

УДК 630*114.2:550.4 (470.22)

РОЛЬ СОСНОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ЗАПОВЕДНИКА «КИВАЧ» В ФОРМИРОВАНИИ КИСЛОТНОСТИ И СОСТАВА ПРИРОДНЫХ ВОД

Г. В. ШИЛЬЦОВА

Институт леса Карельского научного центра РАН

На охраняемой территории заповедника «Кивач» исследуется поступление и водная миграция веществ в системе атмосфера – растительность – почва – почвенные и озерные воды. В 2002 г. в зоне заповедника выпадали слабокислые атмосферные осадки (рН 5,2), характерные для региона. Погод соснового леса трансформирует их состав и кислотность: в вегетационный период величина рН снижается в среднем с 5,57 до 5,37. Поступление постоянно слабокислых и кислых дождевых вод, отличающихся крайне низкой минерализацией, способствует подкислению Al-Fe-подзолов песчаных и почвенных вод (рН 5,1). С лизиметрическими растворами, фильтрующимися через лесную подстилку, в наибольших количествах выносятся Pb, Zn, Mn, Cu, Fe. Содержание свинца многократно превышает уровень поступления его с дождями под пологом леса, что свидетельствует о техногенном накоплении элемента почвой. В условиях поступления с дождями и пылью значительного количества металлов в активной водорастворимой форме почвы способны поглощать часть металлов, и при этом аккумулирующая способность верхних органических горизонтов под пологом соснового леса больше, чем на полях. Сосновые БГЦ здесь служат биогеохимическим барьером для загрязняющих веществ, концентрируя их в верхних горизонтах почвы.

G. V. SHILTSOVA. ROLE OF PINE COENOSES IN THE «KIVACH» STRICT NATURE RESERVE IN FORMING THE ACIDITY AND COMPOSITION OF NATURAL WATERS

The influx and water-borne migration of substances in the atmosphere/vegetation/soil/soil & lacustrine water have been studied in the Kivach Strict Nature Reserve territory. In 2002, atmospheric precipitation in the reserve was weakly acidic (pH 5.2), typical of the region. The pine forest canopy alters its composition and acidity during the growing season: pH value decreases from 5.57 to 5.37 on average. The supply of constantly weakly acidic and acidic rainwater with very low mineralization promotes acidification of sandy Al-Fe podzols and soil waters (pH 5.1). The elements most abundantly leached with lysimetric waters percolating through the forest floor are Pb, Zn, Mn, Cu, Fe. Lead content there is much higher than its levels in throughfall, indicating pollution-induced accumulation of the element in the soil. In a situation when substantial amounts of metals in the active water soluble form are supplied with rainwater and dust, soils can partially absorb the metals, the accumulating capacity of upper organic horizons under pine forest canopy being higher than in openings. Pine coenoses thus act as a biochemical barrier to pollutants, concentrating them in the soil upper horizons.

Ключевые слова: сосняк черничный, Al-Fe-подзол, водная миграция, макро- и микроэлементы, загрязнение.

В таежной зоне атмосферные осадки, поступающие на поверхность земли, испытывают преобразующее влияние лесных биогеоценозов (БГЦ), однако роль последних в трансформации природных вод часто недооценивается. Известно, что в результате физико-химических процессов, происходящих при взаимодействии дождевых вод с пологом хвойного леса и почвой, кислотность и концентрации большинства элементов в них изменяются (Мина, 1965; Стрелкова, 1974; Шахова, Шилова, 1974; Стрелкова, Морозова, 1979; Карпачевский, 1981; Медведев и др., 1986; Шильцова, 1996 и др.). Если в отношении макроэлементов в литературе имеется значительный материал, то данных, характеризующих роль атмосферных выпадов и растительности в формировании микроэлементного состава почвенных вод, мало (Цинк и кадмий..., 1992; Учватов, 1994; Лукина, Никонов, 1998; Шильцова, Ласточкина, 2001 и др.).

В Карелии вклад атмосферных загрязнений в привнос элементов в лесные БГЦ значителен. Микроэлементы, в том числе и тяжелые металлы, включаются в водные циклы миграции, что приводит к накоплению их в водах, растениях, почвах и других компонентах лесных экосистем, вызывает нарушение сложившихся природных потоков при обмене веществом между ними и в конечном счете подвергает БГЦ деградации. В этой связи изучение атмосферной миграции химических элементов и определение роли древесного полога в трансформации жидких атмосферных осадков и формировании биогеоценологических вод являются актуальными. Важность этих исследований определяется и тем, что они позволяют оценить роль почвы как природного фильтра для элементов и их соединений, поступающих в лесные экосистемы. Представляется особенно важным выявить изменение геохимического потока вещества при нарушении растительного покрова.

В данной работе приведена часть материалов исследований, выполненных в заповеднике «Кивач» и его буферной зоне в 2002 г. Рельеф исследуемой территории представлен волнистой озерно-ледниковой равниной, занимающей значительную площадь на водоразделе рек Суны и Сандалки, впадающей в р. Суну. Стационарные исследования проводятся в наиболее продуктивном для среднетаежной подзоны Карелии сосняке черничном 1 класса бонитета, 60-летнего возраста, имеющем полноту 0,7, сомкнутость 0,6, запас 300 м³/га (по данным Ю. В. Преснухина). Вблизи лесных пробных площадей в буферной зоне находится другой объект исследования – поляна. Исследуемые почвы – подзолы иллювиально-железистые песчаные, сформировавшиеся на двучленных озерно-ледниковых отложениях, имеющие прослойки утяжеленного механического состава в профиле. Они имеют типичный для подзолистых почв профиль с четкой дифферен-

циацией на горизонты, органогенный горизонт мощностью 2–4 см, характеризуется кислой (рН_{KCl} 3) реакцией, которая снижается в иллювиальном горизонте (до рН_{KCl} 4,8); подзолистый горизонт обеднен подвижными формами азота, фосфора и калия, биогенное накопление которых происходит в подстилке. По механическому составу почвы относятся к связнопесчаным (Качинский, 1965). Профиль их до глубины 25 см представлен тонкозернистым песком, переходящим в плотную супесь, затем последовательно в суглинок, супесь, сменяющуюся связным (до 2,5 м), а затем рыхлым песком, прослеженным до глубины 6 м. Появление в почве прослоев из более тяжелого механического материала приводит к резкой дифференциации показателей водно-физических свойств отдельных слоев почвы и генетических горизонтов, что оказывает определенное влияние на гидротермический, пищевой режим и другие свойства почв, на процессы водной миграции вещества в них. Уплотненные и обогащенные илстыми частицами прослойки, удерживая значительное количество влаги, способствуют замедленной ее фильтрации и накоплению дополнительного количества воды в вышележащих горизонтах. В результате запасы продуктивной влаги в них в среднем в 2 раза превышают таковые в почвах, развитых на однородных песках. Наличие утяжеленного прослоя в центральной части профиля ограничивает толщину активного влагооборота, что благоприятно сказывается на жизнедеятельности древесных растений, в этих условиях формируются высокопродуктивные сосняки черничного типа леса (Шильцова, 1994).

На пробных площадях в сосняке черничном и на поляне в доминирующих растительных парцеллах были заложены полнопрофильные почвенные разрезы, характеризующие различные условия миграции химических элементов: с наличием древесной растительности и без нее. В почвенных разрезах под подстилкой и иллювиальным горизонтом были установлены лизиметры конструкции Е. И. Шиловой (1955). Площадь лизиметров 40 × 40 см². Отбор проб почвенно-лизиметрических растворов и дождевых вод под пологом леса осуществлялся в теплый период года (май – сентябрь), мониторинг атмосферных осадков и вод из р. Суны – круглогодично. Отбор всех категорий вод производился одновременно 1 числа месяца. В фильтрате определяли следующие показатели: рН, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, C_{орг}, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Co, Cr. Определение Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Co, Cr, а также Ca²⁺ и Mg²⁺ производили на атомно-абсорбционных спектрофотометрах С-115М в пламени и КВАНТ-Z.ЭТА с электротермическим атомизатором. K⁺ и Na⁺ определяли методом пламенной фотометрии, NH₄⁺ – спектрофотометрически, рН – потенциометрически. Для определения содержания анионов: SO₄²⁻, NO₃⁻,

Cl⁻, PO₄³⁻ в воде использовался ионный хроматограф фирмы Waters (США).

Атмосферные выпадения – важный этап формирования природных вод в БГЦ. Средний химический состав атмосферных осадков в заповеднике «Кивач» в 2002 г. представлен в табл. 1. По химическому составу атмосферные осадки относятся к гидрокарбонатным. Их минерализация исключительно низкая, с общей суммой макрокатионов 2 мг/л. Солевой состав формируют преимущественно ионы Ca²⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, доминирует C_{орг}. Из минеральных соединений азота преобладает нитратный. Микроэлементный состав осадков определяют Mn, Zn, Cu и Fe. Их накопление в атмосфере наблюдается в отдельные месяцы, что связано, по-видимому, с переносом аэрозолей воздушными массами в этот район из промышленных зон.

Таблица 1. Химический состав атмосферных осадков в заповеднике «Кивач» в 2002 г.

Показатель	Пределы колебаний	Среднее содержание
C _{орг} , мг/л	1,76–21,24	11,40
HCO ₃ ⁻ , мг/л	0–11,47	2,42
SO ₄ ²⁻ , мг/л	0,5–2,5	1,20
Cl ⁻ , мг/л	0,65–1,60	0,95
NO ₃ ⁻ , мг/л	<0,1–2,10	0,87
NH ₄ ⁺ , мг/л	<0,01–0,90	0,20
Mg ²⁺ , мг/л	0,05–0,90	0,18
Ca ²⁺ , мг/л	0,3–0,8	0,57
K ⁺ , мг/л	<0,01–2,7	0,58
Na ⁺ , мг/л	<0,01–0,8	0,39
Fe, мкг/л	5,0–42,0	27,8
Zn, мкг/л	1,4–2,4	6,2
Mn, мкг/л	1,0–30,0	5,4
Cu, мкг/л	<1,0–11,0	5,4
Co, мкг/л	<1,0–4,0	2,6
Pb, мкг/л	<1,0–7,0	2,1
Ni, мкг/л	<1,0–4,0	1,9
Cr, мкг/л	<1,0–2,0	1,0
Cd, мкг/л	<0,1–0,2	0,1

Среднегодовая величина pH осадков за период исследования составила 5,2, среднемесячное значение pH варьировало от 4,0 до 6,3. При этом 80% проанализированных проб имели pH < 5,6, т. е. были подкисленными, и почти половина проб были кислыми (pH < 5,0), что обусловлено, по-видимому, загрязнением атмосферы кислыми компонентами. Выявлено, что более кислые дожди выпадают в исследуемом районе в холодное полугодие, что также характерно для заповедника «Костомукшский» и других фоновых районов Российской Федерации (Обзор..., 1995).

Расчеты выпадений элементов на единицу площади показали, что на территории заповедника с жидкими атмосферными осадками выпадает за год Fe – 3 мг/м², Zn – 2,2, Cu – 1,3, Mn, Co – 0,42, Pb, Ni – 0,35, Cr – 0,16 и Cd – 0,016 мг/м². Значительная доля водорастворимых соединений металлов поступает в лесную экосистему в период вегетации: 80% цинка,

50–60% железа и меди, 38–50% кобальта, никеля, хрома, свинца и кадмия, 15% – Mn, что необходимо учитывать при изучении биогеохимических циклов этих элементов в лесных БГЦ.

В результате взаимодействия атмосферных выпадений и древесного полога в вегетационный период происходит преобразование атмосферных осадков под влиянием активно функционирующего биоценоза. Биогенный фактор определяет повышенную кислотность подкroновых вод в период вегетации: в дождевых водах, прошедших кроны деревьев, величина pH снижается в среднем с 5,57 до 5,37 за счет обогащения их органическими и минеральными веществами кислой природы. Под влиянием кроны сосны в дождевых водах повышается содержание C_{орг} и сульфат-ионов. Повышение сульфатной серы связывают со способностью сосны поглощать серу из атмосферы в количестве тем большем, чем больше ее содержится в воздухе. Поступление в почву более кислых осадков имеет важное экологическое значение, поскольку при этом увеличивается выщелачивание из нее минеральных элементов питания древесных растений и элементов-загрязнителей.

Дождевые воды, прошедшие через крону сосны, обогащаются большинством элементов (табл. 2). Значительное обогащение подкroновых вод происходит за счет ионов калия и аммония, их концентрации в дождевых водах под пологом леса повышаются соответственно в 2,6 и 10 раз. В составе трансформированных древесной растительностью осадков доминирует углерод, среди катионов – калий, анионов – гидрокарбонаты и сульфаты, которые в основном и определяют минеральный состав дождевых вод, поступающих на поверхность почвы.

Среди микроэлементов, активно вымываемых и смываемых с крон деревьев, выделяются Mn и Fe (табл. 3). Из числа определяемых микроэлементов на долю этих ингредиентов в подкroновых водах приходится 80%. При этом увеличение содержания марганца (в среднем в 16,6 раза) в подкroновых водах отмечается во все сроки наблюдений, а железа (в 6,5 раза) – в отдельные месяцы, что, по-видимому, связано с переносом его соединений от источника воздушного техногенного загрязнения на территорию заповедника. Кроны сосны не оказывали концентрирующего воздействия на содержание в осадках остальных определяемых микроэлементов. Поступление в почву в разной степени обогащенных химическими элементами подкroновых вод и неодинаковое количество просочившихся через почву вод во многом определяют процессы, происходящие в почве.

Исследуемые почвенно-лизиметрические воды подзолов иллювиально-железистых песчаных характеризуются низким содержанием минеральных элементов, что обусловлено их незначительной концентрацией в атмосферных

Таблица 2. Средний химический состав природных вод, мг/л

Объект	pH	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	C _{орг}
Поляна											
Атмосферные осадки	5,57	2,8	1,2	1,0	0,3	0,1	0,6	0,1	0,8	0,6	12,4
Лиз. воды:											
гор. А0 (глуб. 2–3 см)	4,24	0	1,7	0,8	0,2	3,1	3,2	1,4	2,6	0,7	66,8
гор. Вf (глуб. 25 см)	6,16	Не опр.	2,4	1,5	<0,1	0,5	1,4	0,4	1,5	1,5	15,7
Сосновый лес											
Дождевые воды под пологом леса	5,37	3,7	1,9	1,2	0,3	1,0	0,7	0,2	2,1	0,8	15,2
Лиз. воды:											
гор. А0 (глуб. 3–4 см)	5,12	4,1	1,7	1,3	0,3	1,6	2,2	0,7	2,7	0,4	35,4
гор. Вf (глуб. 25 см)	5,15	Не опр.	3,2	0,9	<0,1	Не опр.	1,6	0,5	0,7	1,1	Не опр.
р. Суна											
Воды	7,53	102,7	5,1	3,2	<0,1	0,05	17,0	5,7	1,1	3,7	20,1
ПДК в воде водных объектов	–	–	100	300	40	0,5	180	40	10 (50)	120	–

Примечание. ПДК по: Нормативные данные..., 1994.

осадках, замедленным темпом разложения растительных остатков, большая часть которых представлена малозольными мхами, а также малой поглотительной способностью почвы. Минерализация дождевых вод за период вегетации составила на поляне в среднем 7,5 мг/л, под пологом леса – 12,0 мг/л, лизиметрических вод под подстилкой – соответственно 13,7 и 15 мг/л.

В результате взаимодействия подзолов с кислыми атмосферными осадками происходит некоторое обогащение инфильтрационных вод химическими компонентами в процессе растворения почвенных солей и катионного обмена. Наибольшее изменение поступающих на поверхность почвы дождевых вод происходит в верхней органогенной части профиля (табл. 2). В почвенных растворах, сформировавшихся в сосновом лесу под подстилкой, наиболее значительно повышаются концентрации Ca²⁺ (в 3 раза), K⁺, NH₄⁺ (в 1,3–1,6 раза). В подстилочных водах под лесом постоянно преобладает C_{орг}, его концентрация более чем в 2 раза выше, чем в поступающих в почву подкрановых водах. В анионном составе лизиметрических вод преобладают HCO₃⁻, SO₄²⁻, в катионном – K⁺, Ca²⁺, NH₄⁺, т. е. потоком почвенных вод выносятся преимущественно те минеральные элементы, которые в наибольшей степени используются фитоценозом для продуцирования растительного органического вещества. Отсутствие же фосфат-ионов и малое содержание нитратного азота вызывает напряженность почвенного питания растений. По мере просачивания вглубь почвы состав лизиметрических вод изменяется. В водах из-под иллювиального горизонта отмечается снижение концентрации кальция и калия, т. е. тех элементов, которые наиболее активно потребляются растениями и микроорганизмами. В этом горизонте наряду с поглощением происходит вынос минеральных веществ – натрия и серы в сульфатах – за пределы зоны ризосферы. При этом количество серы (S-SO₄), мигрирующей вглубь почвы, превышает ее поступление в почву.

Растворы в сосновом лесу, независимо от почвенно-генетического горизонта, в котором они сформировались, являются слабокислыми, они несколько кислее, чем дождевые воды под кронами деревьев. Подщелачивание атмосферных вод в подстилке не происходит, так как количество катионов недостаточно для нейтрализации H⁺-иона, поступающего в почву с дождями и в процессе растворения антропогенной пыли.

Воздействие кислых и слабокислых дождевых вод предопределило повышенную кислотность почвенно-лизиметрических вод, формирующихся на поляне. Резкое подкисление подстилочных вод (до pH = 4,24) связано с повышением содержания в них водорастворимого органического вещества. Между изменением pH и содержанием C_{орг} здесь прослеживается отрицательная связь, под лесом она отсутствует, что объясняется более интенсивным потреблением органического вещества древесными растениями. Следует отметить, что концентрации C_{орг} в подстилочных водах на поляне почти в 2 раза выше, чем под пологом леса, и резко снижаются с глубиной, что указывает на их высокую подвижность.

Для почвенных вод обычно характерно следующее соотношение анионов: HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > Cl⁻. Проведенными исследованиями выявлено, что в почвенных растворах на поляне гидрокарбонаты постоянно отсутствуют. Сульфатный состав подстилочных вод вместо регионального гидрокарбонатного может способствовать локальному развитию сернокислотного процесса. В этих условиях с нисходящим потоком кислых растворов из подстилки выносятся те же минеральные элементы, что и в сосновом лесу: K⁺, SO₄²⁻, Ca²⁺, NH₄⁺, Mg²⁺. Однако интенсивность выноса основных катионов Ca²⁺, Mg²⁺ и NH₄⁺ с подстилочными водами на поляне более высокая, что связано не только с высокой кислотностью вод и концентрацией органического вещества, но, по-видимому, и с менее выраженным, чем в сосновом БГЦ, биологическим поглощением.

С глубиной в лизиметрических водах на поляне повышается содержание ионов Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , их концентрации в почвенных растворах из-под иллювиального горизонта более высокие, чем в исходных дождях. В лизиметрических водах на этой глубине количество водорастворимого органического вещества снижается с 66,8 до 15,7 мг/л, а величина pH раствора смещается в нейтральную сторону (до 6,16). Подщелачивание кислых дождевых вод, мигрирующих в почве, в свою очередь определяет миграционные потоки других элементов, что особенно важно для трансформированных БГЦ при миграции микроэлементов и тяжелых металлов – загрязнителей окружающей среды.

Данные по водной миграции микроэлементов показывают (табл. 3), что в растворах верхнего органогенного горизонта почв резко возрастает количество почти всех определяемых микроэлементов по сравнению с дождевыми водами. Резкое увеличение концентрации химических элементов в лизиметрических водах под подстилкой связано с тем, что на поверхность почвы в течение всего года оседает пыль, обогащенная металлами, которая включается в водную миграцию, тогда как содержание микроэлементов в дождевых водах является результатом разового «промыывания» атмосферы (и древесной растительности).

Распределение водорастворимых микроэлементов в профиле исследуемых почв имеет существенные различия. В кислых растворах из-под органогенного горизонта на поляне общее содержание микроэлементов почти в 80 раз выше, чем в исходных осадках. В наибольшей степени в подстилочных водах увеличиваются концентрации свинца, цинка, железа, меди и марганца. Особенно повышается уровень содержания таких опасных поллютантов, как свинец и цинк. Из числа определяемых микроэлементов на долю этих металлов ($\text{Pb} + \text{Zn}$) приходится около 80% в лизиметрических растворах и 30% – в дождевых водах. Резкое повышение концентрации свинца и цинка в почвенном растворе под подстилкой свидетельствует

об идущих в почве процессах накопления соединений этих металлов.

Небольшая мощность подстилки, ее слабая степень разложения не способствуют поглощению химических элементов, они быстро мигрируют в нижележащие горизонты. В иллювиальном горизонте почвы поляны происходит интенсивное поглощение веществ в водорастворимом состоянии. Единственным элементом, который не только не удерживается горизонтом Vf, а вымывается из него даже в больших количествах, чем он поступает из подстилки, является свинец. Понижение кислотности почвенных растворов в иллювиальном горизонте сопровождается существенным уменьшением содержания в них водорастворимых соединений цинка, железа, меди, марганца. Однако количество Fe, Zn и особенно Pb, вымываемых из гор. Vf, остается все еще значительным, концентрации этих элементов в почвенных растворах на 1–3 порядка превышают поступление их с дождевыми водами.

Таким образом, на поляне в 25-сантиметровом почвенном слое наряду с интенсивной миграцией веществ происходит их активное поглощение растениями и почвой. Почва выступает как фильтр, удерживающий часть микроэлементов, в том числе элементов-загрязнителей. Что же касается свинца, его соединения не задерживаются почвенной толщей, происходит транзитный вынос этого элемента вглубь почвы и за пределы почвенного профиля.

Распределение микроэлементов в растворах, полученных из разных почвенных горизонтов подзола песчаного под сосняком черничным, имеет свои особенности. С водами, фильтрующимися через лесную подстилку, в наибольших количествах выносятся те же элементы, что и на поляне, а именно: свинец, цинк, марганец, медь, железо. Однако интенсивность нисходящей водной миграции их в основном БГЦ ниже (в 1,4–4,6 раза), чем на открытых участках. Исключение составляет марганец, с водами, просочившимися через лесную подстилку, выносятся почти в 4 раза

Таблица 3. Среднее содержание микроэлементов и тяжелых металлов в природных водах, мкг/л

Объект	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe	Cr	Co	Ni
Атмосферные осадки	0,10	2,2	8,0	13,7	2,6	18,4	1,0	2,6	2,3
Лиз. воды:									
гор. А0 (глуб. 2–3 см)	0,50	1668	215	1723	60,5	460	6,5	5,8	5,1
гор. Vf (глуб. 25 см)	0,70	2100	31,0	434	35,0	170	2,0	3,0	3,0
Дождевые воды под пологом леса	0,10	3,2	9,4	22,9	43,2	120	0,9	3,5	2,1
Лиз. воды:									
гор. А0 (глуб. 3–4 см)	0,17	620	157	427	230	100	1,0	3,4	2,2
гор. Vf (глуб. 25 см)	0,10	3,0	10,0	40,0	15,0	20	1,0	1,0	1,0
Воды	0,10	9,0	8,0	33,0	2,0	20	1,0	3,0	2,0
ПДК в воде водных объектов	5	100	1	10	10	100	20	10	10
Кларки элементов в природных водах	–	0,5	3,0	15	8	500	1,0	0,2	0,5

Примечание. ПДК по: Нормативные данные..., 1994; кларки элементов по: Bowen, 1979.

больше Mn, что объясняется значительным поступлением этого элемента с осадками под полог соснового леса, в результате вымывания (выщелачивания) и смывания его соединений с кроны и стволов деревьев.

В слабокислых растворах под подстилкой в лесу, так же как и на поляне, концентрации свинца и цинка наиболее высокие. Но если на поляне в составе подстилочных вод преобладает цинк, то в сосновом лесу – свинец, его содержание более чем на 2 порядка превышает уровень поступления его с дождями под пологом леса, что свидетельствует о техногенном накоплении элемента почвой.

В растворах под лесной подстилкой значительно накапливаются цинк, а также медь, марганец, железо, концентрации их (кроме Fe) намного (в 5–18 раз) превышают поступление их с осадками под полог леса на поверхность почвы. Практически не различаются концентрации хрома, кобальта, никеля в дождевых и почвенных водах. Только количество водорастворимого железа в растворах на этой глубине больше, чем в атмосферных осадках, но меньше, чем в дождях, прошедших кроны деревьев, т. е. в этих условиях определенная доля металла фиксируется органическим горизонтом почвы и интенсивно поглощается растениями в процессе их жизнедеятельности. Характерное для исследуемых подзолов накопление органического вещества в лесной подстилке, как известно, способствует закреплению металлов, в том числе соединений железа. В целом общее содержание микроэлементов в подстилочных водах на порядок превышает поступление их с дождевыми водами в сосновый БГЦ. Повышенные концентрации металлов в лизиметрических водах, просочившихся через органогенный горизонт почвы, свидетельствует о частичном растворении аэрозольного материала пыли, оседающей на поверхность почвы.

В водах из-под иллювиального горизонта подзола в сосняке черничном концентрации всех металлов уменьшаются, так как часть их задерживается почвенной толщей. В этой части профиля закрепляется практически весь свинец, почти 90% цинка, меди, марганца и 80% железа. Из этой части почвенной толщи вымывается столько же свинца и меди, сколько привносится их с атмосферными водами в почву, а вынос остальных микроэлементов, за исключением цинка, меньше, чем поступает их в почву с прошедшими через кроны деревьев дождевыми водами. Миграция водорастворимого цинка за пределы профиля наблюдается как на поляне, так и под пологом соснового леса, однако интенсивность выноса его соединений с почвенными водами в лесу почти на порядок ниже. Свинец мигрирует вглубь почвы с лизиметрическими водами на поляне, а в сосняке черничном ненарушенном водорастворимые соединения его полностью закрепляются в верхней органо-минеральной части профиля.

Таким образом, почвенные растворы, сформировавшиеся в данных условиях, довольно точно характеризуют процессы, происходящие в почве. Наиболее интенсивная мобилизация веществ происходит в 25-сантиметровой толще, в ней задерживается большая часть веществ и самой почвой, и растительностью.

Итак, основное различие процессов формирования микроэлементного состава растворов заключается в различном закреплении микроэлементов почвенной толщей. В Al-Fe-подзолах песчаных под сосновым лесом закреплению металлов происходит в верхних горизонтах, особенно в иллювиальном, для поляны характерно промывание органогенного горизонта, что обуславливает транзитный вынос микроэлементов, поступающих из атмосферы вглубь почвы, с частичным закреплением их в иллювиальном горизонте. В условиях поступления значительного количества металлов в активной водорастворимой форме с дождями и пылью почвы способны поглощать часть металлов, и при этом аккумулирующая способность верхних органо-минеральных горизонтов подзолов под пологом соснового леса больше, чем на полянах. Сосновые БГЦ здесь служат биогеохимическим барьером для загрязняющих веществ, концентрируя их в верхних горизонтах почвы.

Компоненты кислотных осадков, а также мобилизованные в почве элементы, если они не поглощаются биотой и не связываются в нижележащих горизонтах почвы или слоях подстилающих пород, могут попасть с внутрипочвенным стоком в систему почвенно-грунтовых и поверхностных вод. Пресноводные экосистемы характеризуются значительно меньшей буферностью, чем почвы, поэтому изменения в химическом составе вод проявляются более ярко и часто имеют более очевидные последствия, чем в наземных экосистемах.

Исследования показали, что воды р. Суны имеют почти нейтральную реакцию среды (табл. 2), в них обнаруживается большое количество гидрокарбонатов. Распределение катионов имеет вид, характерный для большинства поверхностных вод Карелии: Ca>Mg>Na>K. Концентрации минеральных форм азота незначительны. Содержание всех без исключения макроионов в речных водах ниже ПДК для рыбохозяйственных водоемов, но выше, чем их содержится в жидких атмосферных осадках, поступивших на территорию заповедника в период исследования. Что касается тяжелых металлов (табл. 3), то в рассматриваемом водоеме по сравнению с дождевыми водами повышены концентрации растворимых соединений свинца и цинка. При этом отметим, что уровень содержания цинка в 3 раза выше ПДК, а свинца – на порядок ниже. Концентрации этих тяжелых металлов, а также меди в речных водах в отдельные месяцы выше их кларков в природных водах, что связано, по-видимому, с переносом

соединений этих металлов от источника воздушного техногенного загрязнения на территорию заповедника.

Литература

- Карпачевский Л. О.*, 1981. Лес и лесные почвы. М.: Лесная промышленность. 264 с.
- Качинский Н. А.*, 1965. Физика почвы. Ч. 1. М.: Высшая школа. 323 с.
- Лукина Н. В., Никонов В. В.*, 1998. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты. Апатиты: Кольский НЦ РАН. 316 с.
- Медведев Л. В., Шитикова Т. Е., Алексеенко В. А.*, 1986. Трансформация жидких атмосферных осадков древостоями южной тайги (на примере Валдая) // Структура и функционирование экосистем южной тайги. М. С. 26–55.
- Мина В. Н.*, 1965. Выщелачивание некоторых веществ атмосферными осадками из древесных растений и его значение в биологическом круговороте // Почвоведение. № 6. С. 7–17.
- Нормативные данные* по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды. Справочный материал, 1994. СПб. С. 111–225.
- Обзор* фоновое состояние окружающей природной среды на территории стран СНГ за 1994 г., 1995. М.: ИГКЭ. 47 с.
- Стрелкова А. А.*, 1974. Процессы миграции веществ с природными водами // Почвенные исследования в Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР. С. 150–161.
- Стрелкова А. А., Морозова Р. М.*, 1979. О соотношении процессов биогенной аккумуляции и миграции веществ в подзолистых почвах Карелии // Почвоведение. № 6. С. 62–73.
- Цинк и кадмий* в окружающей среде, 1992. М.: Наука. 200 с.
- Учватов В. П.*, 1994. Природные и антропогенные потоки вещества в ландшафтах Русской равнины: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: МГУ. 37 с.
- Шахова Н. М., Шилова Е. И.*, 1974. Влияние атмосферных осадков на качественный состав лизиметрических растворов песчаной подзолистой почвы // Почвенные исследования в Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР. С. 162–168.
- Шилова Е. И.*, 1955. Метод получения почвенного раствора в природных условиях // Почвоведение. № 11. С. 86–90.
- Шильцова Г. В.*, 1994. Влияние анизотропности лесных почв на формирование почвенной влаги // Структурно-функциональная организация лесных почв среднетаежной подзоны Карелии (на примере заповедника «Кивач»). Петрозаводск: Карельский НЦ РАН. С. 38–50.
- Шильцова Г. В.*, 1996. Трансформация атмосферных осадков древостоями средней тайги (на примере заповедника «Кивач») // Проблемы антропогенной трансформации лесных биогеоценозов Карелии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН. С. 79–91.
- Шильцова Г. В., Ласточкина В. Г.*, 2001. Поступление химических элементов с атмосферными осадками и их водная миграция в подзолах под сосновыми лесами // Биоэкологические аспекты мониторинга лесных экосистем Северо-Запада России. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН. С. 202–209.
- Bowen H. J. M.*, 1979. Environmental chemistry of the Elements. London; N. Y.: Acad. Press. 333 p.