

УДК 550.46

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ПЕЧОРО-ИЛЫЧСКОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

© 2017 г. М. И. Василевич*, Л. В. Симакин**

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

*** ФГБУ «Печоро-Илычский государственный заповедник»,
ул. Ланиной, 8, п. Якша, Троицко-Печорский р-н, Республика Коми, 169436 Россия*

Поступила в редакцию 17.08.2016 г.

В статье представлены результаты исследования химического состава снежного покрова на территории Печоро-Илычского биосферного заповедника Республики Коми и прилегающих к нему районов. Выявлено повышенное поступление веществ с осадками на единицу площади в зимний период на территорию заповедника, в сравнении с равнинной частью юго-восточных районов республики более чем на 40%. Результаты анализа показали, что на территорию заповедника наблюдается значимо большее поступление как макро-, так и микрокомпонентов. Талые воды с территории Печоро-Илычского заповедника характеризуются слабо кислой реакцией. Показано, что согласно расчету средних значений содержания основных ионов талых вод в заповеднике эффективнее происходит нейтрализация кислотообразующих компонентов и повышаются средние величины кислотности осадков за счет увеличения содержания ионов кальция и магния по сравнению с равнинной территорией таежной зоны. Большую роль в формировании химического состава атмосферных осадков имеет дальний перенос веществ, на что указывает преобладание растворимых форм элементов в снеге. Расчет распределения элементов между твердой и растворимой фракциями талых вод показал, что в заповеднике значимо возрастает доля растворимых форм как для макро-, так и микроэлементов в сравнении с равнинной таежной территорией. В статье показаны результаты применения метода статистики траекторий обратного переноса воздушных масс к территории исследования. Наибольшее влияние на химический состав зимних атмосферных осадков оказывают воздушные массы, проходящие через Пермский край, Архангельскую и Кировскую области, Ханты-Мансийский автономный округ. Отмечено, что особенности атмосферной циркуляции в зимний период обуславливают большое влияние воздушных масс, переносимых с Уральского промышленного региона и других промышленно развитых территорий, и наравне с орографическим фактором создают риск изменения геохимических условий на территории заповедника.

Ключевые слова: *снежный покров, Печоро-Илычский заповедник, дальний перенос, траектории обратного переноса воздушных масс.*

ВВЕДЕНИЕ

Состояние природной среды любого региона в значительной степени определяется процессами циркуляции атмосферы. Особо охраняемые природные территории выделены для сохранения и изучения природной среды в ее естественном состоянии, поэтому предполагается, что они должны быть ограждены от прямого воздействия человека. Однако нарастание антропогенной нагрузки в современных условиях неизбежно создает угрозу существованию

охраняемых естественных биотических комплексов в неизменном виде за счет загрязнения в результате привноса поллютантов с атмосферными осадками.

В Республике Коми расположены два крупнейших природных резервата, один из которых — Печоро-Илычский биосферный заповедник (ПИБЗ), представлен в виде двух изолированных участков, расположенных в юго-западной и восточной частях междуречья Верхней Печоры и Илыча. В плане территориального

размещения ПИБЗ достаточно удален от источников загрязнения, промышленных центров и крупных населенных пунктов. Однако к югу от границ охраняемой территории расположены промышленные регионы – Пермский край, Свердловская и Кировская области, а Уральские горы, расположенные на восточной границе заповедника, служат естественным геохимическим барьером, задерживающим воздушные массы и способствующим интенсивной конденсации атмосферной влаги.

Устойчивость химического состава природной среды – важное условие сохранения биоразнообразия заповедных экосистем. Наиболее доступный и информативный способ оценки аэрогенного поступления поллютантов путем дальнего переноса на заповедные территории – изучение химического состава снежного покрова [11]. Атмосферные осадки, и в частности снег, являются важными индикаторами состояния атмосферы – неустраняемого геохимического фактора, действующего на все компоненты экосистем. Подобные исследования были выполнены в заповедниках различных регионов нашей страны и за рубежом [3, 4, 7, 9, 11, 13, 16]. Цель работы – дать оценку химического состава снежного покрова на территории Печоро-Илычского заповедника и выявить факторы, влияющие на его формирование.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в 2014–2015 гг. Отбор проб снега был осуществлен непосредственно на территории заповедника, а также на территории Корткеросского, Усть-Куломского, Троицко-Печорского и Вуктыльского районов Республики Коми (рис. 1). Отбор проб, хранение образцов снежного покрова, их химический анализ выполнены в соответствии с руководством по контролю загрязнения атмосферы [8]. Химико-аналитические исследования проведены на основе приборно-методической базы экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН.

Наиболее информативны при геохимической оценке талых вод такие химические показатели, как рН, их удельная электропроводность и общая минерализация. По результатам прошлых исследований талая вода в таежной зоне региона имела слабокислую реакцию 4.7–4.8 [2]. Талая вода с территории заповедника также имеет слабо кислую реакцию, среднее значение рН составило 5.0. Величина общей минерализации талых вод в среднем на фоновых равнинных территориях таежной зоны составила 5.8 мг/дм³, на территории заповедника эта величина колебалась на уровне 4.4–13.0 мг/дм³ (в среднем 8.6 мг/дм³).

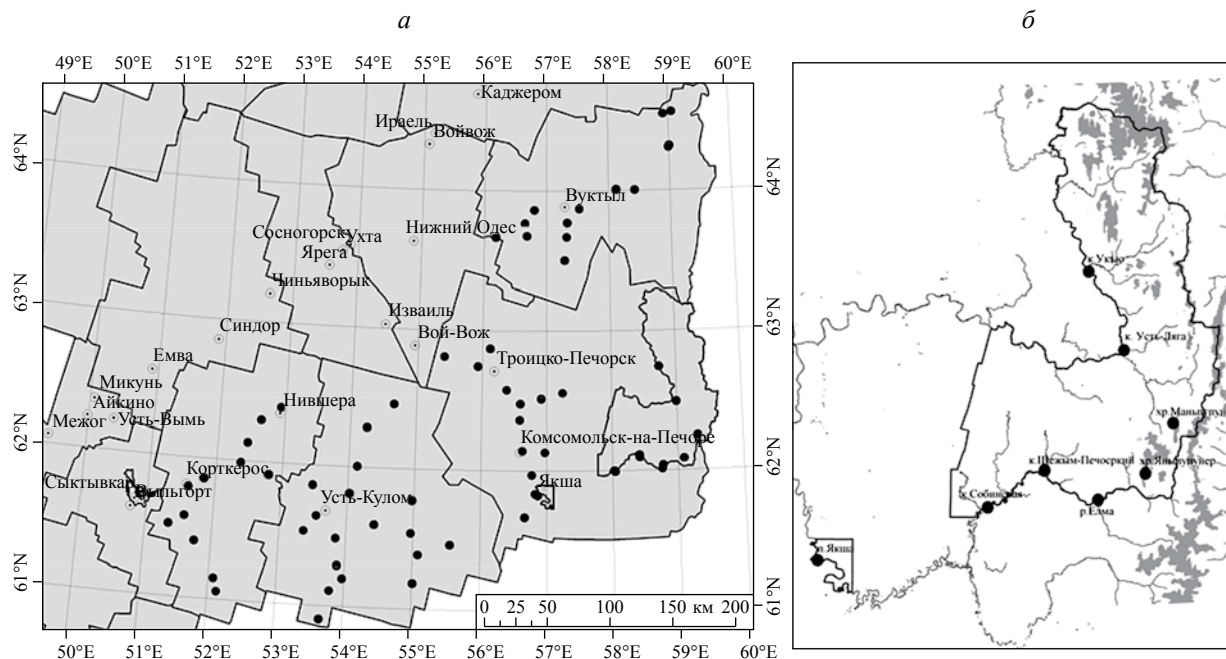


Рис. 1. Карта-схема отбора проб снега в 2014–2015 гг. в юго-восточных районах Республики Коми (а) и территории заповедника (б).

Таблица 1. Соотношения молярных концентраций эквивалентов (моль-экв/дм³) главных ионов в жидкой фазе талой воды в 2014–2015 гг.

Показатель	Равнинная часть юго-востока региона	Заповедник/Предгорье
pH	4.8	5.0
pNa	4.6	4.7
$[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{NO}_3^-]$	1.20	1.10
$\frac{[\text{NH}_4^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+]}{[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-] + [\text{Cl}^-]}$	0.40	0.60
$([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])/[\text{SO}_4^{2-}]$	0.40	0.97
$[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{Cl}^-]$	3.9	2.8

При значениях pH < 5 в воде практически отсутствуют гидрокарбонат-ионы, поэтому, согласно классификации О.А. Алекина [1], талые воды исследованного таежного региона относятся к сульфатному классу, группе кальция, четвертому типу ($[\text{HCO}_3^-] = 0$), т.е. воды кислые, то же относится и к водам на территории заповедника.

Рассчитанные величины кислотности талых вод указывают на определяющую роль основных анионов и низкую степень их нейтрализации (табл. 1). По средним значениям концентраций сульфатов и нитратов в талой воде рассчитана кислотность pNa = $-\lg([\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-])$, которая по своему физическому смыслу соответствует pH осадков при условии, что в них не происходит нейтрализации серной и азотной кислот щелочными компонентами. Рассчитанные величины кислотности талых вод указывают на то, что кислотно-основные свойства снежного покрова таежной зоны определяются дефицитом нейтрализующих катионов и преобладанием в талой воде ионов водорода. Более значимую роль в формировании кислотности снеговых вод играют ионы SO_4^{2-} , о чем свидетельствуют высокие значения их отношения: поступление сульфат ионов в среднем преобладает над поступлением нитрат-ионов ($[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{NO}_3^-] = 1.20$) и немного снижается в предгорьях заповедника.

Важный критерий для выяснения происхождения химического состава атмосферных осадков – преобладание SO_4^{2-} над Cl^- , характерное при загрязненности атмосферы промышленными выбросами [10]. Значение соотношения $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{Cl}^-]$ в талой воде существенно уменьшается в предгорьях Урала в сравнении с равнинной частью, что обусловлено увеличением доли Cl^- . Отмечено наличие достоверной корреляционной связи между значениями водородного показателя и концентрациями хлорид-ионов в снеге ($r = 0.71 >$

$> r_{5\%} = 0.17$). Однако вклад в кислотность талых вод от хлоридов на равнинной части исследованной территории составляет 12%, тогда как в предгорной территории заповедника содержание хлорид-ионов достигает в среднем 23% от всего содержания анионов в талой воде.

Для оценки факторов, определяющих кислотность талой воды, рассчитывают отношение содержания основных нейтрализующих ионов к содержанию анионов сильных кислот, участвующих в подкислении осадков: $K/A = ([\text{NH}_4^+] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] + [\text{K}^+]) / ([\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-] + [\text{Cl}^-])$ [5]. Согласно расчетам, показано, что в талой воде таежной зоны отношение $K/A < 1$, т.е. на территории региона могут выпадать кислотные осадки. Среднее значение отношения K/A составило 0.40, в предгорьях – 0.60. Увеличение соотношения $([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])/[\text{SO}_4^{2-}]$ в предгорьях приводит к подщелачиванию снега по сравнению с равнинной частью.

При оценке поступления веществ с зимними атмосферными осадками на территорию корректнее использовать площадные значения, которые рассчитываются по следующей формуле [8]:

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

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.

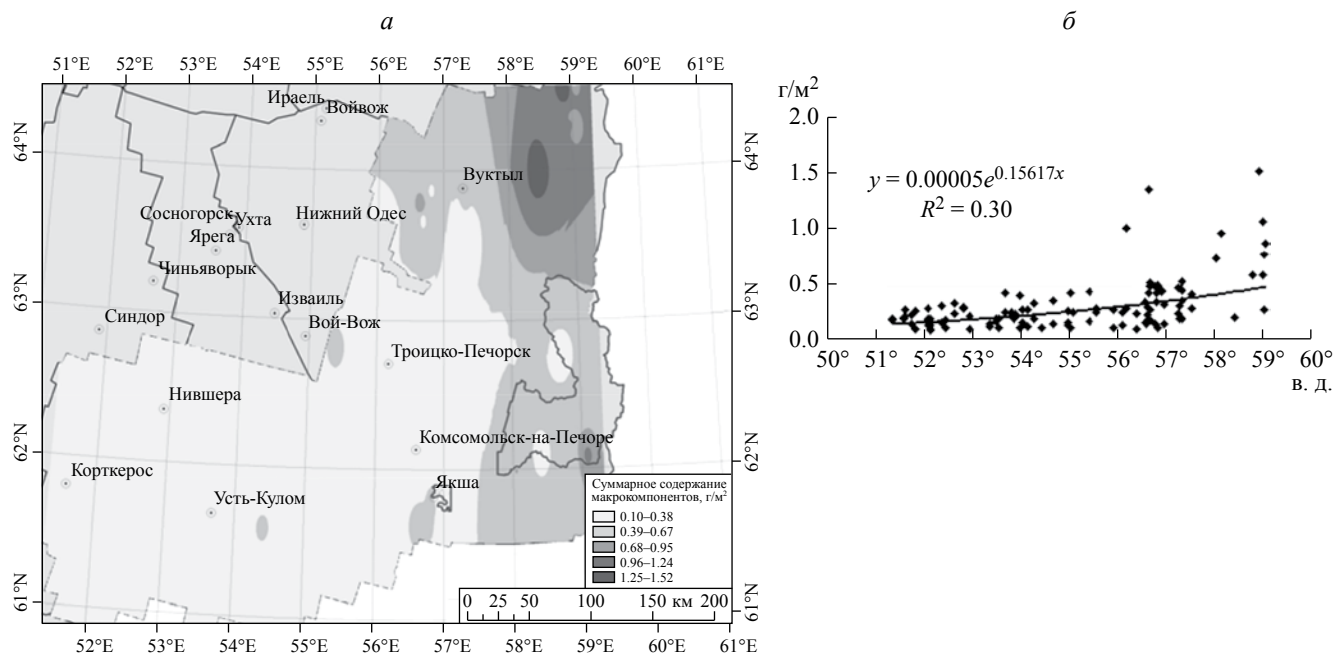


Рис. 2. Карта-схема распределения значений суммарного содержания макрокомпонентов, г/м² (а) и экспоненциальная зависимость их поступления от расположения пункта отбора (б).

Таблица 2. Средние значения показателей растворимой фракции талой воды исследованной территории

Показатель	Территория заповедника	Равнинная часть юго-востока региона	Предгорная часть Северного и Приполярного Урала
pH	4.87±0.14	4.80	5.20
Удельная электропроводность	9.26±0.54	8.55	10.67
Cl, г/м ²	0.033±0.013*	0.017	0.109
Ca, г/м ²	0.021±0.010	0.009	0.088
K, г/м ²	0.016±0.010	0.005	0.031
Mg, г/м ²	0.0022±0.0004	0.0012	0.0071
Na, г/м ²	0.015±0.007	0.010	0.045
SO ₄ ²⁻ , г/м ²	0.139±0.022	0.068	0.180
NH ₄ ⁺ , г/м ²	0.010±0.003	0.009	0.011
N _{общ} , г/м ²	0.110±0.027	0.074	0.130
C _{общ} , г/м ²	0.26±0.12	0.11	0.32
P _{общ} , г/м ²	0.0007±0.0005	0.0004	0.0024
Fe, мг/м ²	1.6±0.8	0.4	2.9
Al, мг/м ²	0.35±0.05	0.43	1.70
Cd, мг/м ²	0.110±0.042	0.014	0.080
Cu, мг/м ²	0.115±0.037	0.074	0.360
Mn, мг/м ²	0.38±0.20	0.20	0.63
Ni, мг/м ²	0.027±0.009	0.017	0.048
Pb, мг/м ²	0.058±0.027	0.036	0.167
Zn, мг/м ²	0.99±0.30	0.66	2.48

* Жирным шрифтом выделены значения, которые с учетом отклонения от среднего значения значительно отличаются от средних характеристик снега равнинной части исследованной территории.

Поскольку на предгорной территории заповедника суммарное поступление осадков значительно выше, то и поступление веществ в расчете на единицу площади значительно больше.

Так, расчет общего поступления макрокомпонентов (Cl^- , Ca, K, Mg, Na, SO_4^{2-} , NH_4^+ , $\text{C}_{\text{общ.}}$, $\text{P}_{\text{общ.}}$, $\text{N}_{\text{общ.}}$) на территорию заповедника показал, что среднее значение 0.50 г/м^2 выше среднего для всей исследованной территории значения (0.38), и еще более значимо, чем среднее только для условно равнинной части юго-восточных районов республики – 0.26 г/м^2 . Поступление веществ на единицу площади в среднем на 40% больше, чем для условно равнинной части территории, что наглядно представлено на карта-схеме поступления макрокомпонентов (рис. 2а) и подтверждается экспоненциальной зависимостью (рис. 2б).

Для представления полученных результатов химического состава зимних осадков на исследованной территории рассчитаны средние значения показателей отдельно для каждого типа территории (табл. 2). Предгорьями условно приняты юго-восточные районы региона восточнее 58° в.д. На территории заповедника наблюдается значимо большее поступление на единицу площади в сравнении с равнинной частью таких компонентов, как хлориды, кальций, магний, сера сульфатная, общий органический углерод, общий

азот, микрокомпонентов (кадмия, цинка и меди). Нужно отметить, что в районе п. Якша отличий от содержания компонентов в равнинной части практически нет. Наибольшие значения поступления веществ приурочены к предгорным территориям заповедника: в пунктах отбора в районе хребтов Яныпупунер и Маньпупунер.

Исследования показали, что формирование химического состава снежного покрова в заповеднике, как и на других фоновых территориях таежной зоны региона, происходит, главным образом, за счет дальнего переноса веществ и растворимых форм элементов (табл. 3). На основе расчета распределения элементов между твердой и растворимой фракциями талых вод сделан вывод, что в заповеднике значимо возрастает доля растворимых форм как для макро-(K, Ca, Mg), так и микроэлементов (Cd, Mn, Cu, Pb, Co, Cr) в сравнении с равнинной таежной территорией. Преобладание микроэлементов в растворимой фракции талой воды обусловлено дальним переносом веществ, что подтверждается высокими значениями коэффициентов обогащения ($K_{об}$), расчет которых проводили по стандартной формуле относительно содержания элемента в земной коре и по отношению к алюминию [14]. Коэффициент обогащения элементов существенно возрастает с уменьшением размеров частиц и длительностью их нахождения в атмосфере, и следовательно с дальностью

Таблица 3. Доли элементов во фракциях талой снеговой воды от их валового содержания (%)

Элемент	Равнинная часть таежной зоны региона		Заповедник	
	Растворимая форма	Нерастворимая форма	Растворимая форма	Нерастворимая форма
Na	100	0	100	0
K	96.5	3.5	99.4	0.6
Ca	96.6	3.4	99.1	0.9
Mg	87.9	12.1	95.9	4.1
Ni	86.1	13.9	85.9	14.1
Cd	92.4	7.6	100.0	0.0
Zn	97.1	2.9	98.0	2.0
Mn	90.4	9.6	95.0	5.0
Cu	95.3	4.7	97.4	2.6
Pb	79.3	20.7	92.0	8.0
Al	34.4	65.6	25.6	74.4
Fe	41.6	58.4	73.1	26.9
Cr	13.4	86.6	22.2	77.8
Co	76.5	23.5	82.6	17.4

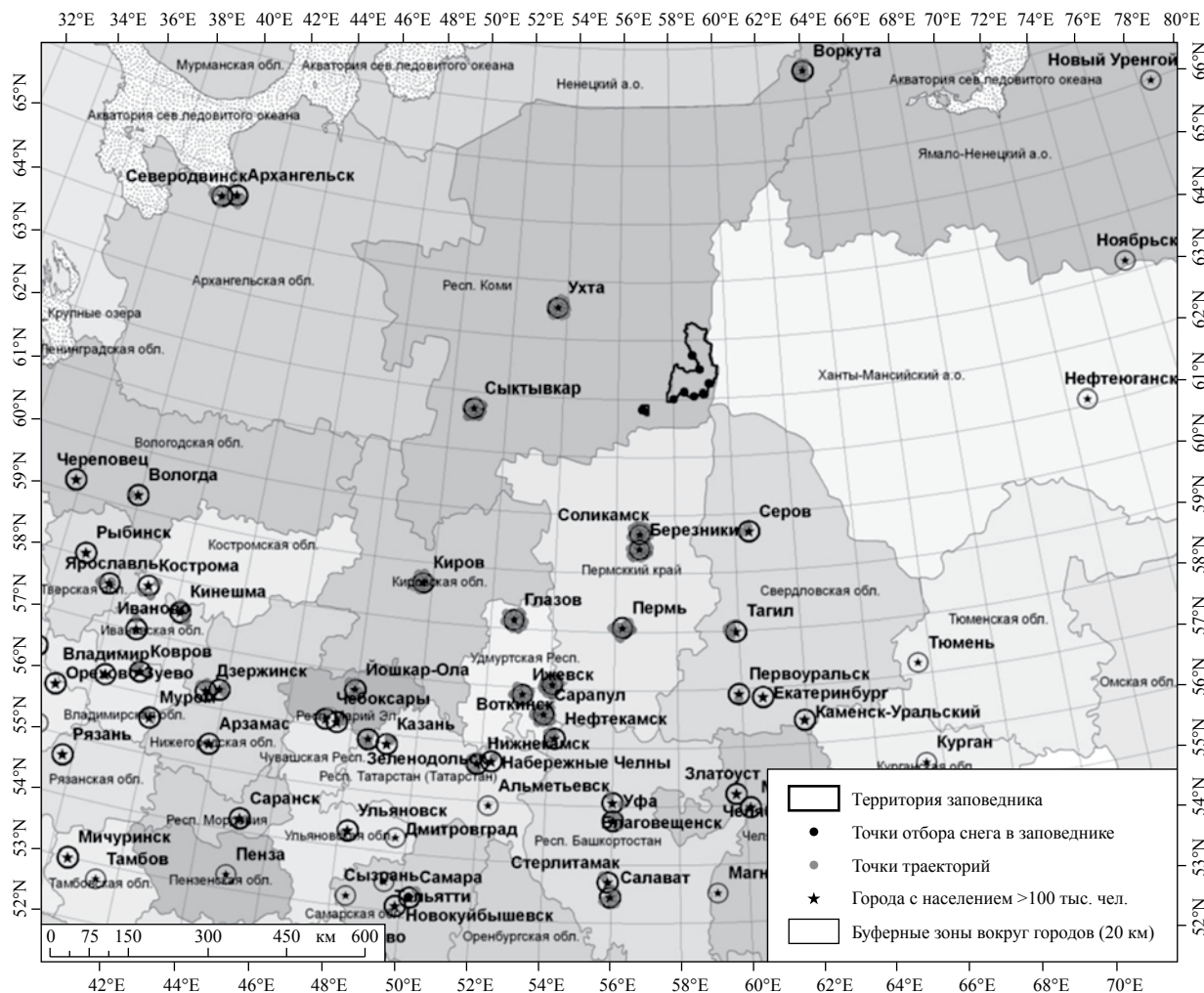


Рис. 3. Карта-схема расположения крупных городов РФ, через которые проходят воздушные массы в зимнее время, поступающие на территорию заповедника.

их переноса от источника эмиссии. Значения $K_{об}$ для Cd, Zn и Cu составили соответственно 18000 ± 5000 , 1690 ± 720 , 546 ± 125 .

В настоящее время все чаще в экологических исследованиях применяется траекторный подход – расчет траекторий обратного переноса воздушных масс к территории исследования. Метод статистики траекторий дает возможность анализировать средние характеристики процессов циркуляции атмосферы с целью выявления возможных источников поступления различных загрязнителей в окружающую среду [3, 6, 12, 15].

Для расчета обратных траекторий были выбраны координаты пунктов отбора снега на территории заповедника. С 1 ноября 2014 г. до даты отбора в 2015 г. для каждой точки рассчитывались ежедневные суточные обратные траектории поступления воздушных масс с помощью

программы HYSPL, разработанной Лабораторией воздушных ресурсов Американской национальной администрацией по исследованию океана и атмосферы (NOAA, <http://www.arl.noss.gov>). Перенос воздуха к территории заповедника изучался по траекториям движения воздушных масс на высоте 500 м от поверхности земли, что соответствует 950 гПа, где происходит наиболее крупномасштабное перемещение аэрозольных частиц [5].

Полученные координаты точек траекторий переводились в векторные слои точек и полилиний и наносились на электронную карту территории Республики Коми и Российской Федерации. Полученные точки ранжировались по частоте прохождения воздушных масс через территории регионов России в процентах. Наибольшую долю составляют точки траекторий, расположенные на территории региона исследования (44.2%). В зимний период на исследуемой территории

преобладают ветра западного, юго-западного и южного направлений. В связи с этим наибольший вклад дают воздушные массы, проходящие через Пермский край (19.5%), Архангельскую (7.7%) и Кировскую области (6.9%), Ханты-Мансийский автономный округ (4.7%).

Доля прохождения воздушных масс меняется при изменении местоположения расчетной точки. Так, на химический состав снега в пункте отбора проб, размещенного севернее других (кордон Укью), большее влияние оказывают воздушные массы, приносимые с акваторий Северного ледовитого океана. Для наиболее южных территорий (п. Якша) увеличивается доля точек прохождения воздушных масс с Пермского края. Для пунктов, расположенных на востоке (хр. Маньпупнер, хр. Яныпупунер, устье р. Елма), большой вклад дают воздушные массы, принесенные с востока: Свердловской обл. и Ханты-Мансийского автономного округа.

Пересекая территорию Республики Коми и других регионов, воздушные массы часто проходят через урбанизированные территории. Для оценки возможного влияния техногенных территорий были выделены крупные населенные пункты с численностью населения более 100 тысяч человек. Даже если в таких городах нет крупных промышленных предприятий, в их в атмосферу выделяется значительное количество загрязняющих веществ за счет эксплуатации ТЭС и автотранспорта. Вокруг каждого города была создана условная санитарно-защитная зона — буферная зона радиусом 20 км (рис. 3). Отмечены города, мимо буферных зон которых воздушные массы проходят чаще других: Соликамск, Березники, Пермь, Ижевск, Глазов, Воткинск, Сарапул, Киров, Нефтекамск, Йошкар-Ола, Н. Тагил, Салават, Стерлитамак, т.е. населенные пункты Кировской и Свердловской областей, Пермского края, Марий-Эл, Башкирской и Удмуртской Республик. Это города, в которых значительно развита химическая, нефтехимическая, металлургическая, добывающая промышленность, атомная промышленность, тяжелое машиностроение. Нужно отметить, что, проходя через Республику Коми, воздушные массы также подвергаются загрязнению поллютантами с территорий городов региона — Сыктывкара, Ухты и Воркуты, в которых развита добыча углеводородного сырья, его переработка, а также целлюлозно-бумажное производство. Частота прохождения воздуха через них также велика.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование химического состава зимних атмосферных осадков на территории Печоро-Илычского заповедника обусловлено двумя основными факторами — дальним переносом веществ (особенностями атмосферной циркуляции) и конденсацией в предгорьях Урала.

Отмечено повышенное поступление веществ на единицу площади в зимний период на территорию заповедника, в сравнении с равнинной частью юго-восточной территории региона. Расчет средних значений содержания основных ионов талых вод показал, что в сравнении с равниной территорией таежной зоны в заповеднике эффективнее происходит нейтрализация кислотообразующих компонентов, средние величины кислотности осадков повышаются за счет увеличения содержания ионов кальция и магния.

Большую роль в формировании химического состава атмосферных осадков имеет дальний перенос веществ, на что указывает преобладание растворимых форм элементов в снеге, выраженное в большей степени, чем в целом для таежной зоны региона. Территориальное размещение и особенности атмосферной циркуляции обуславливают большое влияние воздушных масс, переносимых с юга и юго-запада — Уральского промышленного региона и других промышленно развитых территорий. Эти факторы создают некоторый риск для неизменного облика биоты резервата, а также вызывают необходимость повторения подобных мониторинговых исследований для оценки и прогноза возможных изменений геохимических условий на территории заповедника.

Исследование выполнено в рамках реализации гранта РФФИ “Геохимические условия формирования состава атмосферных осадков на юго-востоке Республики Коми” (№ 14-05-31047)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометиздат. 1970. 246 с.
2. *Василевич М.И., Кондратенко Б.Н., Безносиков В.А.* Химический состав снежного покрова на территории таежной зоны Республики Коми // Водные ресурсы. 2011. № 4. С. 494–506.
3. *Виноградова А.А., Иванова Ю.А.* Загрязнение воздушной среды в центральной Карелии при дальнем переносе антропогенной примеси в атмосфере // Известия Российской академии наук. Сер. Географическая. 2013. № 5. С. 98–108.

REFERENCES

4. Зверев В.П., Варванина О.Ю., Путилина В.С. Закономерности изменения состава атмосферных осадков на территории России // Геоэкология. 1997. № 5. С. 30–38.
5. Кабашников В.П., Акулинин А.А., Данилевский В.А., Калинин Д.В., Корчемкина Е.Н., Метельская Н.С., Милиневский Г.П., Бовчалюк А.П., Петручук А., Соболевский П., Чайковский А.П. Исследование путей переноса атмосферных аэрозолей в Белорусско-Украинском регионе по данным сети AERONET методом кластерного анализа // Научные труды УкрНДГМИ. 2012. Вып. 262. С. 40–58.
6. Кондратьев И.И. Трансграничный перенос аэрозоля и кислых осадков на Дальний Восток. Владивосток: Дальнаука. 2014. 300 с.
7. Нецветова О.Н., Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Кобелева Н.А., Погодаева Т.В. Химический состав снежного покрова в заповедниках Прибайкалья // География и природные ресурсы. 1993. № 1. С. 66–71.
8. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Ред. И.Л. Верес Л.: Гидрометеиздат, 1991. 683 с.
9. Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т., Полищук А.И., Аблеева В.А. Кислотность и химический состав атмосферных осадков в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике // Тр. Приокско-Тerrasного заповедника. Вып. 6. Тула: Аквариус, 2015. С. 24–33.
10. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Особенности химического состава атмосферных осадков на юге Дальнего Востока // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 1. С. 60–71.
11. Хайрулина Е.А., Ворончихина Е.А. Оценка современного биогеохимического состояния заповедных экосистем Пермского края // Вестник Пермского университета. 2007. Вып. 5 (10). С. 155–160.
12. Gabrielli P., Cozzi G., Torcini S., Cescon P., Barbante C. Trace elements in winter snow of the Dolomites (Italy): A statistical study of natural and anthropogenic contributions // Chemosphere. 2008. V. 72. P. 1504–1509.
13. Lukic D., Karadzic D., Radovanovic M., Milenkovic M., Galc M., Milanovic S., Kovacevic-Majkic J. The influence of chemical characteristics of precipitation on tree health in Banjica forest // Archives of Biological Science. 2012. V. 64 (3). P. 1217–1225.
14. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the Continental Crust // Treatise on Geochemistry (eds. H.D. Holland, K.K. Turekian). Elsevier. 2003. V. 3. P. 1–63.
15. Salvador P., Artinano B., Pio C., et al. Evaluation of aerosol sources at European high altitude background sites with trajectory statistical methods // Atm. Environment. 2010. V. 44. P. 2316–2329.
16. Walna B., Polkowska Z., Malek S., Madrzycka K., Namiesnik J., Siepak J. Variability of physico-chemical parameters in precipitation in Poland (1996–1999) // Ecology. 2007. V. 26. № 1. P. 38–51.
1. Alekin, O.A. *Osnovy gidrokhimii* [Fundamentals of hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometizdat, 1970, 246 p. (in Russian).
2. Vasilevich, M.I., Kondratenok, B.N., Beznosikov, V.A. *Khimicheskii sostav snezhnogo pokrova na territorii taezhnoi zony Respubliki Komi* [Chemical composition of snow cover in the taiga zone of the Komi Republic], *Vodnye resursy*, 2011, no. 4, pp. 494–506. (in Russian).
3. Vinogradova, A.A., Ivanova, Yu.A. *Zagryaznenie vozduшной sredi v tsentralnoi Karelii pri dal'nem perenose antropogennoi primesi v atmosfere* [Air pollution in Central Karelia in long-distance transport of anthropogenic impurities in the atmosphere]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2013, no 5, pp. 98–108 (in Russian).
4. Zverev, V.P., Varvanina, O. Yu., Putilina, V.S. *Zakonomernosti izmeneniya sostava atmosferykh osadkov na territorii Rossii* [The patterns of change in composition of atmospheric precipitation in the territory of Russia]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*, 1997, no 5, pp. 30–38 (in Russian).
5. Kabashnikov, V.P., Akulinin, A.A., Danilevskii, V.A., Kalinskaya, D.V., Korchemkina, Ye.N., Metelskaya, N.S., Milinevskii, G.P., Bovchalyuk, A.P., Petruchuk, A., Sobolevskii, P., Chaikovskii, A.P. *Issledovanie putei perenosa atmosferykh aerezolei v Belorussko-Ukrainskom regione po dannym seti AERONET metodom klasterного analiza* [The study of the transport pathways of atmospheric aerosols in the Belarusian-Ukrainian region according to the AERONET network by cluster analysis]. *Nauchnye trudy UkrNDGMI*, Vyp. 262, 2012, pp. 40–58. (in Russian).
6. Kondrat'ev, I.I. *Transgranichnyi perenos aerezolya i kisl'nykh osadkov na Dalnii Vostok* [Transboundary transport of aerosol and acid precipitation to the Far East]. Vladivostok, Dalnauka, 2014, 300 p. (in Russian).
7. Netsvetaeva, O.N., Khodzher, T.V., Golobokova, L.P., Kobeleva, N.A., Pogodaeva, T.V. *Khimicheskii sostav snezhnogo pokrova v zapovednikakh Pribaikal'ya* [Chemical composition of snow cover in nature reserves of the Baikal region]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 1993, no 1, pp. 66–71. (in Russian).
8. *Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery* [Manual control of air pollution]. I.L. Veres, Ed., Leningrad, Gidrometeoizdat, 1991, 683 p. (in Russian).
9. Svistov, P.F., Pershina, N.A., Pavlova, M.T., Polishchuk, A.I., Ableeva, V.A. *Kislotnost' i khimicheskii sostav atmosferykh osadkov v Prioksko-Terrasnom biosferном zapovednike* [Acidity and chemical composition of atmospheric precipitation in the Prioksko-Terrasny biosphere reserve]. *Trudy Prioksko-Terrasного zapovednika*. Vyp. 6. Tula, Akvarius, 2015. pp. 24–33. (in Russian).
10. Chudaeva, V.A., Chudaev, O.V., Yurchenko, S.G. *Osobennosti khimicheskogo sostava atmosferykh osadkov na yuge Dalnego Vostoka* [Specifics of chemical

- composition of atmospheric precipitation in the southern Far East]. *Vodnye resursy*, 2008, vol. 35, no 1. pp. 60–71. (in Russian).
11. Khairulina, E.A., Voronchikhina, E.A. *Otsenka sovremennogo biogeokhimicheskogo sostoyaniya zapovednykh ekosistem Permskogo kraya* [Assessment of the current biogeochemical state of conserved ecosystems in the Perm krai]. *Vestnik Permskogo universiteta*, 2007, Вып. 5 (10), pp. 155–160. (in Russian).
 12. Gabrielli, P., Cozzi, G., Torcini, S., Cescon, P., Barbante, C. Trace elements in winter snow of the Dolomites (Italy): A statistical study of natural and anthropogenic contributions. *Chemosphere*, 2008, vol. 72, pp. 1504–1509.
 13. Lukic, D., Karadzic, D., Radovanovic, M., Milenkovic, M., Galc, M., Milanovic, S., Kovacevic-Majkic, J. The influence of chemical characteristics of precipitation on tree health in Banjica forest. *Archives of Biological Science*, 2012, vol. 64 (3), pp. 1217–1225.
 14. Rudnick, R.L., Gao, S. Composition of the Continental Crust. *Treatise on Geochemistry*, H.D. Holland and K.K. Turekian, Eds., Elsevier, 2003, vol. 3, pp. 1–63.
 15. Salvador, P., Artinano, B., Pio, C., et al. Evaluation of aerosol sources at European high altitude background sites with trajectory statistical methods. *Atm. Environment*, 2010, Vol. 44, pp. 2316–2329.
 16. Walna, B., Polkowska, Z., Malek, S., Madrzycka, K., Namiesnik, J., Siepak, J. Variability of physico-chemical parameters in precipitation in Poland (1996–1999). *Ecology*, 2007, vol. 26, no 1, pp. 38–51.

SPECIFICS IN THE FORMATION OF SNOW COVER CHEMICAL COMPOSITION IN THE PECHORA-ILYCH BIOSPHERE RESERVE AREA

M. I. Vasilevich, L. V. Simakin

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

The article presents the results of a study of the snow cover chemical composition in the territory of Pechora-Ilych biosphere reserve and the adjacent areas in the Komi Republic. Studies have identified an increased (by more than 40%) intake of substances to the reserve territory with precipitation per unit area in winter as compared to the plains in the southeastern districts of the Komi Republic. The analytical results testify to a significantly greater inflow of both macro- and micro-components to the protected territory. Snowmelt water from the territory of the Pechora-Ilych nature reserve is characterized by slightly acidic reaction. However, the calculation of the average values of the content of major ions of meltwater showed that neutralization of acid-generating components is more effective in the reserve in comparison with the plain territory of the taiga zone. The average acidity of precipitation rises due to the increasing content of calcium and magnesium ions. In general, there is a change in the ratio of the major ions in comparison with the plain territories. A long-range transport of substances plays an important role in the formation of chemical composition of atmospheric precipitation, as indicated by the predominance of soluble forms of elements in the snow. The calculation of the distribution of elements between solid and soluble fractions of meltwater showed that the proportion of soluble forms of both for macro- and microelements significantly increases in the reserve in comparison with the plain taiga area. The article shows the results of applying the method of statistics of the reverse transport trajectories of air masses to the studied territory. The air mass passing through the Perm Krai, Arkhangelsk and Kirov region, Khanty-Mansi Autonomous Okrug has the greatest influence on the chemical composition of winter precipitation. It is noted that the transport of air masses from the Urals and other industrial regions along the landscape factor creates the risk of changing geochemical conditions in the reserve.

Key words: *snow cover, the Pechora-Ilych reserve, long-range transport, backward trajectories of air mass transport.*