

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ И РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ. БИОТЕХНОЛОГИИ

УДК 630*182:581.524.32

ВЛИЯНИЕ АЭРАЛЬНОГО ПОСТУПЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ НА ИХ КРУГОВОРОТ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Ю. П. Демаков^{1,2}, А. В. Исаев²

¹Поволжский государственный технологический университет,
Российская Федерация, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3
E-mail: DemakovYP@volgatech.net

²Государственный природный заповедник «Большая Кокшага»,
Российская Федерация, 424038, Йошкар-Ола, ул. Воинов-Интернационалистов, 26
E-mail: avsacha@yandex.ru

Приведены результаты анализа литературных источников по оценке аэрального поступления веществ в лесные экосистемы и их трансформации пологом древостоя. Показано, что атмосферные осадки с момента своего соприкосновения с пологом леса включаются в состав биогеоценоза. Проходя сквозь полог леса, они существенным образом изменяют свой состав, не только смывая с листьев осевшую пыль, но и насыщаясь продуктами метаболизма растений и других организмов. Описаны результаты опытов по оценке рассеивания пылевых выбросов завода силикатного кирпича с использованием тканевых повязок и влияния экзометаболитов деревьев, растворённых атмосферными осадками, на разложение хлопчатобумажной ткани в различных биотопах. Сделан вывод о том, что деревья сами регулируют процесс своего минерального питания и биологический круговорот веществ в лесных экосистемах, выделяя через поверхность листьев, ветвей и ствола необходимые экзометаболиты, состав и концентрация которых зависят как от вида древесного растения, так и от условий среды.

Ключевые слова: лесные экосистемы; атмосферные осадки; химический состав; трансформация в пологе древостоя; хлопчатобумажная ткань; круговорот веществ.

Введение. Лесные биогеоценозы являются открытыми сложными саморазвивающимися системами, устойчивое функционирование которых обеспечивается благодаря непрерывному круговороту веществ и трансформации их в различных цепях питания. Несмотря на то, что изучением этого вопроса учёные занимаются давно [1–16] и многие фундаментальные выводы уже сделаны, в нём остаются ещё

«белые пятна». Особенно слабо изучены аспекты влияния аэрального поступления веществ из природных и техногенных источников на различные звенья биологического круговорота и его интенсивность [17–19].

Цель работы – аналитический обзор литературы по массе и химическому составу атмосферных осадков, их трансформации в пологе древостоя и роли в

© Демаков Ю. П., Исаев А. В., 2015.

Ссылка на статью: Демаков Ю. П., Исаев А. В. Влияние аэрального поступления веществ на их круговорот в лесных экосистемах // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1 (25). – С. 66-86.

биологическом круговороте веществ, постановка натуральных и лабораторных экспериментов по оценке воздействия экзотаболитов растений на разложение опада и содержание подвижных элементов в почве разных биотопов.

Состояние вопроса. Одной из основных движущих сил биологического круговорота являются растения, химический состав которых является переменной величиной, зависящей от одновременно действующих генетических, физиологических и экологических факторов [20–23]. Генетические факторы контролируют избирательность поглощения элементов различными видами растений, физиологические же зависят от их возраста и жизненного состояния, а экологические включают в себя все источники корневого и внекорневого поступления химических элементов в растения (почвы, почвенные и подземные воды, атмосферные газы, жидкие осадки и пыль), масса которых зависит от физико-географических особенностей территории. Способность растений поглощать различные химические элементы из почвы, почвообразующих пород, атмосферы и грунтовых вод приводит к тому, что они перемещаются из одного компонента экосистемы и ландшафта в другой [24–28].

Важную роль в биологическом круговороте играют атмосферные осадки и аэрозоли, масса и химический состав которых значительно изменяются как в пространстве, так и во времени под действием многих факторов: ветровых выносов в атмосферу пылевых частиц, поступления солей с поверхности морей и океанов, вулканической и техногенной деятельности, прохождения метеорных потоков [29, 30]. Так, Н.И. Пьявченко и З.А. Сибирева [31] установили, что на поверхность болот ежегодно выпадет вместе с осадками 106–164 кг пыли и 8–11 кг общего азота в переводе на 1 га. Последующие исследования [32], проведённые на болотах Вологодской и Томской областей, показали, что аэральные поступления достигают

даже 277–327 кг/га. Минерализация атмосферных осадков на территории европейской части России изменяется от 10 до 25 мг/л, достигая в ряде случаев 100 мг/л [33, 34]. В Московской области, по данным многолетних наблюдений [35], с осадками ежегодно выпадает от 60 до 470 кг/га химических элементов и соединений: SO_4 – 106,5; Cl – 26,5; HCO_3 – 24,9; Mg – 17; Ca – 12,2; N – 9,4; Na – 5,3; K – 5,0 и P – 0,3. В Эстонии же, по данным Т.Е. Саарман [36], с атмосферными осадками ежегодно в почву поступает в общей сложности 28,9 кг/га элементов и веществ, в том числе S – 11,6; Ca – 5,8; Mg – 3,4; N – 2,8; Cl – 2,5; K – 2,0; Fe – 0,7 и P – 0,09. Исследования Т.В. Глуховой [37], проведённые в Калининской области на Западно-Двинском стационаре ИЛ РАН, показали, что в болота с осадками поступает ежегодно 42,2 кг/га различных элементов и соединений, в том числе SO_4 – 13,1; HCO_3 – 10,2; NO_3 – 4,7; Ca – 4,4; NH_4 – 3,3; K – 2,6; Na – 2,5; Cl – 1,4.

Атмосферные осадки с момента своего соприкосновения с пологом леса включаются в состав биогеоценоза, представляя не только необходимую всем организмам влагу, но и определённую часть химических элементов [31, 38–45]. Проходя сквозь полог леса, они существенным образом изменяют свой состав, не только смывая с листьев осевшую пыль, но и насыщаясь продуктами метаболизма растений и других организмов, а также выщелачивая часть химических элементов из живых клеток, активно воздействуя на биологический круговорот веществ. Исследователи, занимавшиеся этим вопросом [46–73], отмечают подкисление стекающих по стволам деревьев дождевых вод органическими и минеральными кислотами, которое способствует переводу содержащихся в подстилке и почве химических соединений в доступную для корней растений форму, а также увеличение концентрации многих химических элементов. Наибольшее содержание азота, гидрокарбонатов, серы,

сульфатов, калия, кальция, натрия, марганца, железа, цинка и меди наблюдается в подкроновых осадках.

Факт трансформации растительностью состава атмосферных осадков установлен исследователями давно. Так, В.И. Мина [49] отмечает, что еще в 1804 году Th. Saussure писал о вымывании солей из листьев растений дождевой водой, а в 1883 году С. Counciler экспериментально подтвердил это явление. Интересно отметить, что процесс трансформации химического состава осадков происходит не только в тёплое время года, но и даже зимой, хотя и менее интенсивно [42, 69, 70]. Количество вымываемых из растений веществ довольно велико и исключать его при изучении биологического круговорота в лесных экосистемах нельзя.

Многими исследователями установлено, что степень трансформации состава атмосферных осадков зависит от их частоты и интенсивности, строения и степени сомкнутости древесного полога, вида древесных растений, а также фазы их сезонного развития, однако полученные ими результаты далеко не всегда совпадают между собой. Так, к примеру, И.К. Свиридова [46] отмечает, что в подкроновых осадках калия больше всего содержится в начале вегетационного периода, а кальция, магния и серы – в его конце. Под кронами осин, по её данным, дождевая вода более насыщена кальцием, чем под кронами сосен. По данным же других авторов [56, 72], характер сезонной динамики концентрации этих элементов в подкроновых осадках и воздействия древесных растений совершенной иной. В подмосковных смешанных лесах наибольшая концентрация кальция, калия и магния отмечена в дождевой воде под деревьями липы [49]. Установлено также, что под кроны сосняков и ельников черничных этих элементов поступает больше, чем под кроны ельников кисличных и березняков разнотравных. В ельнике кисличном с мая по сентябрь 1966 года из крон деревьев было вымыто 32,1 кг/га

различных элементов, а в однотипном березняке на 14,7 кг/га меньше [56]. В среднетаёжных лесах концентрация калия в дождевой воде под деревьями ели в течение трёх лет наблюдений была значительно выше, чем под деревьями сосны, берёзы и осины [70]. Ранговое положение пород деревьев по концентрации других химических элементов и соединений изменялась по годам. Так, к примеру, концентрация в подкроновых осадках кальция в 1996 году наибольшей была под деревьями осины, в 1997 – сосны, а в 1998 – берёзы. Концентрация анионов HCO_3 в 1996 и 1997 гг. была больше всего под деревьями осины, а в 1998 году – под деревьями ели. В северо-таёжных ельниках концентрация многих химических элементов в подкроновых осадках значительно выше, чем в сосняках: калия, к примеру, в ельниках вместе с осадками выпадает 8,50 кг/га, а в сосняках всего 2,46 кг/га [69]. Аэральные поступления S, Ca, Mg, Fe и Si превышают ежегодное их потребление лесом, а поступления же N, K и особенно P, наоборот, недостаточны для удовлетворения потребностей растений [74, 75].

Оценку аэрального поступления химических элементов в лесные экосистемы проводят в настоящее время на основе анализа проб атмосферных осадков, количество и состав которых подвержены весьма большим флуктуациям, что усложняет проведение исследований. Данный метод, кроме того, не позволяет оценить активность водорастворимых экзометаболитов растений, с помощью которых они выводят химические элементы из опада и лесной подстилки, т.е. отмерших растительных остатков, вовлекая их в биологический круговорот. В дополнение к химическому анализу жидких атмосферных осадков нами разработан метод тканевых повязок [76], который оказался весьма результативным при изучении биологического круговорота [77–79].

При техногенном загрязнении окружающей среды, масштабы и темпы которого неуклонно увеличиваются, биологи-

ческая продуктивность и характер функционирования лесных экосистем существенным образом изменяются [80–85], что обуславливает необходимость проведения фундаментальных исследований, важной частью которых является определение массы выпадающих поллютантов. Решение этой задачи осложняется как неравномерным распределением загрязняющих веществ в пространстве биотопа, так и разной аккумулирующей способностью различных компонентов биогеоценоза (крона, хвоя, ствол, подстилка, почва). Так, по данным Н.В. Коровина и его коллег [86], общая масса сернистого газа распределяется по вертикальному профилю сосновых насаждений в виде перевернутого конуса: в верхней части полога задерживается 55 % поллютанта, в нижней части полога – 28 %, осаждается на почву – 17 %. Масса же отфильтрованной пыли распределяется по вертикальному профилю древостоя в обратном порядке: в верхней части полога – 12, в нижней – 32, на почву – 56 %. Следует также отметить, что наиболее эффективно пылевые частицы накапливаются в хвое внутренней части кроны [87]. Воздухоочистительные функции сосновых насаждений зависят при этом и от времени года: 70 % массы SO_2 приходится на холодный период года, а 73 % пыли осаждается, наоборот, в теплый период [86]. В приствольном и подкороновом пространстве спелых и перестойных древостоев поллютантов содержится гораздо больше, чем в разрывах полога [84].

Выбор метода для учёта массы выпадающего загрязнителя зависит, в первую очередь, от его природы и агрегатного состояния. Наиболее широко распространён метод определения количества загрязняющих веществ при помощи химического анализа снега, который является активным сорбентом [84, 88–90]. Этот метод достаточно эффективен, однако в зимнее время некоторые заводы снижают производственную мощность, что не позволяет в полной мере учитывать

степень их воздействия на окружающую среду. Для оценки количества взвешенной в воздухе пыли некоторые исследователи используют стеклянные банки или полиэтиленовые сосуды, подвешенные на деревьях или установленные на шестах высотой 1,5 м [91, 92]. Этот метод, однако, в очень сильной степени зависит от количества выпадающих атмосферных осадков и при очень дождливой погоде ёмкости быстро переполняются водой. Хорошо зарекомендовал себя метод оценки содержания сернистого газа в атмосфере при помощи пассивных окисно-свинцовых поглотителей [93]. В качестве чутких датчиков поллютантов могут выступать также тканевые мешочки, наполненные мхами [94, 95], которые обладают способностью накапливать загрязняющие вещества в больших количествах, однако обильные осадки уменьшают их содержание примерно на 20–40 %. Эффективным является также метод определения загрязнения окружающей среды аэротехногенной пылью по смывам с листьев растений [96]. Вода, однако, удаляет только часть осажённой на их поверхность пыли и поэтому вместо неё используют слабые растворы кислот, либо хлороформ, которые, вместе с тем, растворяют восковый слой кутикулы и извлекают связанные ей химические элементы [97], что является недостатком метода. Другим недостатком этого метода является трудность определения времени и интенсивности промывания листьев, необходимых для полного извлечения загрязняющих веществ.

На основании анализа литературных источников можно сделать вывод о том, что задача о влиянии аэрального поступления веществ в лесные экосистемы на круговорот веществ в них является довольно сложной, требующей комплексного подхода и использования самых разнообразных методов и приёмов, которые по мере развития техники и технологии должны совершенствоваться. Необходимо также постоянно расширять географию объектов исследования, постепенно охва-

тывая все природные зоны и регионы мира, и сеть стационарных пробных площадей, на которых следует ежегодно оценивать не только количество атмосферных осадков и их химический состав, но и состояние лесных экосистем, в том числе прирост биомассы.

Объекты и методика исследования.

Полевые опыты были проведены в 2011–2014 гг. в различных биотопах, находящихся как в зоне техногенного загрязнения, так и вдали от неё. В качестве тест-объектов были использованы полотна хлопчатобумажной ткани (бязи) размером 40x150 см и массой 70 г, которыми мы обвязывали стволы деревьев на высоте 2–2,5 м от поверхности земли. В 2011 году опыт был поставлен в зоне воздействия пылевых выбросов Марийского завода силикатного кирпича. Основным компонентом выбросов завода является оксид углерода и пыль неорганическая, содержащая оксид кремния и кальция [78]. Достаточно много в выбросах содержится также оксида азота. В небольших количествах в их состав входят газообразные соединения серы и фтора, сажа, пыль абразивная и древесная, соединения марганца и железа. Полотнами ткани здесь были обвязаны стволы деревьев сосны на разном удалении от источника загрязнения (по три дерева на девяти учётных лентах, расстояние которых от завода изменялось от 80 до 1500 м).

В 2012–2014 гг. опыты, цель которых заключалась в оценке изменения зольного состава образцов хлопчатобумажной ткани под влиянием атмосферных осадков и экзометаболитов древесных растений, были проведены на территории заповедника «Большая Кокшага». Полотнами ткани здесь мы обвязывали стволы деревьев, произрастающих в различных биотопах (по три дерева в каждом): сосняке лишайниковом, лишайниково-мшистом, брусничном, черничном и сфагновом, березняке черничном, пойменном липняке крапивном с дубом и елью, а также на пойменной поляне. В сосняке лишайниково-мшистом образцы ткани были дополни-

тельно установлены горизонтально на четырёх колышках высотой 50 см. На пойменной луговой поляне ткань обвязывали верхнюю часть вешек высотой 2 м. Все образцы находились в биотопах с мая по сентябрь, подвергаясь воздействию дождя, солнца и других факторов среды. Образцы ткани были оставлены также в качестве контроля в лаборатории и помещены в полиэтиленовых пакетах в металлический шкаф. В 2012 году образцы ткани для лучшего впитывания воды были предварительно выстираны с порошком на машинке. В другие же годы этой операции не проводили.

После окончания вегетационного сезона образцы ткани собирали и по типовым методикам [98, 99] в лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием Поволжского государственного технологического университета проводили пробоподготовку и химический анализ (химик-аналитик В.И. Таланцев): высушивали в шкафу при температуре $105\pm 2^\circ\text{C}$ до постоянной массы, взвешивали на электронных аналитических весах VibraHT/HTR-120E (Shinko-Densy, Japan, 2008) с точностью до 0,0001 г, измельчали, помещали в фарфоровые тигли и озоляли в муфельной печи при температуре $500\pm 10^\circ\text{C}$ в течение 8 часов. После озоления тигли помещали в эксикаторы с безводным хлоридом кальция для охлаждения, после которого определили массу золы и вычисляли зольность образцов. Полученную золу растворяли в смеси кислот: 1 мл концентрированной химически чистой азотной и 3 мл концентрированной особо чистой соляной. Полученные растворы пропускали в мерные колбы через обеззоленные фильтры и разбавляли дистиллированной водой, доводя объём до 25 мл. Определение содержания в золе ионов металлов проводили на атомно-абсорбционном спектрометре AAnalyst 400 (PerkinElmer, USA, 2008) методом градуировочного графика, для построения которого использованы государственные стандартные образцы растворов с гаран-

тийным сроком годности. Стандартные калибровочные растворы и растворы исследуемых образцов вводили в пламя горелки последовательно через распылительное устройство. В качестве горючего газа использовали ацетилен, газ-окислителя – воздух, а калибровочного раствора – 0,1 М раствор HNO_3 . Всю мерную посуду (пипетки, колбы) предварительно калибровали по дистиллированной воде. Каждую пробу анализировали на спектрометре три раза и вычисляли среднее значение по образцу. Погрешность измерения концентрации ионов большинства металлов не превышала 5 %.

В 2014 году был проведён также химический анализ растворов, полученных в результате вымачивания в воде листьев различных растений. Для этой цели брали их образцы массой 5 г в естественном (невысушенном) состоянии, заливали дистиллированной водой объёмом 100 мл и выдерживали в течение 24 часов.

Полученный цифровой материал обработан на компьютере с использованием стандартных методов математической статистики и пакетов прикладных программ Excel и STATISTICA.

Результаты опытов и их интерпретация. Химический анализ контрольных образцов ткани показал, что они характеризуются крайне низкой зольностью (табл. 1). Основным из оцененных нами элементов является кальций, составляющий основу оболочки растительных клеток. Второе и третье места в ранговом ряду элементов занимают калий и железо. На порядок меньше содержится в ней марганца и цинка. Замыкают ранговый ряд элементов стронций, свинец и никель. Содержание в бязи зольных элементов не явля-

ется постоянным, что связано, вероятно, с особенностями исходного сырья (хлопка) и технологии её изготовления. Особенно сильно варьирует в ткани содержание кальция (в 6,7 раза), никеля (8,4 раза) и марганца (в 23 раза!). Этот факт указывает на то, что при оценке загрязнения окружающей среды и кроновых выделений деревьев с помощью образцов хлопчатобумажной ткани нельзя оперировать абсолютными величинами содержания в них химических элементов, а необходимо использовать относительные показатели.

Опыт, проведённый в зоне воздействия пылевых выбросов Марийского завода силикатного кирпича, показал высокую эффективность использования метода тканевых повязок. Так, в непосредственной близости от завода содержание в ткани золы и многих зольных элементов значительно выше, чем в контрольном образце (табл. 2). Основным компонентом выбросов, исходя из специфики производства, является кальций, содержание которого в ткани на примыкающей к источнику загрязнения полосе в 475 раз выше, чем в контрольном образце, и в 172,5 раза превышает фоновый уровень. На втором месте по превышению концентрации над фоном находится стронций, содержащийся вместе с кальцием в исходном сырье. Третье и четвертое места в ранговом ряду элементов занимают железо и никель. Содержание в ткани других элементов на прилегающем к заводу участке в 3,1–8,1 раза выше, чем в контрольном образце. Замыкают ранговый ряд элементов свинец, калий, хром и медь. В бязевых повязках выявлены многие элементы, не вошедшие в перечень загрязняющих веществ, разрешённых к выбросу заводом силикатного кирпича.

Таблица 1

Содержание зольных элементов в контрольных образцах хлопчатобумажной ткани разных лет

Год	Зола, %	Содержание химических элементов в образцах ткани, мг/кг								
		Ca ²⁺	K ⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Sr ²⁺	Pb ²⁺	Ni ²⁺
2011	0,200	86,80	19,26	10,63	1,366	0,636	0,602	0,337	0,413	0,034
2012	0,107	226,7	15,61	14,30	0,755	2,553	0,596	0,252	0,162	0,285
2013	0,170	547,6	25,22	12,53	2,086	0,401	0,276	0,357	0,104	0,140
2014	0,297	82,10	16,33	7,28	0,090	0,126	0,222	0,422	0,064	0,041

Таблица 2

Градиентное изменение содержания зольных элементов в тканевых повязках

Элемент	Относительное содержание элементов на разном удалении от завода, доля единицы								
	80 м	100 м	110 м	130 м	190 м	280 м	340 м	390 м	1500 м
Зола	47,1	28,8	24,6	13,6	11,9	8,5	3,9	4,2	1,6
Ca ²⁺	474,9	388,4	298,0	217,5	140,2	125,8	86,9	37,6	2,8
Sr ²⁺	107,4	70,7	60,6	32,4	28,3	19,4	6,7	7,0	1,5
Fe ³⁺	27,7	20,0	16,9	14,8	11,2	9,7	6,7	6,2	4,5
Ni ²⁺	15,9	12,5	9,8	7,6	6,7	5,9	4,8	4,3	3,6
Zn ²⁺	8,1	6,4	5,5	6,3	4,6	4,8	3,3	2,9	1,8
Co ²⁺	7,7	5,0	4,5	3,2	2,8	2,3	1,7	1,7	1,1
Mn ²⁺	7,5	6,8	5,2	6,3	4,7	4,5	5,2	3,3	1,6
Cd ²⁺	7,3	4,6	4,0	3,1	2,7	2,4	2,1	1,7	1,2
Pb ²⁺	5,3	4,0	3,2	2,5	2,2	1,9	1,4	1,5	1,1
K ⁺	4,1	3,0	3,1	3,7	2,7	2,2	1,7	2,3	1,6
Cr ²⁺	3,6	1,4	2,0	1,3	1,3	1,4	1,3	1,4	1,2
Cu ²⁺	3,1	2,7	2,1	2,6	1,5	1,8	1,6	1,3	1,3

Приведённые данные показывают, что по мере удаления от завода содержание химических элементов в образцах ткани резко снижается. Эту зависимость с очень высокой точностью аппроксимирует уравнение Ципфа-Парето

$$Y = (K - m) \cdot \exp[-a \cdot 10^{-3} \cdot (X - 80)] + m,$$

в котором Y – относительное содержание элемента в ткани, доля единицы; X – расстояние от источника загрязнения, м; K – относительное содержание элемента в ткани на расстоянии 80 м от источника загрязнения (на опушке леса); m – относительное содержание элемента в ткани на

фоновом участке; a – коэффициент интенсивности убывания содержания элемента в ткани с расстоянием. Значения параметров этого уравнения для различных зольных элементов представлены в табл. 3. Наиболее быстро в выбросах убывает содержание хрома, концентрация которого в образцах стабилизируется уже со 110–120 м. Медленнее же всего снижается концентрация в ткани марганца, цинка и калия. Стабилизация концентрации большинства зольных элементов происходит на расстоянии 400–700 м от источника загрязнения.

Таблица 3

Параметры уравнения, отображающего характер изменения содержания золы и зольных элементов в тканевых повязках в градиенте загрязнения

Элемент	Значения параметров уравнения у разных химических элементов							
	K	m	a	R^2	$F_{\text{факт.}}$	L_{50}	L_{10}	L_5
Зола	47,1	1,6	22,25	0,941	42,20	111	183	215
Ca ²⁺	474,9	2,8	11,01	0,933	36,84	143	289	352
Sr ²⁺	107,4	1,5	18,82	0,942	42,97	117	202	239
Fe ³⁺	27,7	4,5	14,47	0,922	31,27	128	239	287
Ni ²⁺	15,9	3,6	17,77	0,927	33,60	119	210	249
Zn ²⁺	8,1	1,8	4,84	0,763	8,52	223	556	699
Co ²⁺	7,7	1,1	19,85	0,908	26,11	115	196	231
Mn ²⁺	7,5	1,6	3,70	0,793	10,14	267	702	890
Cd ²⁺	7,3	1,2	22,61	0,875	18,52	111	182	212
Pb ²⁺	5,3	1,1	17,59	0,924	32,17	119	211	250
K ⁺	4,1	1,6	7,97	0,797	10,39	167	369	456
Cr ²⁺	3,6	1,2	70,53	0,895	22,55	90	113	122
Cu ²⁺	3,1	1,3	12,00	0,847	14,65	138	272	330

Примечание: K , m , a – коэффициенты регрессии, смысл которых отражён в тексте статьи; R^2 – коэффициент детерминации уравнения; $F_{\text{факт.}}$ – фактическое значение критерия Фишера ($F_{0,05} = 5,59$); L – расстояние (м), на котором содержание элемента составляет 50, 10 и 5 % от величины, зафиксированной в 80 м от завода.

Довольно слабое распространение выбросов завода подтверждает также анализ космического снимка, проведённый сотрудниками ПГТУ [100], который показал, что в пределах первой санитарно-защитной зоны (СЗЗ) с внешней границей, отстоящей на расстоянии 300 м от территории завода, 49 % насаждений не имеют признаков загрязнения. Во второй СЗЗ радиусом 500 м доля незагрязнённых насаждений составляет уже 73,5 %. Вместе с тем отдельные пятна загрязнения встречаются далеко за пределами этой СЗЗ, образуя «кружевной» ареал. Причиной слабого распространения выбросов по территории является небольшая высота трубы, лишь немногим превышающая высоту примыкающего к территории завода древостоя. Когда облако пыли соприкасается с кронами деревьев, оно сразу же прекращает поступательное движение, т.к. под пологом древостоя скорость ветра быстро снижается. Изменение содержания зольных элементов в образцах ткани происходит не только из-за рассеивания выбросов, но и в результате трансформации их в пологе леса, а также выделения экзометаболитов деревьев, о чём пойдет речь далее.

Результаты опыта, проведённого на территории заповедника «Большая Кокшага», находящегося далеко от источников техногенного загрязнения, были совершенно иные и были для нас вначале неожиданными. Оказалось, что атмосферные осадки, проходя сквозь полог древостоя, приводили к существенному снижению содержания в образцах ткани некоторых зольных элементов, особенно кальция и сопутствующего ему стронция: потери относительно контрольного образца достигали иногда более 90 % (табл. 4). Эффект снижения содержания этих элементов в хлопчатобумажной ткани происходит не в результате обычного выноса с атмосферными осадками (вымывания) как в почве, а представляет собой сложный процесс их отщепления от целлюлозы,

связанный с разрывом атомно-молекулярных связей. Для разрыва этих связей требуется значительное воздействие достаточно мощных реагентов, в качестве которых вероятнее всего выступают определённые ферменты, поступающие в атмосферные осадки из крон деревьев. Состав ферментов нам пока неизвестен, но факт их наличия не вызывает у нас сомнений. Одним из аргументов в пользу этого высказывания являются различия в интенсивности вымывания кальция и стронция в различных биотопах. Особенно значительные потери происходили в березняках, следом за которыми с небольшим отставанием следовали сосняки. Меньше всего этих элементов было вымыто из образцов ткани в пойменном биотопе, а также на безлесном участке, хотя их потери здесь тоже были довольно значительными.

На интенсивность вымывания кальция из хлопчатобумажной ткани оказывает влияние не только состав древостоя, но также тип условий его произрастания и погодные условия. Так, в 2014 году, вегетационный период которого отличался от предшествующих лет меньшим количеством выпавших осадков, потери кальция из образцов ткани были менее значительными. Наиболее сильное вымывание из ткани кальция произошло в сосняке лишайниково-мшистом (81 %), а самое слабое – в сосняке сфагновом (57 %). В 2012 году из образцов произошло также вымывание других зольных элементов: никеля (39–75 %), цинка (59–72 %), свинца (57–65 %), меди (26–62 %) и железа (14–34%). В 2013 году отмечалось вымывание, кроме кальция и стронция, только меди (23–50 %). В 2014 году значительное вымывание ионов меди произошло только в сосняке сфагновом (52 %). В остальных же биотопах их содержание либо незначительно возросло, либо существенно не изменялось по сравнению с контрольным образцом.

Таблица 4

Относительное содержание зольных элементов в повязках хлопчатобумажной ткани из разных биотопов

Биотоп	Содержание элементов в ткани по отношению их к контрольному образцу, доля единицы									
	Зола	Ca ²⁺	K ⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺	Pb ²⁺	Sr ²⁺
<i>Результаты опыта, проведённого в 2012 году</i>										
Березняк черничный	0,60	0,06	2,16	0,71	15,30	0,36	0,24	0,25	0,36	0,04
Сосняк лишайниково-мшистый	0,65	0,14	1,66	0,86	2,28	0,32	0,46	0,61	0,35	0,06
Сосняк брусничный	0,72	0,12	1,46	0,87	2,62	0,28	0,37	0,36	0,39	0,05
Пойменный древостой (липа)	0,90	0,64	4,86	0,66	1,58	0,41	0,38	0,38	0,43	0,61
НСР_{0,05}	0,10	0,08	1,24	0,10	3,36	0,17	0,06	0,15	0,14	0,12
<i>Результаты опыта, проведённого в 2013 году</i>										
Березняк черничный	0,47	0,04	2,97	1,43	6,87	2,00	0,50	0,56	1,15	<0,01
Сосняк лишайниково-мшистый	0,56	0,08	1,28	1,53	1,38	1,28	0,71	0,82	1,03	<0,01
Сосняк (горизонталь)*	1,47	0,14	3,43	4,62	5,74	10,22	0,77	2,20	4,58	<0,01
Пойменный древостой (липа)**	0,70	0,33	4,54	1,13	1,14	1,07	0,56	0,94	0,82	0,73
Пойменный древостой (дуб)**	0,71	0,22	6,09	1,45	1,95	1,25	0,74	2,33	0,88	0,34
Пойменный древостой (ель)**	0,61	0,20	5,29	1,46	1,07	1,82	0,68	0,96	1,42	0,35
Пойменный луг	0,64	0,23	2,18	1,65	2,75	1,53	0,60	2,14	1,26	0,14
НСР_{0,05}	0,16	0,05	1,65	0,25	1,08	0,48	0,16	1,06	0,40	0,24
<i>Результаты опыта, проведённого в 2014 году</i>										
Сосняк лишайниковый	1,23	0,25	3,50	2,11	11,02	4,25	0,96	2,12	-	0,41
Сосняк лишайниково-мшистый	2,61	0,19	3,22	1,89	23,43	3,08	1,34	1,32	-	0,35
Сосняк черничный	1,83	0,32	3,28	1,70	18,10	2,77	0,87	4,24	-	0,31
Сосняк сфагновый	1,54	0,43	2,76	2,01	6,16	3,44	0,48	1,54	-	0,30
Сосняк липняковый	2,13	0,22	2,62	2,22	21,96	5,82	1,12	1,77	-	0,42
НСР_{0,05}	0,51	0,09	0,54	0,37	6,64	0,61	0,31	1,26	-	0,03

Примечание: НСР_{0,05} – наименьшая существенная разность на 5 %-м уровне значимости; * – образцы ткани, установленные горизонтально на кольшах в сосняке лишайниково-мшистом; ** – образцы ткани, которыми были обвязаны стволы деревьев в пойменном биогеоценозе.

Таблица 5

Химический состав водных растворов, в которых вымачивались образцы листьев растений

Растение	рН	Содержание элементов в растворе, мг/л						
		Ca ²⁺	K ⁺	Fe ³⁺	Mn ²⁺	Zn ²⁺	Cu ²⁺	Ni ²⁺
Сосна	6,66	420,7	4393,0	0,000	12,19	1,049	0,086	0,695
Ель	6,46	71,87	508,3	0,000	21,08	1,274	0,099	0,000
Берёза	6,77	245,0	1358,0	0,000	102,0	6,792	0,000	0,000
Липа	7,11	2519,0	4350,0	3,928	75,23	1,674	1,326	0,654
Дуб	6,61	438,0	2794,0	1,717	67,66	0,613	0,065	1,084

В образцах ткани происходило и повышение содержания ряда металлов, главным образом калия и марганца, которые находятся в клетках растений в свободной ионной форме [101] и легко вымываются из крон деревьев атмосферными осадками (табл. 5). Калия больше всего накапливалось в образцах, помещённых в пойменном биотопе, особенно на деревьях дуба. Меньше всего его содержание увеличивалось в сосняках, однако в 2014 году оно было в них значительно больше, чем в предшествующих 2012 и 2013 гг. Очень сильно варьировало в образцах ткани содержание марганца: в 2012 и 2013 гг. оно было наиболее высоким в березняке, а в 2014 году резко возросло в сосняках, особенно в лишайниково-мшистом и липняковом (в 22–23 раза выше, чем в контрольном образце!). Причину такого изменения мы объяснить пока не можем.

Большое влияние на зольный состав хлопчатобумажной ткани оказывало, как было установлено в опыте, положение образцов в биотопе. В ткани, натянутой на колышки горизонтально, содержание всех зольных элементов, кроме меди, было выше по сравнению с повязками на стволах деревьев. Это связано, на наш взгляд, с двумя причинами: 1) с привнесением на данные образцы, имеющие, по сравнению с повязками, большую площадь поверхности соприкосновения со средой, значительной массы пыли; 2) с меньшей насыщенностью атмосферных осадков, прошедших только сквозь полог древостоя, экзометаболитами растений по сравнению с водой, стекающей по стволам деревьев.

Проведённые нами опыты, таким образом, не только подтвердили имеющиеся

факты о значительной трансформации атмосферных осадков, проходящих сквозь полог леса, но также позволили впервые выявить вымывание ими ряда зольных элементов из отмершего органического волокна, происходящее не в результате воздействия различных кислот, чего фактически не наблюдается, а под влиянием выделившихся ионов металлов и экзометаболитов растений, способствующих разложению опада и ускорению биологического круговорота в лесных экосистемах. Имеющиеся у нас факты позволяют высказать предположение о том, что деревья сами регулируют процесс своего минерального питания, выделяя через поверхность листьев, ветвей и ствола необходимые экзометаболиты, состав и концентрация которых зависит не только от вида древесного растения, но и от условий среды. Активность экзометаболитов деревьев, по нашему мнению, наиболее велика в тех древостоях, где имеется острый дефицит элементов питания.

Заключение. Анализ литературы и материалов собственных исследований показал, что задача о влиянии аэрального поступления веществ в лесные экосистемы на круговорот веществ в них является довольно сложной, требующей комплексного подхода и использования самых разнообразных методов и приёмов, которые по мере развития техники и технологии должны неуклонно совершенствоваться.

Атмосферные осадки, количество и состав которых значительно флуктуируют в пространстве и времени, проходя через полог леса, существенным образом изменяют свой состав, активно воздействуя на все биоценологические процессы. Степень

трансформации химического состава осадков, происходящей не только в тёплое время года, но и даже зимой, зависит, при этом, как от их частоты и интенсивности, так и вида древесных растений, фазы их сезонного развития и условий произрастания.

Для оценки аэрального поступления химических элементов в лесные экосистемы и трансформации состава атмосферных осадков, проходящих сквозь полог леса, нами разработан и опробован в реальных условиях метод тканевых повязок, который дополняет существующие методы, позволяя оценивать активность водорастворимых экзометаболитов растений по вовлечению в биологический круговорот химических элементов, содержащихся в подстилке.

Результаты проделанной нами работы свидетельствуют о разном влиянии пород деревьев на изменение зольного состава

растительного волокна (целлюлозы), происходящее под действием атмосферных осадков и экзометаболитов растений и заключающееся, прежде всего, в вымывании из него кальция и стронция. Установлено, что больше всего этих элементов вымывается из ткани в березняках и сосняках, произрастающих на бедных песчаных почвах, где имеется острый дефицит элементов минерального питания растений. В пойменном же древостое, где этого дефицита не наблюдается, процесс вымывания кальция и стронция протекает очень слабо. Деревья, таким образом, сами регулируют процесс своего минерального питания и биологический круговорот веществ в лесных экосистемах, выделяя через поверхность листвы, ветвей и ствола необходимые экзометаболиты, состав и концентрация которых зависит как от вида древесного растения, так и от условий среды.

Список литературы

1. *Смирнова, К. М.* Круговорот азота и зольных элементов в ельниках сложных / К.М. Смирнова // Вестник МГУ. – 1951. – № 10. – С. 103-122.
2. *Смирнова, К. М.* Потребление и круговорот элементов питания в березовом лесу / К.М. Смирнова, Г.А. Городенцева // Бюллетень МОИП. Отделение биологии. – 1958. – Т. 63, вып. 2. – С. 135-146.
3. *Базилевич, Н. И.* Особенности малого биологического круговорота в различных почвенно-растительных зонах / Н.И. Базилевич, Л.Е. Родин // Доклады АН СССР. – 1954. – Т. ХСVII, № 6. – С. 1061-1064.
4. *Базилевич, Н. И.* Особенности круговорота зольных элементов и азота в некоторых почвенно-растительных зонах СССР / Н.И. Базилевич // Почвоведение. – 1955. – № 4. – С. 1-32.
5. *Базилевич, Н. И.* Продуктивность и круговорот элементов в естественных и культурных фитоценозах (по материалам СССР) / Н.И. Базилевич, Л.Е. Родин // Биологическая продуктивность и круговорот химических элементов в растительных сообществах. – Л.: Наука, 1971. – С. 5-32.
6. *Мина, В. Н.* Круговорот азота и зольных элементов в дубравах лесостепи / В.Н. Мина // Почвоведение. – 1955. – № 6. – С. 32-44.
7. *Ремезов, Н. П.* Потребление и круговорот азота и зольных элементов в лесах европейской части СССР / Н.П. Ремезов, Л.Н. Быкова, К.М. Смирнова. – М.: МГУ, 1959. – 284 с.
8. *Марченко, А. И.* Минеральный обмен в еловых лесах северной тайги и лесотундры Архангельской области / А.И. Марченко, Е.И. Карлов // Почвоведение. – 1962. – № 7. – С.52-67.
9. *Родин, Л. Е.* Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара / Л.Е. Родин, Н.И. Базилевич. – М.-Л.: Наука, 1965. – 253 с.
10. *Абатуров, Ю. Д.* Некоторые особенности биологического круговорота азота и зольных элементов в сосняках Южного Урала / Ю.Д. Абатуров // Труды Ин-та биологии УФ АН СССР. – Свердловск: УФ АН СССР, 1966. – Вып. 55. – С. 69-79.
11. *Пьявченко, Н. И.* Биологическая продуктивность и круговорот веществ в болотных лесах Западной Сибири / Н.И. Пьявченко // Лесоведение. – 1967. – № 3. – С. 32-42.
12. *Смольянинов, И. И.* Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов / И.И. Смольянинов. – М.: Лесная промышленность, 1969. – 192 с.
13. *Казимиров, А. И.* Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии / А.И. Казимиров, Р.М. Морозова. – Л.: Наука, 1973. – 175 с.
14. *Манаков, К. Н.* Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера / К.Н. Манаков, В.В. Никонов. – Л.: Наука, 1981. – 196 с.
15. *Вакуров, А. Д.* Круговорот азота и минеральных элементов в низкопродуктивных ельниках северной тайги / А.Д. Вакуров, А.Ф. Полякова

// Круговорот химических веществ в лесу. – М.: Наука, 1982. – С. 20-46.

16. *Винокурова, Р. И.* Роль растений елово-пихтовых лесов в миграции химических элементов / Р.И. Винокурова, О.В. Андриянова, В.Ю. Осипова, И.Ю. Волкова, Е.В. Тарасенко. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 194 с.

17. *Цветков, В. Ф.* Состояние и перспективы лесов Кольской лесорастительной области в условиях промышленного загрязнения / В.Ф. Цветков // Экологические проблемы европейского Севера. – Екатеринбург: УРО РАН, 1996. – С. 24-50.

18. *Воробейчик, Е. Л.* Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень) / Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фарафонов. – Екатеринбург: Наука, 1994. – 280 с.

19. *Черненко, Т. В.* Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение / Т.В. Черненко. – М.: Наука, 2002. – 191 с.

20. *Ильин, В. Б.* Элементный химический состав растений. – Новосибирск: Наука, 1985. – 129 с.

21. *Ковалевский, А. Л.* Биогеохимия растений / А.Л. Ковалевский. – Новосибирск: Наука, 1991. – 294 с.

22. *Добровольский, В. В.* Основы биогеохимии / В.В. Добровольский. – М.: Высшая школа, 1998. – 413 с.

23. *Кабата-Пендиас, А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

24. *Виноградов, А. П.* Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой / А.П. Виноградов // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М.: Наука, 1972. – С. 7-20.

25. *Ковальский, В. В.* Геохимическая экология / В.В. Ковальский. – М.: Наука, 1974. – 345 с.

26. *Глазовская, М. А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М.А. Глазовская. – М.: Высшая школа, 1988. – 328 с.

27. *Перельман, А. И.* Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. – М.: МГУ, 1999. – 610 с.

28. *Алексеев, В. А.* Экологическая геохимия / В.А. Алексеев. – М.: Логос, 2000. – 626 с.

29. *Дроздова, В. М.* Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР / В.М. Дроздова, О.П. Петренчук, Е.С. Селезнева и др. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 209 с.

30. *Черняева, Л.Е.* Химический состав атмосферных осадков (Урал и Приуралье) / Л.Е. Черняева, А.М. Черняев, А.К. Могиленских. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 179 с.

31. *Пьявченко, Н. И.* О роли атмосферной пыли в питании болот / Н.И. Пьявченко, З.А. Сибирева // Доклады АН СССР. – 1959. – Т. 124, № 2. – С. 414-417.

32. *Пьявченко, Н. И.* Об изучении болот в связи с проблемой «Человек и биосфера» /

Н.И. Пьявченко // История биогеоценозов СССР в голоцене. – М.: Наука, 1976. – С. 46-57.

33. *Тюремнов, С. Н.* Растительные группировки торфяных месторождений и химический состав их водной среды / С.Н. Тюремнов, И.Ф. Ларгина // Торфяная промышленность. – 1968. – № 2. – С. 21-24.

34. *Шварцев, С. Л.* Гидрогеохимия зоны гипергенезиса / С.Л. Шварцев. – М.: Наука, 1978. – 287 с.

35. *Шатилов, И. С.* Химический состав атмосферных осадков и поверхностно-стекаемых вод / И.С. Шатилов, А.Г. Замараев, Г.В. Чеповская // Доклады ВАСХНИЛ. – 1977. – № 6. – С. 1-3.

36. *Саарман, Т. Е.* О поступлении минеральных веществ из елово-лиственного опада в бурую псевдоподзолистую почву / Т.Е. Саарман // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 1979. – Вып. 20. – С. 19-21.

37. *Глухова, Т. В.* Поступление с осадками и вынос элементов минерального питания с осушенных лесных верховых болот / Т.В. Глухова // Освоение осушенных земель в Марийской АССР и ускорение научно-технического прогресса в гидроресомелиорации. – Йошкар-Ола: Редакционно-издательский отдел Госкомиздата Марийской АССР, 1986. – С. 44-45.

38. *Поздняков, Л. К.* О роли осадков, проникающих под полог леса, в процессе обмена веществ между лесом и почвой / Л.К. Поздняков // Доклады АН СССР. – 1956. – Т. 107, № 5. С. 753-756.

39. *Морозова, Р. М.* Роль атмосферных осадков в круговороте азота и зольных элементов в еловых лесах Карелии / Р.М. Морозова, В.К. Куликова // Почвенные исследования в Карелии. – Петрозаводск: Ин-т леса КФ АН СССР, 1974. – С. 143-161.

40. *Второва, В. Н.* Роль атмосферных осадков в обменных процессах хвойных лесов Подмосквы / В.Н. Второва // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 52-67.

41. *Учватов, В. П.* Трансформация химического состава природных вод в лесном ландшафте как показатель его биогеохимического функционирования / В.П. Учватов, Н.Ф. Глазовский // Известия АН СССР. Сер. геогр. – 1984. – № 1. – С. 101-109.

42. *Учватов, В. П.* Геохимическая экология лесного ландшафта Приокско-Террасного биосферного заповедника / В.П. Учватов // Экология. – 1995. – № 4. – С. 268-273.

43. *Бахнов, В. К.* Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса / В.К. Бахнов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 193 с.

44. *Елпатьевский, П. В.* Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных системах / П.В. Елпатьевский. – М.: Наука, 1993. – 253 с.

45. *Хрусталева, М. А.* Экогеохимия моренных ландшафтов центра Русской равнины / М.А. Хрусталева. – М.: Технополиграфцентр, 2002. – 315 с.

46. *Свиридова, И. К.* Результаты изучения вымывания азота и зольных элементов дождевыми

осадками из крон древесных пород / И.К. Свиридова // Доклады АН СССР. – 1960. – Т. 133, № 3. – С. 706-708.

47. Масилюнас, Л. И. Некоторые данные о химическом составе атмосферных осадков и вымывании химических веществ из крон деревьев / Л.И. Масилюнас, Г.Б. Паулюквичюс // Труды АН Литовской ССР. Серия Биология. – 1963. – Т. 1. – С. 45-51.

48. Колодяжная, А. А. Режим химического состава атмосферных осадков и их метаморфизация в зоне аэрации / А.А. Колодяжная. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 164 с.

49. Мина, В. Н. Выщелачивание некоторых веществ атмосферными осадками из древесных растений и его значение в биологическом круговороте / В.Н. Мина // Почвоведение. – 1965. – № 6. – С. 7-17.

50. Мина, В. Н. Влияние осадков, стекающих по стволам деревьев, на почву / В.Н. Мина // Почвоведение. – 1967. – № 10. – С. 44-52.

51. Attiwil, P. M. The chemical composition of rainwater of relation to cycling of nutrients in nature Eucalyptus forest // Plant and Soil. – 1966. – Vol. 24, № 3. – Pp. 6-10.

52. Carlisle, A. The nutrient content of tree stem flow and ground flours litter and leaf chutes in a Sessile oak (*Quercus petraea*) woodland / A. Carlisle, A.H.F. Brown, E.J. White // J. of Ecology. – 1967. – Vol. 55, № 3. – Pp. 615-627.

53. Tukey, H. B. J. Leaching of substances from plants / H.B.J. Tukey // Ann. Rev. of plant physiology. 1970. – Vol. 21. – Pp. 305-324.

54. Gersper, P. Some effect of stem flow from forest canopy trees on chemical properties of soils / P. Gersper, H. Holowaychuk // Ecology. – 1971. – Vol. 52, № 4. – Pp. 230-239.

55. Кулагина, М. Л. Химизм дождевых осадков, проникающих под полог леса в Красноярской лесостепи / М.Л. Кулагина // Гидроклиматические исследования в лесах Сибири. – М.: Наука, 1967. – С. 56-64.

56. Соколов, А. А. Химический состав атмосферных осадков, прошедших сквозь полог елового и березового древостоя / А.А. Соколов // Лесоведение. – 1972. – № 3. – С. 103-106.

57. Сысуев, В. В. О механизме изменения химического состава атмосферных вод под пологом леса / В.В. Сысуев // Вестник МГУ. Сер. География. – 1975. – № 5. – С. 107-110.

58. Likens, G. E. Biogeochemistry of a forested ecosystem / G.E. Likens, F.H. Borman, R.S. Pierce, J.S. Eaton, N.M. Johnson. – New-York: Springer, 1977. – 148 p.

59. Miller, H. G. Collection and retention of atmospheric pollutants by vegetation / H.G. Miller, J.D. Miller // Intern. Conf. of Ecological Impact of Acid Precipitation. – Oslo, AAS, 1980. – Pp. 33-40.

60. Fuhrer, J. Interactions between acidic deposition and forest ecosystem processes / J. Fuhrer, C. Fuhrer-fries // European J. of forest pathology. – 1982. – Vol. 12, № 6-7. – Pp. 377-391.

61. Глазовский, Н. Ф. Химический состав атмосферной пыли и его изменение после осаждения на кроны деревьев / Н.Ф. Глазовский, В.П. Учватов // Взаимодействие лесных экосистем и атмосферных загрязнителей. Ч. II. – Таллинн: Эстонский НИИЛХОП, 1982. – С. 67-87.

62. Lindberg, E. S. Water and acid soluble trace metals in atmospheric particles / E. S. Lindberg, R. C. Harris // Geophysic Res. – 1983. – Vol. 88, № 9. – Pp. 1177-1191.

63. Richter, D. D. Atmosphere sulfur deposition, neutralization and ion leaching in two deciduous forest ecosystems / D. D. Richter, D. W. Johnson, D. E. Todot // Environ. Quail. – 1983. – Vol. 12. – Pp. 112-123.

64. Ulrich, B. Effect of air pollution on forest ecosystems and water – The principles demonstrated at a case study in Central Europe / B. Ulrich // Atmospheric Environ. – 1984. – Vol. 18. – Pp. 72-84.

65. Rehfuess, K. T. Waldboden / K.T. Rehfuess. – Hamburg: Paul Parey, 1990. – 296 p.

66. Медведев, Л. В. Трансформация жидких атмосферных осадков древостоями южной тайги (на примере Валдая) / Л.В. Медведев, Т.Е. Шитикова, В.А. Алексеенко // Структура и функционирование экосистем южной тайги. – М.: Наука, 1986. – С. 26-55.

67. Алексеенко, В. А. Поступление микроэлементов из атмосферы и их содержание в природных водах лесного водосбора / В.А. Алексеенко // Экология. – 1988. – № 3. – С. 71-73.

68. Карпачевский, Л. О. Воздействие полога ельника сложного на химический состав осадков / Л.О. Карпачевский, Т.А. Зубкова, Т. Пройслер и др. // Лесоведение. – 1998. – № 1. – С. 50-59.

69. Никонов, В. В. Влияние ели и сосны на кислотность и состав атмосферных выпадений в северо-таежных лесах индустриально развитого района / В.В. Никонов, Н.В. Лукина // Экология. – 2000. – № 2. – С. 97-105.

70. Пристова, Т. А. Влияние древесного полога лиственно-хвойного насаждения на химический состав осадков / Т.А. Пристова // Лесоведение. – 2005. – № 5. – С. 49-55.

71. Марунич, С. В. Трансформация химического состава атмосферных осадков пологом древостоя южно-таежных лесов / С.В. Марунич, А.С. Буров, Ю.Н. Кузнецова, И.В. Недогарко // Известия РАН. Серия географическая. – 2006. – № 4. – С. 52-57.

72. Арчегова, И. Б. Влияние древесных растений на химический состав атмосферных осадков в процессе восстановления среднетаежных лесов / И.Б. Арчегова, Е.Г. Кузнецова // Лесоведение. – 2011. – № 3. – С. 34-43.

73. Робакидзе, Е. А. Химический состав жидких атмосферных осадков в старовозрастных ельниках средней тайги / Е.А. Робакидзе, Н.В. Гормонова, К.С. Бобкова // Геохимия. – 2013. – № 1. – С. 72.

74. Морозова, Р. М. Биологический круговорот веществ в сосняках брусничных и лишайниковых /

Р.М. Морозова // Почвы сосновых лесов Карелии. – Петрозаводск: КФ АН СССР, 1978. – С. 85-112.

75. Глебов, Ф. З. О биологической продуктивности болотных лесов, лесообразовательном и болотообразовательном процессах / Ф.З. Глебов, Л.С. Толейко // Ботанический журнал. – 1975. – Т. 60, № 9. – С. 13-17.

76. Демаков, Ю. П. Использование метода тканевой абсорбции для оценки аэральных выпадений пыли / Ю.П. Демаков, М.И. Майшанова // Теоретические и прикладные проблемы науки и образования в 21 веке: сб. науч. тр. по материалам Международ. заоч. научно-практ. конф. Ч. 2. – Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного университета, 2012. – С. 53-55.

77. Демаков, Ю. П. Изменение зольного состава хвои, коры и древесины сосны в зоне выбросов завода силикатного кирпича / Ю.П. Демаков, С.М. Швецов, М.И. Майшанова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1 (15). – С. 85-95.

78. Демаков, Ю. П. Воздействие завода силикатного кирпича на состояние и структуру соснового биогеоценоза / Ю.П. Демаков, М.И. Майшанова, Е.А. Гончаров и др. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2013. – 192 с.

79. Демаков, Ю. П. Использование тканевых повязок для оценки аэральных поступлений зольных элементов / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, В.И. Таланцев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». – Йошкар-Ола: МарГУ, 2013. – Вып. 6. – С. 48-55.

80. Лукина, И. В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения / И.В. Лукина, В.В. Никонов. – Апатиты: КНЦ РАН, 1996. В 2-х ч. – Ч. 1. 213 с. – Ч. 2. 192 с.

81. Ярмишко, В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение на европейском севере / В.Т. Ярмишко. – СПб.: ООО «ВВМ», 1997. – 210 с.

82. Цветков, В. Ф. Лес в условиях аэротехногенного загрязнения / В.Ф. Цветков, И.В. Цветков. – Архангельск, 2003. – 354 с.

83. Проблемы экологии растительных сообществ Севера / Под ред. В. Т. Ярмишко. – СПб.: ООО «ВВМ», 2005. – 450 с.

84. Мартынюк, А. А. Особенности формирования надземной фитомассы сосновых молодняков в условиях техногенного загрязнения / А.А. Мартынюк // Лесоведение. – 2008. – № 1. – С. 39-45.

85. Усольцев, В. А. Биологическая продуктивность лесов Урала в условиях техногенного загрязнения: Исследование системы связей и закономерностей / В.А. Усольцев, Е.Л. Воробейчик, И.Е. Бергман. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. – 366 с.

86. Коровин, Н. В. Негативное влияние техногенного атмосферного загрязнения на сосновые насаждения и пути его снижения (на примере Гомельского промышленного района) / Н.В. Коро-

вин, В.В. Степанчик, Л.В. Холодилова. – Брянск: БГИТА, 2003. – 143 с.

87. Шелуха, В. П. Биоиндикация хронического промышленного воздействия щелочного типа на компоненты хвойных лесонасаждений / В.П. Шелуха. – Брянск: БГИТА, 2001. – 205 с.

88. Глазовский, Н. Ф. Использование снежного покрова в индикации загазованности промышленных районов / Н.Ф. Глазовский, А.С. Злобина, Е.Д. Учватов // Региональный экологический мониторинг. – М.: Наука, 1986. – С. 79-83.

89. Вирцавс, М. В. Методическое пособие по приготовлению сухих концентратов загрязненных природных вод для химического анализа на содержание микроэлементов / М.В. Вирцавс, А.М. Степанов, В.В. Сычев. – М.: ЦЭПЛ РАН, 1992. – 33 с.

90. Kozlov, M. V. Snowpack changes around a nickel-copper smelter at Monchegorsk, northwestern Russia / M.V. Kozlov // Can. J. For. Res. – 2001. – Vol. 31. – Pp. 1684-1690.

91. Армолайтис, К. Э. Влияние выбросов цементного завода на физико-химические свойства лесных почв / К.Э. Армолайтис, М.В. Вайчис, Л.В. Кубяртавичене, А.Д. Рагуотис // Почвоведение. – 1995. – № 9. – С. 1160-1165.

92. Бериня, Д. Ж. Эмиссия индустриальной кальцийсодержащей пыли и окружающая среда / Д. Ж. Бериня, И.М. Лапина // Загрязнение природной среды кальцийсодержащей пылью – Рига: Зинатне, 1985. – С. 7-14.

93. Баркан, В. Ш. Опыт использования пассивных окисно-свинцовых поглотителей для оценки концентрации сернистого газа в атмосфере / В.Ш. Баркан // Экология. – 1992. – № 4. – С. 37-44.

94. Никодемус, О. Э. К методике определения накопления загрязняющих элементов в лесных насаждениях / О.Э. Никодемус, К.К. Раман // Влияние промышленного загрязнения на лесные экосистемы и мероприятия по повышению их устойчивости. – Каунас-Гирионис: Литовский НИИЛХ, 1984. – С. 30-31.

95. Шарковскис, П. А. Содержание металлов в продуктах эмиссии на придорожной полосе автодорог Латвии / П.А. Шарковскис, О.Э. Никодемус // Влияние выбросов автотранспорта на природную среду. – Рига: Зинатне, 1989. – С. 5-21.

96. Зубарева, О. Н. Аккумуляция пыли компонентами березовых фитоценозов в зоне воздействия известковых карьеров / О.Н. Зубарева, Л.Н. Скрипальщикова, В.Д. Перевозчикова // Экология. – 1999. – № 5. – С. 339-343.

97. Копчик, Г. Н. Поглощение макроэлементов и тяжелых металлов елью при атмосферном загрязнении на Кольском полуострове / Г.Н. Копчик, В.Н. Лукина, С.В. Копчик и др. // Лесоведение. – 2008. – № 2. – С. 3-12.

98. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта, хрома методом атомно-

абсорбционной спектроскопии. – М.: ФГУ ФЦАО, 2007. – 20 с.

99. Методы биогеохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 450 с.

100. Курбанов, Э. А. Сравнительный анализ спутниковых снимков высокого разрешения при дешифрировании древостоев, загрязненных отхо-

дами силикатного производства / Э.А. Курбанов, О. Н. Воробьев, Ю.А. Полевщикова и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 2 (18). – С. 74-90.

101. Крамер, Л. Физиология древесных растений / Л. Крамер, Т. Козловский. – М.: Гослесбуиздат, 1963. – 628 с.

Статья поступила в редакцию 19.01.15.

Информация об авторах

ДЕМАКОВ Юрий Петрович – доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, почвоведения и природопользования, Поволжский государственный технологический университет, главный научный сотрудник государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Область научных интересов – биогеоценология, дендрохронология. Автор 270 публикаций, в том числе 10 монографий и учебных пособий.

ИСАЕВ Александр Викторович – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель директора по научной работе, государственный природный заповедник «Большая Кокшага». Область научных интересов – биогеоценология, лесное почвоведение. Автор 35 публикаций, в том числе одной монографии.

UDK 630*182:581.524.32

INFLUENCE OF AERIAL INCOME OF ELEMENTS ON THEIR CIRCULATION IN FOREST ECOSYSTEMS

Yu. P. Demakov^{1,2}, A. V. Isaev²

¹Volga State University of Technology,
3, Lenin Sq., Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation
E-mail: DemakovYP@volgatech.net

²State natural reserve «Bolshaya Kokshaga»,
26, Voinov-Internatsionalistov St., Yoshkar-Ola, 424038, Russian Federation
E-mail: avsacha@yandex.ru

Key words: forest ecosystems; atmosphere precipitation; chemical composition; transformation in shelter; cotton; circulation of elements.

ABSTRACT

Results of the analysis of many source of literature in assessment of aerial income of elements in forest ecosystems and their transformation by the shelter are offered. It was shown that precipitation merges with geobiocoenosis when coming in contact with the shelter, supplying water and many nutrients which are necessary for all living beings. Penetrating the shelter, composition of precipitation changes to the great extent as precipitation does not only washes off the dust out from the leaves and becomes saturated with the metabolism products of different plants and other living beings. It also leaches out a number of chemical elements from living cells, actively influencing on the biological cycle of the elements. An extent of precipitation chemical composition transformation, taking place both in summer and in winter, depends on precipitation frequency and intensity as well as the species of trees, phase of their seasonal development and conditions of growing. Results of experience in assessment of dispersion of dust emissions of silica brick factory using textile bandages and influence of exometabolites of trees, which are precipitation solved, on cotton fibres (cellulose) decay in different biotopes were described. It was determined that a major change of an original ash content took place in all the tissue samples (in the area of dust emissions of Mari silica brick factory, content of ash and many ash constituents has significantly increased; in the nearby territory, content of calcium, strontium and cuprum has, on the contrary, significantly decreased.). Most part of the elements was washed out from the tissues in the birch groves and pine forests, growing in nutrient-poor sandy soils. There was low intensity of washing out of calcium and strontium in an inundable biotope. Conclusion: trees regulate the process of mineral nutrition and biological cycle in forest ecosystems by themselves, excreting from the surface of leaves, branches and a stem all the necessary exometabolites. Composition and concentration of exometabolites depend on the species of trees and environment condition.

REFERENCES

1. Smirnova K. M. Krugovorot azota i zolnykh elementov v elnikakh slozhnykh [Circulation of Nitrogen and Ash Elements in Fir Forest in the South.]. *Vestnik MGU* [Vestnik of MSU]. 1951. № 10. Pp. 103-122.
2. Smirnova K. M., Gorodentseva G.A. Potreblenie i krugovorot elementov pitaniya v berezovom lesu [Consumption and Circulation of Fertilizer Elements in Birch Grove]. *Byulleten MOIP. Otdelenie biologii* [Bulletin of MOIP. Division of Biology]. 1958. Vol. 63, Issue 2. Pp. 135-146.
3. Bazilevich N.I., Rodin L.E. Osobennosti malogo biologicheskogo krugovorota v razlichnykh pochvenno-rastitelnykh zonakh [Peculiarities of Small Biological Cycle in Different Soil and Vegetative Zones]. *Doklady AN SSSR* [Reports of AN USSR]. 1954. Vol. XCVII, № 6. Pp. 1061-1064.
4. Bazilevich N.I. Osobennosti krugovorota zolnykh elementov i azota v nekotorykh pochvenno-rastitelnykh zonakh SSSR [Peculiarities of Circulation of Ash and Nitrogen Constituents in Some Soil and Vegetative Zones in the USSR]. *Pochvoedeniye* [Pedology]. 1955. № 4. Pp. 1-32.
5. Bazilevich N.I., Rodin L.E. Produktivnost i krugovorot elementov v estestvennykh i kulturnykh fitotsenozakh (po materialam SSSR) [Productivity and Circulation of Mineral Elements in Natural and Cultivated Cenosis (adapted from the USSR)]. *Biologicheskaya produktivnost i krugovorot khimicheskikh elementov v rastitelnykh soobshchestvakh* [Biological Productivity and Circulation of Chemical Elements in Vegetative Society]. Leningrad: Nauka, 1971. Pp. 5-32.
6. Mina V. N. Krugovorot azota i zolnykh elementov v dubravakh lesostepi [Circulation of Nitrogen and Ash Elements in Oak Groves of Forest-Steppe]. *Pochvovedeniye* [Pedology]. 1955. № 6. Pp. 32-44.
7. Remezov N. P., Bykova L.N., Smirnova K.M. *Potreblenie i krugovorot azota i zolnykh elementov v lesakh evropeyskoy chasti SSSR* [Consuming and Circulation of Nitrogen and Ash Elements in Forests of the European USSR]. Moscow: MSU, 1959. 284 p.
8. Marchenko A. I., Karlov E.I. Mineralnyy obmen v elovykh lesakh severnoy taygi i lesotundry Arhangel'skoy oblasti [Mineral Metabolism in Spruce Forests of North Taiga and Forest Tundra in Arkhangelsk Oblast]. *Pochvovedeniye* [Pedology]. 1962. № 7. Pp. 52-67.
9. Rodin L. E., Bazilevich N.I. *Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskiiy krugovorot zolnykh elementov i azota v osnovnykh tipakh rastitelnosti zemnogo shara* [Dynamics of Organic Substances and Biological Cycle of Ash and Nitrogen Elements in the Basic Plants of the Earth]. Moscow-Leningrad: Nauka, 1965. 253 p.
10. Abaturou Yu. D. Nekotorye osobennosti biologicheskogo krugovorota azota i zolnykh elementov v sosnyakakh Yuzhnogo Urala [Some Peculiarities of Biological Cycle of Ash and Nitrogen Elements in the Pine Forests of the Southern Urals]. *Trudy In-ta biologii UF AN SSSR* [Proceedings of the Institute of Biology of UF AN USSR]. Sverdlovsk: UF AN SSSR, 1966. Issue 55. Pp. 69-79.
11. Pyavchenko N. I. Biologicheskaya produktivnost i krugovorot veshchestv v bolotnykh lesakh Zapadnoy Sibiri [Biological Productivity and Circulation of Elements in Swamp Forests of the Western Siberia]. *Lesovedeniye* [Sylviculture]. 1967. № 3. Pp. 32-42.
12. Smolyaninov I. I. *Biologicheskiiy krugovorot veshchestv i povysheniye produktivnosti lesov* [Biological Cycle of the Elements and Improvement of Forests Productivity]. Moscow: Lesnaya promyshlennost, 1969. 192 p.
13. Kazimirov A. I., Morozova R.M. *Biologicheskiiy krugovorot veshchestv v elnikakh Karelii* [Cycle of Elements in Spruce Grove of the Karelia]. Leningrad: Nauka, 1973. 175 p.
14. Manakov K. N., Nikonov V.V. *Biologicheskiiy krugovorot mineralnykh elementov i pochvoobrazovanie v elnikakh Kraynego Severa* [Cycle of the Mineral Elements and Soil Formation in Spruce Grove of Far North]. Leningrad: Nauka, 1981. 196 p.
15. Vakurov A. D., Polyakova A.F. Krugovorot azota i mineralnykh elementov v nizkoproduktivnykh elnikakh severnoy taygi [Circulation of Nitrogen and Mineral Elements in Low-Productive Spruce Forest of North Taiga]. *Krugovorot khimicheskikh veshchestv v lesu* [Circulation of Chemicals in Forests]. Moscow: Nauka, 1982. Pp. 20-46.
16. Vinokurova R. I., Andriyanova O.V., Osipova V.Yu., Volkova I.Yu., Tarasenko E.V. *Rol rasteniy elovo-pikhtovykh lesov v migratsii khimicheskikh elementov* [The Role of Vegetation in Fir Forests for Migration of Chemical Elements]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2002. 194 p.
17. Tsvetkov V. F. Sostoyaniye i perspektivy lesov Kolskoy lesorastitelnoy oblasti v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya [Present-Day State and Perspectives of Forests of the Kola in Forest Area in Conditions of Industrial Pollution]. *Ekologicheskiiye problemy evropeyskogo Severa* [Ecological Problems in the European North]. Ekaterinburg: UrO RAN, 1996. Pp. 24-50.
18. Vorobeychik E. L., Sadykov O.F., Farafontov M.G. *Ekologicheskoye normirovaniye tekhnogennykh zagryazneniy nazemnykh ekosistem (lokalnyy uroven)* [Ecological Standartization of Man-Made Pollution of Land Ecosystems (local level)]. Ekaterinburg: Nauka, 1994. 280 p.
19. Chernenkova T. V. *Reaktsiya lesnoy rastitelnosti na promyshlennoye zagryazneniye* [The Answer of Forest Vegetation to Industrial Pollution]. Moscow: Nauka, 2002. 191 p.

20. Ilin V. B. *Elementnyy khimicheskiy sostav rasteniy* [Elementary Chemical Composition of Plants]. Novosibirsk: Nauka, 1985. 129 p.
21. Kovalevskiy A. L. *Biogeokhimiya rasteniy* [Biochemistry of Plants]. Novosibirsk: Nauka, 1991. 294 p.
22. Dobrovolskiy V. V. *Osnovy biogeokhimii* [Fundamentals of Biochemistry]. Moscow: Vysshaya shkola, 1998. 413 p.
23. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Microelements in Soil and Plants]. Moscow: Mir, 1989. 439 p.
24. Vinogradov A. P. *Osnovnye zakonomernosti v raspredelenii mikroelementov mezhdru rasteniyami i sredoy* [Basic Regularities in Distribution of Microelements among the Plants and Environment]. *Mikroelementy v zhizni rasteniy i zhivotnykh* [Microelements in the Life of Plants and Animals]. Moscow: Nauka, 1972. Pp. 7-20.
25. Kovalskiy V. V. *Geokhimicheskaya ekologiya* [Geochemical Ecology]. Moscow: Nauka, 1974. 345 p.
26. Glazovskaya M. A. *Geokhimiya prirodnykh i tekhnogennykh landshaftov SSSR* [Geochemistry of Natural and Man-Made Landscapes in the USSR]. Moscow: Vysshaya shkola, 1988. 328 p.
27. Perelman A. I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshaftov* [Geochemistry of Landscape]. Moscow: MSU, 1999. 610 p.
28. Alekseenko V. A. *Ekologicheskaya geokhimiya* [Ecological Geochemistry]. Moscow: Logos, 2000. 626 p.
29. Drozdova V. M., Petrenchuk O.P., Selezneva E.S., et al. *Khimicheskiy sostav atmosferykh osadkov na Evropeyskoy territorii SSSR* [Precipitation Composition in the European USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1964. 209 p.
30. Chernyaeva L.E., Chernyaev A.M., Mogilenskikh A.K. *Khimicheskiy sostav atmosferykh osadkov (Ural i Priurale)* [Precipitation Composition (Ural and Cisurals)]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. 179 p.
31. Pyavchenko N. I., Sibireva Z.A. *O roli atmosfernoy pyli v pitanii bolot* [On the Role of Atmospheric Dust to Nourish Swamps]. *Doklady AN SSSR* [Reports of AN USSR]. 1959. Vol. 124, № 2. Pp. 414-417.
32. Pyavchenko N. I. *Ob izuchenii bolot v svyazi s problemoy «Chelovek i biosfera»* [On the Study of the Bogs, Taking into Account the «Human-Biosphere» Problem]. *Istoriya biogeotsenozov SSSR v golotsene* [History of USSR Geobiocoenosis in Holocene]. Moscow: Nauka, 1976. Pp. 46-57.
33. Tyuremnov S. N., Largin I.F. *Rastitelnye gruppirovki torfyanokh mestorozhdeniy i khimicheskiy sostav ikh vodnoy sredy* [Plant Vegetation of Peat Bogs and Chemical Composition of Their Aquatic Habitat]. *Torfyanaya promyshlennost* [Peat Industry]. 1968. № 2. Pp. 21-24.
34. Shvartsev S. L. *Gidrogeokhimiya zony gipergenezisa* [Hydrogeochemistry of the Hypergenesis Zone]. Moscow: Nauka, 1978. 287 p.
35. Shatilov I. S., Zamaraev A.G., Chepovskaya G.V. *Khimicheskiy sostav atmosferykh osadkov i poverhnostno-stekaemykh vod* [Chemical Composition of Precipitation and Flow Down Rivers]. *Doklady VASHNIL* [Reports of VASKHNIL]. 1977. № 6. Pp. 1-3.
36. Saarman T. E. *O postuplenii mineralnykh veshchestv iz elovo-listvennogo opada v buruyu psevdopodzolistuyu pochvu* [Supply of Mineral Elements out from the Needle and Leaf Litter in the Brown Pseudopodzolic Soil]. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva* [Bulletin of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute]. 1979. Issue 20. Pp. 19-21.
37. Glukhova T. V. *Postuplenie s osadkami i vynos elementov mineralnogo pitaniya s osushennykh lesnykh verkhovykh bolot* [Supply of Mineral Elements with Precipitation and Loss of Mineral Elements in the Drained Forest Raised Bogs]. *Osvoenie osushennykh zemel v Mariyskoy ASSR i uskorenie nauchno-tekhnicheskogo progressa v gidrolesomeliatsii* [Development of Drained Lands in Mari ASSR and Acceleration of Scientific and Technical Progress in Hydroforestmelioration]. Yoshkar-Ola: Redaktsionno-izdatelskiy otdel Goskomizdata Mariyskoy ASSR, 1986. Pp. 44-45.
38. Pozdnyakov L. K. *O roli osadkov, pronikayushchikh pod polog lesa, v protsesse obmena veshchestv mezhdru lesom i pochvoy* [On the Role of Precipitation, Penetrating under the Forest Cover in Course of Metabolism between Forest and Soil]. *Doklady AN SSSR* [Reports of AN USSR]. 1956. Vol. 107, № 5. Pp. 753-756.
39. Morozova R. M., Kulikova V.K. *Rol atmosferykh osadkov v krugovorote azota i zolnykh elementov v elovykh lesakh Karelii* [Role of Precipitation in Circulation of Nitrogen and Ash Elements in the Spruce Forest of Karelia]. *Pochvennyye issledovaniya v Karelii* [Studies of the Forest in Karelia]. Petrozavodsk: Institut lesa KF AN SSSR, 1974. Pp. 143-161.
40. Vtorova V. N. *Rol atmosferykh osadkov v obmennykh protsessakh khvoynykh lesov Podmoskovya* [Role of Precipitation in Metabolism of Coniferous Trees in Moscow Oblast]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1978. № 6. Pp.52-67.
41. Uchvatov V. P., Glazovskiy N.F. *Transformatsiya khimicheskogo sostava prirodnykh vod v lesnom landshafte kak pokazatel ego biogeokhimicheskogo funktsionirovaniya* [Transformation of Chemical Composition Natural Water in Forest Landscape as an Indicator of its Biochemical Functioning]. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Geogr.* [News of AN SSSR. Series «Geography»]. 1984. № 1. Pp. 101-109.
42. Uchvatov V. P. *Geokhimicheskaya ekologiya lesnogo landshafta Prioksko-Terrasnogo biosfernogo*

zapovednika [Geochemical Ecology of Forest Landscape in Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve]. *Ekologiya* [Ecology]. 1995. № 4. Pp. 268-273.

43. Bakhnov V. K. *Biogeokhimicheskie aspekty bolotoobrazovatel'nogo protsessa* [Biochemical Aspects of Bog-Forming Process]. Novosibirsk: Nauka, 1986. 193 p.

44. Elpatevskiy P. V. *Geokhimiya migratsionnykh potokov v prirodnykh i prirodno-tekhnogennykh sistemakh* [Ecogeochemistry Migration Flows in the Natural and Natural and Anthropogenic Systems]. Moscow: Nauka, 1993. 253 p.

45. Khrustaleva M. A. *Ekogeokhimiya morennykh landshaftov tsentra Russkoy ravniny* [Ecogeochemistry of Morainic Landscapes in the Centre of Russian Plain]. Moscow: Tekhnopoligrafitsentr, 2002. 315 p.

46. Sviridova I.K. Rezultaty izucheniya vymyvaniya azota i zolnykh elementov dozhdevymi osadkami iz kron drevesnykh porod [Results of Study of Leaching of Nitrogen and Mineral Constituents Caused by Rainfall out from the Crowns of Woody Species]. *Doklady AN SSSR* [Reports of AN SSSR]. 1960. Vol. 133, № 3. Pp. 706-708.

47. Masilyunas L. I., Paulyukyavichus G.B. Nekotorye dannye o khimicheskom sostave atmosferynykh osadkov i vymyvaniy khimicheskikh veshchestv iz kron derevev [Some Data about Precipitation Composition and Outwashing of Chemical Elements out from the Crown of Trees]. *Trudy AN Litovskoy SSR. Seriya Biologiya*. [Transactions of AN of Lithuanian SSR. Series «Biology»]. 1963. Vol. 1. Pp. 45-51.

48. Kolodyazhnaya A. A. *Rezhim khimicheskogo sostava atmosferynykh osadkov i ikh metamorfizatsiya v zone aeratsii* [A Mode for Precipitation Composition and Their Metamorphization in the Zone of Aeration]. Moscow-Leningrad: Izdatelstvo AN SSSR, 1963. 164 p.

49. Mina V. N. Vyshchelachivanie nekotorykh veshchestv atmosferynymi osadkami iz drevesnykh rasteniy i ego znachenie v biologicheskom krugovorote [Leaching-out of Some Elements by Atmospheric Precipitation from Woody Plants and Its Significance in Biological Cycle]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1965. № 6. Pp. 7-17.

50. Mina V. N. Vliyanie osadkov, stekayushchikh po stvolam derevev, na pochvu [Influence of Precipitation, Flowing down by the Stems of Trees on the Soil]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1967. № 10. Pp. 44-52.

51. Attiwil P. M. The Chemical Composition of Rainwater of Relation to Cycling of Nutrients in Nature Eucalyptus Forest. *Plant and Soil*. 1966. Vol. 24. № 3. Pp. 6-10.

52. Carlisle A., Brown A.H.F. The Nutrient Content of Tree Stem Flow and Ground Flours Litter and Lea chutes in a Sessile Oak (*Quercus petraea*) Woodland. *J. of Ecology*. 1967. Vol. 55. № 3. Pp. 615-627.

53. Tukey H. B. J. Leaching of Substances from Plants. *Ann. Rev. of plant physiology*. 1970. Vol. 21. Pp. 305-324.

54. Gersper P., Holowaychuk H. Some Effect of Stem Flow from Forest Canopy Trees on Chemical properties of soils. *Ecology*. 1971. Vol. 52. № 4. Pp. 230-239.

55. Kulagina M. L. Khimizm dozhdevykh osadkov, pronikayushchikh pod polog lesa v Krasnoyarskoy lesostepi [Chemistry of Rain Precipitation, Reaching Forest Cover in Krasnoyarsk Forest-Steppe]. *Gidroklimaticheskie issledovaniya v lesakh Sibiri* [Hydroclimatic Studies in the Forests of Siberia]. Moscow: Nauka, 1967. Pp. 56-64.

56. Sokolov A. A. Khimicheskiy sostav atmosferynykh osadkov, proshedshikh skvoz polog elovogo i berezovogo drevostoya [Chemical Composition of Precipitation, Penetrating Fir and Birch Stands]. *Lesovedenie* [Silviculture]. 1972. № 3. Pp. 103-106.

57. Sysuev V. V. O mekhanizme izmeneniya khimicheskogo sostava atmosferynykh vod pod pologom lesa [On the Procedure to Change the Chemical Composition of Atmospheric Water under Forest Canopy]. *Vestnik MGU. Ser. Geografiya*. [Vestnik of MSU. Ser. Geography.]. 1975. № 5. Pp. 107-110.

58. Likens G. E., Borman F.H., Pierce R.S., Eaton J.S., Johnson N.M. *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem*. New-York: Springer, 1977. 148 p.

59. Miller H. G., Miller J.D. Collection and Retention of Atmospheric Pollutants by Vegetation. *Intern. Conf. of Ecological Impact of Acid Precipitation*. Oslo, AAS, 1980. Pp. 33-40.

60. Fuhrer J., Fuhrerfries C. Interactions between Acidic Deposition and Forest Ecosystem Processes. *European J. of forest pathology*. 1982. Vol. 12. № 6-7. Pp. 377-391.

61. Glazovskiy N.F., Uchvatov V.P. Khimicheskiy sostav atmosferynoy pyli i ego izmenenie posle osazhdeniya na krony derevev [Chemical Composition of Atmospheric Dust and Its Change after the Fall on the Crowns]. *Vzaimodeystvie lesnykh ekosistem i atmosferynykh zagryazniteley. Ch. II*. [Interaction of Forest Ecosystems and Atmospheric Pollutants. P. II.]. Tallinn: Estonskiy NIILKHOP, 1982. Pp. 67-87.

62. Lindberg E. S., Harris R. C. Water and Acid Soluble Trace Metals in Atmospheric Particles. *Geophysic Res*. 1983. Vol. 88. № 9. Pp. 1177-1191.

63. Richter D. D., Johnson D. W., Todot D.E. Atmosphere Sulfur Deposition, Neutralization and Ion Leaching in Two Deciduous Forest Ecosystems. *Environ. Quail*. 1983. Vol. 12. Pp. 112-123.

64. Ulrich B. Effect of Air Pollution on Forest Ecosystems and Water. The Principles Demonstrated at a Case Study in Central Europe. *Atmospheric Environ*. 1984. Vol. 18. Pp. 72-84.

65. Rehfuess K. T. *Waldboden*. Hamburg: Paul Parey, 1990. 296 p.

66. Medvedev L. V., Shitikova T.E., Alekseenko V.A. Transformatsiya zhidkikh atmosferykh osadkov drevostoyami yuzhnoy taygi (na primere Valdaya) [Transformation of Rains by the Stands of Southern Taiga (based on the example of Valdai)]. *Struktura i funktsionirovanie ekosistem yuzhnoy taygi* [Structure and Functioning of Ecosystems in South Taiga]. Moscow: Nauka, 1986. Pp. 26-55.
67. Alekseenko V. A. Postuplenie mikroelementov iz atmosfery i ikh sodержanie v prirodnykh vodakh lesnogo vodosbora [Microelements Entry from the Atmosphere and their Content in the Water of Forest Water-Shed Area]. *Ekologiya* [Ecology]. 1988. № 3. Pp. 71-73.
68. Karpachevskiy L. O., Zubkova T.A., Proysler T., et al. Vozdeystvie pologa elnika slozhnogo na khimicheskii sostav osadkov [Influence of the Canopy of Spruce Forest on the Composition of Precipitation]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 1998. № 1. Pp. 50-59.
69. Nikonov V. V., Lukina N.V. Vliyanie eli i sosny na kislotnost i sostav atmosferykh vypadeniy v severo-taehznykh lesakh industrialno razvitolgo rayona [Influence of Fir and Pine on the Acidity and Composition of Precipitation in North-Taiga Forests of the Industrially-Developed Regions]. *Ekologiya* [Ecology]. 2000. № 2. Pp. 97-105.
70. Pristova T. A. Vliyanie drevesnogo pologa listvenno-khvoynogo nasazhdeniya na khimicheskii sostav osadkov [Influence of the Canopy of Hardwood and Softwood Stand on the Composition of Precipitation]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2005. № 5. Pp. 49-55.
71. Marunich S. V., Burov A.S., Kuznetsov Yu.N., Nedogarko I.V. Transformatsiya khimicheskogo sostava atmosferykh osadkov pologom drevostoya yuzhno-taehznykh lesov [Transformation of Chemical Composition of Precipitation by the Stands Cover in the South-Taiga Forests]. *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya* [News of RAN. Series «Geography»]. 2006. № 4. Pp. 52-57.
72. Arhegova I. B., Arhegova I.B., Kuznetsova E.G. Vliyanie drevesnykh rasteniy na khimicheskii sostav atmosferykh osadkov v protsesse vosstanovleniya srednetaehznykh lesov [Influence of Woody Plants on the Chemical Composition of Precipitation in the Course of Middle Taiga Forest Rehabilitation]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2011. № 3. Pp. 34-43.
73. Robakidze E. A., Gormonova N.V., Bobkova K.S. Khimicheskii sostav zhidkikh atmosferykh osadkov v starovozrastnykh elnikakh sredney taygi [Precipitation Composition in the Old Spruce Forest in the Middle Taiga]. *Geokhimiya* [Geochemistry]. 2013. № 1. Pp. 72.
74. Morozova R. M. Biologicheskii krugovorot veshchestv v sosnyakakh brusnichnykh i lishaynikovyykh [Biological Cycle of Chemical Elements in Pine Forests of Different Type]. *Pochvy sosnovyykh lesov Karelii* [Soils of Karelia Pine Forests]. Petrozavodsk: KF AN SSSR, 1978. Pp. 85-112.
75. Glebov F. Z., Glebov F.Z., Toleiko L.S. *O biologicheskoy produktivnosti bolotnykh lesov, lesoobrazovatelnom i bolotoobrazovatelnom protsesakh* [About Biological Productivity of Swamp Forests, Forest-Forming and Swamp-Forming Processes]. *Botanicheskii zhurnal* [Botanical Journal]. 1975. Vol. 60, № 9. Pp. 13-17.
76. Demakov Yu. P., Maishanova M.I. Ispolzovanie metoda tkanevoy absorbtzii dlya otsenki aeralnykh vypadeniy pyli [Usage of the Methods of Tissue Absorption to Assess Aerial Dusting]. *Teoreticheskie i prikladnye problemy nauki i obrazovaniya v 21 veke: sb. nauch. tr. po materialam Mezhdunarod. zaoch. nauchno-prakt. konf. Ch. 2.* [Theoretical and Applied Problems of Science and Education in the 21st Century: collected papers based on the proceedings of International Distance Research and Practical Conference. P. 2.]. Tambov: Publishing house of Tambov State University, 2012. Pp. 53-55.
77. Demakov Yu. P., Shvetsov S.M., Maishanova M.I. Izmenenie zolnogo sostava khvoi, kory i drevesiny sosny v zone vybrosov zavoda silikatnogo kirpicha [Change of Ash Composition of Niddle, Bark and Pine Wood in the Zone of Emission of the Silex Brick Factory]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie.* [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.]. 2012. № 1. Pp. 85-95.
78. Demakov Yu. P., Maishanova M.I., Goncharov E.A., et al. *Vozdeystvie zavoda silikatnogo kirpicha na sostoyanie i strukturu sosnovogo biogeotsenoza* [Influence of a Silex Brick Factory on the State and Structure of Pine Biogeocenosis]. Yoshkar-Ola: PGU, 2013. 192 p.
79. Demakov Yu. P., Isaev A.V., Talantsev V.I. Ispolzovanie tkanevykh povyazok dlya otsenki aeralnykh postupleniy zolnykh elementov [Usage of Tissue Bandage to Assess Aerial Entrance of Ash Elements]. *Nauchnye trudy gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika «Bolshaya Kokshaga»* [Research Papers of State Natural Reserve «Bolshaya Kokshaga»]. Yoshkar-Ola: MarSU, 2013. Issue 6. Pp. 48-55.
80. Lukina I. V., Nikonov V.V. *Biogeokhimicheskie tsikly v lesakh Severa v usloviyakh aerotekhnogennoy zagryazneniya* [Biochemical Cycles in the Northern Forests in Conditions of Aerotechnogenic Pollution]. Apatity: KNTS RAN, 1996. In 2 parts. P. 1. 213 p. P. 2. 192 p.
81. Yarmishko V. T. *Sosna obyknovennaya i atmosfernoe zagryaznenie na evropeyskom severe* [Scots Pine and Atmospheric Pollution in the North of the European Part of Russia]. Saint-Petersburg: OOO «VVM», 1997. 210 p.
82. Tsvetkov V. F., Tsvetkov I.V. *Les v usloviyakh aerotekhnogennoy zagryazneniya* [Forest in

Conditions of Air-Technogenic Pollution.]. Arkhangel'sk, 2003. 354 p.

83. Problemy ekologii rastitelnykh soobshchestv Severa. Pod red. V. T. Yarmishko [Problems of Ecology of Plant Communities in the North. Under the editorship of V. T. Yarmishko]. Saint-Petersburg: LLC «VVM», 2005. 450 p.

84. Martynyuk A. A. Osobennosti formirovaniya nadzemnoy fitomassy sosnovykh molodnyakov v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya [Peculiarities of Forming of Aerial Phytomass of Young Pine Forest in Conditions of Technogenic Pollution]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2008. № 1. P. 39-45.

85. Usoltsev V. A., Vorobeychik E.L., Bergman I.E. Biologicheskaya produktivnost lesov Urala v usloviyakh tekhnogenogo zagryazneniya: issledovanie sistemy svyazey i zakonomernostey [Biological Productivity of the Ural Forests in Conditions of Technogenic Pollution: Study of the System of Regularities]. Ekaterinburg: UGLTU, 2012. 366 p.

86. Korovin N. V., Stepanchik V.V., Kholodilova L.V. *Negativnoe vliyanie tekhnogenogo atmosfernogo zagryazneniya na sosnovye nasazhdeniya i puti ego snizheniya (na primere Gomelskogo promyshlennogo rayona)* [Negative Influence of Technogenic Atmospheric Pollution on Pine Plantations and Ways to Change the Situation for the Best (based on Gomel industrial region)]. Bryansk: BGITA, 2003. 143 p.

87. Shelukho V. P. *Bioindikatsiya khronicheskogo promyshlennogo vozdeystviya shchelochnogo tipa na komponenty khvoynykh lesonasazhdeniy* [Bioindication of Constant Industrial Influence of Alkaline Type on the Components of Coniferous Plantations]. Bryansk: BGITA, 2001. 205 p.

88. Glazovskiy N.F., Zlobina A.S., Uchvatov E.D. Ispolzovanie snezhnogo pokrova v indikatsii zagazovannosti promyshlennykh rayonov [Usage of Snow to Indicate Air Pollution in the Industrial Districts]. *Regionalnyy ekologicheskiy monitoring* [Regional Ecological Monitoring]. Moscow: Nauka, 1986. Pp. 79-83.

89. Virtsavs M. V., Stepanov A.M., Sychev V.V. *Metodicheskoe posobie po prigotovleniyu sukhikh kontsentratsiy zagryaznennykh prirodnykh vod dlya khimicheskogo analiza na sodержание mikroelementov* [Study Guide on Preparation of Dry Concentration of Polluted Water for the Chemical Analysis (Content of Microelements)]. Moscow: TSEPL RAN, 1992. 33 p.

90. Kozlov M. V. Snowpack Changes around a Nickel-Copper Smelter at Monchegorsk, Northwestern Russia. *Can. J. For. Res.* 2001. Vol. 31. Pp. 1684-1690.

91. Armolaitis K.E., Vaichis M.V., Kubyartavichene L.V., Raguotis A.D. Vliyanie vybrosov tsementnogo zavoda na fiziko-khimicheskie svoystva

lesnykh pochv [Influence of Cement Factory Emissions on Physical and Chemical Properties of Forest Soils]. *Pochvovedenie* [Pedology]. 1995. № 9. P. 1160-1165.

92. Berinya D.Zh., Lapinya I.M. Emissiya industrialnoy kaltsisoderzhashchey pyli i okruzhayushchaya sreda [Emission of the Industrial Lime Dust and Environment]. *Zagryaznenie prirodnoy sredy kaltsisoderzhashchey pylyu* [Environment Pollution by Lime Dust]. Riga: Zinatne, 1985. Pp. 7-14.

93. Barkan V. Sh. Opyt ispolzovaniya passivnykh okisno-svintsovykh poglotiteley dlya otsenki kontsentratsii sernistogo gaza v atmosfere [An Experience of Usage of Passive Absorbers to Assess Concentration of Sulfur Vapor in the Atmosphere]. *Ekologiya* [Ecology]. 1992. № 4. Pp. 37-44.

94. Nikodemus O.E., Raman K.K. K metodike opredeleniya nakopleniya zagryaznyayushchikh elementov v lesnykh nasazhdeniyakh [To the Methods of Definition of Accumulation of Polluting Elements in Forest Stands]. *Vliyanie promyshlennogo zagryazneniya na lesnye ekosistemy i meropriyatiya po povysheniyu ikh ustoychivosti* [Influence of Industrial Pollution on Forest Ecosystems and the Actions to Improve their Sustainability]. Kaunas-Girionis: Litovskiy NIILKH, 1984. Pp. 30-31.

95. Sharkovskis P. A., Nikodemus O.E. Soderzhanie metallov v produktakh emissii na pridorozhnoy polose avtodorog Latvii [Content of the Metal in Emission Products on the Roadside of Motorroads of Latvia]. *Vliyanie vybrosov avtotransporta na prirodnyuyu sredu* [Influence of Auto Transport Emissions on Environment]. Riga: Zinatne, 1989. Pp. 5-21.

96. Zubareva O. N., Skripalshchikova L.N., Perevozchikova V.D. Akkumulyatsiya pyli komponentami berezovykh fitotsenozov v zone vozdeystviya izvestkovykh karerov [Dust Accumulation by the Components of Birch Phytocenosis in the Zone of Limestone Quarry]. *Ekologiya* [Ecology]. 1999. № 5. Pp. 339-343.

97. Koptsiik G. N., Lukina V.N., Koptsik S.V., et al. Pogloshchenie makroelementov i tyazhelykh metallov elyu pri atmosfernom zagryaznenii na Kolskom poluostrove [Macroelements and Heavy Metals Absorbption by Fir in Atmospheric Pollution at the Kola Peninsula]. *Lesovedenie* [Sylviculture]. 2008. № 2. Pp. 3-12.

98. Metodika vypolneniya izmereniy valovogo sodержaniya medi, kadmiya, tsinka, svintsa, nikelya, margantsa, kobalta, khroma metodom atomno-absorbtsionnoy spektroskopii [A Technique to Measure the Content of Cuprum, Cadmium, Zink, Plumbum, Nickel, Manganese, Cobalt, Chrome by Means of Atomic Absorption Spectroscopy]. Moscow: FGU FTSAO, 2007. 20 p.

99. Metody biogeokhimicheskogo issledovaniya rasteniy: pod red. A.I. Ermakova [Methods of Biogeo-

chemical Study of Plants: under the editorship of A.I. Ermakov]. Leningrad: Agropromizdat, 1987. 450 p.

100. Kurbanov E. A., Vorobyev O.N., Polevshchikova Yu.A., et al. Sravnitelnyy analiz sputnikovyykh snimkov vysokogo razresheniya pri deshifirovani drevostoev, zagryaznennykh otkhodami silikatnogo proizvodstva [Comparative Analysis of Satellite Shots of High Resolution in Decoding the Stands, Polluted by the Silicate

Manufacturing Wastes]. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Ser. Les. Ekologiya. Prirodopolzovanie*. [Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management.]. 2013. № 2 (18). Pp. 74-90.

101. Kramer L., Kozlovskiy T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of Woody Plants.]. Moscow: Goslesbumizdat, 1963. 628 p.

The article was received 19.01.15.

Citation for an article: Demakov Yu. P., Isaev A. V. Influence of aerial income of elements on their circulation in forest ecosystems. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature Management*. 2015. No 1 (25). Pp. 66-86.

Information about the authors

DEMAKOV Yuriy Petrovich – Doctor of Biological Sciences, Professor at the Chair of Ecology, Pedology and Nature Management at the Volga State University of Technology, chief researcher at the state national reserve «Bolshaya Kokshaga». The author of 270 publications, including 10 monographs and study guides.

ISAEV Alexander Viktorovich – Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Director for Science at the state national reserve «Bolshaya Kokshaga». Research interests – biogeocenology, forest pedology. The author of 35 publications, including 1 monograph.