

УДК 502.6:54.06.674 (470.21)

Н.В. Салтан, Е.П. Шлапак, В.К. Жиров, О.Б. Гонтарь, Е.А. Святковская

Химический состав снега на урбанизированных территориях в условиях Крайнего Севера

N.V. Saltan, E.P. Shlapak, V.K. Zhirov, O.B. Gontar, E.A. Svyatkovskaya

The chemical composition of the snow in urban environment in the Far North

Аннотация. В статье представлены экспериментальные данные химического состава снежного покрова скверов и улиц в заполярных городах. Выявлено, что в снеге изменено природное соотношение катионов и анионов. Сравнительная оценка уровней концентраций металлов в снеге продемонстрировала более высокие их значения в скверах, чем на улицах. Показано, что основная доля в загрязнении снега тяжелыми металлами принадлежит пыли техногенного происхождения.

Abstract. The paper presents experimental data of the chemical composition of snow cover of squares and streets in the polar cities. It has been revealed that the natural ratio of cations and anions is modified in the snow. Comparative assessment of the levels of concentration of metals in the snow showed higher values in squares than on the streets. It has been shown that the main share in the pollution of snow by heavy metals belongs to the dust of anthropogenic origin.

Ключевые слова: снег, фазовый состав снега, ионный состав, тяжелые металлы, городская среда
Key words: snow, phase composition of snow, ionic structure, heavy metals, urban environment

1. Введение

Одним из основных индикаторов состояния геохимического ландшафта является химический состав атмосферных осадков. Снег в течение длительного зимнего сезона аккумулирует значительную часть поллютантов и содержит не только растворенные частицы, но и принесенную ветром пыль местного природного и антропогенного происхождения (*Геохимия...*, 1990). Оценка состояния атмосферы по степени загрязнения снежного покрова часто используется в качестве одного из методов геоэкологического мониторинга природных ландшафтов (*Василенко, Назаров, 1985; Jaffe et al., 1995; Евдокимова и др., 2013*). Для городских ландшафтов исследование снега проводится значительно реже, тогда как снежный покров является универсальным индикатором аэротехногенной нагрузки на окружающую среду. Анализ химического состава снега позволяет также оценить потенциальное загрязнение других компонентов урбоэкосистемы – почвы и растений.

В условиях урбанизированных территорий снежный покров загрязняется за счет выбросов промышленных и коммунальных предприятий, а также за счет продуктов неполного сгорания бензина. Кроме того, снег в значительной степени загрязняется применяемыми при зимней уборке улиц абразивными материалами (песком, шлаком и т.п.), а также противогололедными химическими реагентами. При активном снеготаянии в окружающую среду поступают значительные количества тяжелых металлов и других компонентов, которые в свою очередь влияют на качество поверхностных и подземных вод, загрязняя почвенный покров, оказывают негативное воздействие на биоту (*Евдокимова, Мозгова, 1991; Лукина, Никонов, 1996; Кашулина, Салтан, 2008*). Наиболее опасны для живых организмов подвижные формы элементов, хорошо растворимые в воде по сравнению с комплексными или малорастворимыми соединениями. Основные поллютанты (пыль, сульфаты, хлориды, азотсодержащие соединения, катионы металлов и т.д.) загрязняют территории городов, но их распределение в снежном покрове практически не изучено.

Цель нашей работы – изучить химический состав снега наиболее развитых промышленных городов Мурманской области (гг. Мурманск и Мончегорск) и оценить характер распределения поллютантов в снеге в зависимости от зонирования территории города (примагистральные участки, скверы).

2. Материалы и методы

Для исследования химизма снежного покрова были выбраны гг. Мурманск и Мончегорск, поскольку данные города подвергаются высокой антропогенной нагрузке. В г. Мурманск основными промышленными отраслями являются морской транспорт, рыболовство, рыбопереработка, судоремонт, пищевая промышленность, металлообработка, морская геология. В г. Мончегорск находится один из крупнейших

источников выбросов загрязняющих веществ по северо-западу России – комбинат цветной металлургии "Североникель" ОАО "ГМК "Норильский никель". Помимо комбината, в городе действуют: завод железобетонных изделий, щебеночный завод, ремонтно-механические предприятия, несколько предприятий легкой и пищевой промышленности. Теплоснабжение города осуществляется от местной ТЭЦ, работающей на мазуте. Основными поставщиками токсичных компонентов в окружающую среду являются металлургический комбинат, ТЭЦ, предприятия строительной индустрии и городская агломерация.

По данным наблюдений ФГБУ "Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды" рассчитанные критерии оценки состояния атмосферного воздуха показывают, что г. Мончегорск входит в число городов России с повышенным уровнем загрязнения, г. Мурманск – с низким (Доклад..., 2014).

Таблица 1. Точки отбора снеговых проб

	№ точки отбора проб	Описание места отбора
Скверы	1	г. Мончегорск, сквер в южном районе города. Верхний сектор сквера полузакрытого типа (деревья высотой 5,0-7,0 м, газон). В 20 м от проезжей части, соединяющий улицы Кондрикова и Ленина
	2	г. Мончегорск, сквер в южном районе города. Нижний сектор сквера открытого типа (газон, кустарники высотой до 1,0 м), 40 м от проезжей части
	3	г. Мурманск, сквер на площади "5 углов", сквер полузакрытого типа (газон, кустарники высотой до 2,0 м, деревья 5,0-9,0 м), 10 м от проезжей части пр. Ленина
	4	г. Мурманск, сквер на площади "5 углов", сквер полузакрытого типа (газон, кустарники высотой до 2,0 м, деревья 5,0-9,0 м), 20 м от проезжей части пр. Ленина
Улицы	1	г. Мончегорск, ул. Комсомольская, магистраль районного значения, предназначенная преимущественно для грузового автотранспорта, 1 м от тротуара, 15 м от проезжей части. Прилегающая территория покрыта древесной растительностью (кустарники высотой до 2,0 м и деревья 5,0-7,0 м). Удаленность от жилой застройки 23 м
	2	г. Мончегорск, проспект Металлургов, центральная магистраль городского значения, центр города, 1 м от тротуара, 20 м от проезжей части проспекта. Прилегающая территория покрыта древесной растительностью (кустарники высотой до 1,5 м и деревья 8,0-10,0 м). Удаленность от жилой застройки 30 м
	3	г. Мончегорск, проспект Металлургов, центральная магистраль городского значения, на выезде из города, 2,5 м от тротуара, 17 м от проезжей части проспекта. Прилегающая территория покрыта древесной растительностью (деревья 5,0-8,0 м). Удаленность от жилой застройки 6 м
	4	г. Мурманск, проспект Ленина, центральная магистраль городского значения, 2 м от тротуара, 40 м от проезжей части. Прилегающая территория покрыта газоном и древесной растительностью (кустарники высотой до 2,0 м, деревья до 10,0 м). Удаленность от жилой застройки 18 м

Следует отметить, что на Кольском полуострове рассеиванию загрязняющих веществ, поступающих с выбросами предприятий и автотранспорта, в значительной степени способствует активная циклональная деятельность с умеренными и сильными ветрами. По многолетним климатическим данным максимальное количество дней с неблагоприятными метеорологическими условиями (НМУ) приходится на холодное время года: январь, февраль, март, ноябрь, декабрь. Периоды неблагоприятных метеоусловий – приземные инверсии, штили, туманы, застои воздуха в сочетании с неблагоприятными направлениями ветров способствуют накоплению и увеличению содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов Мурманской области и усиливают негативное воздействие промышленных выбросов на состояние всех компонентов урбоэкосистемы.

В вышеназванных городах были обследованы отдельные скверы и улицы (примагистральные участки), где был произведен отбор проб снега (табл. 1). В качестве условно-фоновой территории был выбран экспериментальный участок Полярно-альпийского ботанического сада-института КНЦ РАН, расположенный на значительном расстоянии от источников загрязнения.

Отбор проб снега производился в конце марта – начале апреля 2014 г. Смешанные пробы снега отбирались с помощью пластиковой трубы длиной 1,15 м и диаметром 10 см. Одна проба могла состоять из 4 до 15 кернов в зависимости от плотности и мощности снежного покрова. Снег отбирался на всю глубину за исключением нижнего 3-5 см слоя, чтобы избежать загрязнения проб снега с подстилающей

растительностью и почвой. Отбор проб в черте города имеет ряд специфических особенностей, главной из которых является то, что снег убирается специализированной техникой и либо складывается вдоль дорог, либо вывозится на другие территории. Так, в г. Мончегорск снег присутствует вдоль улиц в непосредственной близости от автодороги в виде довольно больших сугробов. В Мурманске снег вывозится, и поэтому вдоль дорог мощность снегового покрова невысокая.

Отобранные пробы доставлялись в аккредитованную химико-технологическую лабораторию ОАО "Кольский геологический информационно-лабораторный центр", где был проведен их химический анализ. В лаборатории были проанализированы обе фазы снега – жидкая и твердая (осадок на фильтре). В нефилтрованных пробах снеговых вод по утвержденным Государственным комитетом РФ по охране окружающей среды методикам количественного химического анализа воды (ПНД Ф) и методикам ГОСТ были определены pH и макрокомпоненты (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+). В филтратах и растворах, полученных от разложения твердого остатка на фильтре, определяли микрокомпоненты (Ni, Cu, Pb) методом атомной абсорбционной спектроскопии.

3. Результаты исследований

Макрокомпоненты в снеговой воде

Кислотность атмосферных осадков является важнейшим показателем, поскольку кислые осадки могут существенно изменять режимы функционирования природных компонентов (Galloway, 1995). Результаты гидрохимического состава талых снеговых вод представлены в табл. 2. На основании полученных данных реакция среды характеризуется как слабокислая, близкая к нейтральной. Снижение кислотности зимних осадков, вероятно, обусловлено присутствием в атмосфере значительного содержания аммиака, золы городских котельных, твердых фракций сгоревшего топлива, оксидов металлов. Таким образом, закисления снеговой воды в обследуемых городах не наблюдается.

Оценка химического состава снега продемонстрировала различное распределение анионов в снеге скверов и улиц в г. Мончегорск и Мурманск. В сквере г. Мончегорск преобладающими анионами являются гидрокарбонат-ионы, на их долю приходится более 50 % (несмотря на значительные выбросы в атмосферу диоксида серы комбинатом "Североникель"). Далее распределение анионов даже в пределах одного сквера было различно. В снеговой воде улиц, как и в сквере, выявлены максимальные содержания гидрокарбонатов. Отличительной особенностью снеговой воды улиц является низкие содержания нитратов.

В г. Мурманск распределение анионов в обеих частях сквера и на улице практически одинаково. На первом месте находятся хлорид-ионы, на втором и третьем – сульфаты и гидрокарбонаты, доля нитратов очень незначительна (1-2 %).

Показано также, что в снеге наблюдается изменение соотношения основных анионов, характерного для природных вод: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ (Никаноров, 2001), при этом изменение природного соотношения выявлено и на условно-фоновой территории.

Таблица 2. Значения pH и основных анионов и катионов в снеговой воде (мг/л) урбанизированных территорий

Показатели	Условный фон	Точки опробования							
		Скверы				Улицы			
		1	2	3	4	1	2	3	4
pH	5,97	6,25	6,13	6,06	5,78	6,34	6,73	6,44	5,90
SO_4^{2-}	0,77	0,69	2,05	2,10	3,20	4,37	2,47	3,02	3,95
HCO_3^-	2,44	3,66	3,66	2,14	2,44	4,27	14,95	4,27	1,83
Cl^-	1,22	0,35	1,00	3,61	4,13	3,68	2,48	2,42	5,74
NO_3^-	0,65	1,95	0,59	0,11	0,15	1,11	0,21	0,44	0,29
Ca^{2+}	0,40	1,00	1,20	0,80	1,00	1,60	1,70	2,00	1,40
Mg^{2+}	0,12	0,24	0,30	0,24	0,30	0,24	0,18	0,12	0,24
Na^+	<1,0	<1,0	<1,0	2,10	2,36	2,38	1,15	1,61	3,34
K^+	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	1,05	<1,0	<1,0
NH_4^+	0,20	0,21	0,37	0,38	0,62	1,31	6,65	0,40	0,80

Примечание: скверы:

- 1 – сквер в г. Мончегорск (верхний сектор);
- 2 – сквер в г. Мончегорск (нижний сектор);
- 3 – сквер в г. Мурманск, ближе к проезжей части;
- 4 – сквер в г. Мурманск, дальше от проезжей части.

улицы:

- 1 – ул. Комсомольская, г. Мончегорск;
- 2 – пр. Metallургов, г. Мончегорск, центр;
- 3 – пр. Metallургов, г. Мончегорск;
- 4 – пр. Ленина, г. Мурманск.

Соотношение главных катионов в снеге исследуемых городов тоже неодинаково. В снеговой воде г. Мурманск как улиц, так и скверов максимальную долю в распределении имеют ионы натрия и только потом кальция. Преобладание ионов натрия наряду с хлорид-ионами в снеге связано с интенсивным

использованием антигололедных смесей для дорожных покрытий. В г. Мурманск для борьбы с гололедом применяется пескосоляная смесь, жидкие реагенты для местных условий не подходят.

Распределение катионов в снеговой воде в пределах сквера г. Мончегорск однотипное, преобладающий катион – кальций. Для улиц наблюдается довольно пестрая картина распределения катионов. Так, на пр. Metallургов в центральной части города лидирующее положение занимают ионы аммония, их доля составляет почти 70 %, уже в другой части этого же проспекта доля аммония гораздо ниже, и на первом месте находятся ионы кальция. На Комсомольской улице преобладающим катионом является натрий. Общей особенностью снеговой воды улиц г. Мончегорск является низкая доля содержания ионов магния. Преимущественное доминирование ионов кальция над другими катионами в снеге может быть связано с его значительным содержанием в атмосферных выбросах комбината "Североникель".

В снеге урбанизированных территорий природное соотношение главных катионов ($\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$) нарушено вследствие загрязнения.

Для характеристики загрязнения снежного покрова использовали расчет коэффициента концентрации (Кс) химических элементов, показывающий кратность превышения содержания химического компонента в точке опробования над его содержанием в фоновых условиях (Касимов, 1995). В г. Мурманск наиболее высокие коэффициенты концентрации получены для сульфатов, хлоридов и натрия, что свидетельствует о солевом загрязнении снега как улиц, так и скверов (табл. 3). В г. Мончегорск химический состав снегового покрова скверов и улиц отличается. В снеге сквера максимальные коэффициенты концентрации выявлены для катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Следует отметить, что содержание сульфатов в снеге превышает условно-фоновое значение только в нижнем секторе сквера и данное превышение ниже, чем в г. Мурманск. Показано также, что концентрации ионов Na^+ и Cl^- находятся на уровне фона. Для улиц г. Мончегорск в целом характерны высокие коэффициенты концентрации ионов NH_4^+ , Ca^{2+} и SO_4^{2-} . Высокие содержания ионов аммония в талой воде обусловлены только урбанизационными воздействиями, его источниками могут быть продукты окисления атмосферного азота золы городских котельных и твердые фракции сгоревшего топлива.

Таблица 3. Коэффициенты концентрации катионно-анионного состава снеговых проб

Показатели	Точки опробования							
	Скверы				Улицы			
	1	2	3	4	1	2	3	4
SO_4^{2-}	0,9	2,7	2,7	4,2	5,7	3,2	3,9	5,1
HCO_3^-	1,5	1,5	0,9	1,0	1,8	6,1	1,8	0,8
Cl^-	0,3	0,8	3,0	3,4	3,0	2,0	2,0	4,7
NO_3^-	3,0	0,9	0,2	0,2	1,7	0,3	0,7	0,4
Ca^{2+}	2,5	3,0	2,0	2,5	4,0	4,3	5,0	3,5
Mg^{2+}	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	1,5	1,0	2,0
Na^+	1,0	1,0	4,2	4,7	4,8	2,3	3,2	6,7
NH_4^+	1,1	1,9	1,9	3,1	6,6	33,3	2,0	4,0

Микроэлементы

Концентрации микрокомпонентов проанализированы в талой снеговой воде и в осадке на фильтре и представлены в виде диаграммы на рис. 1 и 2. Концентрации Ni в жидкой фазе снега варьируют от 9 до 45 мкг/л, твердой – от 76 до 840 мкг/л. Концентрации меди несколько ниже и находятся в диапазоне значений от 1 до 34 мкг/л для жидкой фазы и от 26 до 583 мкг/л – для твердой. По свинцу данные не приведены, поскольку его содержание в снеге было ниже предела обнаружения (<0,001 мг/л), т.е. загрязнения снега свинцом не обнаружено.

Показано, что наиболее высокие концентрации металлов в обеих фазах снега характерны для г. Мончегорск, что объясняется близостью комбината цветной металлургии "Североникель". Концентрации Ni и Cu в жидкой фазе преимущественно выше в снеге примагистральных участков, в твердой фазе – в снеге сквера. В пределах одного сквера обнаружены существенные различия по концентрации Ni и Cu в жидкой фазе: в нижнем секторе они гораздо выше. По концентрации Ni и Cu в твердой фазе снега в двух частях сквера различия незначительны. Возможной причиной подобных различий является отсутствие деревьев в нижнем секторе сквера, что способствует беспрепятственному поступлению загрязняющих веществ на снежный покров.

В г. Мурманск по концентрациям Ni и Cu в жидкой фазе в снежном покрове выявлено, что внутри сквера они гораздо выше, чем в наружной части сквера, близкой к дороге. Однако концентрации металлов в твердой фазе снега, напротив, выше в части сквера, близкой к проезжей части. Снег с

проспекта Ленина характеризуется самыми низкими значениями металлов-загрязнителей в твердой фазе среди всех проанализированных объектов.

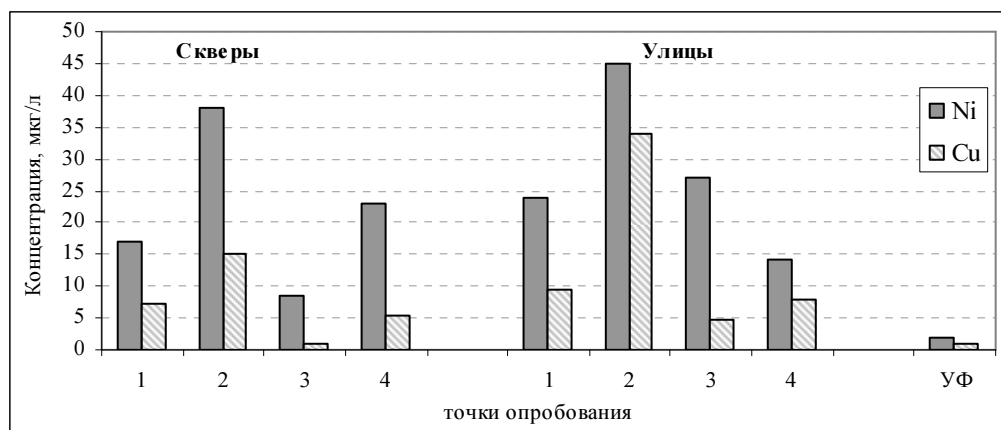


Рис. 1. Концентрации Ni и Cu (мкг/л) в снежном покрове урбанизированных территорий (жидкая фаза) (УФ – условный фон)

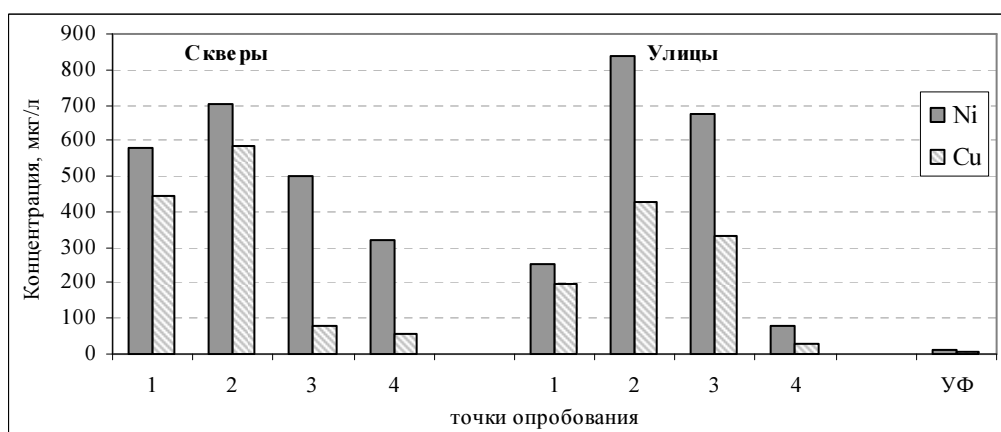


Рис. 2. Концентрации Ni и Cu (мкг/л) в снежном покрове урбанизированных территорий (твердая фаза)

Для оценки загрязненности снежного покрова тяжелыми металлами был использован расчет коэффициента концентрации, результаты которого приведены в табл. 4. Наиболее высокие значения Кс изучаемых металлов характерны для снегового покрова (в твердой фазе) сквера и улиц г. Мончегорск. Для снега г. Мурманск максимальные коэффициенты концентрации Ni и Cu получены тоже для твердой фазы. Таким образом, загрязнение снежного покрова вызвано в первую очередь пылью техногенного происхождения, вследствие чего при обследовании снега всегда необходимо анализировать обе фазы снега.

Таблица 4. Коэффициенты концентрации тяжелых металлов в снегу

Показатели	Точки опробования							
	Скверы				Улицы			
	1	2	3	4	1	2	3	4
<i>Жидкая фаза</i>								
Ni	8,9	20,0	4,5	12,1	12,6	23,7	14,2	7,4
Cu	7,1	15,0	1,0	5,5	9,5	34,0	4,7	8,0
<i>Твердая фаза</i>								
Ni	52,6	63,8	45,6	29,1	22,8	76,3	61,1	6,9
Cu	68,4	90,1	12,0	8,9	30,2	66,1	51,5	4,0

Следует отметить, что снег в скверах обследованных городов более загрязнен, чем на улицах. Возможно одной из причин этого для г. Мурманск является то, что снег с примагистральных участков вывозится и при проведении снегосъемки представлен более чистым снегом по сравнению со сквером,

где снег накапливается в течение всего зимнего периода. Для г. Мончегорск вероятным объяснением может стать сочетание различных метеорологических факторов, основные из которых направление, скорость ветра и температура воздуха.

Для выявления сути происходящих процессов необходимо проведение детальных мониторинговых исследований.

Несмотря на то, что для живых организмов более опасны растворимые формы металлов в снеге, нельзя недооценивать роль твердых форм нахождения металлов. Так, вес пыли в осадке на фильтре довольно существенен. Поэтому после таяния снега, содержащего значительное количество твердых частиц, на поверхности почвы остается плотный пылевой слой, который угнетает жизнедеятельность растений, а в условиях ветреной и сухой погоды поднимается в воздух и негативно сказывается на здоровье населения, вызывая различные патологии.

4. Выводы

1. Снежный покров изученных городов имеет слабокислую и близкую к нейтральной среде.

2. В снеговой воде наблюдается изменение природного соотношения главных катионов и анионов. В результате использования антигололедных реагентов преобладающими ионами в снеге улиц и сквера г. Мурманск становятся ионы Na^+ и Cl^- . В снеге г. Мончегорск среди анионов доминируют гидрокарбонаты, среди катионов – преимущественно кальций и аммоний. Распределение катионов в снеге сквера отличное от улиц.

3. Снеговой покров городов значительно загрязнен тяжелыми металлами, наиболее высокие коэффициенты концентрации Ni и Cu характерны для снегового покрова г. Мончегорск. В снеге скверов исследуемых городов концентрации тяжелых металлов были выше, чем на примагистральных участках, особенно в твердой фазе снега. Загрязнения снега свинцом в обследуемых городах не обнаружено.

5. Рекомендации

Вследствие достаточно высоких уровней загрязнения снега городским службам коммунального хозяйства рекомендуется убирать снег с городских автомагистралей и вывозить за пределы города на специально оборудованные снегосвалки, а не складировать снег на газоны и пешеходные зоны при проведении снегоочистительных работ.

Работа выполнена в рамках проекта "Механизмы устойчивости интродуцированных и аборигенных растений в культуросенных Крайнего Севера" Программы фундаментальных исследований Президиума Российской академии наук "Живая природа: современное состояние и проблемы развития" Подпрограмма "Биоразнообразие: состояние и динамика".

Литература

- Galloway J.N. Acid deposition: Perspectives in time and space. Water, Air and Soil Pollution. 1995. V. 85. P. 15-24.
- Jaffe D., Cerundolo B., Rickers J., Stolzberg R., Baklanov A. Deposition of sulfate and heavy metals on the Kola Peninsula. The Science of the Total Environment. 1995. N 160/161. P. 127-134.
- Василенко В.Н., Назаров И.М. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л., Гидрометеоздат, 1985. 312 с.
- Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин. М., Недра, 1990. 333 с.
- Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2013 году. г. Нижний Новгород: Индивидуальный предприниматель Кузнецов Никита Владимирович, 2014. 152 с.
- Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П. Аккумуляция меди и никеля почвенными грибами. Микробиология. 1991. Т. 60, № 5. С. 801-807.
- Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П., Салдаев С.А. Сравнительная оценка атмосферных выпадений в районе воздействия аэротехногенных выбросов Кандалакшского алюминиевого завода. Инженерная экология. 2013. № 1. С. 46-53.
- Касимов Н.С. Экогеохимия городских ландшафтов. М., Изд-во Моск. ун-та, 1995. 336 с.
- Кашулина Г.М., Салтан Н.В. Химический состав растений в экстремальных условиях локальной зоны комбината "Североникель". Апатиты, КНЦ РАН, 2008. 239 с.
- Лукина Н.В., Никонов В.В. Биогеохимические циклы в лесах Севера в условиях аэротехногенного загрязнения. Ч. 1. Апатиты, КНЦ РАН, 1996. 213 с.
- Никаноров А.М. Гидрохимия. СПб., Гидрометеоздат, 2001. 444 с.

References

- Vasilenko V.N., Nazarov I.M.** Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova [Monitoring of pollution of snow cover]. L., Gidrometeoizdat, 1985. 312 p.
- Geohimiya okruzhayushey sredy [Geochemistry of the environment] / Yu.E. Saet, B.A. Revich, E.P. Yanin. M., Nedra, 1990. 333 p.
- Doklad o sostoyanii i ob ohrane okruzhayushey sredy Murmanskoy oblasti v 2013 godu [Report on the state of the environment of the Murmansk region in 2013]. g. Nizhniy Novgorod: Individualnyi predprinimatel Kuznetsov Nikita Vladimirovich, 2014. 152 p.
- Evdokimova G.A., Mozgova N.P.** Akkumulyatsiya medi i nikelya pochvennymi gribami [Accumulation of copper and nickel by soil fungi]. Mikrobiologiya. 1991. V. 60, N 5. P. 801-807.
- Evdokimova G.A., Mozgova N.P., Saldaev S.A.** Sravnitel'naya otsenka atmosferynykh vypadeniy v rayone vozdeystviya aerotehnogennykh vybrosov Kandalakshskogo alyuminievogo zavoda [Comparative assessment of atmospheric deposition in the area of environmental impact of Kandalaksha aluminum plant emissions]. Inzhenernaya ekologiya. 2013. N 1. P. 46-53.
- Kasimov N.S.** Ekogeohimiya gorodskikh landshaftov [Ecogeochemistry of urban landscapes]. M., Izd-vo Mosk. un-ta, 1995. 336 p.
- Kashulina G.M., Saltan N.V.** Himicheskiy sostav rasteniy v ekstremal'nykh usloviyakh lokalnoy zony kombinata "Severonikel" [Plant chemistry under the extreme conditions of the "Severonickel" smelter impact]. Apatity, KNTs RAN, 2008. 239 p.
- Lukina N.V., Nikonov V.V.** Biogeohimicheskie tsikly v lesah Severa v usloviyakh aerotehnogennogo zagryazneniya [Biogeochemical cycles in forests of the North in terms of environmental pollution]. Ch. 1. Apatity, KNTs RAN, 1996. 213 p.
- Nikanorov A.M.** Gidrohimiya [Hydrochemistry]. SPb., Gidrometeoizdat, 2001. 444 p.

Информация об авторах

Салтан Наталья Владимировна – Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина (ПАБСИ) КНЦ РАН, канд. биол. наук, науч. сотрудник, e-mail: saltan.natalya@mail.ru

Saltan N.V. – Polar-Alpine Botanical Garden-Institute KSC RAS, Cand. of Biol. Sci., Researcher, e-mail: saltan.natalya@mail.ru

Шлапак Евгения Петровна – Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина (ПАБСИ) КНЦ РАН, инженер-исследователь, e-mail: evgeniashl@mail.ru

Shlapak E.P. – Polar-Alpine Botanical Garden-Institute KSC RAS, Research Engineer, e-mail: evgeniashl@mail.ru

Жиров Владимир Константинович – Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина (ПАБСИ) КНЦ РАН, д-р биол. наук, директор, член-корреспондент РАН, профессор, e-mail: v_zhirov_1952@mail.ru

Zhirov V.K. – Polar-Alpine Botanical Garden-Institute KSC RAS, Dr of Biol. Sci., Director, RAS Corresponding Member, Professor, e-mail: v_zhirov_1952@mail.ru

Гонтарь Оксана Борисовна – Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина (ПАБСИ) КНЦ РАН, канд. биол. наук, зам. директора по научной работе, зав. лабораторией, e-mail: gontar_ob@mail.ru

Gontar O.B. – Polar-Alpine Botanical Garden-Institute KSC RAS, Cand. of Biol. Sci., Deputy Director on Science, Head of Laboratory, e-mail: gontar_ob@mail.ru

Святковская Екатерина Александровна – Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина (ПАБСИ) КНЦ РАН, науч. сотрудник

Svyatkovskaya E.A. – Polar-Alpine Botanical Garden-Institute KSC RAS, Researcher