

УДК 504.5:[669.018.674:551.51](470.21)

В. В. Ершов, Л. Г. Исаева, Н. В. Поликарпова

Содержание тяжелых металлов в атмосферных выпадениях в окрестностях заповедника "Пасвик"

Проведена оценка динамики состава тяжелых металлов в атмосферных выпадениях сосновых и березовых биогеоценозов вблизи заповедника "Пасвик" с учетом влияния аэротехногенного загрязнения. Объектами исследования послужили две мониторинговые площадки, расположенные в березняке разнотравном и сосняке кустарничково-зеленомошном в западном направлении от комбината "Печенганикель" (Мурманская область), который является мощным источником выбросов сернистого газа и тяжелых металлов в атмосферу. Исследуемый период наблюдения по атмосферным выпадениям в виде снега составил 5 лет (2009–2013 гг.), в виде дождя – 3 года (2010–2012 гг.). Для отбора проб атмосферных выпадений в виде снега пробные площади были оборудованы 8 снегосборниками (6 – под пологом леса, 2 – на открытой территории), для отбора проб в виде дождя – 23 осадкоприемника (20 – под пологом леса и 3 – на открытой территории). Отбор снега и дождевых вод проводился каждые четыре недели. Содержание тяжелых металлов (Cu, Ni, Pb, Cd, Cr, Co) определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. В результате проведенных исследований выявлена существенная межбиогеоценозическая вариабельность состава атмосферных выпадений в виде снега и дождя как в сосновых, так и в березовых биогеоценозах в долине реки Паз на территории заповедника "Пасвик" и его окрестностях. Обнаружены превышения критических нагрузок в атмосферных выпадениях меди, а также превышение значений предельно допустимых концентраций для данного металла в обоих типах леса как в осадках, прошедших сквозь древесный полог, так и на открытых участках. Для остальных металлов ситуация выглядит более стабильно, в частности по содержанию никеля в атмосферных выпадениях превышение ПДК_{рбхз} не отмечено.

Ключевые слова: атмосферные выпадения, аэротехногенное загрязнение, сосновые леса, березовые леса, тяжелые металлы

Информация о статье: поступила в редакцию 14.12.2018; получена после доработки 01.02.2019

Введение

Лесные экосистемы Кольского полуострова, произрастая в суровых условиях, испытывают также существенное влияние атмосферного промышленного загрязнения [1]. На территории Мурманской области в пгт. Никель расположен комбинат "Печенганикель" (АО "Кольская ГМК"), который является мощным источником выбросов сернистого газа, оксида углерода, диоксида азота и тяжелых металлов в атмосферу¹. Долговременное воздействие аэротехногенных выбросов комбината "Печенганикель" привело к значительным нарушениям функционирования лесных экосистем [2–4], загрязнению почв тяжелыми металлами [5–6].

В восьмидесятые годы прошлого столетия в районах Центральной Европы состояние и жизнеспособность лесных экосистем стали вызывать общественное и политическое беспокойство из-за обширного повреждения лесов, которое было вызвано промышленным воздушным загрязнением. Для того чтобы получить представления о механизмах воздействия атмосферного загрязнения на лесные экосистемы, под эгидой Европейской экономической комиссии ООН (UN-ECE) и ЕС была создана Международная совместная программа по оценке и мониторингу воздействия загрязнения воздуха на леса ICP Forests [7]. В 2009 г. Институт проблем промышленной экологии Севера (ИППЭС) КНЦ РАН принял активное участие в программе ICP Forests, направленной на установление взаимосвязей между состоянием лесных экосистем и природными и антропогенными факторами посредством мониторинга². В государственном природном заповеднике "Пасвик" были заложены две постоянные пробные площади по программе ICP Forests. Заповедник расположен на севере таежной зоны в северо-западной части Мурманской области вдоль российско-норвежской границы в долине реки Паз [8], в полосе редкостойных северотаежных лесов. Крайняя северная точка заповедника располагается примерно в 20 км от комбината "Печенганикель" [9].

Цель данного исследования – определить содержание тяжелых металлов в атмосферных выпадениях заповедника "Пасвик" с учетом влияния полога леса и аэротехногенного загрязнения.

Материалы и методы

Объектами исследования послужили две площадки постоянного наблюдения (ППН). ППН 1 (5b-09) расположена в березняке разнотравном в 50 км к юго-западу от источника загрязнения (южная часть заповедника, рядом с островом Варлама). Древесный ярус представлен *Betula pubescens* Ehrh.s. l. с единичным присутствием *Pinus sylvestris* L. и *Salix borealis* (Fries) Nasar., в подлеске *Salix caprea* L., *Salix phylicifolia* L.

¹ Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2017 году. Ежегодник. Министерство природных ресурсов и экологии Мурманской области. Мурманск, 2018. 165 с.

² Методика мониторинга лесов по международной программе ICP Forests. М., 2008. 46 с.

и *Juniperus sibirica* Burgsd. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Vaccinium vitis-idaea* L., *Deschampsia cespitosa* (L.) Beauv., *Equisetum sylvaticum* L., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop., *Lycopodium dubium* Ziega, *Vicia cracca* L., покрытие яруса 70–80 %. Мохово-лишайниковый ярус в основном представлен мхами *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. in S.B.G. и *Polytrichum commune* Hedw., покрытие яруса 50–70 %.

ППН 2 (4р-09) находится в сосняке кустарничково-зеленомошном в 75 км к юго-западу от комбината (в окрестностях бывшего поселка Янискоски). Древесный ярус состоит из *Pinus sylvestris* L. с присутствием *Betula pubescens*. Подлесок отсутствует. Покрытие травяно-кустарничковым ярусом варьирует от 50 до 95 %, в ярусе доминируют следующие виды: *Vaccinium vitis-idaea* L., *Empetrum hermaphroditum* Hagerup и *Ledum palustre* L. Покрытие мохово-лишайниковым ярусом – 80–90 %, доминирующие виды: мхи *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* и лишайники *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar et Vězda, *Cl. rangiferina* (L.) Weber ex F. H. Wigg., *Cl. arbuscula* (Wallr.) Flot.

Исследуемый период наблюдения для площадок 5б-09 и 4р-09 составил 5 лет (с 2009 по 2013 гг.) для снеговых выпадений и 3 года для выпадений в виде дождя (с 2010 по 2012 гг.). Для отбора проб атмосферных выпадений в виде снега пробные площади были оборудованы 8 снегосборниками (6 – под пологом леса, 2 – на открытой территории), для отбора проб в виде дождя – 23 осадкоприемника (20 – под пологом леса и 3 на открытой территории). Отбор снега и дождевых вод проводился каждые четыре недели, при этом выполнялось измерение объема осадков на каждом приемнике и их общий объем. Осадки с каждого приемника сливались в одну емкость, смешивались, затем отбирался 1 литр смешанной пробы на анализ. Для изучения химического состава атмосферных выпадений пробы подвергались глубокой заморозке до начала анализов. Содержание тяжелых металлов (Cu, Ni, Pb, Cd, Cr, Co) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Excel 2007. Для сравнения внутри- и межбиогеоценологических различий применяли критерий Манна – Уитни и программу Statistica 10.

Результаты и обсуждение

Среди тяжелых металлов в составе атмосферных выпадений в виде снега в сосновом фитоценозе наибольшие концентрации наблюдаются у никеля, меди и свинца в подкороновых пространствах (табл.).

Таблица. Концентрация тяжелых металлов (мг/л) в атмосферных выпадениях (среднее за период 2009–2013 гг.)
Table. The concentration of heavy metals (mg/l) in atmospheric deposition (average for the period 2009–2013)

ППН	Значение	Cu	Ni	Cr	Pb	Co	Cd
Снеговые выпадения							
4р-09. Прошедшие сквозь древесный полог	<i>M</i>	0,0040	0,0032	0,0001	0,0005	0,0004	0,0001
	<i>m</i>	0,0007	0,0006	0,00002	0,0001	0,0001	0,00001
4р-09. Открытая территория	<i>M</i>	0,0022	0,0010	0,0001	0,0001	0,0003	0,00004
	<i>m</i>	0,0004	0,0001	0,00002	0,00002	0,0001	0,00001
5б-09. Прошедшие сквозь древесный полог	<i>M</i>	0,0037	0,0031	0,0001	0,0005	0,0005	0,0001
	<i>m</i>	0,0007	0,0006	0,00002	0,0002	0,0002	0,00001
5б-09. Открытая территория	<i>M</i>	0,0025	0,0011	0,0001	0,0002	0,0003	0,00004
	<i>m</i>	0,0004	0,0001	0,00004	0,0001	0,0002	0,00001
Дождевые выпадения							
4р-09. Прошедшие сквозь древесный полог	<i>M</i>	0,0040	0,0041	0,0002	0,0003	0,0003	0,00005
	<i>m</i>	0,0005	0,0004	0,0001	0,0001	0,00005	0,00001
4р-09. Открытая территория	<i>M</i>	0,0023	0,0016	0,0002	0,0001	0,0002	0,00003
	<i>m</i>	0,0004	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,00001
5б-09. Прошедшие сквозь древесный полог	<i>M</i>	0,0053	0,0097	0,0003	0,0003	0,0003	0,00004
	<i>m</i>	0,0009	0,0053	0,0002	0,00005	0,0001	0,00001
5б-09. Открытая территория	<i>M</i>	0,0036	0,0021	0,0001	0,0001	0,0002	0,00003
	<i>m</i>	0,0010	0,0004	0,00005	0,0000	0,0001	0,00001

Примечание. *M* – среднее значение, *m* – стандартная ошибка.

В межкороновых пространствах соснового леса в снеговых водах доминируют концентрации меди, никеля и кобальта. В дождевых выпадениях в подкороновых пространствах преобладают медь и никель, после них следуют свинец и кобальт, в межкороновых – также доминируют концентрации меди и никеля, затем следуют хром и кобальт. Сравняя внутрибиогеоценологические различия в снеговых выпадениях, важно отметить, что концентрации меди и никеля до 3 раз, а содержание свинца в 5 раз достоверно ($p < 0,05$) выше в осадках, прошедших сквозь древесный полог, по сравнению с открытой территорией. В выпадениях

в виде дождя наблюдается аналогичная ситуация концентрации меди и никеля – достоверно выше до 2,5 раз, свинца – в 3 раза в подкروновых пространствах, чем в межкروновых.

В березовом биогеоценозе в составе атмосферных выпадений в виде снега в подкроновых пространствах доминировали концентрации меди, никеля и свинца (табл.). На открытой территории лидируют концентрации меди и никеля, а также кобальта. В дождевых водах, прошедших сквозь древесный полог, самые высокие концентрации наблюдаются у никеля и меди, у всех остальных металлов, за исключением кадмия, отмечаются равные значения. На открытой территории также доминируют концентрации меди и никеля, затем идет кобальт. Достоверные внутрибиогеоценозические различия в снеговых выпадениях обнаруживаются только у никеля, его концентрации в снегу в подкроновых пространствах в 3 раза выше, чем на открытой территории. В дождевых атмосферных выпадениях концентрации никеля в 4,6 раз, меди и кобальта в 1,5 раза, а свинца в 3 раза в осадках, прошедших сквозь древесный полог, достоверно ($p < 0,05$) выше, чем на открытой территории. Данные тенденции как в сосновых, так и в березовых биогеоценозах подтверждают тот факт, что проходящие сквозь древесный полог атмосферные осадки становятся более концентрированными, чем на открытых участках, древесные растения выступают в роли аккумулятора для соединений тяжелых металлов.

Содержание тяжелых металлов в атмосферных выпадениях служит информативной матрицей для оценки негативного воздействия поллютантов на лесные экосистемы. Одним из активно развивающихся подходов к такой оценке является концепция критических нагрузок. Понятие "критическая нагрузка" – это показатель, который характеризует максимальную количественную оценку воздействия загрязнителей на единицу площади ландшафта, ниже которого не происходит существенных негативных процессов для конкретных чувствительных элементов среды [10]. Представляется целесообразным сравнение уровней выпадений меди и никеля в окрестностях заповедника "Пасвик" с установленными в международной практике критическими уровнями с учетом меж- и внутрибиогеоценозических различий выпадений.

Критический уровень общих выпадений (со снегом и дождем) в Центральной Лапландии (Финляндия) составляет для никеля – 10, а для меди – 5 г/га в год [11]. В сосновых лесах долины реки Паз в атмосферных выпадениях, прошедших сквозь древесный полог, содержание меди в 2010 г. составило 9, в 2011 – 8, а в 2012 г. – 11 г/га, что превышает уровень критических нагрузок почти в два раза. Для никеля с 2010 по 2012 гг. эти показатели варьировали от 6 до 9 г/га, что ниже установленного уровня критических нагрузок. Содержание меди в осадках, выпавших на открытой территории, в 2010 г. составляло 9, в 2011 – 5, в 2012 г. – 9 г/га, что за исключением 2011 г. выше данного уровня нагрузки почти в 2 раза; для никеля значения составляли 6, 4 и 3 г/га соответственно, что ниже данного критического уровня. В атмосферных выпадениях березовых биогеоценозов, контактирующих с древесным пологом, содержание меди в 2010 г. составило 12, в 2011 – 10 и в 2012 г. – 11 г/га, это более чем в 2 раза превышает уровень критических пределов. Содержание никеля в 2010 и в 2011 гг. было сопоставимо с уровнем критической нагрузки (10 г/га), а в 2012 г. превысило данный уровень в 1,4 раза. На открытой территории выпадения меди в 2010 г. составляли 9, в 2011 – 8 и в 2012 г. – 14 г/га, что почти в 2, а в случае 2012 г. почти в 3 раза превышает установленный уровень критической нагрузки. Для никеля превышений не обнаружено, выпадения варьировали от 5 до 7 г/га. Как можно увидеть из приведенных выше данных, почти во все года наблюдается превышение критического уровня выпадений меди в атмосферных осадках в отличие от выпадений никеля. Это можно объяснить тем, что критический предел меди в два раза ниже по сравнению с никелем. Также данные АО "Кольская ГМК" с 2010 по 2012 гг. показывают снижение уровня выпадений никеля до уровня меди (рис.).

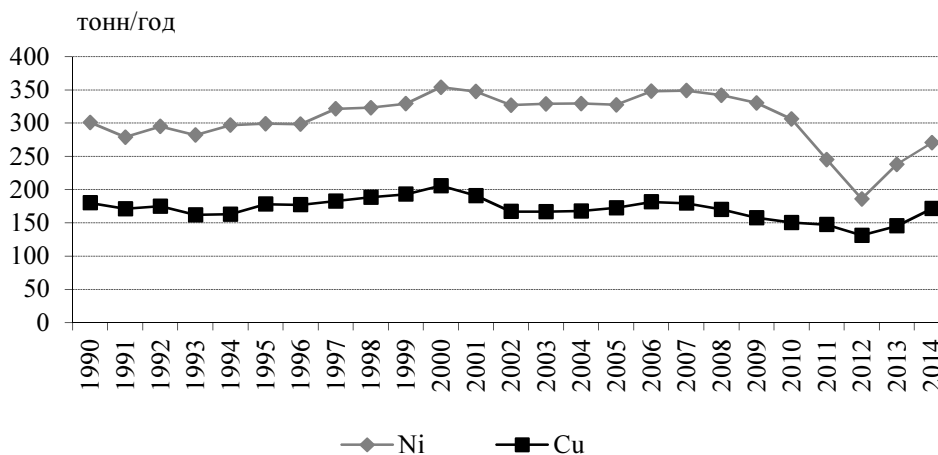


Рис. Динамика выбросов никеля и меди в виде пыли на комбинате "Печенганикель"
(данные АО "Кольская ГМК")

Fig. Dynamics of nickel and copper emissions in the form of dust at the Pechenganickel smelter
(JSC "Kola MMC" data)

Территория заповедника "Пасвик" вытянута узкой полосой вдоль реки Паз, поэтому сравнение концентраций тяжелых металлов в снеговых и дождевых атмосферных выпадениях выполнено с учетом внутрибиогеоценотического варьирования с предельно допустимыми концентрациями этих поллютантов для рыбохозяйственных водоемов – ПДК_{рбхз}³.

Никель

В снеговых атмосферных выпадениях, прошедших сквозь кроны деревьев, в сосновых лесах средние концентрации никеля в год варьировали от 0,002 до 0,004 мг/л (2009–2013 гг.), что в 3 раза меньше, чем ПДК_{рбхз} – 0,01 мг/л. На открытой территории содержание никеля в снеге находилось в пределах от 0,0007 до 0,001 мг/л, что в среднем в 12 раз меньше значения ПДК_{рбхз}. В березовых лесах содержание никеля в снеговых водах, прошедших сквозь древесный полог, за тот же период варьировало от 0,002 до 0,005 мг/л, т. е. в 2,8 раза меньше ПДК_{рбхз}. На открытой территории содержание никеля в среднем в год было в 10 раз меньше, чем его предельно допустимая концентрация, значения колебались от 0,0009 до 0,001 мг/л. В атмосферных выпадениях в виде дождя в сосновом биогеоценозе содержание никеля в осадках, прошедших сквозь кроны, за период с 2010 по 2012 гг. варьировало от 0,003 до 0,005 мг/л, что в 2,5 раза меньше ПДК_{рбхз}. На открытом участке концентрации никеля были в 6 раз меньше ПДК_{рбхз}, значения колебались от 0,0014 до 0,0018 мг/л. В березовом биогеоценозе содержание никеля при контакте дождевой воды с пологом леса находилось в пределах от 0,002 до 0,004 мг/л, т. е. в 3 раза меньше ПДК_{рбхз}. На открытой территории значения колебались от 0,001 до 0,002 – в 6 раз меньше ПДК_{рбхз}.

Медь

Концентрации меди в снеговых выпадениях, прошедших сквозь полог сосновых лесов, колебались от 0,003 до 0,006 мг/л, что в среднем в 4 раза выше ПДК_{рбхз} (0,001 мг/л), на открытой территории значения варьировали от 0,001 до 0,004 мг/л – в 2 раза выше ПДК_{рбхз}. Содержание меди в снеговых водах при контакте с березовым пологом варьировало от 0,002 до 0,006 мг/л, что в среднем в 4 раза превышает ПДК_{рбхз}, на открытых участках – в пределах от 0,002 до 0,004 мг/л, что в 2 раза выше значений предельно допустимых концентраций. В дождевых водах, прошедших сквозь полог сосновых лесов, содержание меди составляло 0,004 мг/л в каждый год исследования, т. е. в 4 раза выше ПДК_{рбхз}, на открытой территории концентрации находились в пределах от 0,002 до 0,003 мг/л – выше в 2,5 раза. В березовых биогеоценозах значения меди в атмосферных осадках, прошедших сквозь древесный полог в виде дождя, находились в пределах от 0,004 до 0,006 мг/л, а на открытой территории – от 0,002 до 0,005 мг/л, что в среднем выше ПДК_{рбхз} в 5 и 3,5 раза соответственно.

Хром

В снеговых водах в сосновых и березовых лесах значения хрома варьировали от 0,00001 до 0,0002 мг/л как в осадках, прошедших сквозь древесный полог, так и открытой территории, что в среднем в 200 раз ниже ПДК_{рбхз} (0,02 мг/л). В дождевых водах в сосновых лесах как под пологом леса, так и на открытом участке концентрации хрома варьировали от 0,0001 до 0,0005 мг/л, что в среднем за каждый год исследования в 100 раз меньше, чем ПДК_{рбхз}. В березовых лесах концентрации в осадках данного металла находились в пределах от 0,0002 до 0,0006 при контакте с пологом леса, что в 66 раз меньше значений ПДК_{рбхз}, на открытой территории – в пределах от 0,00004 до 0,0002, т. е. в среднем меньше в 200 раз.

Свинец

Предельно допустимая концентрация для свинца – 0,006 мг/л, что в 12 раз выше, чем содержание этого тяжелого металла в снеговых выпадениях, прошедших сквозь кроны сосновых лесов на исследуемых площадях, средние значения колебались от 0,0001 до 0,001 мг/л. На открытой территории вариабельность концентраций была от 0,00004 до 0,0001, что в среднем меньше в 75 раз. В березовых лесах содержание свинца в снеговых водах, прошедших сквозь древесный полог, варьировало от 0,0001 до 0,001, что в среднем в 15 раз меньше ПДК_{рбхз}, на открытых участках концентрации находились в пределах от 0,00004 до 0,0003 мг/л, меньше в 37,5 раз. В дождевых атмосферных выпадениях под пологом соснового леса концентрации свинца варьировали от 0,0001 до 0,0003 мг/л, а на открытой территории от 0,00008 до 0,0001, что меньше ПДК_{рбхз} в 20 и 40 раз соответственно. В березовых лесах под пологом леса содержание свинца в дожде варьировало от 0,0002 до 0,0006 мг/л, на открытом участке – от 0,0001 до 0,0002 мг/л, что также в 20 и 40 раз ниже предельно допустимой концентрации.

³ Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации № 552 от 13.12.2016 [Электронный ресурс] // URL: <http://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-13.12.2016-N-552>.

Кобальт

Концентрации кобальта в атмосферных выпадениях в виде снега, прошедших сквозь древесный полог, в сосновых лесах колебались в пределах от 0,0001 до 0,0008 мг/л, что в 28 раз меньше, чем его ПДК_{рбхз} (0,01 мг/л). На открытой территории значения находились в пределах от 0,00008 до 0,0006 мг/л, т. е. в среднем меньше его ПДК в 37 раз. В березовых лесах значения свинца в снеге под пологом леса колебались в пределах от 0,0002 до 0,001 мг/л, а на открытом участке от 0,00003 до 0,0008 мг/л, что ниже значений ПДК_{рбхз} в 25 и 50 раз соответственно. В дождевых выпадениях концентрации никеля при контакте с пологом в сосновых и березовых лесах варьировали от 0,0002 до 0,0004 мг/л, на открытой территории – от 0,0001 до 0,0003 мг/л, что меньше ПДК_{рбхз} в 33 и 50 раз соответственно.

Кадмий

В сосновых лесах в снеговых выпадениях, прошедших сквозь древесный полог, концентрации кадмия находились в пределах от 0,00001 до 0,0002 мг/л, на открытой территории – от 0,00001 до 0,0001 мг/л, что в среднем меньше ПДК_{рбхз} (0,005 мг/л) в 83 и 125 раз соответственно. В березовых лесах под пологом леса значения кадмия в снеге варьировали от 0,00001 до 0,0001 мг/л, что в среднем меньше ПДК_{рбхз} в 100 раз, для открытых пространств значения были аналогичными с открытыми участками в сосновых лесах. В дождевых выпадениях, прошедших сквозь полог сосновых и березовых лесов, содержание кадмия было в пределах от 0,00001 до 0,00006 мг/л, а на открытой территории – от 0,00002 до 0,00004 мг/л, что в среднем в 125 и 165 раз меньше значений его предельно допустимых концентраций.

Таким образом, результатами исследований выявлено, что в сосновых и березовых лесах в атмосферных выпадениях, прошедших сквозь древесный полог, и на открытых пространствах только содержание меди выше, чем ПДК_{рбхз}.

Заключение

В результате проведенных исследований выявлена существенная межбиогеоценотическая вариабельность состава атмосферных выпадений в виде снега и дождя как в сосновых, так и в березовых биогеоценозах в долине реки Паз в заповеднике "Пасвик" и его окрестностях. Превышения критических нагрузок и предельно допустимых концентраций меди, разработанных для рыбохозяйственных водоемов, в атмосферных выпадениях свидетельствуют о продолжающемся негативном влиянии воздушного промышленного загрязнения на лесные биогеоценозы. Для остальных металлов ситуация выглядит более стабильно, в частности по содержанию никеля в атмосферных выпадениях превышение ПДК_{рбхз} не отмечено. Для продолжения исследований реакций лесных экосистем, расположенных на северном пределе распространения, на воздушное промышленное загрязнение и для более корректных выводов требуется воссоздать и расширить мониторинговую сеть на территории Печенгского района по программе ICP Forests.

Благодарности

Выражаем благодарность сотрудникам аналитико-химической группы лаборатории наземных экосистем и сотрудникам государственного природного заповедника "Пасвик".

Исследование выполнено в соответствии с государственным заданием темы НИР № гос. рег. АААА-А18-118021490070-5 (НИОКТР).

Библиографический список

1. Цветков В. Ф., Цветков И. В. Промышленное загрязнение окружающей среды и лес : монография. Архангельск : ИПЦ САФУ, 2012. 311 с.
2. Ананьева С. И., Белова Е. А., Булычев А. Г., Булычева И. А., Заколдаева А. А. [и др.]. Кольская горно-металлургическая компания (промышленные площадки "Никель" и "Заполярный"): влияние на наземные экосистемы / под общ. ред. О. А. Хлебосоловой. Рязань : НП "Голос губернии", 2012. 92 с.
3. Сухарева Т. А. Элементный состав талломов лишайника *Cladonia stellaris* в условиях атмосферного загрязнения // Труды Карельского научного центра РАН. 2016. № 4. С. 70–82.
4. Сухарева Т. А. Элементный состав зеленых мхов фоновых и техногенно нарушенных территорий // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2018. № 3 (172). С. 89–96.
5. Ежов А. Ю. Техногенное загрязнение тяжелыми металлами ландшафтов северо-запада Кольского полуострова // Вестник Московского государственного областного университета. Сер. Естественные науки. 2010. № 1. С. 98–103.
6. Ежов А. Ю. Медь и никель в ландшафтах северо-запада Кольского полуострова // Вестник Московского государственного областного университета. Сер. Естественные науки. 2011. № 1. С. 89–94.
7. de Vries W., Dobbertin M. H., Solberg S., van Dobben H. F., Schaub M. Impacts of acid deposition, ozone exposure and weather conditions on forest ecosystems in Europe : an overview // Plant and Soil. 2014. V. 380, Iss. 1–2. P. 1–45. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2056-2>.
8. Annals of nature of Pasvik State Nature Reserve (volume 1, 1992–1993@1993–1994). Summaries. Compiler Olga Makarova. Murmansk, 2000. 100 p.

9. Раменская М. Л. Анализ флоры Мурманской области и Карелии. Л. : Наука : Ленингр. отд-ние, 1983. 215 с.
10. Critical loads for sulphur and nitrogen // Miljorapport. Nordic Council of Ministers / eds. J. Nilsson, P. Grennfelt. 1988. P. 418.
11. Reinds G. J., Groenenberg J. E., de Vries W. Critical loads of copper, nickel, zinc, arsenic, chromium and selenium for terrestrial ecosystems at a European scale; a preliminary assessment // Wageningen, Alterra. 2006. P. 46. URL: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/349478>.

References

1. Tsvetkov V. F., Tsvetkov I. V. Promyshlennoye zagryazneniye okruzhayushchey sredy i les [Industrial pollution and forest] : monografiya. Arkhangel'sk : IPTS SAFU, 2012. 311 p.
2. Anan'yeva S. I., Belova Ye. A., Bulychev A. G., Bulycheva I. A., Zakoldayeva A. A. [i dr.]. Kol'skaya gorno-metallurgicheskaya kompaniya (promyshlennyye ploshchadki "Nikel" i "Zapolyarnyy"): vliyaniye na nazemnyye ekosistemy [Kola Mining and Metallurgical Company (Nickel and Zapolyarny industrial sites): impact on terrestrial ecosystems] / pod obshch. red. O. A. Khlebosolovoy. Ryazan' : NP "Golos gubernii", 2012. 92 p.
3. Sukhareva T. A. Elementnyy sostav tallomov lishaynika *Cladonia stellaris* v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya [The elemental composition of lichen thalli *Cladonia stellaris* in conditions of atmospheric pollution] // Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN. 2016. N 4. P. 70–82.
4. Sukhareva T. A. Elementnyy sostav zelenykh mkhov fonovykh i tekhnogenno narushennykh territoriy [The elemental composition of green moss background and anthropogenic disturbed areas] // Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. 2018. N 3 (172). P. 89–96.
5. Yezhov A. Yu. Tekhnogennoye zagryazneniye tyazhelymi metallami landshaftov severo-zapada Kol'skogo poluostrova [Technogenic pollution of the landscapes of the north-west of the Kola Peninsula with heavy metals] // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Ser. Yestestvennyye nauki. 2010. N 1. P. 98–103.
6. Yezhov A. Yu. Med' i nikel' v landshaftakh severo-zapada Kol'skogo poluostrova [Copper and nickel in the landscapes of the north-west of the Kola Peninsula] // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Ser. Yestestvennyye nauki. 2011. N 1. P. 89–94.
7. de Vries W., Dobbertin M. H., Solberg S., van Dobben H. F., Schaub M. Impacts of acid deposition, ozone exposure and weather conditions on forest ecosystems in Europe : an overview // Plant and Soil. 2014. V. 380, Iss. 1–2. P. 1–45. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2056-2>.
8. Annals of nature of Pasvik State Nature Reserve (volume 1, 1992–1993@1993–1994). Summaries. Compiler Olga Makarova. Murmansk, 2000. 100 p.
9. Ramenskaya M. L. Analiz flory Murmanskoy oblasti i Karelii [Analysis of the flora of the Murmansk region and Karelia]. L. : Nauka : Leningr. otd-niye, 1983. 215 p.
10. Critical loads for sulphur and nitrogen // Miljorapport. Nordic Council of Ministers / eds. J. Nilsson, P. Grennfelt. 1988. P. 418.
11. Reinds G. J., Groenenberg J. E., de Vries W. Critical loads of copper, nickel, zinc, arsenic, chromium and selenium for terrestrial ecosystems at a European scale; a preliminary assessment // Wageningen, Alterra. 2006. P. 46. URL: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/349478>.

Сведения об авторах

Ершов Вячеслав Вячеславович – мкр Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, и. о. мл. науч. сотрудника; e-mail: Slavo91@gmail.com

Ershov V. V. – 14a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Acting Research Assistant; e-mail: Slavo91@gmail.com

Исаева Людмила Георгиевна – мкр Академгородок, 14а, г. Апатиты, Мурманская обл., Россия, 184209; Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, канд. с.-х. наук, доцент; e-mail: isaeva@inep.ksc.ru

Isaeva L. G. – 14a, Akademgorodok, Apatity, Murmansk region, Russia, 184209; Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Cand. of Agricultural Sci., Associate Professor; e-mail: isaeva@inep.ksc.ru

Поликарпова Наталья Владимировна – пос. Раякоски, Печенгский р-н, Мурманская обл., Россия, 184404; Государственный природный заповедник "Пасвик", канд. геогр. наук, зам. директора по научной работе; e-mail: polikarpova-pasvik@yandex.ru

Polikarpova N. V. – Rayakoski, Pechengskiy district, Murmansk region, Russia, 184404; State Nature Reserve "Pasvik", Cand. of Geogr. Sci., Deputy Director for Research; e-mail: polikarpova-pasvik@yandex.ru

V. V. Ershov, L. G. Isaeva, N. V. Polikarpova

The content of heavy metals in atmospheric deposition in the Pasvik State Nature Reserve vicinity

The dynamics of the heavy metals composition in the atmospheric deposition of pine and birch biogeocenoses near the Pasvik Reserve has been estimated taking into account the influence of air pollution. The objects of study are two monitoring plots located in *Betuletum herbosum* and *Pinetum fruticoso-hylocomiosum* westward the combine "Pechenganikel" (Murmansk region) being a powerful source of sulfur dioxide and heavy metal emissions. The studied period of observation on atmospheric precipitation in the form of snow is 5 years (2009–2013), in the form of rain – 3 years (2010–2012). The plots have been equipped with 8 snow collectors (6 – under the forest canopy, 2 – in the open area), in the form of rain – 23 rain collectors (20 – under the forest canopy and 3 in the open area). Snow and rainwater have being sampled every four weeks. The composition of heavy metals (Cu, Ni, Pb, Cd, Cr, Co) is determined by atomic absorption spectrophotometry. In pine and birch biogeocenoses, significant inter-biogeocenotic variability in the composition of atmospheric precipitation in the form of snow and rain has been revealed. The excess of critical loads in atmospheric deposition of copper, as well as the excess of the maximum permissible concentrations (MPS) for this metal in both types of forest, in the sediments passed through the canopy and in open areas have been revealed. For other metals, the situation looks more stable, in particular exceeding the MPS in fishery of the nickel content in atmospheric deposition has not been identified.

Key words: atmospheric deposition, air pollution, coniferous forests, birch forests, heavy metals

Article info: received 14.12.2018; received in revised 01.02.2019