

УДК 502.3(470.1)

ТРУБИЦИНА Ольга Петровна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Центра экологических исследований института естественных наук и биомедицины Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Автор 19 научных публикаций

НАГРУЗКИ КИСЛОТНЫХ ВЫПАДЕНИЙ НА СЕВЕРЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ

В работе приводится оценка состояния атмосферного воздуха и осадков севера Русской равнины: выявлены тенденции изменения выбросов загрязняющих веществ в сравнении с данными мониторинга атмосферного воздуха, определено пространственное распределение проявлений закисления осадков по частоте обнаружения в современный период, рассчитаны нагрузки выпадений серы в сопоставлении их с критическими нагрузками для данного региона.

Ключевые слова: атмосферный воздух, выбросы загрязняющих веществ, закисление осадков, нагрузки выпадений серы, лесные экосистемы, водные экосистемы.

В настоящее время большинство специалистов во многих странах мира уделяют особое внимание оценке вероятности возникновения экологической опасности при отсутствии однозначного ответа на вопрос о воздействии химических загрязнений современных производств на природные экосистемы. Данный интерес основан на возможности выявить вероятность появления обратимых или необратимых изменений в экосистемах в ответ на поступление химического вещества, что позволит элиминировать рискованные природные и антропогенные ситуации, снизить давление существующих нагрузок на природные экосистемы. Безусловно, помимо антропогенных факторов воздействия

на экосистемы, существуют и природные. Однако вне зависимости от типа и характера производства предприятие выступает в качестве опосредованного элемента, определяющего структурную связь между ним и окружающей его природной средой [4, с. 150].

На обширной исследуемой территории, включающей Архангельскую область, Ненецкий автономный округ, Республику Коми, север Вологодской области, можно выделить следующие промышленные зоны: 1) северо-западную (Архангельск, Северодвинск, Новодвинск, Коржма, Онега), где доминирует целлюлозно-бумажная промышленность, предприятия теплоэнергетики, машиностроения, металло-

обработки; 2) юго-восточную (Череповец, Вологда, Сокол, Сыктывкар, Ухта), где преобладают предприятия металлургии, теплоэнергетики, химической, лесобработывающей промышленности; 3) северо-восточную (Нарьян-Мар, Воркута), где наиболее развита нефтедобывающая, теплоэнергетическая, угольная промышленность, предприятия стройиндустрии [6, с. 399; 5, с. 36]. Выбросы этих промышленных зон являются одними из наиболее экологически грязных и негативно воздействуют на хрупкую природу Севера [8, с. 3].

В таблице, составленной на основе данных формы 2ТП-воздух, приведено распределение компонентов, измеряемых в осадках, в зависимости от возможного источника загрязнения. Цифры для соответствующих отраслей промышленности показывают примерный номер в ряду основных элементов, выбрасываемых ими в окружающую среду. Если ранжировать по массе в общей сумме выбросов загрязняющие вещества, то наиболее распространенными ингредиентами атмосферных осадков по основным источникам загрязнения Севера Русской равнины являются SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- .

Выявлено, что с начала 90-х годов XX века на фоне тенденции уменьшения общего объема выбросов прослеживается тенденция увеличения доли серных и азотных соединений в атмосферном воздухе, главным образом, городов Архангельской агломерации. Относительно стабильный большой объем SO_2 и NO_x выбра-

сывают стационарные источники промышленных центров Вологодской области (Череповец) и Республики Коми (Воркута) [5, с. 37; 8, с. 12]. Итак, тенденция к снижению общих выбросов, связанная в основном с экономическим спадом в России при сохранении недостаточно эффективных механизмов государственного регулирования природоохранной деятельности, не привела к адекватному улучшению качества атмосферного воздуха [8, с. 24].

Выбросы, определяющие закисление осадков, имеют ограниченное, но достаточное время жизни и способны внести существенный вклад в загрязнение окружающей среды крупного региона. За пределами региона уровень загрязнения относительно быстро падает, однако в небольших концентрациях, особенно в виде следов, кислотообразующие соединения могут встречаться повсеместно [3, с. 155].

Наиболее надежным индикатором состояния атмосферного воздуха является снежный покров, депонирующий загрязняющие вещества за сравнительно длительный период времени.

Анализ данных снегомерной съемки на 42 станциях исследуемой территории за 1982–2003 годы показывает, что для региона преобладающим классом значений pH снежного покрова является диапазон 6,0–6,4 (27 %). Однако суммарная частота классов значений с $\text{pH} < 5,6$ составляет 24,1 % с доминированием класса слабокислых осадков ($\text{pH} = 5,2\text{--}5,6$ (15,5 %).

**ДОМИНАНТНЫЕ ИНГРЕДИЕНТЫ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ
СЕВЕРА РУССКОЙ РАВНИНЫ
В МЕСТАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

Отрасль промышленности	Номер в ряду основных элементов, выбрасываемых источниками загрязнения		
	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^-
Целлюлозно-бумажная	1	3	6
Металлургическая	1	2	7
Нефтедобывающая	1	2	7
Химическая	2	1	4
Машиностроительная, металлообрабатывающая	2	1	6
Теплоэнергетическая	2	1	6

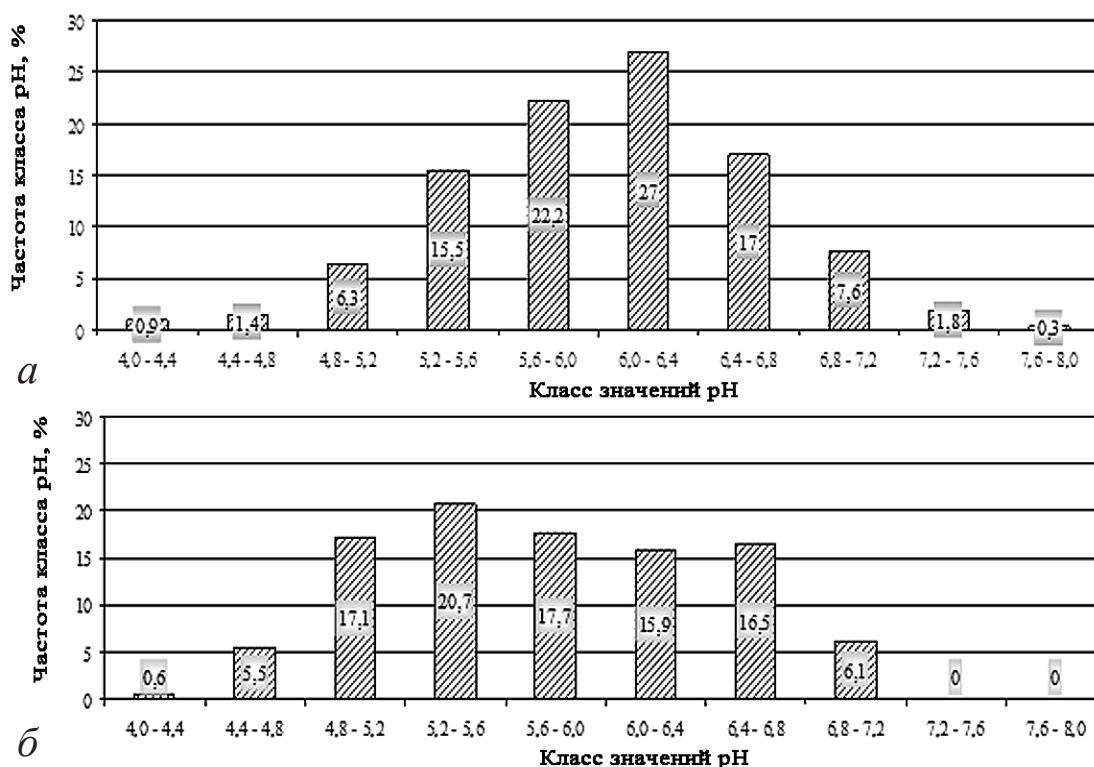
Анализируя среднегодовые значения pH в пробах атмосферных осадков на 13 станциях севера Русской равнины за 1990–2003 годы, необходимо отметить преобладание класса значений pH в диапазоне 5,2–5,6 (23,2 %). Суммарная частота закисленных выпадений составляет 45,1 %. Атмосферные осадки с pH > 7,2 отсутствуют.

Результаты учета количества осадков отдельных месяцев при осреднении годовых значений pH, т. е. расчетов взвешенных средних значений, являются наиболее достоверными. Однако по сравнению со среднегодовыми pH взвешенные среднегодовые не сильно разнятся. Также преобладающим классом значений pH осадков является диапазон 5,2–5,6 (20,7 %, что на 2,5 % меньше среднегодового показателя). При этом возрастает частота класса pH диапазона 4,8–5,2 (на 3,1 %), незначительно уменьшается процентное соотношение в диа-

пазонах 4,4–4,8 (на 1,2 %), 4,0–4,4 (на 0,6 %). В целом, суммарная частота кислотных взвешенных среднегодовых выпадений составляет 43,9 % (см. рисунок).

Таким образом, в снежном покрове почти четверть (24,1 %) исследуемых проб за 1982–2003 годы является закисленными, в то время как в атмосферных осадках севера Русской равнины за 1990–2003 годы закисленные выпадения встречаются почти в половине случаев (45,1 % без учета количества осадков, 43,9 % с учетом количества осадков).

Наибольшая повторяемость осадков с pH < 5,6 в период 1994–2004 годов отмечена в следующих районах: 1) локальный узел в районе р. Печоры; 2) район среднего течения р. Северной Двины; 3) локальные зоны Архангельской агломерации, Череповца, Воркуты. В целом пространственное распределение осадков с пониженным pH носит локальный характер [8, с. 23].



Распределение значений pH в снежном покрове (а), в атмосферных осадках (б), %

Оценка выпадений кислотообразующих соединений серы и азота проводится в ГУ ИГКЭ Росгидромета и РАН по данным сети мониторинга снежного покрова (620 станций).

Согласно картам нагрузок атмосферных выпадений серы и нитратного азота для данного района, приведенных к осредненным метеоусловиям по методике, которая изложена в работах сотрудников Института глобального климата и экологии Росгидромета и РАН В.Н. Василенко, И.М. Назарова, Ш.Д. Фридмана [2, с. 44], распределение кислотообразующих соединений на исследуемой территории за 1998–2002 годы следующее: нагрузка атмосферных выпадений серы (в ед. серы) в наибольшей степени приходится на Череповец (1000 кг/км²год), Архангельскую агломерацию (600 кг/км²год), Воркуту (300–400 кг/км²год). В то же время выпадения нитратного азота также приурочены к Череповцу (300–400 кг/км²год), Архангельской агломерации (100–200 кг/км²год), Воркуте (100–150 кг/км²год).

Одним из показателей устойчивости экосистем к химическому воздействию являются величины критических нагрузок, рассчитываемые для различных поллютантов, в т. ч. соединений серы и азота, обладающих подкисляющим и эвтрофирующим влиянием на экосистемы [1, с. 138]. Под критическими нагрузками ряд исследователей (J.P. Hetteling, В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман) понимают максимальные значения выпадений кислотообразующих компонентов, которые не приводят к вредным воздействиям на структуры и функции экосистем в долговременном плане [2, с. 44]. Таким образом, критическая нагрузка представляет собой индикатор устойчивости экосистемы, поскольку показывает величину максимально допустимого посту-

пления загрязняющих веществ, выше которой существует риск повреждения биохимической структуры и функций рассматриваемой экосистемы [1, с. 138]. На основе карт критических нагрузок атмосферных выпадений серы, построенной рабочей группой ЕМЕП, и данных сети мониторинга снежного покрова Северного управления гидрометеослужбы была составлена карта-схема превышения уровней критических нагрузок атмосферных выпадений серы по квадратам сетки ЕМЕП. Для каждого квадрата были осреднены значения фактических среднегодовых нагрузок.

Превышение уровней критических нагрузок атмосферных выпадений серы для лесных и водных экосистем наблюдается при условии:

$$\frac{\text{Факт. нагрузка}}{\text{Критич. нагрузка}} \geq 1.$$

Сопоставление рассчитанных нагрузок выпадений серы с критическими нагрузками ЕМЕП показало, что для большей части территории Севера Русской равнины отсутствует превышение критических нагрузок. В прибрежных районах может наблюдаться превышение критических нагрузок, что, вероятно, связано с природными процессами [7, с. 279].

Результаты данного исследования не противоречат в целом данным ГУ ИГКЭ Росгидромета и РАН. Однако необходимы дальнейшие исследования с целью выявления причин повторяемости осадков с рН < 5,6 в локальном узле бассейна р. Печоры, р. Северной Двины, а также выявление причин превышения фактических нагрузок над критическими, разработанными ЕМЕП на побережье Северного Ледовитого океана с целью уменьшения вероятности проявления экологического риска.

Список литературы

1. Башкин В.Н. Экологические риски: расчет, управление, страхование. М., 2007. 360 с.
2. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг нагрузок кислотных выпадений // Метеорология и гидрология. № 9. 1992. С. 46–50.

3. Кислотные дожди / Ю.А. Израэль, И.М. Назаров, А.Я. Прессман и др. 2-е изд. Л., 1989. 270 с.
4. Кокин А.В., Игнатов В.Г. Экологический менеджмент. Ростов н/Д., 2010. 242 с.
5. Трубицина О.П. Анализ геоэкологического состояния атмосферного воздуха и осадков Севера Русской равнины по данным мониторинга // Вестн. Помор. ун-та. 2008. № 3. С. 35–42.
6. Трубицина О.П. Глобально-региональные кислотные выпадения // Экология Северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: материалы междунар. конф. Архангельск, 2002. Т. 1. С. 399–403.
7. Трубицина О.П. Оценка современных нагрузок кислотных выпадений на Севере Русской равнины / Проблемы снижения природных опасностей и рисков: материалы междунар. науч.-практ. конф. «Геориск-2012». Т. 2. М., 2012. С. 275–280.
8. Трубицина О.П. Состояние атмосферного воздуха и осадков на Севере Русской равнины по данным мониторинга: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Архангельск, 2007. 24 с.

References

1. Bashkin V.N. *Ekologicheskie riski: raschet, upravlenie, strakhovanie* [Environmental Risks: Calculation, Management and Insurance]. Moscow, 2007. 360 p.
2. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. Monitoring nagruzok kislotnykh vypadeniy [Monitoring of Acid Precipitation Loads]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 1992, no. 9, pp. 46–50.
3. Izrael' Yu.A., Nazarov I.M., Pressman A.Ya., Rovinskiy F.Ya., Ryaboshapko A.G., Filippova L.M. *Kislotnye dozhdі* [Acid Rains]. 2nd ed. Leningrad, 1989. 270 p.
4. Kokin A.V., Ignatov V.G. *Ekologicheskiy menedzhment* [Environmental Management]. Rostov-on-Don, 2010. 242 p.
5. Trubitsina O.P. *Analiz geoekologicheskogo sostoyaniya atmosfernogo vozdukha i osadkov Severa Russkoy ravniny po dannym monitoringa* [Analysis of the Atmospheric Air and Precipitation Geoecological Condition in the North of the Russian Plain According to Monitoring]. *Vestnik Pomorskogo universiteta*, 2008, no. 3, pp. 35–42.
6. Trubitsina O.P. Global'no-regional'nye kislotnye vypadeniya [Global and Regional Acid Precipitations]. *Ekologiya Severnykh territoriy Rossii. Problemy, prognoz situatsii, puti razvitiya, resheniya: materialy mezhdunar. konf.* [Ecology of the Northern Territories of Russia. Problems, Situation Forecasting, Paths of Development, and Decisions: Proc. Int. Conf.]. Arkhangelsk, 2002, vol. 1, pp. 399–403.
7. Trubitsina O.P. Otsenka sovremennykh nagruzok kislotnykh vypadeniy na Severe Russkoy ravniny [Assessment of the Current Loads of Acid Precipitations in the North of the Russian Plain]. *Problemy snizheniya prirodnikh opasnostey i riskov: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Georisk – 2012"* [Issues of Natural Hazard and Risk Reduction: Proc. Int. Theor. and Pract. Conf. "Georisk – 2012"]. Moscow, 2012, vol. 2, pp. 275–280.
8. Trubitsina O.P. *Sostoyanie atmosfernogo vozdukha i osadkov na Severe Russkoy ravniny po dannym monitoringa: avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk* [The State of Atmospheric Air and Precipitation in the North of the Russian Plain According to Monitoring Data: Cand. Geogr. Sci. Diss. Abs.]. Arkhangelsk, 2007. 24 p.

Trubitsyna Olga Petrovna

Institute of Natural Sciences and Biomedicine,
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)

ACID LOADS IN THE NORTH OF THE RUSSIAN PLAIN

The paper dwells on the condition of atmospheric air and precipitations in the North of the Russian Plain. We have revealed a tendency for changes in pollutant emissions as compared to the data of the

atmospheric air monitoring. Spatial distribution of precipitation acidity by detection frequency over the recent period was determined. Sulfur deposition loads were calculated in correlation with the critical loads for the given region.

Keywords: *atmospheric air, pollutant emissions, acidification of precipitations, sulfur deposition loads, forest ecosystems, water ecosystems.*

Контактная информация:

адрес: 163002, г. Архангельск, просп. Ломоносова, д. 4;
e-mail: test79@yandex.ru

Рецензент – *Коробов В.Б.*, доктор географических наук, профессор кафедры транспорта и хранения нефти и газа института нефти и газа Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, директор Северо-Западного отделения института океанологии имени П.П. Ширшова РАН