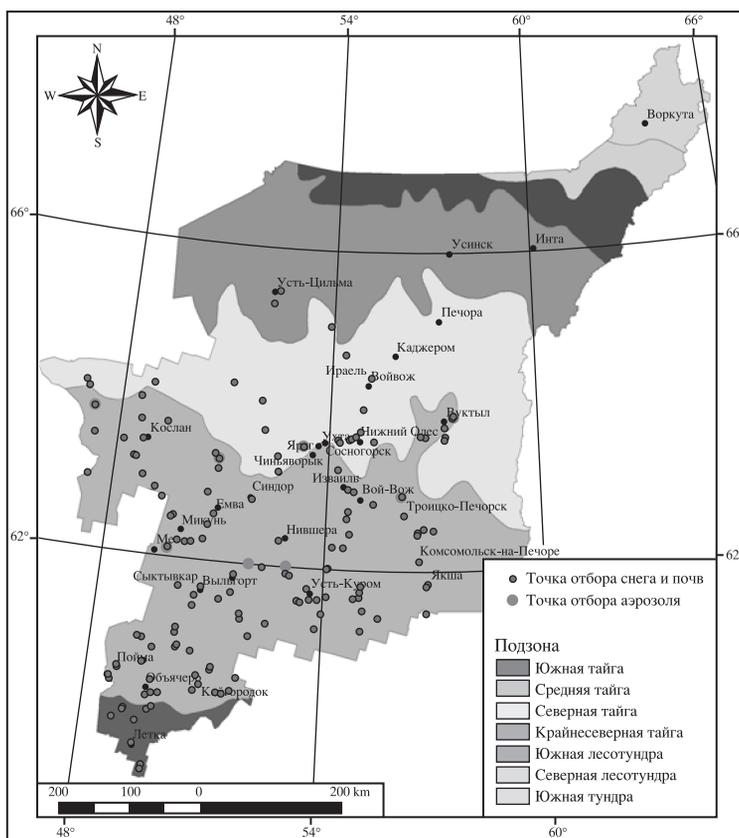


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб снежного покрова, атмосферного аэрозоля и почв.

и пробах атмосферного аэрозоля следующих элементов: Na, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cd, Cu, Ni, Pb, Fe, Al, Cr в образцах почв – Mn, Zn, Cd, Cu, Ni, Pb. Содержание элементов в снегу исследовали путем анализа как растворимой фракции талой воды (фильтрат), так и нерастворимой фракции (фильтр), оценивая массовую долю каждого элемента в обеих фракциях талой воды. Содержание исследуемых компонентов в снеговой воде оценивали в единицах массовых концентраций в мкг/дм³. Для более корректной интерпретации результатов эксперимента полученные результаты пересчитывали в соответствующие значения уровней поступления веществ в мг/м² (г/м²) по следующей формуле:

$$P[\text{мг/м}^2] = \frac{C_m[\text{мкг/дм}^3] \cdot V[\text{дм}^3]}{S[\text{см}^2] \cdot n} \cdot 10,$$

где P – масса определяемого компонента, поступившего на единицу площади поверхности земли за весь период сохранения снежного покрова;

C_m – массовая концентрация компонента в талой воде;

V – объем талой воды всей пробы;

S – площадь внутреннего поперечного сечения трубы для отбора проб снега;

n – число кернов снежного покрова, отобранных в данной точке;

10 – коэффициент для согласования размерности.

Химико-аналитические исследования проводились на основе приборно-методической базы лаборатории “Экоаналит” Института биологии КНЦ УрО РАН, аккредитованной применительно к объектам количественного химического анализа для целей производственного экологического контроля, мониторинга загрязнения окружающей природной среды и научных исследований (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511257).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в данном исследовании результаты показали, что в снежном покрове фоновых ландшафтов таежной зоны преобладают водорастворимые соединения как макро- (Na, K, Ca, Mg), так и микроэлементов (Ni, Cd, Zn, Mn, Cu, Pb) (табл. 1). Массовая доля элементов в составе нерастворенной фракции талой воды для данных элементов значимо меньше. При этом массовая доля растворимых форм элементов при продвижении с юга на север увеличивается. Исключение

составляют терригенные элементы Al, Cr и Fe, содержание которых больше в составе нерастворимой фракции талой воды. Наиболее значительные изменения в соотношении доли растворимых и нерастворимых соединений отмечены в снеге для кадмия. Установлено, что Ni, Cd, Cu, Zn находятся в основном в составе растворимых соединений. Это согласуется с данными, полученными другими авторами [6].

Вклад аэрозолей различного происхождения в формирование химического состава снежного покрова оценивали путем расчета значений коэффициентов аэрозольного обогащения ($K_{об}$) снега элементами относительно их содержания в земной коре. Для каждого элемента коэффициент обогащения рассчитывали по формуле

$$K_{об} = \frac{[\omega(\text{Э})_i/\omega(\text{Al})]_{\text{проба снега}}}{[\omega(\text{Э})_i/\omega(\text{Al})]_{\text{земн. кора}}},$$

где $\omega(\text{Э})_i$ – массовая доля элемента в атмосферном аэрозоле (в снеге) и земной коре; $\omega(\text{Al})$ – массовая доля алюминия в атмосферном аэрозоле и земной коре (кларк) [11].

Для расчета коэффициентов обогащения использовали значения содержания элементов как в виде растворенных соединений, так и в составе малорастворимой фракции талой воды. По значениям $K_{об}$ рассматриваемые элементы могут быть разделены на терригенные ($K_{об} < 10$) и антропогенные ($K_{об} > 10$) [14]. Средние значения коэффициентов обогащения представлены в таблице 2. Для суммарного содержания металлов в снеге значения этих коэффициентов увеличиваются за счет вклада малорастворимой фракции, которая обусловлена локальным загрязнением снежного покрова. Однако $K_{об}$ для элементов в составе взвешенных частиц значительно меньше, чем для растворимых форм элементов в снеге. Для суммарного содержания металлов в снеге наименьшие значения коэффициентов обогащения получены для магния ($K_{об} = 7$) и хрома ($K_{об} = 10$). Несмотря на то, что натрий, калий и кальций относятся к макроэлементам и содержатся в больших количествах в земной коре, их коэффициенты обогащения превысили предельное значение ($K_{об} = 10$) для терригенных элементов и составили 34, 19 и 26 соответственно. Максимальные значения коэффициентов обогащения получены для кадмия. Второй по величине $K_{об}$ принадлежит цинку – элементу, доминирующему в зимних атмосферных осадках исследованной территории.

Для наглядности представления значений коэффициентов обогащения снега элементами

Таблица 1. Соотношение элементов во фракциях талой снеговой воды

Элемент	Растворимая фракция			Малорастворимая фракция		
	1	2	3	1	2	3
Na	0.0219±0.0002*	0.0171±0.001	0.0245±0.002	0	0	0
	100**	100	100	0	0	0
K	0.0064±0.0008	0.0097±0.0003	0.0171±0.0016	0.0009±0.0001	0.00120±0.00004	0.0005±0.0001
	87.7	89.0	97.2	12.3	11.0	2.8
Ca	0.0161±0.0014	0.021±0.001	0.0388±0.003	0.0017±0.0002	0.00160±0.00004	0.0008±0.0001
	90.4	92.9	98.0	9.6	7.1	2.0
Mg	0.0027±0.0002	0.0026±0.0001	0.0045±0.0003	0.00030±0.00003	0.00090±0.00002	0.00030±0.00002
	90.0	74.3	93.8	10.0	25.7	6.3
Ni	0.076±0.008	0.068±0.002	0.056±0.004	0.046±0.005	0.025±0.001	0.0179±0.0014
	62.3	73.1	75.8	37.7	26.9	24.2
Cd	0.020±0.002	0.026±0.001	0.011±0.001	0.035±0.004	0.0130±0.0004	0.0033±0.0003
	36.4	66.7	76.9	63.6	33.3	23.1
Zn	0.79±0.07	0.85±0.02	0.88±0.06	0.37±0.03	0.500±0.012	0.29±0.02
	68.1	63.0	75.2	31.9	37.0	24.8
Mn	0.19±0.02	0.44±0.01	0.52±0.03	0.036±0.003	0.059±0.001	0.040±0.003
	84.1	88.2	92.9	15.9	11.8	7.1
Cu	0.091±0.010	0.138±0.004	0.169±0.013	0.0080±0.0009	0.0051±0.0001	0.0031±0.0002
	91.9	96.4	98.2	8.1	3.6	1.8
Pb	0	0.023±0.001	0.032±0.002	0.033±0.004	0.024±0.001	0.0159±0.0012
	0.0	48.9	66.8	100.0	51.1	33.2
Al	0.71±0.07	0.78±0.02	0.21±0.02	1.29±0.14	1.23±0.04	1.20±0.09
	35.5	38.8	14.9	64.5	61.2	85.1
Fe	0.84±0.01	0.74±0.02	0.58±0.04	0.60±0.07	0.88±0.03	1.07±0.08
	58.3	45.7	35.2	41.7	54.3	64.8
Cr	0.060±0.006	0.0212±0.0006	0.0311±0.0023	0.070±0.008	0.0334±0.0010	0.0349±0.003
	46.2	38.8	47.1	53.8	61.2	52.9

Примечание. 1, 2, 3 – южная, средняя и северная подзоны тайги соответственно; * – модуль поступления элемента (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ – г/м², остальные – мг/м²); ** – массовая доля, %.

построен геохимический ряд металлов (1) и сравним с тем, что получено в работе С.Г. Малахова и Э.П. Маханько [8] для фоновых территорий Европейской зоны России (2). Из сравнения рядов следует, что для исследованной территории характерны отклонения значений коэффициента обогащения для таких элементов, как марганец, кальций и никель, в сторону увеличения:

$$\text{Fe} < \text{Mg} < \text{Cr} < \text{K} < \text{Mn} < \text{Ca} < \text{Na} < \text{Ni} < \text{Pb} < \text{Cu} < \text{Zn} < \text{Cd}, \quad (1)$$

$$\text{Fe} < \text{Mn} < \text{Ca} < \text{K} < \text{Mg} < \text{Ni} < \text{Cr} < \text{Na} < \text{Cu} < \text{Zn} < \text{Pb} < \text{Cd}. \quad (2)$$

Высокое содержание марганца в снежном покрове исследованной территории обусловлено возможным проникновением растворимых его форм из органогенных горизонтов почв, в которых содержание соединений марганца значительно [14]. Распределение данного элемента в снежном покрове таежной зоны имеет вид достаточно однородного поля с несколькими локальными максимумами. Содержание кальция, согласно среднему значению коэффициента обогащения, на данной территории также выше, что обусловлено влиянием местного фона [4]. Повышенное поступление никеля, вероятно, связано с определенным техногенным воздействием и продолжительным временем присутствия в атмосфере. Максимальные модули поступления никеля отмечены вокруг крупных населенных пунктов и промышленных центров, что, возможно, обусловлено выбросами теплоэнергетики и транспорта.

Расчеты $K_{об}$ позволили условно разделить химические элементы на две группы: 1 – характерные для земной коры (Fe, Mg, Cr, K, Mn, Ca, Na); 2 – смешанного терригенного и антропогенного происхождения (Ni, Pb, Cu, Zn, Cd).

Наблюдается постоянство в распределении растворимых форм металлов в снежном покрове по таежным подзонам. Геохимический ряд элементов, согласно значениям их содержания (моль/м²), выглядит следующим образом: Zn > Mn > Cu > Ni > Cd > Pb. Растворенные формы элементов характеризуют вклад дальнего переноса, поэтому наблюдаются незначительные колебания в кратностях относительно компонента с минимальным содержанием в разных подзонах. Наибольшей вариабельностью характеризуются ряды распределения малорастворимых соединений металлов. Для южной подзоны тайги характерно повышенное содержание никеля во взвешенных частицах по сравнению с растворен-

Таблица 2. Средние значения коэффициентов обогащения снега макро- и микроэлементами относительно кларка в земной коре ($n = 227$, 2005–2007 гг.)

Элемент	Суммарное содержание элементов	Растворимая фракция	Малорастворимая фракция
Na	33±9	29±8	–
Mg	7±2	6±2	1±0.4
K	19±5	17±5	2±0.5
Ca	26±7	26±7	2±0.5
Ni	73±19	45±12	29±8
Cu	94±25	83±22	16±4
Cd	8000±2100	4400±1200	2510±660
Zn	430±110	284±75	182±48
Mn	24±6	20±5	3±0.7
Fe	1±0.4	1±0.1	1±0.2
Pb	88±23	88±23	62±16
Cr	10±3	5±1	8±2

ной фракцией. В северной подзоне тайги наблюдается повышение концентрации свинца в составе взвешенных частиц. Поскольку в образцах снежного покрова в основном преобладают растворенные формы элементов, полученные геохимические ряды для растворимых соединений и суммарных концентраций схожи между собой. Это свидетельствует о не столь незначительном влиянии локальных источников загрязнения на накопление тяжелых металлов в снежном покрове фоновых территорий таежной зоны региона.

Для оценки роли дальнего переноса также исследовали накопление тяжелых металлов в подстилках (A_0), органогенных (O) и дерновых (A_1) горизонтах почв, поскольку результаты исследований верхних горизонтов фоновых почв, слабо подверженных техногенному воздействию, отражают уровень поступления элементов из атмосферы за длительное время. Для этого были построены геохимические ряды тяжелых металлов для снежного покрова и почв по подзонам (табл. 3). Для южной тайги анализировали подзолы, дерново-подзолистые и болотно-подзолистые почвы; для средней – подзолы, подзолистые и болотно-подзолистые почвы; для северной – подзолы, глееподзолистые и болотно-подзолистые почвы.

В целом можно отметить, что последовательность элементов в геохимических рядах для почв и снежного покрова в основном не изменяется при продвижении с юга на север. Для органогенных горизонтов (подстилок) почв наблюдается высокое содержание марганца [13], в то время как в снегу доминирующим микроэлементом является

Таблица 3. Геохимический ряд накопления металлов в снежном покрове и подстилочных горизонтах почв и аэрозоле

Подзона тайги	Геохимический ряд металлов	Объект
Южная тайга	Zn > Mn > Ni > Cu > Pb > Cd	снег, $n = 14$
	193 > 44 > 23 > 21 > 2 > 1	
	Mn > Zn > Cu, Ni, Pb, Cd	подзол, $n = 24$
	65 > 7 > 1	
	Mn > Zn > Ni > Cu > Pb, Cd	дерново-подзолистая, $n = 19$
	311 > 10 > 3 > 2 > 1	
	Mn > Zn > Ni > Cu, Pb, Cd	болотно-подзолистая, $n = 30$
	66 > 5 > 2 > 1	
	Mn > Zn > Ni > Cu, Pb >> Cd	среднее для почвы
95 > 5 > 2 > 1 >> 0.05		
Средняя тайга	Zn > Mn > Cu > Ni > Cd, Pb	снег, $n = 186$
	92 > 40 > 10 > 7 > 1	
	Mn > Zn > Cu > Ni, Pb >> Cd	подзол, $n = 37$
	32 > 7 > 2 > 1 >> 0.02	
	Mn > Zn > Ni, Cu, Cd, Pb	подзолистая, $n = 25$
	105 > 2 > 1	
	Mn > Zn > Ni, Cu > Pb, Cd	болотно-подзолистая, $n = 64$
	117 > 7 > 2 > 1	
	Mn > Zn > Ni, Cu, Pb >> Cd	среднее для почвы
100 > 7 > 1 >> 0.1		
Северная тайга	Zn > Mn > Cu > Ni > Pb > Cd	снег, $n = 27$
	147 > 83 > 22 > 10 > 2 > 1	
	Mn > Zn > Ni, Cu, Pb >> Cd	подзол, $n = 23$
	103 > 9 > 1 >> 0.05	
	Mn > Zn > Ni > Cu > Pb >> Cd	глееподзолистая, $n = 30$
	92 > 15 > 5 > 2 > 1 >> 0.04	
	Mn > Zn > Ni > Cu, Pb >> Cd	болотно-подзолистая, $n = 38$
	21 > 5 > 2 > 1 >> 0.02	
	Mn > Zn > Ni > Cu, Pb > Cd	среднее для почвы
59 > 9 > 3 > 1 >> 0.03		
Среднее для таежной зоны	Cu > Ni > Zn > Mn > Pb > Cd	аэрозоль, $n = 8$
	251 > 148 > 59 > 29 > 17 > 1	

цинк. Доля меди и кадмия в общем модуле поступления тяжелых металлов на снежный покров больше, чем в почве. Преобладание цинка в составе снежного покрова указывает на приоритетную роль дальнего переноса, поступление марганца в основном связано с естественными природными процессами в таежной зоне. Высокое содержание в талой воде марганца может быть следствием поступления его растворенных форм из подсти-

лок и органогенных горизонтов в начале залегания снежного покрова. Преобладание в снеге цинка над марганцем может быть обусловлено тем, что велика миграция этого элемента из более низких широт в процессе выветривания, где его достаточно много содержится в почве и горных породах [8].

Другое предположение, объясняющее различие в распределении элементов в геохимических

рядах исследованных объектов, основано на различном поведении металлов в процессе кислого выщелачивания из почв. В ряду выщелачивания различных компонентов никель и марганец стоят на более низком уровне, чем медь и цинк: $Cu > Zn > Ni > Mn$ [2]. Но поскольку цинка в атмосферных осадках больше, чем меди, то в геохимическом ряду этот элемент доминирует. На основании различий в накоплении металлов в снеге и органогенных горизонтах почв можно утверждать о преимущественном формировании химического состава снежного покрова фоновых территорий за счет аэрозолей, участвующих в дальнем переносе.

Формирование химического состава проб атмосферного аэрозоля происходит независимо от почвенно-эрозионного фактора (отбор проб осуществлен в марте), поэтому он имеет совершенно другой геохимический ряд элементов. Результаты корреляционного анализа показали, что сходные механизмы в распределении металлов в аэрозоле и снеге характерны только для натрия и меди. Высокие значимые коэффициенты корреляции для меди ($r = 0.49$, $r_{5\%} = 0.40$, $P = 0.95$) и натрия ($r = 0.68$, $r_{5\%} = 0.40$, $P = 0.95$) свидетельствуют о том, что накопление этих элементов в снегу, возможно, обусловлено местными факторами среды, а не вследствие дальнего переноса. Остальные элементы не имеют достоверного сродства. Эти расхождения могут быть связаны с тем, что результаты химического состава аэрозоля и снежного покрова отражают состояние атмосферы за разные временные периоды. Для оценки механизмов формирования химического состава атмосферного аэрозоля были рассчитаны $K_{об}$ относительного кларка в земной коре по В. Mason [14]. Полученные значения коэффициентов обогащения намного ниже, чем для снежного покрова. Но, как и в снегу, наибольшее значение $K_{об}$ отмечено для кадмия. Диаграммы, отражающие средние значения $K_{об}$ для атмосферного аэрозоля и суммарное содержание элементов в снегу имеют значительное сходство, что подтверждается значением коэффициента корреляции $r = 0.85$ ($n = 12$, $r_{5\%} = 0.58$, $P = 0.95$) (рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование химического состава снежного покрова фоновых территорий таежной зоны Республики Коми происходит главным образом за счет растворимых соединений элементов. Коэффициенты обогащения элементами растворимой фракции значительно больше, чем для фракции малорастворимых соединений, и близки к значе-

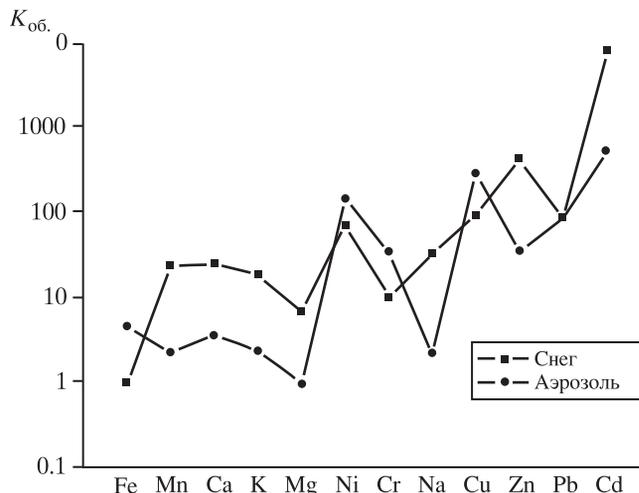


Рис. 2. Значения коэффициентов обогащения для атмосферного аэрозоля и суммарного содержания элементов в снежном покрове.

ниям коэффициентов накопления для атмосферного аэрозоля. Геохимические ряды металлов для снежного покрова и почв различны. Данные факты свидетельствуют о том, что химический состав снежного покрова фоновых территорий таежной зоны формируется преимущественно за счет дальних переносов, влияние локальных природных и техногенных источников менее значимо. Однако ряды элементов, рассчитанные на основе значений $K_{об}$ для снега, указывают на иной характер формирования атмосферного аэрозоля на исследованной территории в сравнении с европейской территорией России. Согласно расчетам $K_{об}$ для элементов в снегу были выделены две группы – металлы терригенного (Fe, Mg, Cr, K, Mn, Ca, Na) и смешанного терригенного и антропогенного происхождения (Ni, Pb, Cu, Zn, Cd). Оценены долевые соотношения форм элементов в снежном покрове по подзонам тайги. Доля малорастворимых форм металлов в составе снежного покрова с широтой уменьшается.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №14-05-31047-мол-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баглаева Е.М., Сергеев А.П., Медведев А.Н. Пространственная структура техногенного загрязнения снежного покрова промышленного города и его окрестностей растворимыми и нерастворимыми формами металлов // Геоэкология. 2012. № 4. С. 326–335.
2. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Оценка фонового содержания тяжелых металлов в почвах Европейского Северо-Востока // Почвоведение. 2007. № 9. С. 1064–1070.

3. Бортникова С.П., Рапута В.Ф., Девятова А.Ю., Юдахин Ф.Н. Методы анализа данных загрязнения снежного покрова в зонах влияния промышленных предприятий (на примере г. Новосибирск) // Геоэкология. 2009. № 6. С. 515–525.
4. Василевич М.И., Безносиков В.А., Кондратенко Б.Н. Химический состав снежного покрова на территории таежной зоны Республики Коми // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 4. С. 494–506.
5. Василенко В.Н., Наумов И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 181 с.
6. Виноградова А.А. Атмосферный перенос антропогенных примесей в Центральную часть Российской Арктики // Экологическая химия. 1996. № 5(1). С. 3–10.
7. Калюжный И.Л., Шутов В.А. Современное состояние и проблемы натуральных исследований снежного покрова // Водные ресурсы. 1998. № 1. С. 34–42.
8. Малахов С.Г., Маханько Э.П. Выброс токсичных металлов в атмосферу и их накопление в поверхностном слое земли // Успехи химии. 1990. Т. 59. Вып. 11. С. 1777–1798.
9. Орлов Д.С. Микроэлементы в почвах и живых организмах // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 1. С. 61–68.
10. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1975. 423 с.
11. Пословин Л.А., Острогомилский А.Х. О влиянии аэрозолей на формирование элементного состава снежного покрова // Мониторинг фоновое загрязнения природных сред. Л.: Гидрометеиздат, 1984. Вып. 1. С. 14–35.
12. Пчелинцев В.П. Пространственная изменчивость загрязнения воздушного бассейна г. Сыктывкара по данным о химическом составе снега // Влияние деятельности человека на природную среду Коми АССР. Сыктывкар: Коми кн. изд-во, 1982. С. 103–114.
13. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Виноградова А.А. и др. Аэрозоли Арктики – результаты десятилетних исследований // Оптика атмосферы и океана. 2000. № 6–7. С. 551–575.
14. Mason B. Principles of Geochemistry. N.Y.: John Wiley and Sons, 1952. 276 p.
15. Walker T.R., Young S.D., Crittenden P.D., Zhang H. Anthropogenic metal enrichment of snow and soil in north-eastern European Russia // Environmental Pollution. 2003. V. 121. P. 11–21.

ACCUMULATION OF SOLUBLE AND LOW SOLUBLE FORMS OF METALS IN SNOW OF THE TAIGA ZONE IN THE EUROPEAN NORTH EAST OF RUSSIA

M. I. Vasilevich, V. A. Beznosikov, B. M. Kondratenok

*Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
ul. Kommunisticheskaya 28, Syktyvkar, Komi Republic, 167982 Russia.
E-mail: mivasilevich@rambler.ru; mvasilevich@ib.komusc.ru*

The quantitative chemical analysis of snow cover was performed for the background territories of taiga zone in the European northeast of Russia (Komi Republic). The comparative analysis of chemical composition of soluble and insoluble melt-water phases, as well as the studied composition of atmospheric aerosol and soil organogenic horizons showed that the chemical composition of snow cover in the investigated territory is controlled mainly by the far distance transport of substances. The coefficients of enrichment of melt water and atmospheric aerosols with elements are calculated. The accumulation of metals in snow, aerosol and soils is estimated.

Keywords: *snow cover, aerosol, organogenic horizons of soil, metals.*