

УДК 556.531.4

## Результаты статистической обработки данных химического состава вод рек Южного Прибайкалья

В.Е. Павлов<sup>1</sup>, Л.М. Сорокикова<sup>2</sup>, И.В. Томберг<sup>2</sup>, И.В. Хвостов<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН

656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1

<sup>2</sup>Лимнологический институт СО РАН

664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

Поступила в редакцию 20.01.2012 г.

Ионный состав вод четырех притоков Южного Байкала (реки Утулик, Солзан, Хара-Мурин, Снежная) исследовался в основные гидрологические фазы в течение 2001–2010 гг. Определялись концентрации главных ионов:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Представляются данные о динамике химического состава речных вод и результаты сравнительного корреляционного анализа. Предлагается геохимическая модель притоков южного побережья оз. Байкал.

*Ключевые слова:* ионный состав, поверхностные воды, оз. Байкал, корреляционный анализ, статистическое моделирование; *ionic composition, surface waters, Lake Baikal, correlation analysis, statistical modeling.*

### Введение

В течение 10 лет (2001–2010 гг.) в период с марта по октябрь был осуществлен отбор проб воды в поверхностном слое рек Южного Прибайкалья: Утулик, Солзан, Хара-Мурин и Снежная с целью изучения ионного состава. Измерялись концентрации  $C_i$  семи ионов:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{Cl}^-$ . Методы определения  $C_i$  в мг/л и соответствующие абсолютные погрешности измерений  $\Delta C_i$  описаны в работах [1, 2]. В настоящей статье излагаются предварительные результаты статистической обработки экспериментальных данных [3, 4], которые в дальнейшем будут использованы для построения модели ионного состава воды во всем водосборном бассейне в целом.

Первоначально рассмотрен вопрос о временной зависимости концентраций ионов в вышеуказанное время года. Средние результаты наблюдений для всех четырех рек изображены на рис. 1. Представлены среднемесячные концентрации, отнесенные к средне-сезонным, и соответствующие среднеквадратические отклонения.

Отчетливо просматривается типичный характер изменчивости содержания всех ионов. Как и следовало ожидать, их максимум приходится на период снеготаяния (март), а минимум — на летние месяцы (май–июнь) [2]. Наименьшим вариациям подвер-

жены ионы  $\text{HCO}_3^-$ , наибольшим —  $\text{Ca}^{2+}$ . Следует отметить, что повторяемость временного хода концентраций каждого из ионов в конкретный год удовлетворительно согласуется со средними данными (рис. 1). В дальнейшем это обстоятельство будет использовано в разрабатываемой модели.

Далее, по данным десятилетних наблюдений сравнивалось содержание каждого из ионов в водах разных рек (44 образца для каждой реки). На рис. 2, а приведена иллюстрация связи концентраций  $\text{HCO}_3^-$  в реках Хара-Мурин и Снежной. Коэффициент линейной корреляции  $R$  равен 0,85. Вообще для всех ионов в разных реках он меняется в пределах  $0,10 \geq R \geq 0,92$ ; самые низкие значения  $R$  имеют место для  $\text{Cl}^-$ : варьируют в пределах от 0,10 до 0,69. Для всех остальных ионов минимальное значение  $R$  составляет 0,56.

На рис. 2, а представлены также результаты сопоставления концентраций  $\text{Mg}^{2+}$  в водах Хара-Мурина и Снежной. В случае использования линейной шкалы при приемлемом масштабе для  $\text{HCO}_3^-$  данные определения иона магния по сути сливаются в группу близко расположенных друг от друга точек. Причина тривиальна: концентрации  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Mg}^{2+}$  отличаются более чем на порядок. Поэтому, если преследуется цель создания единой схемы распределения всех ионов в разных реках как обобщенной характеристики водосборного бассейна Южного Прибайкалья, следует использовать логарифмическую шкалу. Ее применение не только выравнивает вклад ионов с сильно отличающимися концентрациями в искомую характеристику, но и балансирует значения дисперсий.

\* Владимир Евгеньевич Павлов (pavlov@iwer.ru); Лариса Михайловна Сорокикова (lara@lin.irk.ru); Ирина Викторовна Томберг (kaktus@lin.irk.ru); Илья Владимирович Хвостов (mikon@iwer.ru).

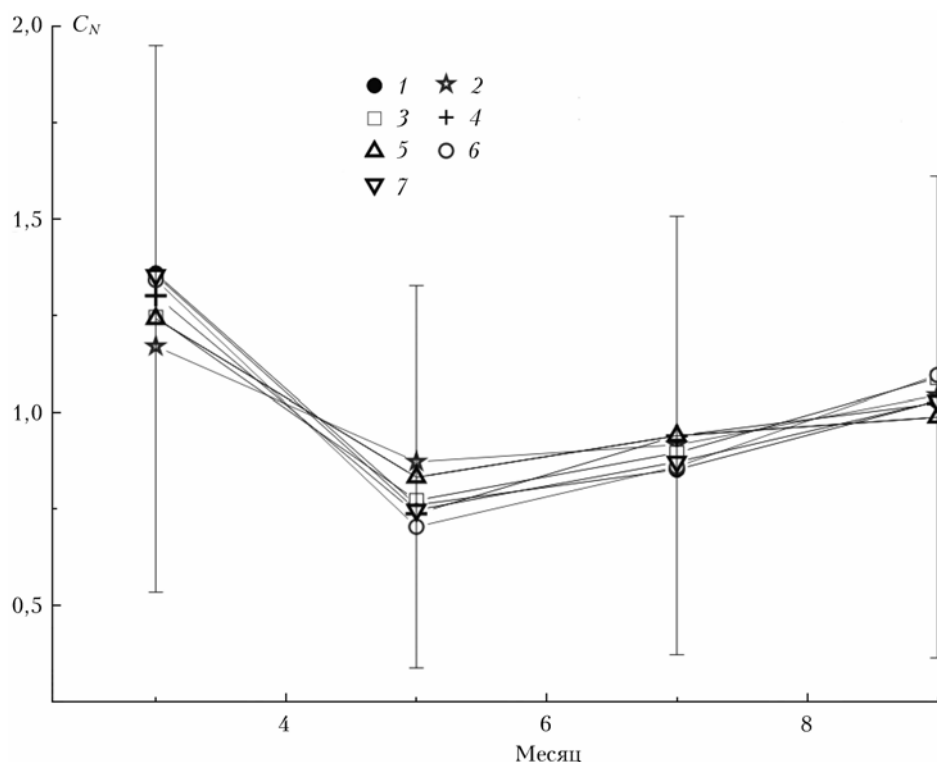


Рис. 1. Средние относительные концентрации ионов  $C_N$  в реках Южного Прибайкалья: 1 –  $\text{HCO}_3^-$ , 2 –  $\text{Cl}^-$ , 3 –  $\text{SO}_4^{2-}$ , 4 –  $\text{Na}^+$ , 5 –  $\text{K}^+$ , 6 –  $\text{Ca}^{2+}$ , 7 –  $\text{Mg}^{2+}$

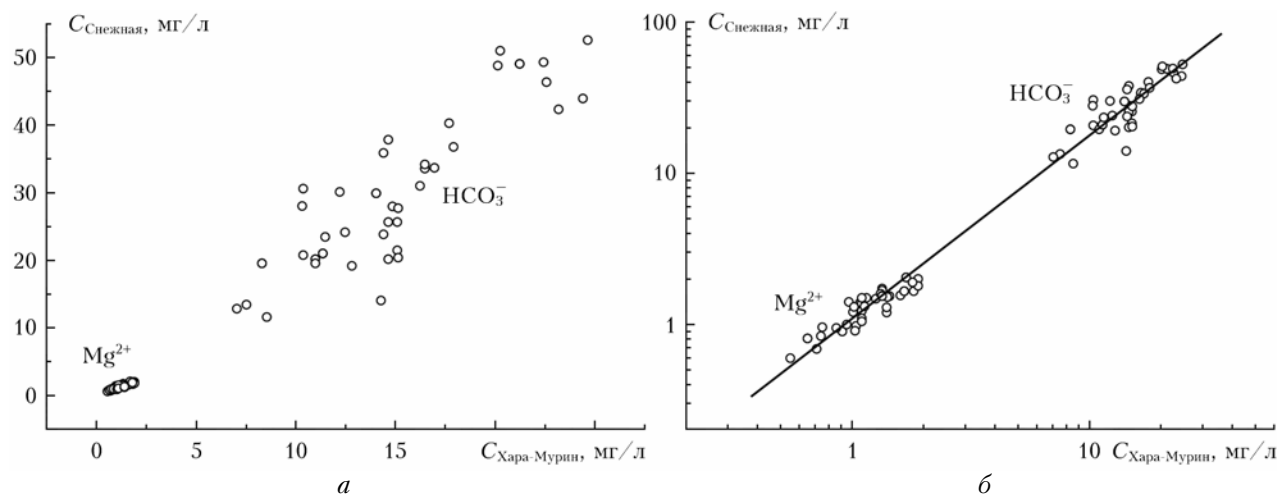


Рис. 2. Сопоставление концентраций ионов  $\text{HCO}_3^-$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в реках Хара-Мурун и Снежная в линейной (а) и логарифмической (б) шкалах

Статистический разброс концентраций для каждого отдельного иона обычно не превышает порядка. Из-за этого не наблюдается принципиальной разницы между корреляционными матрицами, вычисленными для абсолютных значений  $C$  и для их логарифмов  $\lg C$ . В табл. 1 приведены средние для всех четырех рек значения коэффициентов линейной корреляции  $R$  в первом и во втором случаях.

Видно, что величина  $R$  для отдельных ионов не превышает 0,86. Если увеличить число рассматриваемых ионов, то из-за соответствующего увеличения диапазона изменений  $C$  коэффициент корреляции

может существенно возрасти. Это иллюстрируется рис. 3, где представлены данные для всех исследуемых ионов в реках Хара-Мурун и Снежная.

Таблица 1  
Коэффициенты линейной корреляции  $R$   
для концентраций отдельных ионов и их логарифмов

$R$	Ион						
	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Cl}^-$
Для $C$	0,85	0,74	0,84	0,85	0,69	0,74	0,39
Для $\lg C$	0,86	0,79	0,86	0,85	0,74	0,69	0,53

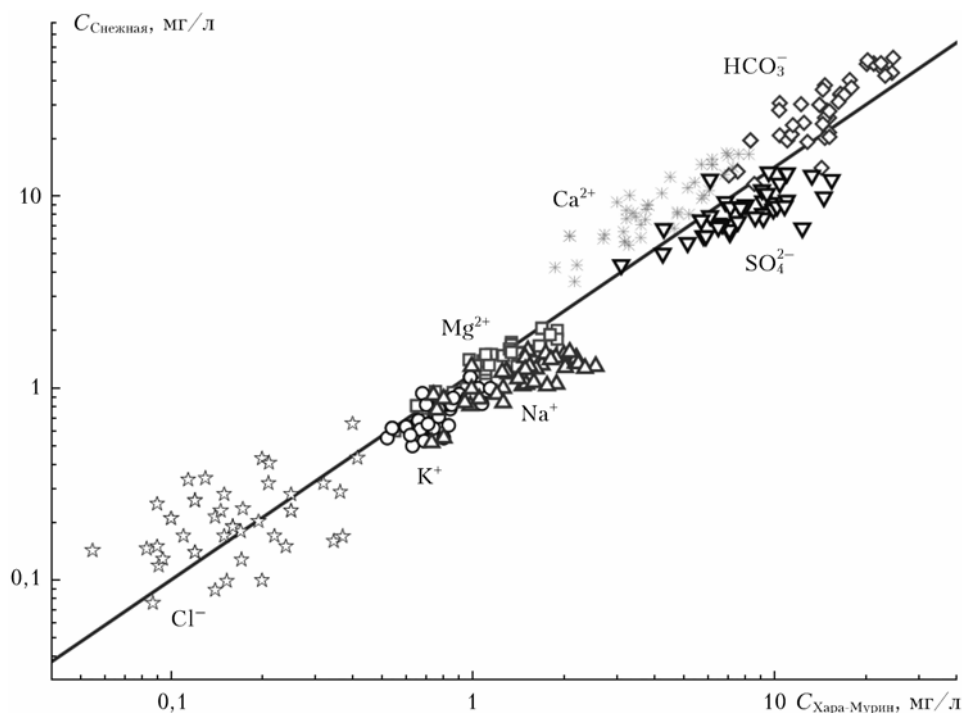


Рис. 3. Сопоставление ионного состава воды в реках Хара-Мурин и Снежная за 10-летний период

Коэффициент  $R$  возрастает до значения 0,97. Уравнение линейной регрессии имеет следующий вид:

$$\lg C_{\text{Снежная}} = k \cdot \lg C_{\text{Хара-Мурин}} + b,$$

где  $k = 1,08 \pm 0,08$  и  $b = 0,08 \pm 0,01$ . Малое отличие параметра  $b$  от нуля говорит о том, что прямая проходит вблизи начала координат, а малое отличие коэффициента  $k$  от единицы свидетельствует о почти линейной связи не только логарифмов, но и непосредственно самих концентраций ионов.

Такой подход к сопоставлению логарифмов концентраций семи ионов одновременно был реализован и для других рек. Соответствующие значения  $R$  представлены в табл. 2. Из нее следует, что коэффициент корреляции не опускается ниже 0,95.

Таблица 2

Корреляционная матрица для семи ионов в четырех реках

Река	Утулик	Солзан	Хара-Мурин	Снежная
Утулик	1	0,97	0,97	0,97
Солзан		1	0,95	0,96
Хара-Мурин			1	0,97
Снежная				1

При этом сохраняется порядок расположения ионов на прямой регрессии. Все это свидетельствует о том, что имеются полные основания для построения модели распространенности ионов во всем водосборном бассейне Южного Прибайкалья.

1. Сороковикова Л.М., Синюкович В.Н., Коровякова И.В., Голобокова Л.П., Погодаева Т.В., Нецветова О.Г. Формирование химического состава воды притоков Южного Байкала в современных условиях // География и природные ресурсы. 2002. № 4. С. 52–57.
2. Сороковикова Л.М., Нецветова О.Г., Томберг И.В., Ходжер Т.В., Погодаева Т.В. Влияние атмосферных осадков на химический состав речных вод Южного Байкала // Оптика атмосф. и океана. 2004. Т. 17, № 5–6. С. 423–427.
3. Павлов В.Е., Суторихин И.А., Хвостов И.В. Мезомасштабная устойчивость в распределении ряда химических элементов в снеговом покрове Алтайского края // Докл. РАН. 2006. Т. 406, № 4. С. 544–547.
4. Павлов В.Е., Суторихин И.А., Хвостов И.В. Мезомасштабный характер распространенности ряда химических элементов в аэрозоле, загрязняющем снежный покров в Кемеровской области // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т. 20, № 1. С. 96–97.

*V.E. Pavlov, L.M. Sorokovikova, I.V. Tomberg, I.V. Khvostov. The results of statistical processing of data on the chemical composition of surface water from South Baikal rivers.*

The ionic composition of water from four South Baikal tributaries (Utulik, Solzan, Khara-Murin, and Sneznaya Rivers) during the main hydrological phases in 2001–2010 was studied. The concentrations of the major ions:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  were determined. Water chemical composition dynamics and results of a comparative correlation analysis are showing. The geochemical model for southern tributaries of Lake Baikal is proposed.