

Степные виды *Stipa krylovii* и *Potentilla acaulis* сохраняют свое господство в подземном ярусе, что является показателем устойчивости степных экосистем к внешним воздействиям, даже таким, как избыточное увлажнение.

Антропогенная трансформация растительности включает в себя несколько различных процессов, в том числе дифференциацию местных видов растений в зависимости от неодинаковой реакции разных видов на антропогенное воздействие. Анализ видов доминантов до и после затопления водохранилищем травяных экосистем Улуг-Хемской котловины позволяет вскрыть природные источники, т. е. местные виды растений таят в себе ресурсы для восстановления растительности, так как они уже самой природой испытаны на выживаемость в нарушенных и созданных Саяно-Шушенским водохранилищем условиях.

Литература

1. Отчёт Ленинградгидропроект. Л. 1991. С. 15 – 37.
2. Мальцева Т.В. Растительность долины р. Улуг-Хем // Растительные сообщества Тувы. Новосибирск: Наука, 1982. С. 29-44.
3. Титлянова А.А., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П. Подземные органы растений в травяных экосистемах. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 128 с.
4. Титлянова А.А., Косых Н.П., Романова И.П. Структура доминирования в травяных экосистемах // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Материалы 1-й Международной научно-практической конференции. Барнаул, 2002. С. 212-217.
5. Grime J.P. Plant Strategies and Vegetation Processes. Chichester, UK: John. Wiley and Sons, 1979. P. 222.

УДК 502.55 (203) (470.21)

Количественная оценка аэротехногенного загрязнения территории Мурманской области Часть 2

Н.Е. Раткин, А.В. Шаблова

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН

Изучены факторы, определяющие пространственно-временной характер атмосферного выпадения сульфатов, никеля и меди на сложно-пересечённую поверхность модельного водосбора озера Чунозеро. Дана оценка уровня локальных атмосферных выпадений загрязняющих веществ на единицу площади типичных ландшафтов от внешних и внутренних источников загрязнения во времени и пространстве. Дана количественная оценка атмосферного выпадения сульфатов, никеля и меди на территории с региональным фоновым уровнем загрязнения во времени.

The factors are considered in the article that influence the space-time character of atmospheric fall-out of sulfates, nickel and copper on complex-crossed surface of the model basin of Chunozero Lake. It presents evaluation of the influence of internal and external contamination sources in time and space on the level of local atmospheric pollutants fall-out per unit of the typical landscapes area. Quantitative evaluation of atmospheric fall-out of sulfates, nickel and copper on the territory with regional background pollution level in course of time is given.

Ключевые слова: аэротехногенное загрязнение, сульфаты, никель, медь, количественная оценка

Введение

Выпадение вещества на подстилающую поверхность определяется двумя процессами – вымыванием осадками и сухим поступлением вещества на подстилающую поверхность в отсутствие осадков [1]. Уровень локального загрязнения подстилающей по-

верхности складывается из «сухого» осаждения вещества под действием сил гравитации и поглощения вещества подстилающей поверхностью и «мокрого» осаждения атмосферными осадками. В локальной зоне загрязняющие вещества присутствуют в атмосфере в виде полидисперсных частиц, имеющих разнообразную форму, размеры

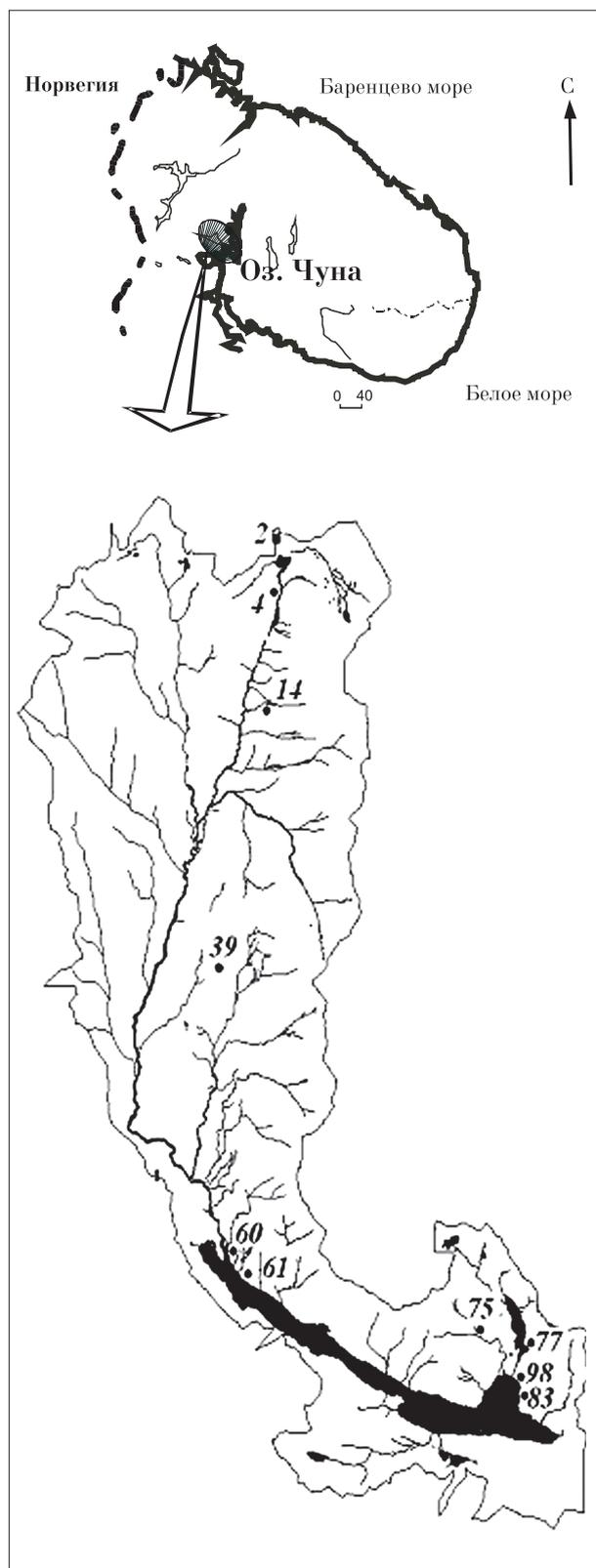


Рис. 1. Карта-схема расположения точек опробования снежного покрова и жидких осадков на водосборе озера Чуозеро

и вес. Поэтому их содержание на территории этой зоны зависит от расстояния от источника выбросов и уменьшается с увеличением расстояния по степенному закону.

Мокрое осаждение, т. е. процесс вымывания загрязняющих веществ атмосферными осадками, осуществляется с помощью двух механизмов [2, 3]:

- 1) внутриоблачного вымывания, основанного на конденсации водяного пара на аэрозольных частичках;
- 2) подоблачного вымывания, основанного на захвате аэрозольных частиц падающими каплями дождя и снежинками.

Эффективность очистки атмосферы при выпадающих осадках, помимо дисперсного состава выбросов и физико-химических свойств загрязнителей, во многом зависит от вымывающей способности снежинки и дождевой капли, которая, по оценкам многих исследователей, неодинаковая.

В случае регионального фоновое загрязнение определяющую роль играет «мокрое» осаждение [4]. Здесь, после значительной «разгрузки» факела в зоне локального загрязнения, загрязнители присутствуют в виде монодисперсных частиц, имеющих небольшие размеры и вес. Данные частицы находятся в атмосфере во взвешенном состоянии и не способны осаждаться на подстилающую поверхность под действием сил гравитации. Поэтому их вывод из атмосферы на земную поверхность в значительной степени определяется вымывающей способностью жидких и твёрдых осадков. Это накладывает свой отпечаток на характер выпадения, по сравнению с импактной зоной, загрязняющих веществ на территории с региональным фоновым уровнем загрязнения.

В связи с этим становятся актуальными исследования, направленные на выявление факторов и уровней выпадений из атмосферы, приоритетных для Мурманской области, сульфатов, никеля и меди на подстилающую поверхность как локальной, так и региональной фоновой зоны.

Материалы и методы

В работе использованы результаты гидрохимического опробования снежного покрова и жидких осадков, выполненные в 2001 году на территории водосборного бассейна озера Чуозеро, находящегося под воздействием горно-металлургического комбината «Североникель» (рис. 1).

В качестве материалов для написания работы использованы данные о выбросах диоксида серы, никеля и меди в атмосферу Мурманской области металлургическим предприятием «Североникель» за 1980 – 2001 годы, данные о суммарных объёмах выбросов этих веществ в атмосферный воздух всеми источниками загрязнения в области за 1980 – 2002 гг., метеорологическая информация метеостанции «Мончегорск» о сезонном распределении направлений ветра и атмосферных осадков за 1980 – 2001 годы, а также многолетние данные по метеоусловиям Мурманской области [5].

В работе использовались топографические карты (М:1:200000) и карты растительности (М:1:50000) Мурманской области.

Индикатором загрязнения выступал снежный покров и жидкие осадки. Суммарное содержание в снежном покрове и жидких осадках сульфатов, никеля и меди определялось к моменту максимального снегонакопления и началу зимы. По характеру поступления на подстилающую поверхность и происхождению суммарное содержание сульфатов, никеля и меди в снеге и жидких осадках складывалось из сухих и влажных выпадений от внутренних и внешних источников загрязнения. В сумму содержания сульфатов входили также сульфаты морского происхождения.

Концентрацию ионов SO_4^{2-} определяли турбидиметрическим методом [6] с окончанием на ФЭК-56-М. Концентрации Ni и Cu определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре ААС-2 отдельно в фильтрате и в осадке.

Достоверность полученных результатов достигалась с помощью применения методов математической статистики (нуль-гипотеза, коэффициенты вариации и корреляции).

Результаты и обсуждение

Пространственно-временная оценка локальных выпадений на модельном водосборе озера Чунозеро произведена на основе расчёта как концентрации вещества в снежном покрове и жидких осадках, так и запаса влаги в снежном покрове с применением уравнений, полученных ранее [7, 8].

Произведено сопоставление расчётных концентраций с измеренными концентрациями в типичных формах рельефа на водосборе озера в 2001 году (табл. 1).

Удовлетворительные результаты верификации позволили при помощи ГИС расширить

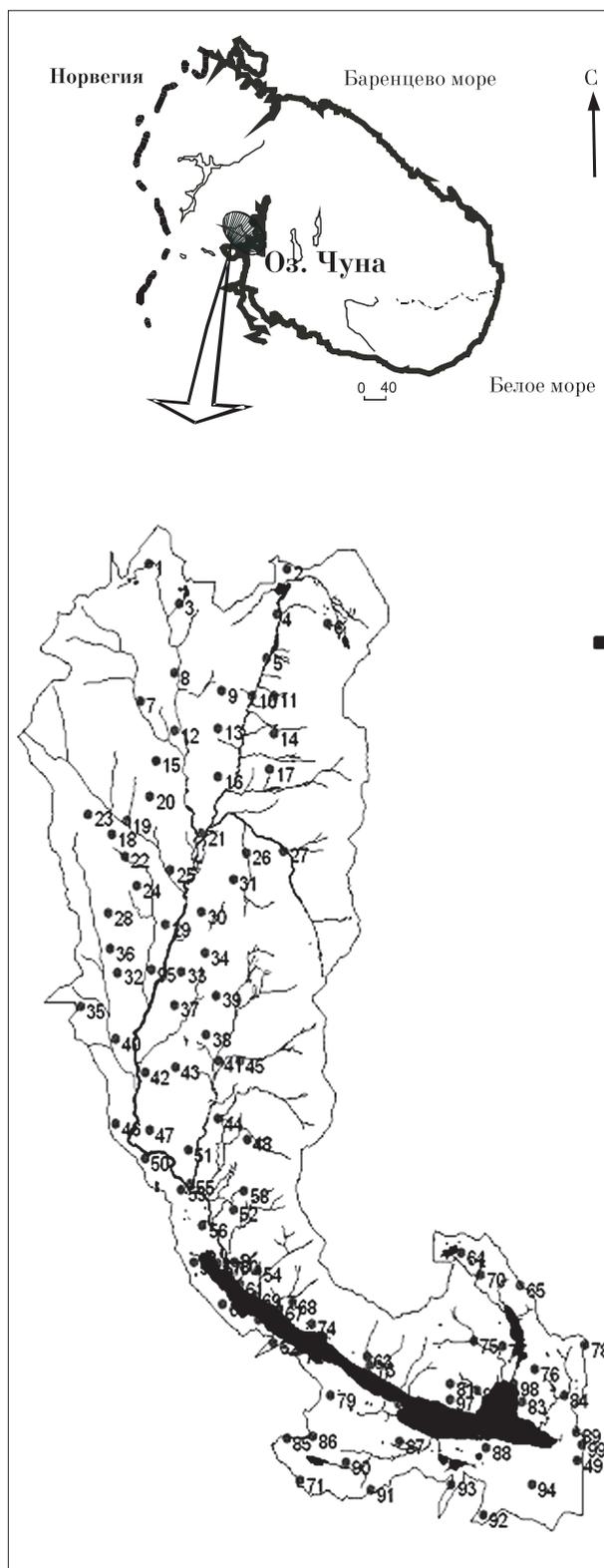


Рис. 2. Карта-схема расположения точек мониторинга, разработанная с использованием ГИС

Таблица 1

Сопоставление измеренных (q изм.) и расчётных (q расч.) концентраций на водосборе озера Чунозеро

№ точки	X, км	SO ₄ ²⁻ , мг/л		Ni, мкг/л		Cu, мкг/л	
		q изм.	q расч.	q изм.	q расч.	q изм.	q расч.
В снежном покрове (ноябрь – март)							
2	24,8	0,87	0,73	16,2	12,8	14,7	10,2
4	24,9	0,91	0,73	9,7	12,7	7,1	10,2
14	24,7	0,87	0,73	17,0	12,9	8,6	10,3
39	30,4	0,89	0,75	34,4	23,4	23,9	18,8
60	36,4	0,74	0,76	8,8	12,1	7,3	9,7
61	36,9	0,99	0,76	11,5	11,8	12,2	9,4
75	31,8	0,72	0,96	30,9	22,0	20,2	17,6
Среднее		0,86	0,77	18,4	15,4	13,4	12,3
В жидких осадках (апрель – октябрь)							
77	31,3	2,18	1,53	35,5	25,0	38,2	26,7
83	33,3	2,39	2,00	57,5	67,8	58,5	72,4
98	32,7	4,15	3,00	56,6	70,1	59,2	74,7
Среднее		2,91	2,18	49,9	54,3	52,0	57,9

сеть типичных точек мониторинга на водосборе озера до 99 (рис. 2) и произвести оценку динамики сезонного выпадения вещества на площадь водосбора за 1980 – 2001 годы на основе расчётного метода.

При расчёте величины выпадения учитывалось, что среднемноголетний эмпирический коэффициент (K) равен 0,86 [8]. Таким образом, к моменту максимального снегонакопления 14% влаги снежный покров теряет в результате испарения со своей поверхности. В этой связи и за тёплый период года 14% влаги как минимум также будет потеряно. Принимая это во внимание, для расчёта накопления вещества в жидких осадках на водосборе озера использовался поправочный коэффициент 0,86 к сумме жидких осадков за тёплый период года.

Результаты проведённых исследований на модельном водосборе озера Чунозеро показали, что динамика выпадения вещества во времени обусловлена влиянием трёх факторов: изменением годового объёма выброса вещества в атмосферу, изменением повторяемости направлений ветра на природный

объект, определяющих объём выброса вещества в данном направлении, и вариациями (за отдельные годы существенными) выпадающих атмосферных осадков. Влияние второго и третьего факторов проявляется в том, что нередко отмечается отсутствие тесной корреляции между динамикой годового выброса вещества в атмосферу и динамикой накопления сульфатов и ТМ в снежном покрове и жидких осадках к моменту снеготаяния и началу зимы. Часто наблюдается обратная зависимость накопления вещества от его выброса в атмосферный воздух. Снижение выброса не всегда способствует снижению выпадения вещества на подстилающую поверхность водосбора и наоборот – увеличение выброса не всегда приводит к увеличению выпадения. Например, при сокращении выброса, но одновременном значительном увеличении количества осадков и повторяемости направлений ветра на природный объект выпадение вещества на подстилающую поверхность не уменьшается, а растёт, следовательно, увеличивается аэротехногенная нагрузка на природный объект. И наоборот – сокращение количества

Таблица 2

Среднемноголетняя статистически достоверная интегральная величина выпадения вещества на площадь водосбора озера Чунозеро, % от валового выброса комбината «Североникель» в атмосферу

Вещество	В среднем на 1 км ² водосбора (n=23, CV=3%)		
	За холодный период (Х.п.)	За тёплый период (Т.п.)	За год
Сульфаты	0,00018	0,0016	0,0018
Никель	0,00015	0,00095	0,0011
Медь	0,00017	0,0015	0,0017
В среднем на всей площади водосбора, равной 570, 8 км ² (n=23, CV=3%)			
Сульфаты	0,1	0,9	1,0
Никель	0,09	0,54	0,63
Медь	0,1	0,86	0,96

Таблица 3

Средняя интегральная величина выпадения вещества на поверхность типичных водосборов со средним расстоянием от источника выбросов ($X_{ср.}$), расположенных в юго-западном секторе локальной зоны, % от интегрального выброса вещества в атмосферу типичным источником загрязнения на 1 км^2

$X_{ср.}$, км	Сульфаты, % на 1 км^2			Никель, % на 1 км^2			Медь, % на 1 км^2		
	Х. п.	Т. п.	Год	Х. п.	Т. п.	Год	Х. п.	Т. п.	Год
5	0,00055	0,0049	0,0055	0,00217	0,0147	0,0169	0,00263	0,0232	0,0258
10	0,00037	0,0033	0,0036	0,00079	0,0054	0,0062	0,00096	0,0085	0,0095
15	0,00029	0,0026	0,0029	0,00044	0,0030	0,0034	0,00053	0,0047	0,0053
20	0,00024	0,0022	0,0024	0,00029	0,0020	0,0023	0,00035	0,0031	0,0035
25	0,00021	0,0019	0,0021	0,00021	0,0014	0,0016	0,00026	0,0022	0,0025
30	0,00019	0,0017	0,0019	0,00016	0,0011	0,0013	0,00020	0,0017	0,0019
35	0,00018	0,0016	0,0017	0,00013	0,0009	0,0010	0,00016	0,0014	0,0015
40	0,00016	0,0014	0,0016	–	–	–	–	–	–
45	0,00015	0,0013	0,0015	–	–	–	–	–	–
50	0,00014	0,0012	0,0013	–	–	–	–	–	–
55	0,00013	0,0011	0,0012	–	–	–	–	–	–
60	0,00012	0,0011	0,0012	–	–	–	–	–	–
Ср.	0,00025	0,0023	0,0025	0,0015	0,0101	0,0116	0,0018	0,0159	0,0177

выпавших осадков и повторяемости направлений ветра даже при увеличении выброса приводит к снижению аэротехногенной нагрузки на водосбор. Таким образом, накопление вещества в снежном покрове и жидких осадках является переменной величиной, зависимой во времени в результате влияния на его величину вышерассмотренных факторов, которые определяют значительные отклонения вариантов накопления от его среднеарифметического значения за многолетний период. В этой связи для достоверной количественной оценки выпадения вещества на подстилающую поверхность использовались интегральные значения как величины выпадения, так и объёма выброса. Это позволило достоверно оценить величину выпадения вещества на водосборную площадь озера Чун-озеро в зависимости от его выброса в атмосферу комбинатом «Североникель» (табл. 2).

Данные таблицы 2 характеризуют среднее выпадение вещества на площадь водосбора озера, расположенного в юго-западном секторе от источника загрязнения (см. рис. 1), со средним расстоянием от него, равном 33 км. При прочих одинаковых условиях загрязнения (дисперсный состав и объём выброса, свя-

занный с продолжительностью направлений ветра в сторону данного сектора, количество осадков) величина выпадения вещества на площадь других объектов, расположенных в юго-западном секторе, будет зависеть от их среднего расстояния от источника загрязнения. Величина удельной среднесуточной концентрации вещества в пределах локальной

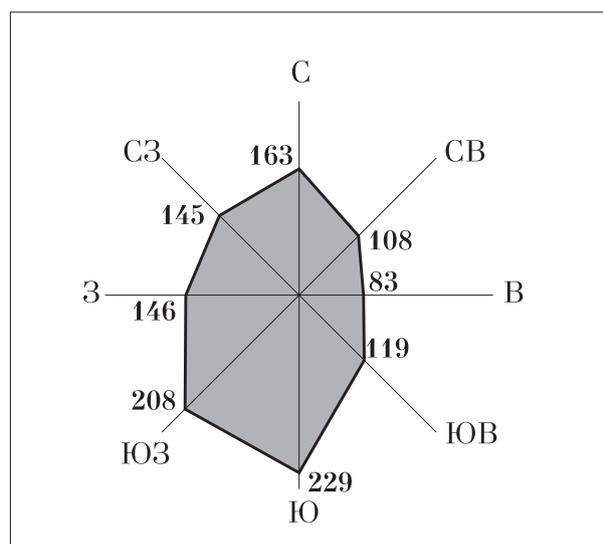


Рис. 3. Средне многолетняя годовая роза ветров в Мурманской области

Таблица 4

Кратность превышения повторяемости направлений ветров, дующих на объекты, расположенные в различных секторах от источника загрязнения, над повторяемостью направлений ветров, дующих на объекты юго-западного сектора за холодный (х. п.) и тёплый (т. п.) периоды года, раз

Северо-западный сектор		Северо-восточный сектор		Юго-восточный сектор	
Х. п.	Т. п.	Х. п.	Т. п.	Х. п.	Т. п.
1,88	0,96	2,91	1,21	1,65	1,19

Таблица 5

Средняя интегральная величина выпадения вещества на поверхность типичных водосборов со средним расстоянием от источника выбросов (X_{ср.}), расположенных в северо-западном секторе локальной зоны, % от интегрального выброса вещества в атмосферу типичным источником загрязнения на 1 км²

X _{ср.} , км	Сульфаты, % на 1 км ²			Никель, % на 1 км ²			Медь, % на 1 км ²		
	Х. п.	Т. п.	Год	Х. п.	Т. п.	Год	Х. п.	Т. п.	Год
5	0,0010	0,0047	0,0057	0,0040	0,0141	0,0181	0,0049	0,0222	0,0271
10	0,00068	0,0031	0,0038	0,0015	0,0051	0,0066	0,0018	0,0081	0,0099
15	0,00054	0,0025	0,0030	0,0008	0,0028	0,0036	0,0010	0,0045	0,0055
20	0,00045	0,0021	0,0025	0,0005	0,0018	0,0024	0,0006	0,0029	0,0036
25	0,00040	0,0018	0,0022	0,0004	0,0013	0,0017	0,0005	0,0021	0,0026
30	0,00036	0,0016	0,0020	0,0003	0,0010	0,0013	0,0004	0,0016	0,0020
35	0,00033	0,0015	0,0018	0,0002	0,0008	0,0010	0,0003	0,0013	0,0016
40	0,00030	0,0014	0,0017	–	–	–	–	–	–
45	0,00028	0,0013	0,0016	–	–	–	–	–	–
50	0,00026	0,0012	0,0015	–	–	–	–	–	–
55	0,00025	0,0011	0,0014	–	–	–	–	–	–
60	0,00024	0,0011	0,0013	–	–	–	–	–	–
Ср.	0,00047	0,0022	0,0027	0,0028	0,0096	0,0124	0,0033	0,0153	0,0186

Таблица 6

Средняя интегральная величина выпадения вещества на поверхность типичных водосборов со средним расстоянием от источника выбросов (X_{ср.}), расположенных в северо-восточном секторе локальной зоны, % от интегрального выброса вещества в атмосферу типичным источником загрязнения на 1 км²

X _{ср.} , км	Сульфаты, % на 1 км ²			Никель, % на 1 км ²			Медь, % на 1 км ²		
	Х. п.	Т. п.	Год	Х. п.	Т. п.	Год	Х. п.	Т. п.	Год
5	0,00160	0,0056	0,0072	0,0063	0,0168	0,0230	0,0076	0,0265	0,0341
10	0,00106	0,0037	0,0048	0,0023	0,0061	0,0084	0,0028	0,0097	0,0125
15	0,00084	0,0029	0,0038	0,0013	0,0034	0,0047	0,0015	0,0054	0,0069
20	0,00071	0,0025	0,0032	0,0008	0,0022	0,0031	0,0010	0,0035	0,0046
25	0,00062	0,0022	0,0028	0,0006	0,0016	0,0022	0,0007	0,0026	0,0033
30	0,00056	0,0020	0,0025	0,0005	0,0012	0,0017	0,0006	0,0020	0,0025
35	0,00051	0,0018	0,0023	0,0004	0,0010	0,0014	0,0005	0,0016	0,0020
40	0,00047	0,0016	0,0021	–	–	–	–	–	–
45	0,00044	0,0015	0,0020	–	–	–	–	–	–
50	0,00041	0,0014	0,0019	–	–	–	–	–	–
55	0,00039	0,0014	0,0018	–	–	–	–	–	–
60	0,00037	0,0013	0,0017	–	–	–	–	–	–
Ср.	0,00074	0,0026	0,0033	0,0043	0,0115	0,0158	0,0052	0,0181	0,0233

Таблица 7

Средняя интегральная величина выпадения вещества на поверхность типичных водосборов со средним расстоянием от источника выбросов (X_{ср.}), расположенных в юго-восточном секторе локальной зоны, % от интегрального выброса вещества в атмосферу типичным источником загрязнения на 1 км²

X _{ср.} , км	Сульфаты, % на 1 км ²			Никель, % на 1 км ²			Медь, % на 1 км ²		
	Х. п.	Т. п.	Год	Х. п.	Т. п.	Год	Х. п.	Т. п.	Год
5	0,00093	0,0055	0,0064	0,0036	0,0165	0,0201	0,0044	0,0260	0,0304
10	0,00062	0,0037	0,0043	0,0013	0,0060	0,0074	0,0016	0,0095	0,0111
15	0,00048	0,0029	0,0034	0,0007	0,0033	0,0041	0,0009	0,0053	0,0062
20	0,00041	0,0024	0,0028	0,0005	0,0022	0,0027	0,0006	0,0035	0,0041
25	0,00036	0,0021	0,0025	0,0004	0,0016	0,0019	0,0004	0,0025	0,0029
30	0,00032	0,0019	0,0022	0,0003	0,0012	0,0015	0,0003	0,0019	0,0023
35	0,00029	0,0018	0,0020	0,0002	0,0010	0,0012	0,0003	0,0015	0,0018
40	0,00027	0,0016	0,0019	–	–	–	–	–	–
45	0,00025	0,0015	0,0018	–	–	–	–	–	–
50	0,00024	0,0014	0,0017	–	–	–	–	–	–
55	0,00023	0,0013	0,0016	–	–	–	–	–	–
60	0,00021	0,0013	0,0015	–	–	–	–	–	–
Ср.	0,00043	0,0025	0,0029	0,0025	0,0113	0,0138	0,0030	0,0178	0,0208

зоны определяется на любых расстояниях от источника загрязнения с помощью функции пространственного распределения [9]. Это позволяет произвести оценку выпадения вещества на площадь объектов, расположенных в других секторах, на основе кратности превышения среднесуточной концентрации над среднесуточной концентрацией загрязняющих веществ на территории модельного объекта, расположенного в юго-западном секторе (табл. 3).

Оценка уровня воздушного загрязнения типичных ландшафтов, расположенных по другим сторонам света от источника выбросов, произведена с учётом розы ветров (рис. 3), на основе вычисления превышения повторяемости направлений ветра, дующих на объекты, расположенные в других секторах, над повторяемостью направлений ветра, дующих на объекты юго-западного сектора (табл. 4 – 7).

В данном случае при прочих равных условиях (дисперсный состав выброса, количество осадков, одинаковое расстояние природного объекта от источника выбросов), различия в уровне загрязнения природных объектов будут определяться различиями в объёме выброса вещества и неодинаковой повторяемостью направлений ветра в сторону различных секторов локальной зоны. Таким образом, уровень загрязнения природных объектов, расположенных на различных расстояниях и направлениях от источника выбросов, будет прямо пропорционален данным, показанным в таблицах 3 и 4 (см. также табл. 5 – 7).

В региональной фоновой зоне при неизменяющейся концентрации вещества [8] как в снежном покрове, так и в жидких осадках и среднемноголетней сумме осадков в Мурманской области, которая за холодный период года составляет 130,2 мм, а за тёплый – 338 мм [5], среднемноголетняя величина накопления сульфатов в снежном покрове будет равна 78 кг/км², а в жидких осадках за тёплый период года – 480 кг/км² и в сумме за год – 558 кг/км². Накопление никеля в снежном покрове составит 0,21, в жидких осадках – 0,68 и в сумме за год – 0,89 кг/км²; меди соответственно 0,19, 0,83 и 1,02 кг/км².

Среднемноголетний коэффициент вариации атмосферных осадков на территории исследований составляет 17%, что обуславливает хотя и не столь значительные, но заметные отклонения вариантов накопления вещества

в снежном покрове и жидких осадках от его среднеарифметического накопления за многолетний период. Однако вариации осадков, особенно в аномальные годы, существенны [5]. Это определяет значительные различия накопления вещества в снежном покрове и жидких осадках фоновой зоны во времени.

Совокупное влияние фактора атмосферных осадков и фактора видового состава древесной растительности определяет заметные различия в величине выпадения вещества на земную поверхность не только во времени, но и в пространстве. Наибольшему загрязнению в течение года подвергаются ландшафты, покрытые лиственным лесом. В безлесных ландшафтах загрязнение самое низкое, а ландшафты, покрытые хвойным лесом, по уровню воздушного загрязнения сульфатами и ТМ занимают промежуточное место. В таблице 8 приведена расчётная среднемноголетняя интегральная величина выпадения сульфатов, никеля и меди на поверхность типичных водосборов региональной фоновой зоны Мурманской области для холодного и тёплого периодов.

Заключение

Проведённые исследования показали, что формирование уровня аэротехногенной нагрузки, её пространственного распределения в условиях техногенного воздействия происходит в результате влияния комплекса природных и техногенных факторов.

К природным факторам, главным образом определяющим характер загрязнения подстилающей поверхности, следует отнести климатический и орографический факторы, а также фактор видового состава древесной растительности.

Среди климатических факторов значительная роль в промышленном загрязнении территории принадлежит атмосферным осадкам, распределению направлений ветра по сторонам света и его скорости.

Определяющим фактором аэродинамики метелевого потока в условиях низко- и среднегорного рельефа является видовой состав древесной растительности. Наибольшей способностью задерживать переносимый во время метелей снег обладает лиственный лес. Это определяет более высокую аэротехногенную нагрузку на ландшафты с лиственным лесом, чем с хвойным, и особенно чем на безлесные ландшафты.

Таблица 8

Среднемноголетняя интегральная величина выпадения вещества на поверхность типичных водосборов региональной фоновой зоны, % от интегрального суммарного годового выброса вещества в атмосферу в Мурманской области на 1 км²

Период	Вещество		
	SO ₄ ²⁻	Ni	Cu
Холодный (ноябрь – март)	0,000012	0,000006	0,000008
Теплый (апрель – октябрь)	0,000076	0,000018	0,000036
Год	0,000088	0,000024	0,000044
(n = 23, CV = 4%)			

Вариации выпадающих атмосферных осадков определяют вариации накопления вещества в снежном покрове и жидких осадках во времени. При сокращении выброса и значительном увеличении количества осадков вымывающая роль последних проявляется в том, что поступление загрязняющих веществ из атмосферы на подстилающую поверхность не уменьшается, а растёт. Следовательно, растёт аэротехногенная нагрузка на экосистемы, это характерно как для локальной, так и регионально-фоновой зоны.

Роль орографического фактора проявляется в различии выпадения вещества на подстилающую поверхность равнин, склонов и вершин, расположенных в локальной зоне источника загрязнения. Самому высокому воздушному загрязнению подвержены вершины и особенно те, которые покрыты лиственным лесом, расположены по направлению преобладающих ветров со стороны источника загрязнения и ближе к нему.

Выпадение вещества на единицу площади региональной фоновой зоны во времени изменяется в зависимости от вариаций выпадающих осадков. В пространстве содержание вещества на единице площади фоновой зоны также изменяется в зависимости от распределения видового состава древесной растительности по территории зоны, определяющей характер перераспределения вещества вместе со снегом во время метелей.

Литература

1. Кислотные дожди // Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессмон А.Я. и др. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 206 с.
2. Метеорология и атомная энергия. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 648 с.
3. Barrie L.A., Schemenauer R.S., Wet deposition of heavy metals // Control and fate of atmospheric trace metals. Dordrecht etc.: Kluwer, 1988. P. 203-231.
4. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометиздат, 1985. 181 с.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, многолетние данные Ч. 1 – 6. Вып. 2. Мурманская область. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 316 с.
6. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 448 с.
7. Раткин Н.Е. Оценка воздушной миграции выбросов сульфатов, никеля и меди на территории Мурманской области. Часть 1 // Проблемы региональной экологии. 2005. № 3. С. 23-32.
8. Раткин Н.Е. Закономерности и уровни аэротехногенного загрязнения ландшафтов Мурманской области и Севера Скандинавии // Автореф. дисс. ... д. геогр. наук. Москва, 2006. 52 с.
9. Раткин Н.Е., Асминг В.Э., Кошкин В.В. Влияние природных локальных факторов на загрязнение снежного покрова (на примере Печенгского района) // Вестник МГТУ. 1998. № 3. С.151-160.