

**О.Г. Нецветаева, Т.В. Ходжер, В.А. Оболкин, Н.А. Кобелева, Л.П. Голобокова,
И.В. Коровякова, М.П. Чубаров**

Химический состав и кислотность атмосферных осадков в Прибайкалье

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 29.02.2000 г.

Приводятся результаты исследований химического состава отдельных атмосферных осадков на трех станциях мониторинга Прибайкалья за 1998–1999 гг. Отдельные атмосферные выпадения на станциях «Иркутск» и «Монды» исследовались впервые. Показаны существенные различия в химическом составе отдельных осадков, связанные с географическим положением станций отбора, метеоусловиями и степенью антропогенного воздействия на изучаемую территорию. Отмечены случаи выпадения кислотных дождей при определенных синоптических ситуациях в регионе.

Введение

Важнейшей частью наблюдений за состоянием атмосферы является изучение химического состава атмосферных осадков. Осадки удаляют содержащиеся в атмосфере примеси и участвуют, таким образом, в очищении воздуха.

В 80-х гг. текущего столетия ключевой проблемой окружающей среды в Западной Европе, США и Канаде стали кислотные дожди [1 – 5]. Трансграничный и макромасштабный перенос загрязняющих веществ из стран Западной Европы, а также воздействие крупных промышленных центров России на природную среду привели к закислению осадков всей западной части европейской территории бывшего СССР [1].

В последние годы в связи с быстрым индустриальным развитием проблема кислотных выпадений возникла и в некоторых странах Юго-Восточной Азии [6].

Большие пространства, точечные источники загрязнения, щелочная реакция атмосферных выпадений вблизи индустриальных центров – все это позволяло говорить об отсутствии проблемы закисления в Восточной Сибири в 80-е гг. [7]. Однако в работе [8] указывалось, что в некоторых районах Прибайкалья, главным образом в фоновых северных районах оз. Байкал, встречаются осадки с $pH = 4,8 \div 5,2$.

Нижней границей естественного закисления осадков принято считать $pH = 5,0$ [1]. Повышенная кислотность осадков в этих районах, скорее всего, соответствуют природному фону. Такие осадки наиболее чувствительны к подкислению из-за малой минерализации и малой буферной емкости [8]. Некоторые районы Прибайкалья, особенно юго-восточное побережье Байкала, отличаются большим количеством осадков в зимний период [8, 9]. Увеличение кислотных нагрузок может привести к негативным последствиям для всей уникальной экосистемы региона оз. Байкал.

Целью наших исследований явились изучение особенностей формирования химического состава атмосферных осадков в разных по антропогенной нагрузке районах Прибайкалья, выявление их сезонных различий и определение факторов, влияющих на возможное подкисление осадков в регионе.

1. Материал и методы исследований

Отдельные атмосферные осадки отбирались на трех станциях мониторинга Байкальского региона (г. Иркутск, пос. Листвянка, ст. «Монды»).

Иркутск – крупный промышленный центр с населением более 700 тыс. человек. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха города являются выбросы загрязняющих веществ промышленными объектами и автотранспортом.

Листвянка – небольшой поселок (около 3 тыс. жителей), расположенный на побережье южной оконечности оз. Байкал в 70 км от г. Иркутска. Имеет точечные источники загрязнения атмосферы в виде небольших котельных и печного отопления. Дополнительное загрязнение приходит с воздушными массами из промышленных комплексов Прибайкалья при преобладающем северо-западном направлении ветров [10].

Ст. «Монды» – астрономическая обсерватория Института солнечно-земной физики, расположена на одной из плоских вершин хребта Хамар-Дабан на высоте 2005 м над уровнем моря. Станция снабжена промышленным электричеством, поэтому собственных источников загрязнения атмосферы не имеет. Ближайшие населенные пункты расположены в нескольких десятках километров. Она удалена от крупных промышленных центров (Иркутск, Байкальск) более чем на 200 км и закрыта хребтами Хамар-Дабан и Восточный Саян [11].

Всего за период с сентября 1998 по октябрь 1999 г. было отобрано и проанализировано около 150 проб различных осадков. Дождевая вода собиралась в автоматические осадкосборники, пробы снега – в специальные емкости диаметром 35 см. В них велось определение величины pH , электропроводности и основных ионов. Анализы выполнялись методом ионной хроматографии [12], атомной абсорбции и спектрофотометрии. Правильность выполненных анализов контролировалась путем расчета ошибки ионного баланса и ошибки рассчитанной и измеренной электропроводности [6].

2. Обсуждение результатов

Ст. «Иркутск». Средние значения суммы ионов осадков, отобранных на станциях мониторинга, представлены на рис. 1. Как видно из рисунка, атмосферные осадки, выпавшие в г. Иркутске как в зимний, так и в летний период, являются более минерализованными, чем на других станциях (25,5 и 11,4 мг/л соответственно). Максимальная величина суммы ионов в пробе снеговой воды на этой станции достигает 188 мг/л, минимальная – 2,5 мг/л. Высокие концентрации определяемых компонентов в снеговой воде объясняются дополнительным загрязнением воздуха в холодный период пылегазовыми выбросами предприятий теплоэнергетики и метеоусловиями, препятствующими рассеиванию промышленных выбросов [13, 14]. Преобладающими ионами в осадках этого периода были Ca^{2+} и SO_4^{2-} , средние концентрации которых составили 4,7 и 8,1 мг/л соответственно.

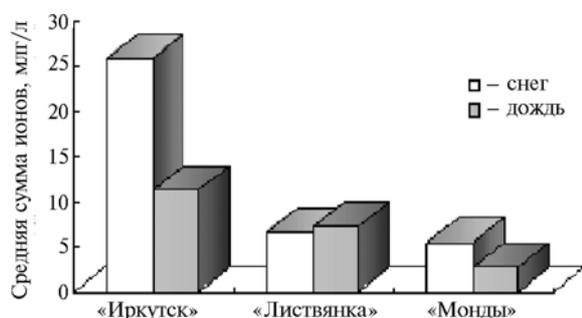


Рис. 1. Средние значения суммы ионов атмосферных осадков на станциях мониторинга Прибайкалья (1998–1999 гг.)

В летне-осенний период увеличивается доля ионов NH_4^+ , происхождение которых связано, главным образом, с природными источниками и сельским хозяйством [2]. Сумма ионов в дождевой воде изменялась в пределах 1,8 – 54,0 мг/л.

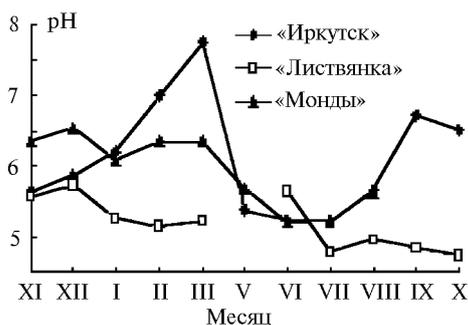


Рис. 2. Сезонные изменения величины pH на станциях мониторинга Прибайкалья (1998–1999 гг.)

Годовой ход величины pH в осадках на изучаемых станциях показан на рис. 2. На станции «Иркутск» величина pH снеговой воды колебалась от 4,8 до 7,6 при среднем значении 6,3, в дождевой воде – от 4,2 до 7,2 (среднее значение – 5,6). На этой станции наблюдалось понижение кислотности в течение зимнего периода. Максимальное повышение величины pH произошло к концу зимы. Вероятно, это связано с тем, что в феврале – марте наблюдался минимум осадков и атмосфера менее интенсивно очища-

лась от щелочных компонентов. В теплый период, особенно с июня по июль, отмечен максимум выпадений осадков. Было отобрано 24 пробы дождя, в 11 из них зафиксирована величина pH ниже 5,0. Преобладающими ионами в нескольких осадках стали ионы H^+ и SO_4^{2-} . Повышение величины pH дождевой воды в сентябре – октябре также объясняется малым числом осадков осенью этого года. В атмосфере произошло накопление большого количества взвешенных частиц, что увеличило минерализацию осадков.

Анализ метеорологических условий показал, что кислотные дожди в Иркутске связаны, как правило, со слабо выраженными локальными барическими образованиями, вызывающими замедленные движения воздушных масс в регионе. Эти процессы повышают вклад региональных антропогенных источников в формирование химического состава осадков при слабой генерации почвенной пыли. В периоды, когда воздушные массы переносятся со стороны долины р. Селенги и юга оз. Байкал, в кислых осадках преобладал ион SO_4^{2-} . Доминирование ионов Cl^- наблюдалось при переносе загрязненных воздушных потоков от источников, расположенных к западу от Иркутска, со стороны г. Саянск, Усолье-Сибирское.

В период длительных снегопадов и затяжных дождей происходит постепенное снижение минерализации осадков с одновременным увеличением их кислотности. О вымывании большей части примесей из атмосферы первыми порциями дождя говорилось также в работе [14].

Ст. «Листвянка». В осадках, отобранных на ст. «Листвянка», среднегодовая сумма ионов составила 7,0 мг/л. Больших различий в минерализации между зимними (6,7 мг/л) и летними (7,2 мг/л) выпадениями не отмечено. Превалирующим анионом осадков в течение всего года являлся ион SO_4^{2-} . В снеговой воде его среднее значение выше, чем в дожде (3,0 и 2,2 мг/л соответственно). Подобные сезонные колебания характерны и для иона NO_3^- . Увеличение концентраций ионов SO_4^{2-} и NO_3^- в атмосферных осадках в пос. Листвянка в зимний период связано с повышенным содержанием в воздухе соединений серы и азота, образовавшихся при сжигании топлива в зимний период [2].

Распределение главных катионов в осадках пос. Листвянка также характеризуется сезонными различиями. В снеговой воде преобладающие катионы представлены ионами NH_4^+ и в меньшей степени ионами Ca^{2+} , при средней их концентрациях 0,78 и 0,6 мг/л соответственно. Сульфат аммония является основным растворимым компонентом континентального аэрозоля в районах, удаленных от источников загрязнения [2]. Преобладание этого соединения в снеговой воде в пос. Листвянка говорит о том, что в холодный период кроме местных источников загрязнения на формирование химического состава осадков сказывается влияние дальнего переноса примесей по долине р. Ангары [10, 13].

В летний период в дождевой воде в пос. Листвянка доля ионов Ca^{2+} была несколько выше, чем ионов NH_4^+ . Средние значения при этом составляли 0,7 и 0,46 мг/л соответственно. В пробе дождя, отобранной в Листвянке 15 августа 1999 г., отмечены концентрации ионов Cl^- , SO_4^{2-} и NO_3^- в количествах 2,5; 4,5 и 2,2 мг/л соответственно. Величина pH при этом снизилась до 3,9. Таким образом, преобладающими ионами стали H^+ и SO_4^{2-} . Осадки с такой кислотностью и соотношением ионов можно отнести к «кислым», и они впервые зарегистрированы при отборе отдельных порций дождя в Прибайкалье.

Средняя величина рН в снеговой воде в пос. Листвянка составила 5,5, изменяясь от 4,9 до 5,9, в дождевой воде – 5,2, при колебаниях от 3,9 до 6,3. Как и на станции в Иркутске, здесь наблюдается снижение величины рН осадков в летний период, что связано с увеличением количества осадков и, соответственно, с более интенсивным промыванием атмосферы (см. рис. 2). В июне – августе половина проанализированных проб дождевой воды имела рН ниже 5,0.

Ст. «Монды». Средняя сумма ионов в снеговой воде на ст. «Монды» составила 5,5 мг/л, т.е. в 5 раз ниже, чем аналогичная величина для осадков на станции г. Иркутска. Среднее значение величины рН соответствовало 6,3, изменяясь от 5,8 до 6,6. Преобладающими ионами в осадках этого периода были HCO_3^- и Ca^{2+} . Такое доминирование ионов и понижение кислотности в зимний период в фоновом районе связаны с составом подстилающих пород (известняков, доломитов, мрамора) и почв (дерново-карбонатных) этого района [15, 16, 17]. Зимний период в районе ст. «Монды» обычно характери-

зуется малым количеством осадков, их величина с октября по март составляет 20–25 мм [16]. Поэтому на формирование химического состава осадков в этом районе существенное влияние оказывает выветривание непокрытых снегом хребтов и почв.

В июне – июле 1999 г. в районе ст. «Монды» выпало максимальное количество осадков. Это привело к снижению сумм ионов в дождевой воде в среднем до 2,8 мг/л и величины рН до 5,3. Главными ионами в дождевой воде стали NH_4^+ , Cl^- и SO_4^{2-} . В нескольких осадках на ст. «Монды» при величине рН 4,7–5,1 преобладали ионы H^+ , Cl^- , SO_4^{2-} . Сумма ионов колебалась от 0,4 до 1,5 мг/л. Рассмотрение синоптических карт показало, что выпадение кислотных дождей на ст. «Монды» связано с маломасштабными циклонами и антициклонами на фоне малоградиентного барического поля над Сибирью. В этих условиях, а также при слабом влиянии природных факторов медленные движения воздушных масс над регионом способствуют проникновению региональных антропогенных примесей в фоновые районы (рис. 3).

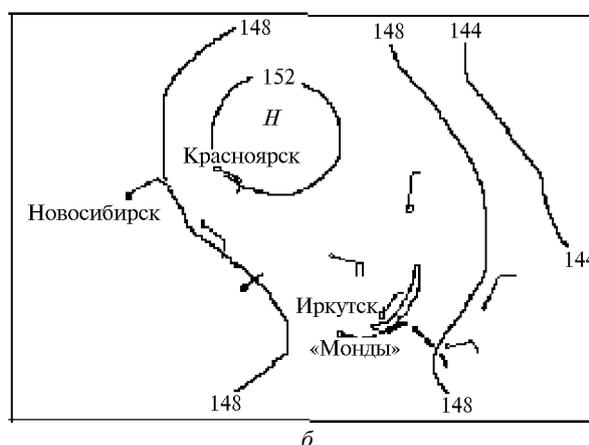


Рис. 3. Синоптическая ситуация в регионе в период выпадения на ст. «Монды» атмосферных осадков с низкими величинами рН: а – дождь, 20.07.99, рН = 4,70; б – дождь, 07.07.99, рН = 4,73

Заклучение

Таким образом, исследования атмосферных осадков Прибайкалья, проведенные в мониторинговом режиме, показали, что их химический состав определяется географическим положением станций отбора и изменяется под воздействием климатических, метеорологических и антропогенных факторов.

Среди изучаемых станций мониторинга Иркутск более всего находится под влиянием выбросов загрязняющих веществ и имеет наибольшую концентрацию ионов в атмосферных осадках (18,5 мг/л). Пос. Листвянка испытывает меньшее действие антропогенных факторов. Сумма ионов атмосферных выпадений на этой станции составляет 7 мг/л. Осадки ст. «Монды» характеризуют континентальный фоновый район. Их сумма ионов равна 4,2 мг/л.

Кислые осадки на станциях мониторинга выпадают преимущественно в летний период в результате прохождения местных циклонов и частых затяжных дождей.

1. Израэль Ю.А., Назаров И.М., Прессман А.Я. и др. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеониздат, 1989. 270 с.
2. Бримблкомб П. Состав и химия атмосферы. М.: Мир, 1988. 351 с.

3. Израэль Ю.А. // Проблемы мониторинга и охраны окружающей среды Л.: Гидрометеониздат, 1989. С. 18.
4. Израэль Ю.А. // Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей среды. Л.: Гидрометеониздат, 1982. С. 19 – 20.
5. Acidic deposition and aquatic ecosystems / Ed. by D. F. Charles. Springer-Verlag, 1991. 747 p.
6. Guidelines and Technical Manuals for Acid Deposition Monitoring Network in East Asia. Environment Agency, Government of Japan, 1997. P. 1–19.
7. Василенко В.И., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеониздат, 1985. 185 с.
8. Оболкин В.А., Ходжер Т.В., Анохин Ю.А. и др. // Метеорология и гидрология. 1991. № 1. С. 55–60.
9. Оболкин В.А., Ходжер Т.В. // Метеорология и гидрология. 1990. № 7. С. 71 – 76.
10. Нецаева Е.Г., Макаров С.А. // География и природные ресурсы. 1996. № 2. С. 43–48.
11. Ходжер Т.В., Потемкин В.Л., Голобокова Л.П. и др. // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. С. 636 – 639.
12. Барам Г.И., Верещагин А.Л., Голобокова Л.П. // ЖАХ. 1999. Т. 54. № 9. С. 962–965.
13. Сорокина Л.П. // География и природные ресурсы. 1995. № 3. С. 51–58.
14. Власенко В.В., Оболкин В.А., Потемкин В.Л. и др. // Региональный мониторинг состояния озера Байкал. Л.: Гидрометеониздат, 1987. С. 98–104.

15. *Макеев О.В., Корзун М.А.* Почвенные карты Тункинского аймака Бурятской АССР и района долины р. Иркут в Иркутской области. Иркутск, 1962.
16. *Мартынов В.П.* Почвы горного Прибайкалья. Улан-Удэ, 1965. 164 с.
17. *Semenov M.* // Proceeding of Workshop on Ecological Impact Monitoring of Acid Deposition in East Asia (2nd Training Workshop on EANET). 31 August – 3 September 1999, Beijing, China. Interim Network Center of EANET (INC). P. 239–241.

O.G. Netsvetaeva, T.V. Khodzher, V. A. Obolkin, N.A. Kobeleva, L.P. Golobokova, I.V. Korovyakova, M.P. Chubarov.
Chemical composition and acidity of atmospheric rainfall in Lake Baikal region.

The results of investigation of individual atmospheric rainfalls chemical composition at three monitoring stations of Lake Baikal region in 1998–1999 are presented. Some atmospheric precipitates were studied first at «Irkutsk» and «Mondy» stations. Chemical composition of individual precipitates is shown to differ significantly depending on the geographic location of the stations, meteorologic conditions, and degree of antropogenic action on the territory under study. Acidic rainfalls were marked under some synoptic conditions.