

Т.В. Ходжер, В.А. Оболкин, В.Л. Потемкин

О РОЛИ АТМОСФЕРЫ В ФОРМИРОВАНИИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ОЗ. БАЙКАЛ

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 3.03.99 г.

Принята к печати 30.03.99 г.

Приводятся количественные оценки поступления макро- и микроэлементов из атмосферы на водную поверхность оз. Байкал по данным многолетних аэрозольных исследований и дается сравнение с ранее полученными данными. Делается вывод о существенном вкладе тяжелых металлов в химический баланс озера через атмосферный канал.

Введение

Количественные оценки вклада основных источников поступления химических веществ в оз. Байкал важны для контроля и прогнозирования долговременных изменений химического состава его вод.

Хотя качество и объем исходных данных для таких оценок все еще не могут считаться удовлетворительными, попытки расчетов основных составляющих химического баланса Байкала – речного стока и атмосферных выпадений – предпринимались уже не раз [1, 2]. Как и следовало ожидать, эти расчеты указывают на крайне малый вклад атмосферных выпадений большинства химических веществ на акваторию озера по сравнению со вкладом речного стока (при этом до сих пор не бралось во внимание то, что речной сток также является частью атмосферных осадков, выпадающих в бассейн озера). До сих пор оценки потоков химических веществ из атмосферы на акваторию озера базировались, в основном, на данных химического состава снежного покрова [2]. Однако снежный покров на озере существует всего около трех месяцев и часто перемещается ветром, понятно, что распределение таких зимних

данных на весь год делает годовые оценки весьма приближенными. В последние несколько лет были получены весьма обширные круглогодичные данные о химии атмосферного аэрозоля в Байкальском регионе и в том числе над самим озером [3–5], что дает возможность уточнения современной оценки вклада атмосферной составляющей в химическом балансе озера и сравнения результатов, полученных на основе независимых данных: по накоплению в снежном покрове (съёмки 1976–1984 гг.) и по осаждению аэрозольных частиц из атмосферы (съёмки 1991–1997 гг.).

Материалы и методы

Исходным материалом для расчета атмосферных выпадений на акваторию озера послужили данные о концентрациях химических элементов в атмосферных аэрозолях как над побережьем южной части оз. Байкал (в течение нескольких лет и для всех сезонов года), так и непосредственно над акваторией, полученные в течение летних круизов на научно-исследовательских судах. Сами данные о концентрациях химических элементов и методах анализа проб можно найти в работах [4, 5] (табл. 1).

Таблица 1

Средние концентрации элементов в воздухе (C , мкг/м³) и годовая интенсивность их атмосферных выпадений (P , мг/м² год) на акваторию Байкала по котловинам

Элемент	W , см/с	C , Южный Байкал	C , Средний Байкал	C , Северный Байкал	P , Южный Байкал	P , Средний Байкал	P , Северный Байкал	P , Dorset, Ontario [6]
Na	2,5	529	290	247	750	370	320	–
Mg	2,5	298	104	–	425	112	–	30,2
Al	2,5	550	322	221	776	357	284	–
Ca	2,5	464	244	177	648	268	134	161
Sc	2,5	0,11	0,05	0,04	0,2	0,06	0,05	–
V	1	1,15	0,62	0,42	1,3	0,5	0,4	0,6
Cr	2	1,8	2,0	–	2,3	2,0	–	–
Mn	1,2	8,1	5,0	5,4	9,1	3,1	–	3,0
Fe	2,5	354	201	190	494	223	146	–
Co	2	0,23	0,15	1,0	0,3	0,15	1,2	–
Cu	0,6	54	37	22	53	25	19	–
Zn	0,5	9,3	26	35	19	–	–	7,0
As	0,5	0,48	0,05	0,14	0,4	0,04	0,1	0,4
Se	0,4	–	0,07	0,08	0,1	–	–	–
Br	0,5	2,3	3,26	1,1	2,3	2,2	0,9	7,3
cD	0,5	8,1	1,8	–	2,8	–	1,3	–
In	0,6	–	–	–	4,9*	–	–	–
Sb	0,5	0,2	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	–
I	0,6	0,5	0,2	0,3	0,4	–	–	–

Элемент	W, см/с	C, Южный Байкал	C, Средний Байкал	C, Северный Байкал	P, Южный Байкал	P, Средний Байкал	P, Северный Байкал	P, Dorset, Ontario [6]
Cs	1,0	0,09	0,02	–	0,1	0,02	–	–
Ba	1,5	11,3	11,0	14,7	13	9,7	16,0	–
Sr	4,0	–	–	–	5,7*	–	–	–
Pb	0,5	–	–	–	5,5*	–	–	17,1
Ce	3,0	0,7	0,3	0,3	1,0	–	–	–
Sm	1,5	0,07	0,09	0,05	0,1	0,08	0,05	–
Th	2,0	0,1	0,04	0,01	0,15	0,04	0,05	–

* Рассчитано по береговым данным Южного Байкала.

В первом приближении потоки сухого осаждения химических элементов из атмосферы на какую-либо поверхность могут быть определены как произведение концентрации элемента в атмосфере на скорость его осаждения. Хотя скорость осаждения элемента – величина достаточно неопределенная, зависящая от размера и плотности частиц, в которых данный элемент находится, от метеорологических условий и от характера подстилающей поверхности, все же для первого приближения могут быть использованы средние величины скоростей осаждения элементов, полученные в многочисленных экспериментах в разных районах мира [6]. Ниже в расчетах использованы такие средние оценки.

Однако кроме сухих осадков важно оценить также величину влажных выпадений. Опыт показывает, что даже в умеренно увлажненных регионах влажные осадки элементов составляют величину, как правило, не меньшую, а часто большую, чем сухие осадки. Количество влажных выпадений в рассматриваемом регионе мы попытались определить, оценив коэффициент вымывания осадками сульфатов по данным работы [5],

в которой приводятся результаты непосредственных измерений сульфатов и нитратов в осадках (дожде и снеге) для нескольких байкальских метеостанций. Были получены следующие оценки коэффициентов вымывания: для 1 см дождя $K = 18000$; для 1 см снега $K = 1700$. Для годовых оценок влажных выпадений использовались следующие средние климатические данные:

	зима	Лето	год
количество атмосферных осадков, см	10	45	55
число дней с атмосферными осадками, > 0,1 мм	33	62	95

Таким образом, сухое осаждение определялось как произведение концентрации элемента в атмосфере на скорость его осаждения и на период времени без атмосферных осадков; влажное осаждение – как произведение средней за сезон концентрации элемента в атмосфере на коэффициент вымывания и на количество атмосферных осадков. Результаты расчетов показаны в табл. 2. Для сравнения в предпоследней колонке таблицы приведены литературные данные по накоплению веществ в снежном покрове на льду озера [2, 3].

Таблица 2

Годовое сухое и влажное выпадение химических элементов на акваторию озера Байкал, т/г

Элемент	Потоки по аэрозольным данным				По накоплению в снеге	
	Южный Байкал	Средний Байкал	Северный Байкал	Все озеро	Литературные данные [2]	То же, но скорректировано по аэрозолю
Na	500	3400	4400	13300	1700	7800
Mg	3100	1200	–	5800	44200	7100
Al	5700	3700	3900	13300	4000	13900
Ca	4800	2800	1800	9400	15000	10000
Sc	1,5	0,6	0,7	2,8	1,9	2,8
V	9,6	5,2	5,4	22	29	25
Cr	17,0	20,9	20	58	26,7	66
Mn	70	30	30	130	100	220
Fe	3600	2300	2000	7900	3600	7700
Co	2,8	1,6	1,6	6,0	2,0	9,1
Cu	400	260	260	920	15	362
Zn	140	–	–	3008	57	344
aS	2,9	0,4	1,4	4,7	3,3	10,8
sE	0,7	–	–	2,0*	–	–
Br	17,00	23,0	12,3	52,0	7,5	12,5
Cd	20,7	18	17,7	56	–	–
In	36,2	–	–	90*	–	–
Sb	1,5	2,1	2,7	6,3	0,65	7,2
I	2,9	2	2	7	–	–
Cs	0,7	0,2	0,2	1,0	0,5	2
Ba	96	102	220	428	9,8	270
Sr	42	–	–	120*	20	–
Pb	41	–	–	120*	20	–
Ce	7,4	–	–	20*	10,7	34,8
Sm	0,7	0,8	0,7	2,2	–	–
Th	1,1	0,4	0,7	2,2	1,5	3,9

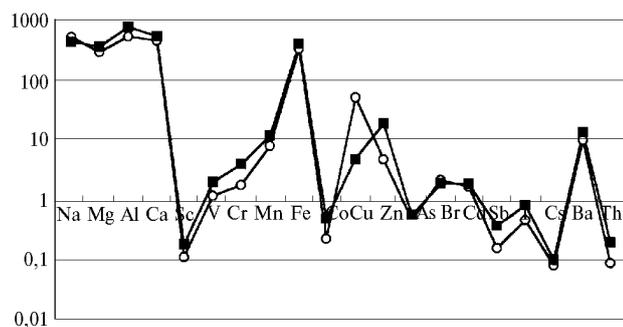
* Оценено ориентировочно, путем распространения данных по южной части озера на всю его акваторию.

Обсуждение

Как видно из табл. 2, по ряду элементов имеется довольно хорошая сходимости, но есть и довольно существенные различия (особенно по микроэлементам), поэтому на данном этапе, когда нет полной ясности в точности обоих методов, важно найти способ оценки – какие из цифр ближе к реальным. Одним из критериев может быть соотношение элементов в основном источнике атмосферных выпадений – атмосферном аэрозоле. Это соотношение должно быть близким к соотношению элементов в земной коре. Уже при ближайшем рассмотрении видно несоответствие в величинах выпадений некоторых макроэлементов для литературных данных: в частности, таких элементов, как натрий и алюминий, не должно быть меньше, чем магния и кальция, так как в основном источнике аэрозоля – почве и земной коре – содержание первых двух выше. Кроме того, для южной части озера хорошо известен также дополнительный вклад антропогенного натрия, источником которого является Байкальский целлюлозный комбинат.

Таким образом, новые оценки этих элементов по аэрозольным данным выглядят более реально. То же можно сказать и о таком элементе, как железо. Для проверки этого предположения была сделана попытка скорректировать литературные данные, пересчитав их по соотношению элементов в аэрозоле, взяв за точку отсчета элементы, имеющие наиболее близкие значения для обоих методов. Результаты такого перерасчета приведены в табл. 2 (последняя колонка). Как видно из табл. 1, ряд элементов существенно приблизился по своим значениям к потокам, рассчитанным по аэрозольным данным.

Однако остается ряд микроэлементов, атмосферные выпадения которых по аэрозольным данным иногда на порядок и более превосходят опубликованные ранее данные (Cu, Zn, Br, Sb, Ba, Sr, Pb). Для анализа выявленных расхождений проанализируем сначала различия состава аэрозоля над акваторией и берегом (рис. 1).



Концентрация элементов в атмосферном аэрозоле над побережьем и акваторией Южного Байкала: ○ – озеро, ■ – берег

Как показывает рис. 1, концентрация меди над озером, в отличие от других элементов, в 10 раз выше, чем над берегом, что явно указывает на загрязнение проб медью на корабле (это могло быть влияние щеток корабельных электродвигателей и др.). Поэтому потоки меди из атмосферы следует уменьшить в 10 раз либо исключить их из рассмотрения (далее медь исключена). Остальные элементы, как и должно было быть, имеют несколько пониженную концентрацию в аэрозоле над акваторией (по сравнению с берегом) и влияния корабельных

источников для них не обнаруживается. Исключение составляет только натрий, концентрации которого над акваторией и сушей близки в южной части озера и связаны с влиянием Байкальского целлюлозного завода. Таким образом, дать убедительные объяснения столь существенных расхождений для нескольких указанных выше микроэлементов, полученных нами и взятых из работы [2], пока не представляется возможным.

По данным табл. 3 можно видеть, насколько изменился, с учетом новых данных, вклад атмосферы в общее поступление химических элементов в оз. Байкал (поступление элементов с речным стоком взято из [7, 8]). Отметим, что точность оценок поступления веществ с речным притоком в озеро также находится под большим вопросом (особенно для нерастворимой части элементов) и не выше точности оценок атмосферных выпадений.

Таблица 3

Доля атмосферных выпадений в общем поступлении химических элементов в озеро Байкал, %

Элемент	По накоплению в снеге [7]	По аэрозольным данным
Na	0,7	5
Mg	1,7	2
Al	2,1	6
Ca	1,4	1
Sc	7,0	11
V	7,6	5
Cr	17,3	31
Mn	2,0	2
Fe	2,2	5
Co	5,0	12
Cu	12,0	–
Zn	12,1	42
Sa	3,0	5
Br	3,0	17
Sb	1,4	12
Cs	2,2	4
Ba	0,3	10
Pb	25,3	67
Ce	2,7	4
Th	4,5	6

Выводы

Сравнение величин атмосферных выпадений химических элементов на акваторию озера Байкал, полученных двумя независимыми методами (по накоплению веществ в снеге и по выпадениям с аэрозолями), показало следующее.

Расхождения по поступлению макроэлементов на оз. Байкал составляют до 2–3 раз, причем расчеты потоков элементов из атмосферы по снегомерным данным дают, как правило, заниженные значения и не соответствуют реальному распределению элементов в атмосфере. Однако и при использовании аэрозольных данных вклад атмосферы по макроэлементам остается крайне незначительным – с максимумом до 5–6% для железа и алюминия.

Расхождения по микроэлементам и тяжелым металлам значительно более существенны: для таких элементов, как цинк, стронций, бром, свинец, потоки по аэрозольным измерениям в 5–6 раз, а для сурьмы и бария в 10–30 раз выше. Соответственно существенно возрастает доля атмосферной составляющей: для тяжелых металлов (хрома, цинка, свинца) 30–60%, остальных микроэлементов – 5–15%. Большинство из перечисленных эле-

ментов могут иметь и антропогенное происхождение, поэтому требуется более пристальное изучение потоков этих элементов (как из атмосферы, так и с речным стоком) с целью уточнения существенных различий в оценках их баланса.

Потоки некоторых микроэлементов из атмосферы, рассчитанные по аэрозольным данным, предлагается считать максимальными оценками, так как они были получены только для южной (более загрязненной) части озера и распространены затем на всю его акваторию.

1. Мониторинг состояния озера Байкал. Л.: Гидрометеоздат, 1991. 261 с.
2. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал // Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИГТМ, 1997. 230 с.

3. Оболкин В.А., Потемкин В.Л., Ходжер Т.В. Элементный состав и основные источники атмосферного аэрозоля Южного Байкала // География и природные ресурсы. 1996. № 4. С. 41–48.
4. Ходжер Т.В., Оболкин В.А., Потемкин В.Л., Томза У., Ран К. Сезонная изменчивость элементного состава атмосферных аэрозолей над озером Байкал // Химия в интересах устойчивого развития. 1997. № 5. С. 547–551.
5. Оболкин В.А., Ходжер Т.В. Годовое поступление из атмосферы сульфатов и минерального азота в регионе оз. Байкал // Метеорология и гидрология. 1990. № 7. С. 71–76.
6. Barrie L.A. Aspects of atmospheric pollutant origin and deposition revealed by multielemental observations at a rural location in Eastern Canada // J. Of Geoph. Research. 1988. 93(D4). P. 3773–3788.
7. Callender E., Granina L. Geochemical mass balances of major elements in Lake Baikal // Limnol. Oceanogr., 1997, 42(1). P. 148–155.
8. Granina L., Tomza U., Arimoto R. A study of the chemical budget of Lake Baikal using neutron activation and synchrotron activation // Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, 1999, in press.

T.V. Khodzher, V.A. Obolkin, V.L. Potemkin. About Role of Atmosphere in Formation of Chemical Composition of Lake Baikal Water.

Quantitative estimates of macro- and microelements ingress from the atmosphere onto water surface of Lake Baikal are presented based on many-year aerosol investigations. The results are compared with those obtained earlier. It is found that heavy metals contribute significantly into chemical balance of the lake through the atmospheric channel.