

И.И.КОНДРАТЬЕВ

Атмосферный трансграничный перенос загрязняющих веществ из центров эмиссии восточной Азии на юг Дальневосточного региона России

Приводятся литературные данные о масштабах воздушного переноса загрязняющих веществ (главным образом сульфатов и нитратов) из восточной Азии на российский Дальний Восток. Дается прогноз развития ситуации на ближайшее десятилетие.

Atmospheric transboundary transfer of pollutants from the East Asia emission centers to the southern Far-Eastern region of Russia. I.I.KONDRATYEV (Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok).

Accelerated economic development of China with insufficient attention to the environment conservation resulted in formation of the largest in Asia center of atmospheric pollutants emission in the east of the country. These pollutants are transferred eastward by the air currents contaminating the atmosphere and precipitation in the southern Far-Eastern region of Russia, countries of the Korean Peninsula and Japan. For the last 15–25 years a tendency to precipitation acidity increase and growth of acid-forming pollutants concentrations in them is observed in the southern Far East.

Если на карте Восточной Азии описать окружность радиусом в полторы тысячи километров с центром во Владивостоке, то внутри ее окажется большая часть юга Дальнего Востока России, Япония, оба государства п-ова Корея и почти весь северо-восточный Китай. Проживают на этой территории порядка 500 миллионов человек, и из них только один процент приходится на жителей России. Наши соседи – Япония, Китай, Южная Корея – промышленно развитые страны. Любая хозяйственная деятельность и, конечно, промышленное производство приводят к загрязнению окружающей среды.

В основном атмосферу загрязняют оксиды серы, азота, углерода, бенз(а)пирен, сажа, тяжелые металлы, образующиеся при сжигании топлива. В результате естественных процессов фотохимических реакций газообразные оксиды серы и азота в атмосфере преобразуются в сульфаты и нитраты, которые либо выпадают в виде твердых частиц, либо растворяются облачной влагой и тем самым закисляют осадки [1]. Больше всего сульфатов поступает с поверхности морей и океанов и аридных зон континентов. Но морские сульфаты, кроме мельчайших аэрозолей, обычно не распространяются далеко от побережья, поэтому их влияние на состав атмосферы ощущается только вблизи береговой черты. По некоторым оценкам, в настоящее время потоки сульфатов и нитратов естественного и антропогенного происхождения примерно равны [9]. Чем выше плотность промышленных предприятий, населения, транспортных средств и чем меньше принимается мер по ограничению выбросов в атмосферу, тем больше в нее поступает загрязняющих веществ.

В Северном полушарии находятся три обширных ареала повышенных концентраций загрязняющих атмосферу веществ. Эти «шапки» покрывают промышленно наиболее развитые регионы планеты: большую часть европейского континента, восточную половину

КОНДРАТЬЕВ Игорь Иванович – кандидат географических наук (Центр ландшафтно-экологического мониторинга ТИГ ДВО РАН, Владивосток).

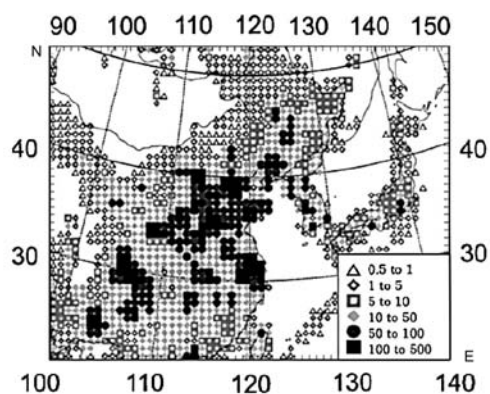
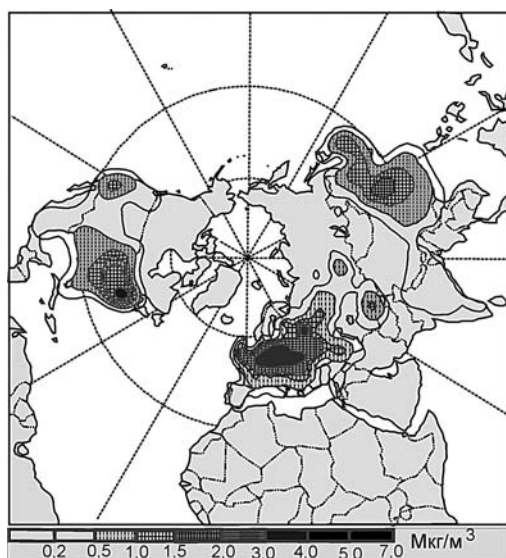


Рис. 2. Эмиссия CO_2 в восточной Азии в 1990 г., тыс. т/год, размер кластера 80 x 80 км

Рис. 1. Модельные расчеты концентраций сульфатов в атмосфере Северного полушария в начале 1990-х годов

Северной Америки и восточную Азию (рис. 1) [5]. Как видно из рисунка, уже в 1990-х годах загрязнения восточноазиатской зоны распространялись на юг Приморского края.

Стремительное экономическое развитие Китая крайне неблагоприятно отразилось на экологии наиболее густо населенных и промышленно развитых районов этой страны. Здесь находятся 16 из 20 городов Земли с наиболее загрязненным воздухом [6].

Результаты оценки эмиссии в восточной Азии, рассчитанные на основе данных Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR, 1990), наглядно демонстрируют масштабы явления (рис. 2) [10]. Наибольшее загрязнение наблюдается над территорией от Шеньяна до Шанхая. Здесь плотность потока выбросов выше, чем в промышленно развитых Южной Корее и Японии, в которых приняты действенные меры по охране окружающей среды. Такие меры требуют значительных финансовых затрат. Так, только десульфатизация топлива для электростанций (сокращение содержания серы до приемлемого уровня) повышает себестоимость электроэнергии на 20% [7]. Китай относится к категории развивающихся стран и имеет привилегию не бороться за сокращение выбросов. На его долю приходится 40–43% выбросов в атмосферу в восточной Азии, а в ближайшие 30 лет этот показатель увеличится в 2–4 раза [4, 8, 11]. На этом фоне Дальний Восток России и Монголия представляются белым пятном с отдельными островками источников эмиссии 0,5–10 тыс. т в год с единицы площади (80 x 80 км), да и те расположены в основном возле границ с Китаем.

Анализ основных экономических и экологических параметров стран в восточной Азии в значительной мере проясняет причины загрязнения атмосферы в регионе (см. таблицу).

Экологические и экономические показатели стран восточной Азии в 1990 г и прогноз на 2020 г. [4]

Страна	Эмиссия газов, 10^3 т		ВВП, 10^9 долл. США 1990 г.		10^3 т NO_x / 10^6 жителей		Эмиссия, 10^3 т / ВВП, 10^9 долл. США	
	1990	2020	1990	2020	1990	2020	1990	2020
Китай	8273	32364	321	2376	7	21	25,77	13,62
Япония	2468	4271	2405	7388	20	34	1,03	0,58
Ю. Корея	977	4590	253	1228	23	91	3,86	3,74
С. Корея	518	2429	28	51	24	76	18,50	47,63
Тайвань	520	2176	155	551	26	85	3,35	3,95
Гонконг	245	674	70	280	42	98	3,50	2,41
Монголия	30	85	2	9	14	20	15,00	9,44

Наиболее показательно соотношение объема выбросов на единицу произведенной продукции. Наилучшая характеристика этих параметров в Японии, что свидетельствует о преобладании высокотехнологичных отраслей производства и соблюдении строгих мер по ограничению эмиссии. В Китае на единицу произведенной продукции выбрасывалось в 25 раз больше NO_x , чем в Японии. В 2020 г. этот показатель в Китае должен сократиться примерно в два раза, но соотношение останется прежним. Самая плохая обстановка ожидается в Северной Корее. Рост эмиссии в этой стране и на северо-востоке Китая создаст к 2020 г. особенно неблагоприятные условия для Приморского края, что приведет к росту концентраций оксидов серы и азота в атмосфере (рис. 3) [8].

По расчетам автора, на периферии восточноазиатской зоны следует ожидать прирост концентраций сульфатов в атмосфере, а в центральной части – понижение. На юге Дальнего Востока и особенно Приморского края концентрации сульфатов увеличатся в 1,1 раза, нитратов – в 2 раза.

В сороковых широтах в тропосфере преобладает западно-восточный перенос воздушных масс, среднегодовая скорость их перемещения по прямой составляет 700–1000 км/сут, а время жизни в атмосфере окислов серы и азота, по современным оценкам, 4–5 сут, поэтому нетрудно предположить, что при определенной синоптической ситуации загрязняющие вещества из районов эмиссии в Китае окажутся на территории России, Японии, Северной и Южной Кореи.

По инициативе ряда стран региона была создана международная сеть станций мониторинга химического состава атмосферных выпадений (EANET), охватывавшая всю восточную Азию. В 2000 г. три такие станции заработали в Восточной Сибири, в 2001 г. одна – в Приморском крае, в России они включены в систему Гидрометеослужбы.

Отечественная наука и государственные структуры практически не реагирует на угрозу кислотных осадков на юге Дальневосточного региона. Причин тому несколько. Главная из них – недоступность широкому кругу пользователей данных мониторинга как национальной сети, так и EANET. Все материалы являются собственностью Гидрометеослужбы.

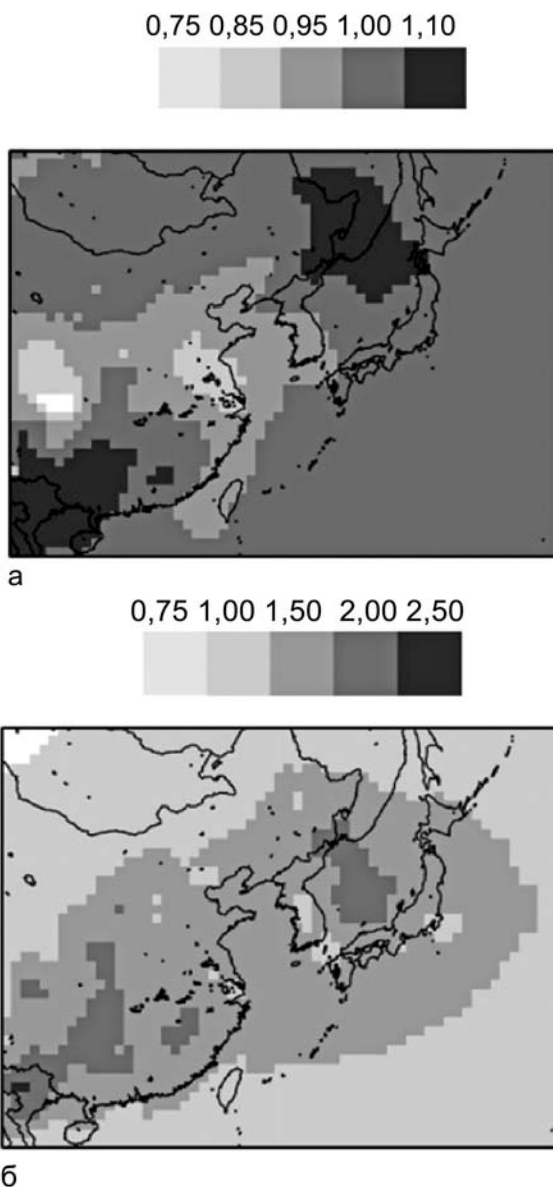


Рис. 3. Модельные расчеты роста концентраций сульфатов (а) и нитратов (б) в атмосфере восточной Азии в 2020 г. по отношению к 1996 г.

Академической науке организовывать атмосферный мониторинг в настоящее время, видимо, не по силам: нужно выбрать места, удаленные от локальных источников загрязнения, но обеспеченные электроэнергией, пригласить наблюдателей для ежедневного отбора проб и проведения анализов в специально оснащенной лаборатории, обеспечить синоптическое сопровождение, так как мало получить цифры о концентрациях тех или иных веществ, нужно знать, откуда пришли воздушные массы, и т.д.

Выходом из этого положения может служить мониторинг химического состава снежного покрова. Снег аккумулирует как влажные выпадения – вместе со снежинками, так и сухие – аэрозоли, осевшие под действием гравитации. Снега много, это позволяет взять пробу любого объема. Отбор нескольких проб в одной точке позволяет рассчитать погрешность анализа. Недостатком является то, что результаты анализа отражают только интегральный поток выпадений за период от установления снежного покрова до момента отбора пробы. Но многолетние исследования все же позволяют проследить динамику состава атмосферных выпадений зимнего периода.

Исследования химического состава снежного покрова на Дальнем Востоке проводятся в Тихоокеанском институте ДВО РАН с 1970-х годов. Последние – в феврале–марте 2005 г. Основной задачей их было определение границ зоны антропогенного воздействия в Приморском крае по выпадениям пыли и тяжелых металлов. Оказалось, что эта зона простирается от границы с Китаем до г. Арсеньев и от г. Лесозаводск до о-ва Русский, охватывая последний практически целиком [2]. Наиболее неожиданные результаты получены по кислотно-щелочному показателю (рН). Впервые за весь период исследований вне зоны антропогенного воздействия были зарегистрированы значения рН ниже 4. Кислотно-щелочной показатель чистых незагрязненных осадков равен 5,6, осадки с более низким рН считаются кислыми. Минимальное за всю историю наблюдений значение рН осадков (2,93) было зарегистрировано в Западной Европе в 1970-х годах [1]. Для выяснения происхождения

кислотных осадков специалисты Гидрометеослужбы провели синоптический анализ зимы 2004/05 г., который показал, что снежный покров этого сезона сформирован четырьмя циклонами, зародившимися в Желтом море и восточном Китае, в самой загрязненной зоне [2]. Возможно, не все циклоны принесли одинаково кислые осадки, но все содержали в той или иной степени загрязненные воздушные массы.

Полученные результаты навели на мысль изучить динамику химического состава осадков по данным мониторинга. На Дальнем Востоке национальная сеть представлена 12 станциями, 5 из которых расположены в Приморском крае (рис. 4).

Анализ проб осадков со всего региона проводится во Владивостоке. На протяжении 15–25 лет, в зависимости от периода наблюдений, практически на всех станциях фиксируется понижение кислотно-щелочного показателя осадков из-за роста концентрации сульфатов и нитратов, т.е. осадки

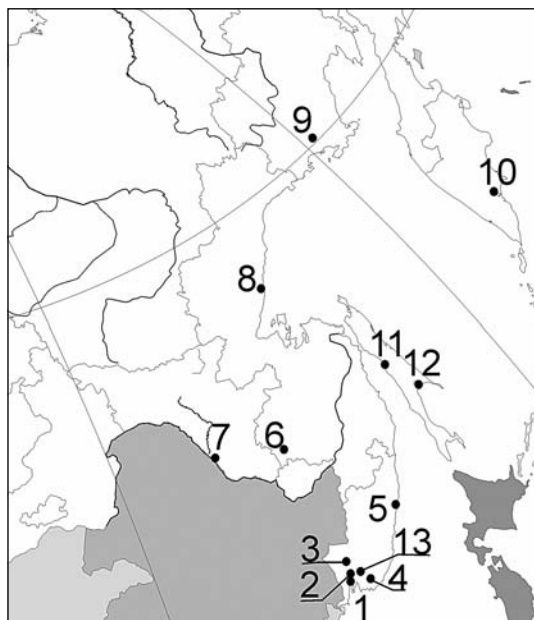


Рис. 4. Станции мониторинга химического состава осадков на Дальнем Востоке: 1 – Садгород, 2 – Тимирязевская, 3 – Халкидон, 4 – Партизанск, 5 – Терней, 6 – Сутур, 7 – Константиновка, 8 – Аян, 9 – Палатка, 10 – Петропавловск, 11 – Александровск, 12 – Поронайск, 13 – Приморская ЕАНЕТ

становятся все более кислыми (рис. 5) [2]. Не везде этот процесс происходит с одинаковой скоростью. В г. Партизанск уже в конце XX в. среднегодовые значения pH опустились ниже 5,6, и тенденция сохраняется. На остальной территории осадки станут кислыми в конце 2010-х годов. Но это прогноз по осредненным за год значениям, а в течение года осадки имеют разные показатели pH. Один кислотный дождь может нанести столь непоправимый вред биоте, что даже последующие нормальные дожди не изменят ситуацию к лучшему. Выбор минимальных среднемесячных значений pH за год показал, что они ниже среднегодовых на единицу: например, при среднегодовых, равных 6, минимальные среднемесячные были 5. То есть кислотные дожди выпадают на юге Дальнего Востока с 1990-х годов, и их кислотность с каждым годом повышается. Конечно, в отдельные годы наблюдаются повышения или понижения pH, но тенденция сохраняется.

Учитывая отсутствие на территории Дальнего Востока значительных источников эмиссии, сравнимых по объему с соседними странами, общий застой в экономике, рост эмиссии в соседних странах, а также особенности циркуляции атмосферы, объяснить повышение кислотности осадков и концентраций кислотообразующих поллютантов в них в последние десятилетия можно только атмосферным трансграничным переносом загрязняющих веществ из сопредельных стран. Это давно предсказано зарубежными авторами на основе модельных расчетов. По прогнозам, эта тенденция сохранится в ближайшие десятилетия, и нас ожидает судьба западноевропейских стран, испытавших на себе последствия кислотных осадков в 1960–1970-е годы.

В первую очередь от такого воздействия страдают лишенофлора и гидробионты пресноводных водоемов. На юге Дальнего Востока давно отмечается все более широкое распространение лишайников, устойчивых к атмосферному загрязнению, и угнетенное состояние или исчезновение чувствительных к загрязнению [3]. Для гидробионтов особую опасность представляют залповые понижения pH воды в период весеннего таяния снега,

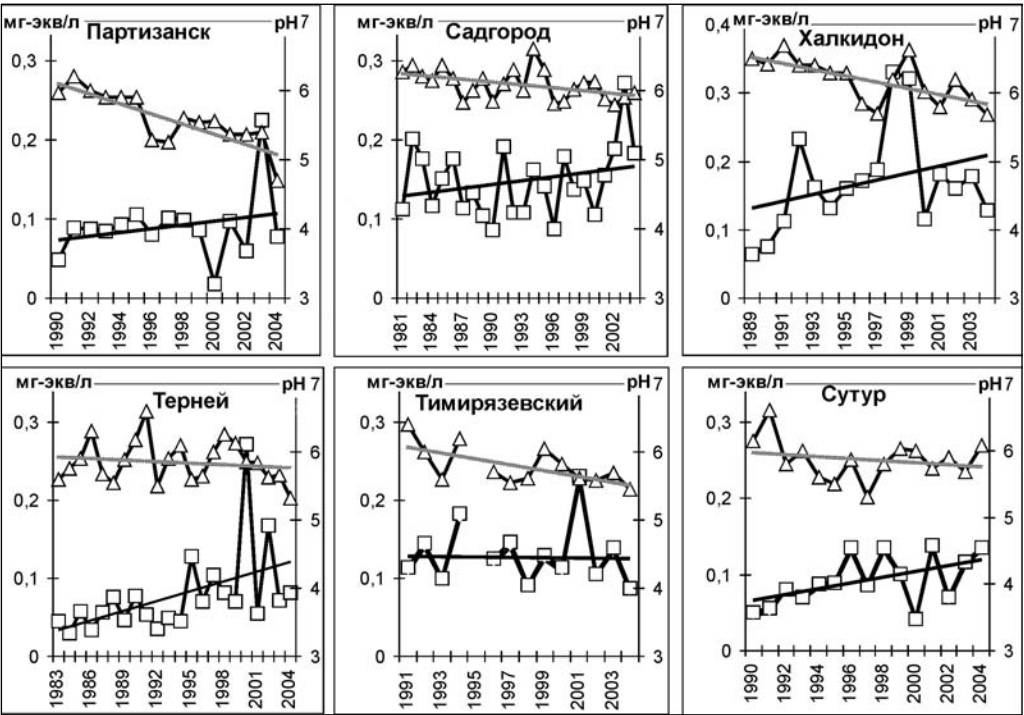


Рис. 5. Динамика среднегодовых значений pH осадков (треугольники) и концентраций в них сульфатов (квадраты) на станциях мониторинга (см. рис. 4)

когда почва еще не оттаяла и кислые талые воды скатываются в реки и озера. Кислотные осадки негативно сказываются на численности и составе бактерий и грибов почвы, приводят к усыханию хвойных лесов и понижению урожайности сельскохозяйственных культур, ускоряют коррозию металлических конструкций и разрушение архитектурных памятников.

К непрерывно растущему загрязнению атмосферы в городах, где проживает основная часть жителей Дальнего Востока, добавляется загрязнение, приносимое воздушными потоками из-за границы. Если ареалы и уровни локального загрязнения относительно невелики (кроме больших городов) и повлиять на картину в наших силах, то трансграничный перенос оказывает воздействие на всю территорию и улучшение ситуации возможно только по воле сопредельных стран. Если не произойдет кардинальных изменений в циркуляции атмосферы, что маловероятно, негативное воздействие на окружающую среду региона отчетливо проявится в следующем десятилетии. Но уже сейчас необходимо донести эту информацию до властных структур государства и начать исследования состояния природных сред, учитывая влияние атмосферного трансграничного переноса загрязняющих веществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Пресман А.Я. и др. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 203 с.
2. Кондратьев И.И., Мезенцева Л.И., Семькина Г.И. Тенденции в динамике pH осадков в Дальневосточном регионе Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2007. № 4. С. 89-100.
3. Скирина И.Ф., Коженкова С.И. Лихеноиндикация загрязнения приземного воздуха города Находка (Приморский край) // Ботан. журн. 2005. № 8. С. 1184-1196.
4. Aardenne van J.A., Carmichael G.R., Levy II. H., Street D., Hordijk I. Anthropogenic NO_x emissions in Asia in the period 1990–2020 // Atmos. Environ. 1999. Vol. 33. P. 633-646.
5. Dastoor F.P., Pudykiewicz J. A numerical global meteorological sulfur transport model and its application to arctic air pollution // Atmos. Environ. 1996. Vol. 30, N 9. P. 1501-1522.
6. Guttikunda S.K., Carmichael G.R., Calori G., Eck C., Woo J.-H. The contribution of megacities to regional sulfur pollution in Asia // Atmos. Environ. 2003. Vol. 37. P. 11-22.
7. Hunova I., Santroch J., Ostatnicka J. Ambient air quality and deposition trends at rural in the Czech Republic during 1993–2001 // Atmos. Environ. 2004. Vol. 38. P. 887-898.
8. Kim J., Cho S.Y. A numerical simulation of present and future acid deposition in North East Asia using a comprehensive acid deposition model // Atmos. Environ. 2003. Vol. 37. P. 3375-3383.
9. National Report of Japan on Atmospheric Deposition of Contaminants into the Marine and Coastal Environment in the NOWPAP Region. – Report of the 1st Joint Meeting of NOWPAP (Northwest Pacific Action Plan) POMRAC (Pollution Monitoring Regional Activity Center) Working Groups. Vladivostok, 2004. 50 p.
10. Park S.-U., Lee E.-H. Long-range transport contribution to dry deposition of acid pollutants in South Korea // Atmos. Environ. 2003. Vol. 37. P. 3967-3980.
11. Streets D.G., Waldhoff S.T. Present and future emissions of pollutants in China: SO₂, NO_x and CO // Atmos. Environ. 2000. Vol. 34. P. 363-374.