

УДК 551.510.42

В. А. ОБОЛКИН*, О. Г. НЕЦВЕТАЕВА*, Л. П. ГОЛОВОКОВА*, В. Л. ПОТЁМКИН*,
Е. А. ЗИМНИК**, У. Г. ФИЛИППОВА*, Т. В. ХОДЖЕР*

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

**Институт географии СО РАН, г. Иркутск

РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ КИСЛОТНЫХ ВЫПАДЕНИЙ В РАЙОНЕ ЮЖНОГО БАЙКАЛА

Рассматриваются результаты мониторинга кислотных выпадений (2000–2010 гг.) на территории юга Восточной Сибири (Иркутско-Ангарский промышленный центр). Установлено, что наиболее часто кислотные выпадения регистрируются в районе Южного Байкала (70–100 км к юго-востоку от Иркутско-Ангарского промышленного центра), и кислотность осадков продолжает нарастать. Данные закисления атмосферных выпадений сравниваются с результатами многолетнего мониторинга в Европе.

Ключевые слова: мониторинг, оксиды серы и азота, pH, кислотные выпадения, Юго-Восточная Сибирь.

We examine the acid fallout monitoring results (2000–2010) for the southern territory of East Siberia (the Irkutsk-Angarsk industrial center). It is established that acid fallout events are most frequently recorded in the area of South Baikal (70–100 km south-east of the Irkutsk-Angarsk industrial center), with the acidity of precipitation continuing to increase. Atmospheric precipitation acidity data are compared with long-term monitoring results for Europe.

Keywords: monitoring, sulfur and nitrogen oxides, pH, acid fallouts, Southeastern Siberia.

ВВЕДЕНИЕ

Закисление природных сред — важнейшая экологическая проблема. Одной из первых с ней столкнулась Европа в 1970–1980-х гг., когда неконтролируемые атмосферные выбросы, прежде всего угольных ТЭЦ, привели к возрастанию кислотности атмосферных выпадений и, как следствие, к постепенной деградации наземных и водных экосистем в наиболее уязвимых районах этой территории [1, 2]. В дальнейшем европейскими странами были приняты меры по контролю и снижению выбросов оксидов серы и азота. В результате концентрации SO_2 в Европе имели устойчивый тренд к понижению, и к настоящему времени экологическая ситуация, связанная с кислотными выпадениями, заметно улучшилась.

В Сибири на сегодня этой проблеме не уделяется должного внимания. Считается, что удельная эмиссия SO_2 по отношению к огромной территории региона намного ниже, чем в Европе, и проблем с закислением атмосферных выпадений и природных экосистем пока возникать не должно. Однако отдельные регионы Сибири имеют очень развитую и энергоёмкую промышленность и, соответственно, значительную эмиссию кислотообразующих газов. В связи с этим можно ожидать, что некоторые природные территории могут испытывать негативное воздействие кислотных выпадений. В частности, такой риск существует для западных склонов хр. Хамар-Дабан, обращенных к северо-западному переносу воздушных масс со стороны Иркутска. Ранее уже неоднократно отмечались низкие величины pH (<5,0) снежного покрова в этом районе, которые вместе с большим количеством осадков (1200–1400 мм/год) могут привести к превышению допустимых критических кислотных нагрузок на лесные экосистемы [3, 4].

Целью работы стала оценка современной ситуации и тенденций, связанных с кислотными выпадениями на юго-востоке Сибири, на основе анализа результатов 11-летнего регионального мониторинга атмосферы в сравнении с тем, как это происходило в ряде стран Северной Европы, наиболее пострадавших от кислотных выпадений.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ

Иркутская область, расположенная на юго-востоке Сибири, — один из крупнейших промышленных регионов России. В настоящее время угольные ТЭЦ вокруг Ангарска и Иркутска выбрасыва-

© 2013 Оболкин В. А. (obolkin@lin.irk.ru), Нецветаева О. Г. (r431@lin.irk.ru),

Голобокова Л. П. (lg@lin.irk.ru), Потёмкин В. Л. (klimat@lin.irk.ru), Зимник Е. А. (zimnik@lin.irk.ru),

Филиппова У. Г. (ulyana@lin.irk.ru), Ходжер Т. В. (khodzher@lin.irk.ru)

ют в атмосферу 100–110 тыс. т SO_2 и 60–70 тыс. т NO_x ежегодно [5], что составляет до 80–90 % выбросов этих газов всей Иркутской областью. Такие величины эмиссии сравнимы с эмиссиями SO_2 ряда североевропейских стран: Норвегия — 140 тыс. т в 1980-х гг. и 50 тыс. т в 2000-х гг., Швеция — 400 тыс. т и около 50 тыс. т, Латвия — 118 тыс. т и 18 тыс. т соответственно [6–8]. Таким образом, сегодня выбросы кислотообразующих примесей только Иркутска и Ангарска сравнимы с общими выбросами трех европейских стран — Норвегии, Швеции и Латвии. Зона наиболее вероятного атмосферного влияния Иркутско-Ангарского промышленного комплекса из-за преобладания здесь северо-западных переносов воздушных масс распространяется в направлении Южного Байкала. Поэтому регулярный мониторинг атмосферы в этом районе очень важен.

В связи с этим для круглогодичных наблюдений за атмосферными загрязнениями, в том числе кислотными выпадениями, выбраны следующие пункты: Иркутск ($52^\circ 14'$ с. ш., $104^\circ 15'$ в. д.) как один из основных источников антропогенного загрязнения атмосферы в регионе; пос. Листвянка ($51^\circ 51'$ с. ш., $104^\circ 54'$ в. д.) как сельский район на пути преобладающего переноса воздушных масс со стороны Иркутска (поселок расположен на берегу оз. Байкал в районе истока р. Ангара, в 70 км юго-восточнее Иркутска); ст. Монды ($51^\circ 40'$ с. ш., $101^\circ 0'$ в. д.) как фоновый район (станция расположена в горном районе на высоте 2005 м над ур. моря, в 300 км юго-западнее Иркутска). Все три станции включены в международную программу «Мониторинг кислотных выпадений в Восточной Азии» (EANET). Методы отбора и анализа проб воздуха и атмосферных осадков, используемые на станциях, унифицированы с методами, общепринятыми для всей сети станций этой программы [9]. Точность химических анализов и качество получаемых данных контролируются проведением ежегодных межлабораторных интеркалибровок в рамках программы EANET.

Для анализа состава аэрозолей и газов используется метод отбора проб на фильтры — прокачка воздуха со скоростью 1–2 л/мин в течение недели через четыре последовательно расположенных фильтра. На первом фильтре собирается аэрозоль, на последующих трех — газообразные примеси. После отбора проб в лаборатории определяются концентрации четырех газов (SO_2 , HNO_3 , HCl и NH_3) и девяти основных ионов (SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} и K^+).

Влажные выпадения (атмосферные осадки) собираются автоматическим wet only осадкосборником (модель US-320, производство Японии, воронка диаметром 300 мм). В каждом случае выпадений осадков определялись концентрации основных ионов, величины pH и удельной электропроводности с помощью современных стандартных методов (ионная хроматография, атомно-абсорбционная спектрофотометрия, потенциометрия, кондуктометрия) в аккредитованной лаборатории гидрохимии и химии атмосферы Лимнологического института СО РАН (<http://www.lin.irk.ru>). Среднемесячные данные после статистической обработки отправляются в Институт глобального климата и экологии при Росгидромете РФ и становятся доступными на официальном сайте EANET (<http://www.eanet.cc>).

Кроме этих, общих для всех станций EANET методов, на станциях Иркутск и Листвянка проводились измерения концентраций газов SO_2 , NO и NO_2 с помощью автоматических высокоразрешающих газоанализаторов С310 и А310 фирмы «Оптэк» (Россия). Газоанализаторы имеют чувствительность от 1 мкг/м³ и временное разрешение — 1–2 мин, что позволило более детально анализировать связь концентраций исследуемых газов с направлениями ветра.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сезонная и межгодовая изменчивость концентраций SO_2 в атмосфере. Известно, что основные источники подкисления атмосферных выпадений — газообразные оксиды серы и азота, поступающие в атмосферу вследствие сжигания ископаемого топлива, главным образом каменного угля. В Сибири объемы ежегодно сжигаемого топлива зависят от времени года и климатических условий. На рис. 1, а представлена изменчивость среднегодовых концентраций SO_2 на трех станциях мониторинга Юго-Восточной Сибири за весь период наблюдений, а также среднегодовые температуры воздуха по ст. Иркутск. Концентрации SO_2 на станциях Иркутск и Листвянка, как правило, возрастают в холодные годы и понижаются в теплые (коэффициент корреляции 0,62).

Очевидно, что такая связь частично объясняется возрастанием объемов сжигаемого топлива в холодные годы и наоборот. Однако изменчивость среднегодовых концентраций диоксида серы значительно выше, чем изменчивость региональной эмиссии SO_2 (см. рис. 1, а). Это означает, что помимо температуры воздуха на изменчивость концентраций диоксида серы влияют и другие метеорологические факторы, прежде всего ухудшение условий рассеяния и трансформации примесей в холодные годы, а также изменчивость направления ветров. На фоновой ст. Монды среднегодовые концентрации SO_2 и их межгодовая изменчивость существенно ниже по сравнению с другими станциями, что говорит о минимальном антропогенном влиянии на загрязнение атмосферы в этом районе.

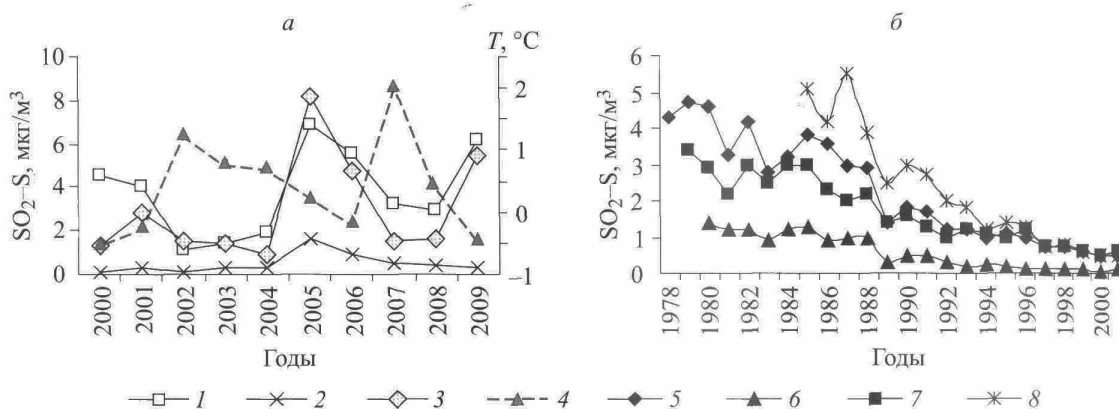


Рис. 1. Динамика среднегодовых концентраций SO₂ на станциях мониторинга Юго-Восточной Сибири (а) и Северной Европы (б).

Станции: 1 — Иркутск, 2 — Монды, 3 — Листвянка, 5 — Бредкален, 6 — Хобурген, 7 — Вавихилл, 8 — Рорвик; 4 — температура воздуха.

Для сравнения: на рис. 1, б приведен график межгодовой изменчивости концентрации SO₂ на станциях мониторинга Швеции [7], которая имела проблемы с закислением экосистем малых озер и лесов в 1970–1980-х гг. Видно, что в настоящее время среднегодовые концентрации диоксида серы на станциях Иркутск и Листвянка имеют тот же порядок величин и примерно такую же высокую межгодовую изменчивость, что и на шведских станциях в 1980-е гг., однако их тренды существенно различаются. В Швеции (как и во всей Европе) среднегодовые концентрации этого газа к 2000-м гг. снизились многократно и в настоящее время достигли столь же низких значений, что и на фоновой сибирской ст. Монды. На городской и сельской станциях мониторинга Юго-Восточной Сибири за 11-летний период наблюдений тренд содержания диоксида серы в атмосферном воздухе имеет тенденцию скорее к повышению, чем к понижению.

Сезонная изменчивость концентраций диоксида серы в атмосфере урбанизированных и сельских районов Сибири также соответствует сезонному ходу температуры воздуха (рис. 2, а). Как правило, зимние концентрации SO₂ там многократно выше летних. Похожая ситуация наблюдалась в 1980-е гг. в Северной Европе (см. рис. 2, б). К 2000-м гг. европейским странам удалось снизить выбросы SO₂ настолько, что зимние концентрации этого газа сравнялись с летними. В Восточной Сибири такая сезонная динамика наблюдалась только в районе фоновой ст. Монды (см. рис. 2, а).

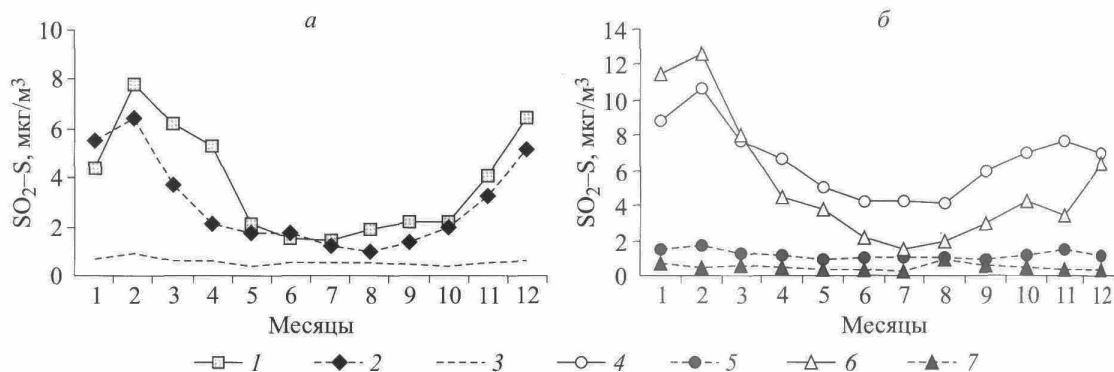


Рис. 2. Сезонная изменчивость концентраций SO₂ на станциях мониторинга Юго-Восточной Сибири (а) и Северной Европы (б).

Станции: 1 — Иркутск, 2 — Листвянка, 3 — Монды, 4 — Стоук Ферри (1982–1984 гг.), 5 — Стоук Ферри (1999–2001 гг.), 6 — Танге (1979–1981 гг.), 7 — Танге (1999–2001 гг.).

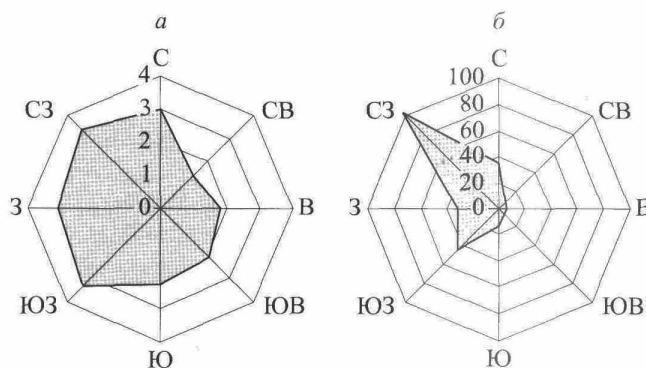


Рис. 3. Средние концентрации SO_2 ($\text{мкг}/\text{м}^3$) на ст. Листвянка при разных направлениях ветров.
а — лето; б — зима.

Таким образом, современная ситуация с концентрациями диоксида серы в воздухе крупных городов и сельских районов юго-востока Сибири (на примере г. Иркутска и пос. Листвянка) очень напоминает ту, что складывалась на территории Северной Европы в 1980-х гг. В связи с этим существует опасность, что такие же проблемы (связанные с кислотными выпадениями) могут возникнуть и в отдельных районах Сибири, в частности на Южном Байкале.

Анализ связи концентраций SO_2 в воздухе с направлениями ветров показывает, что основные источники поступления диоксида серы на Южный Байкал лежат к западу от него (рис. 3). Летом это довольно широкий сектор от юго-запада до севера, с примерно близкими средними концентрациями ($3\text{--}4 \text{ мкг}/\text{м}^3$), что говорит о неопределенности в расположении источников. Скорее всего, это хорошо перемешанные воздушные массы, включающие выбросы не только Иркутска и Ангарска, но и более удаленных источников. Зимой, наоборот, высокие концентрации (около $100 \text{ мкг}/\text{м}^3$) отмечаются в северо-западном секторе, в пределах которого расположены Иркутск и Ангарск. Узость этого сектора и высокие концентрации SO_2 в воздухе указывают на основной вклад источников, расположенных в этих городах, в зимний перенос газовых примесей на Южный Байкал.

Плотности распределения концентраций SO_2 в летний и зимний периоды на ст. Листвянка также существенно различаются (рис. 4). Летом в распределении наблюдается только одна мода — $1\text{--}2 \text{ мкг}/\text{м}^3$ (при максимальных — до $20\text{--}30 \text{ мкг}/\text{м}^3$), что указывает на хорошее перемешивание воздушных масс и слабое влияние каких-либо местных источников. Зимой прослеживаются две моды — одна в диапазоне $5\text{--}10 \text{ мкг}/\text{м}^3$, другая — $30\text{--}40 \text{ мкг}/\text{м}^3$. Первая мода связана, вероятно, с дальним переносом или глобальным фоном (около 16%), вторая — с региональным переносом (Ангарск—Иркутск и другие близкие источники). Максимальные концентрации SO_2 , зарегистрированные на ст. Листвянка зимой, достигали порой $350 \text{ мкг}/\text{м}^3$.

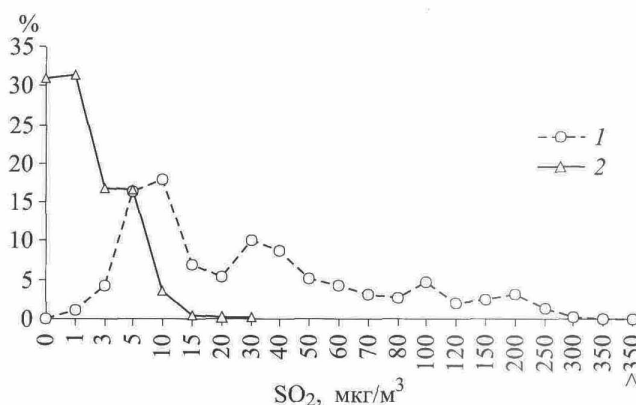


Рис. 4. Плотность распределения различных концентраций SO_2 на ст. Листвянка.
1 — зима, 2 — лето.

Повторяемость атмосферных осадков с pH < 5, диапазон изменчивости pH на станциях мониторинга Восточной Сибири (2000–2010 гг.) и годовые объемы эмиссии кислотообразующих газов городами Иркутском и Ангарском

Год	Иркутск		Листвянка		Монды		Эмиссия, тыс. т/год	
	pH						SO ₂	NO _x
	%	диапазон	%	диапазон	%	диапазон		
2000	14	3,65–8,26	29	4,27–6,69	3	4,86–6,62	73	34
2001	16	3,99–7,53	32	4,30–6,93	4	4,97–7,00	69	34
2002	20	4,30–7,52	50	4,32–6,46	7	4,89–6,99	73	37
2003	7	4,68–7,90	36	4,29–6,40	5	4,76–6,53	84	45
2004	11	4,09–7,74	30	4,35–6,71	3	4,96–6,51	65	33
2005	19	4,30–7,22	67	4,20–6,48	0	5,02–6,33	82	30
2006	15	3,73–7,44	65	3,14–6,10	0	5,07–7,10	89	33
2007	20	4,11–7,30	56	3,87–6,60	0	5,12–6,96	92	49
2008	18	4,10–7,69	51	4,14–7,10	7	4,92–7,14	120	77
2009	5	4,54–7,20	41	4,25–6,52	0	5,11–6,55	104	67
2010	9	3,60–7,37	47	4,31–7,83	8	4,85–6,28	158	80

Кислотность атмосферных выпадений. Мониторинговые наблюдения показали, что наиболее часто выпадение кислотных осадков фиксируется в районе Южного Байкала (пос. Листвянка) (табл. 1). В 2005–2007 гг. количество осадков с величиной pH ниже 5,0 на этой станции превышало 50 %. В эти же годы наблюдались самые высокие концентрации SO₂ на всех станциях мониторинга атмосферы (см. рис. 1).

Низкие значения pH влажных выпадений постоянно регистрируются и в Иркутске, при этом пределы изменчивости кислотно-щелочного показателя существенно выше, чем в Листвянке (см. табл. 1). Потенциально кислотность атмосферных осадков в Иркутске выше, чем в Листвянке, но, в отличие от сельских районов, в промышленном секторе чрезмерная кислотность более эффективно нейтрализуется избытком щелочных компонентов, постоянно присутствующих в воздухе. Минимальная частота выпадения кислых осадков наблюдается на фоновой ст. Монды — менее 8 %.

Таким образом, наиболее вероятная зона максимальных кислотных нагрузок, связанных с региональными антропогенными источниками, распространяется от промышленных комплексов Приангарья на Южный Байкал.

Регулярные данные по кислотности атмосферных осадков, накопленные за 11 лет, позволяют сделать первые оценки многолетних трендов pH (рис. 5). Как видно, на станциях Листвянка и Иркутск тренд pH осадков имеет тенденцию к понижению (увеличению кислотности). При этом в пос. Лист-

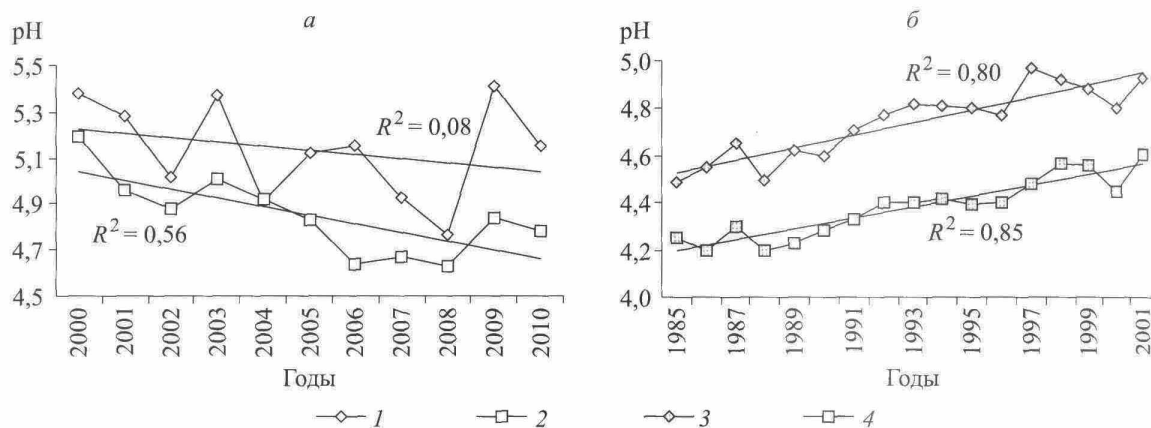


Рис. 5. Многолетние тренды pH атмосферных осадков на юго-востоке Сибири (а) и в Швеции (б) [7].

Станции: 1 — Иркутск, 2 — Листвянка, 3 — Рорвик, 4 — Вавихилл.

Связь pH атмосферных осадков на ст. Листвянка с соотношением концентраций основных катионов и анионов (корреляция Пирсона) (2000–2009 гг.)

Сезон	Кол-во месяцев	pH	r		
			Ca ²⁺ /SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺ /NO ₃ ⁻	Ca ²⁺ /(SO ₄ ²⁻ + NO ₃ ⁻)
Зима (декабрь–март)	38	5,07 (5,00–5,15)	-0,05	0,71 (0,50–0,84)	0,67 (0,45–0,81)
Лето (июнь–август)	30	4,84 (4,74–4,94)	0,64 (0,36–0,81)	0,31 (0,01–0,56)	0,60 (0,30–0,79)

Примечание. r — коэффициент корреляции pH с отношениями эквивалентных концентраций ионов; в скобках — доверительный интервал средних значений с вероятностью 95 %.

Листвянка тренд статистически достоверен ($R^2 = 0,56$). В Иркутске из-за высокой межгодовой изменчивости величины pH статистическая значимость тренда недостаточна, хотя ситуация, связанная с кислотными выпадениями, и здесь, скорее всего, ухудшается. Для сравнения на рис. 5, б приведены многолетние статистически значимые положительные тренды pH атмосферных осадков для двух станций Северной Европы, которые демонстрируют реальный результат планомерного сокращения выбросов кислотообразующих газов в Европе в целом. Данные по выбросам Иркутска и Ангарска (см. табл. 1) за рассматриваемый период, наоборот, говорят о существенном росте, что согласуется с трендом роста кислотности выпадений в регионе.

Чтобы оценить, какие анионы вносят основной вклад в подкисление атмосферных осадков на Южном Байкале, проведен корреляционный анализ связи месячных величин pH атмосферных осадков и соотношения основных анионов и катионов (табл. 2). Прямые корреляции pH с концентрациями сульфатов и нитратов оказались очень низкими, так как помимо анионов на величину pH влияют и основные катионы — Ca²⁺ и Mg²⁺. Корреляции pH с взаимным соотношением анионов и катионов более значимы. Важная связь выявлена между величиной pH осадков и содержанием трех ионов — Ca²⁺, NO₃⁻ и SO₄²⁻ (см. табл. 2). При этом в холодный период pH осадков существенно зависит от соотношения концентраций кальция и нитрата, т. е. подкисление зимних осадков в Листвянке вызывается ростом содержания NO₃⁻ и уменьшением Ca²⁺. Роль сульфатов оказалась незначительной. В летний период, наоборот, основной вклад в подкисление осадков в районе Листвянки вносит анион SO₄²⁻. Анион NO₃⁻ также имеет значимое влияние, однако корреляция с ним в два раза хуже, чем с сульфатами.

Таким образом, несмотря на то что максимум антропогенной эмиссии серы и азота наблюдается зимой, подкисление зимних осадков происходит в среднем несколько слабее (pH = 5,0), чем летних (pH = 4,8), и в основном определяется соотношением ионов Ca²⁺/NO₃⁻. Вклад сульфатов в подкисление зимних осадков на Южном Байкале незначителен. Летом, наоборот, на подкисление атмосферных осадков в основном влияют сульфаты, вклад нитратов в два раза меньше, и корреляция на пределе значимости.

Сказанное выше подтверждается и анализом химического состава снежного покрова, отобранного по маршруту Иркутск–пос. Листвянка–акватория Южного Байкала (табл. 3). Снежный покров позволяет более детально представить картину пространственной изменчивости ионного состава и кислотности атмосферных выпадений при удалении от крупных источников антропогенного загрязнения атмосферы.

Как следует из табл. 3, концентрация сульфат-иона в снегу с удалением от Иркутска на 30 км уменьшается в 3–4 раза, тогда как концентрация нитрат-иона, наоборот, постепенно растет, а в 40–50 км от города начинает превышать концентрацию

Таблица 3

Величина pH и распределение концентраций основных ионов (мг/дм³) в снежном покрове по направлению Иркутск–Листвянка–акватория Южного Байкала (зима 2005/2006 гг.)

Расстояние от Иркутска, км	pH	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻
0	6,4	6,2	1,9	3,1	1,1	2,8
4	6,4	5,9	1,9	3,1	0,4	2,6
9	6,3	4,3	1,8	1,9	1,2	2,9
19	5,4	2,3	1,8	1,4	0,1	0,0
29	5,2	2,1	2,0	1,2	0,1	0,0
39	5,0	1,7	2,0	1,0	0,1	0,0
51	5,0	1,4	2,0	0,8	0,1	0,0
63	5,2	2,4	2,1	1,2	0,2	0,0
67	5,0	2,0	2,8	1,3	0,1	0,0
70	4,8	2,7	3,2	1,4	0,0	0,0
74	5,0	1,6	2,7	1,1	0,0	0,0
81	4,8	2,6	3,5	1,7	0,0	0,0

SO_4^{2-} . Преобладание нитратов над сульфатами в снегу отмечено и на восточном берегу Южного Байкала, напротив долины Ангары [10]. Это может означать, что окисление SO_2 до сульфатов зимой происходит медленнее, чем окисление NO и NO_2 в NO_3^- . На это же указывают и высокие зимние концентрации SO_2 в Листвянке, сравнимые с концентрациями в Иркутске (см. рис. 1–3).

Таким образом, основной вклад в подкисление снежного покрова на Южном Байкале вносят не столько воздушные выбросы диоксида серы, сколько выбросы оксидов азота, хотя не исключено, что при удалении от источников этих компонентов влияние сульфатов (после окисления SO_2) будет возрастать и вновь станет основным.

В целом рассмотренные результаты мониторинга указывают на то, что в изучаемом регионе наиболее часто кислотные выпадения встречаются в районе Южного Байкала, что обусловлено западным переносом выбросов оксидов серы и азота. Зимой основной источник загрязнения атмосферы — крупные угольные ТЭЦ в районе Иркутска и Ангарска, а летом подкисление, по-видимому, связано с воздействием предприятий не только региональных, но и более удаленных промышленных центров Сибири. Нельзя не принимать в расчет и такой круглогодичный источник оксидов азота, как автомобильный транспорт, количество которого с каждым годом все увеличивается.

Некоторые районы Южного Байкала, в частности бассейн р. Переемная, по своим природным условиям (кислые почвы, маломинерализованные воды рек и озер) имеют высокую чувствительность к кислотным выпадениям. И хотя современные кислотные нагрузки для этого региона пока еще не превышают критических [11], наблюдаемая многолетняя тенденция вызывает тревогу. Так, согласно исследованиям [10], проведенным в 1996–2003 гг., относительный состав ионов в воде рек этого района изменился по сравнению с 1950-ми гг. [12]: возросла доля иона SO_4^{2-} , снизилась — ионов HCO_3^- . Воды р. Переемная, бассейн которой располагается на склоне Хамар-Дабана, напротив долины р. Ангара, имеют в настоящее время величину рН в пределах 6,6–6,8 (при норме >7), щелочность — 0,15 мг-экв/л (критической считается 0,05 мг-экв/л). В дальнейшем, если не принять мер к ограничению атмосферных выбросов SO_2 и NO_x угольными ТЭЦ Иркутска, Ангарска и других крупных источников, расположенных в Сибири, экологическая ситуация в этом районе постепенно будет ухудшаться.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты 11-летнего мониторинга содержания кислотообразующих примесей в атмосфере на юге Восточной Сибири показывают, что в зоне влияния крупных промышленных центров региона наблюдается тенденция к постепенному повышению кислотности атмосферных выпадений. Наибольшую угрозу такая тенденция представляет для природных объектов Южного Байкала, особенно склонов хр. Хамар-Дабан, которые располагаются на пути атмосферного переноса загрязняющих примесей со стороны региональных антропогенных источников. Эта опасность возрастает в связи со значительным количеством атмосферных осадков и высокой чувствительностью самих природных объектов этого района к кислотным выпадениям.

Таким образом, следует уделить особое внимание регулярному мониторингу региональных переносов атмосферных загрязнений и состоянию природных объектов на юге Байкала, а также контролю за выполнением мероприятий по сокращению выбросов в атмосферу оксидов серы и азота крупными предприятиями области. Опыт европейских стран показывает, что технически задача снижения этих выбросов вполне решаема, и лучше своевременно принять меры по снижению эмиссии кислотных газов в регионе, чем устранять их возможные последствия в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wright R. F. Acidification of fresh water in Europe // Water Quality Bulletin. — 1983. — Vol. 8, N 3. — P. 137–142.
2. Abrahamsen G., Stuanes A. O., Tveite B. Effect of long range transported air pollutants in Scandinavia // Water Quality Bulletin. — 1983. — Vol. 8, N 2. — P. 89–95.
3. Оболкин В. А., Ходжер Т. В., Анохин Ю. А., Прохорова Т. А. Кислотность атмосферных выпадений в регионе Байкала // Метеорология и гидрология. — 1991. — № 1. — С. 55–60.
4. Кокорин А. О., Политов С. В. Поступление загрязняющих веществ из атмосферы с осадками в Южном Прибайкалье // Метеорология и гидрология. — 1991. — № 1. — С. 48–54.

5. **Государственный доклад** «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2007 году». — Иркутск, 2008. — 354 с.
6. **Chang J. S., Solberg S., Torseth K. et al.** National assessment report for Norway // EMEP Assessment. Part II: National contribution. — Oslo, 2004. — P. 157–173.
7. **Lovblad G., Henningsson E., Sjöberg K. et al.** Trends in Swedish background air // EMEP Assessment. Part II: National contribution. — Oslo, 2004. — P. 211–220.
8. **Lyulko I., Frolova M., Indrikson I., Berga P.** Assessment report on the Latvian EMEP data 1985–2000 // EMEP Assessment. Part II: National contribution. — Oslo, 2004. — P. 122–132.
9. **Guidelines for Acid Deposition Monitoring in East Asia**, 2nd Interim Scientific Advisory Group Meeting. — Niigata: ADORC, 2000. — 25 p.
10. **Сороковикова Л. М., Нещетаева О. Г., Томберг И. В. и др.** Влияние атмосферных осадков на химический состав речных вод Южного Байкала // Оптика атмосферы и океана. — 2004. — Т. 17, № 5–6. — С. 423–427.
11. **Semenov M. Yu., Khodzher T. V., Obolkin V. A. et al.** Assessing the acidification risk in the lake Baikal region // Chemistry and Ecology. — 2006. — Vol. 22, N 1. — P. 1–11.
12. **Вотинцев К. К., Глазунов И. В., Толмачева А. П.** Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. — М.: Наука, 1965. — 495 с.

Поступила в редакцию 29 июня 2012 г.