

М. Ю. СЕМЕНОВ, Е. А. ЗИМНИК

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ВКЛАДОВ ИСТОЧНИКОВ РАСТВОРЕННОГО ВЕЩЕСТВА

На основе данных по макрокомпонентному химическому составу вод и объему речного стока впервые оценены величины вкладов источников катионов щелочных и щелочноземельных металлов поверхностных вод — атмосферных выпадений, минерального и органического вещества почв. Показано, что доля вещества органического происхождения в поверхностных водах снижается от весны к осени противоположно росту доли выветривания. Наибольшие величины выноса катионов как минерального, так и органического происхождения наблюдаются в середине лета.

Ключевые слова: *поверхностные воды, источники вещества, кислотнейтрализующая способность, растворенный органический углерод, катионы.*

Data on macrocomponent chemical composition of waters and on the volume of streamflow were used to quantify the contributions from sources of cations of alkaline and alkaline-earth metals of surface waters (atmospheric depositions, and mineral and organic substance of soils). It is shown that the proportion of substance of organogenic origin in surface waters is decreasing from spring to autumn, as opposed to an increase of the contribution from weathering. The largest values of removal of cations of both mineral and organic origin are observed in mid-summer.

Keywords: *surface waters, dissolved matter sources, acidneutralizing capacity, dissolved organic carbon, cations.*

ВВЕДЕНИЕ

В последние два десятилетия оценка вкладов источников вещества в химический сток представляет значительный интерес как для отечественных, так и для зарубежных исследователей. Методы определения доли источника вещества основываются на выборе соответствующего ему маркера — компонента раствора. Маркерами могут быть как макрокомпоненты (Si, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, Cl⁻, или Alⁿ⁺ [1–3]), так и микрокомпоненты (Sr, Rb [4]). Ими также могут служить отношения растворенных компонентов (Ca/Sr, Ba/Sr [5] и Ge/Si [6]), в том числе и стабильных изотопов (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr [7] и ¹⁸O/¹⁶O [8]). Разделение количества вещества источников основано на рассмотрении речной воды как поликомпонентной смеси. В качестве ее компонентов чаще всего используют почвенный раствор [9, 10] или обменную фракцию вещества различных горизонтов почв [11] и базовый сток [9].

Получить представление о соотношении источников вещества можно, поместив параметры компонентов смеси и ее самой на простую (X/Y) [12], треугольную [11] или даже трехмерную [13] диаграмму смешения. Доли источников вещества получают путем решения уравнений смешения. Главная проблема подобных исследований — репрезентативность отобранных образцов по отношению к соответствующему «наземному» компоненту смеси, будь то минеральное или органическое вещество почв, породы, атмосферные выпадения или растительность. Единственное решение этой проблемы в рамках уже предложенных подходов — отбор и анализ большого количества образцов, позволяющие учесть пространственную вариабельность химических свойств выбранного компонента.

Для уменьшения объема работ как в поле, так и в лаборатории необходима универсальная характеристика источника вещества, основанная только на данных анализа химического состава воды и отражающая изменения в соотношениях источников. Она может быть получена путем сравнения химического состава речных вод в разные периоды времени, характеризующиеся различными источниками вещества. Эта идея отчасти реализована в работе [14], где в результате сопоставления сроков измерений, расходов воды и содержания главных ионов была установлена связь между химическим составом и источниками питания трех основных притоков оз. Байкал — рек Верх. Ангара, Баргузин и Селенга.

Новизна предлагаемого нами подхода заключается в возможности определения долей непосредственных источников вещества, таких как атмосферные выпадения, органическое и минеральное вещество почв, в химическом составе вод. При этом отсутствует необходимость построения и расчленения гидрографа, данные которого в отношении объема грунтового стока весьма приблизительны.

Мы исходили из того, что состав вод в любой сезон зависит от состава источников вещества и преобладающего направления стока. В почве, не насыщенной водой, транспорт растворенного вещества происходит главным образом в вертикальном направлении. При этом основная масса органичес-

кого вещества абсорбируется, а неорганическое легко выносится из профиля, что является причиной гораздо меньшего содержания органического углерода в грунтовых водах по сравнению с поверхностными и почвенным раствором. Вследствие значительной мощности минеральных горизонтов и поглощения катионов щелочных и щелочноземельных металлов, фильтрующихся из органогенных горизонтов корнями растений, катионы грунтовых вод — преимущественно продукты выветривания. После насыщения почвы водой латеральный (боковой) сток становится преобладающим, благодаря чему в реку попадает больше органического вещества из верхних горизонтов. При этом катионы металлов латерального стока — преимущественно результат разложения органического вещества.

Таким образом, соотношение между количеством органического и неорганического вещества, вынесенного из водосборного бассейна, отражает соотношение между направлениями водных потоков (вертикальное/латеральное) и одновременно — между вкладами источников вещества (минеральное/органическое).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Вынос растворенного органического углерода ($C_{\text{орг.В}}$) оценивался на основе концентрации $C_{\text{орг}}$ и объема стока. Концентрация «терригенных» катионов, называемая величиной кислотонейтрализующей способности раствора (КНС, экв·л⁻¹), представляет собой разность между общим количеством катионов щелочных и щелочноземельных металлов и количеством «атмосферных» катионов, эквивалентным сумме анионов сильных кислот:

$$\text{КНС} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{K}^+] + [\text{Na}^+] - [\text{SO}_4^{2-}] - [\text{NO}_3^-] - [\text{Cl}^-].$$

Вынос КНС ($\text{КНС}_\text{В}$, кэкв·га⁻¹) рассчитывался как произведение ее концентрации и объема стока.

Для водосборных бассейнов, почвы которых содержат легкорастворимые соли, КНС должна рассчитываться на основе концентраций анионов в дождевой воде или в воде, прошедшей через полог леса, умноженных на величину отношения осадки/сток. Эта процедура имитирует увеличение концентраций, происходящее благодаря испарению и транспирации, а также может быть применена для «компенсации» поглощения нитрата растительностью.

Величина атмосферных выпадений катионов ($V_{\text{п}}$, кэкв·га⁻¹) рассчитывалась по разнице между суммарным выносом катионов ($V_{\text{н}}$, кэкв·га⁻¹) и $\text{КНС}_\text{В}$: $V_{\text{п}} = V_{\text{н}} - \text{КНС}_\text{В}$.

Поскольку грунтовые воды содержат главным образом продукты выветривания, мы предположили, что вклад выветривания ($V_{\text{в}}$) в величину выноса КНС пропорционален степени сходства химического состава воды в исследуемый период с составом грунтовой воды. Как уже упоминалось выше, один из отличительных признаков состава грунтовых вод — низкое содержание органического углерода. Другое отличие состоит в высоком содержании катионов металлов, представляющим собой результат большего времени контакта вод с минеральным веществом.

Таким образом, показателем «грунтовости» или «поверхностности» вод может служить отношение величин выноса органических и неорганических компонентов $C_{\text{орг.В}}/\text{КНС}_\text{В}$, а степень сходства составов поверхностных и грунтовых вод в исследуемый период определяется отношением этих показателей:

$$V_{\text{в}f} = (C_{\text{орг.В}}/\text{КНС}_\text{В})_{\text{грунт}} / (C_{\text{орг.В}}/\text{КНС}_\text{В})_{\text{исслед}}$$

или

$$V_{\text{в}f} = (\text{КНС}_\text{В}/C_{\text{орг.В}})_{\text{исслед}} / (\text{КНС}_\text{В}/C_{\text{орг.В}})_{\text{грунт}},$$

где $(C_{\text{орг.В}}/\text{КНС}_\text{В})_{\text{исслед}}$ и $(\text{КНС}_\text{В}/C_{\text{орг.В}})_{\text{исслед}}$ — показатели химического состава воды в исследуемый период; $(C_{\text{орг.В}}/\text{КНС}_\text{В})_{\text{грунт}}$ и $(\text{КНС}_\text{В}/C_{\text{орг.В}})_{\text{грунт}}$ — показатели химического состава грунтовой воды.

Поскольку $V_{\text{в}f}$ представляет собой частное от двух частных, мы можем игнорировать тот факт, что $C_{\text{орг}}$ и $\text{КНС}_\text{В}$ имеют разную размерность, так как любые множители/делители, используемые для перевода соответствующих величин из килограммов в эквиваленты или наоборот, сократятся.

В качестве грунтовой мы использовали воду, отобранную зимой из-под льда, когда грунтовые воды являются единственным источником питания рек. Так как и в течение зимы состав речной воды неодинаков, зимние показатели химического состава усреднялись для периода, равного по длительности искомому (месяц).

Величина выветривания ($V_{\text{в}}$, кэкв·га⁻¹) рассчитывалась как произведение доли выветривания на величину $\text{КНС}_\text{В}$: $V_{\text{в}} = V_{\text{в}f} \cdot \text{КНС}_\text{В}$.

Количество вынесенного «органогенного» вещества (OV , кэкв·га⁻¹) равно разности между величиной выноса КНС и величиной выветривания: $OV = \text{КНС}_\text{В} - V_{\text{в}}$.

Вклады источников вещества рассчитывались как отношения величин Вп, Вв и ОВ к Вн. Необходимо отметить, что даже если доля «органогенных» катионов в стоке превышает сумму долей «атмосферных» и «минеральных», это вовсе не означает прогрессирующую потерю органического вещества и истощение пула закрепленных в нем щелочных и щелочноземельных металлов. В зрелой экосистеме потери элементов в результате выноса со стоком компенсируются поглощением корнями их эквивалентного количества, поступившего с выпадениями и высвободившегося в результате выветривания, а поглощение корнями равно возврату с опадом. Другими словами, баланс вещества органогенных горизонтов равен нулю, а величина Вн теоретически равна сумме Вп и Вв, но на самом деле состоит из остатков ОВ, Вп и Вв, которые не были поглощены растительностью.

В качестве исходных данных в настоящей работе по большей части использовались среднесезонные величины, приведенные в монографии К. К. Вотинцева и др. [15]. Эпизодические данные по ионному составу за 2002–2004 гг. получены авторами при содействии сотрудников лаборатории гидрохимии и химии атмосферы Лимнологического института СО РАН И. В. Томберг и Т. В. Погодаевой. Данные о среднемесячных концентрациях органического углерода за 2001–2006 гг. взяты из публикации [16]. Ионный состав определялся согласно руководству по химическому анализу поверхностных вод суши [17], катионы — методом фотометрии пламени на спектрофотометре ААС-30, анионы — методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на хроматографе Милихром-02, содержание органического углерода — методом каталитического окисления.

КРАТКАЯ ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

Природные условия бассейна оз. Байкал характеризуются значительным разнообразием. Почвы западного побережья развиты преимущественно на осадочных породах, что находит свое отражение в химическом составе вод. Для вод рек западного побережья (Бугульдейки и Голоустной) свойственна высокая минерализация — до $7,3 \text{ мэкв} \cdot \text{л}^{-1}$. Особенность их состава — это высокие концентрации ионов магния (в среднем $1,39 \text{ мэкв} \cdot \text{л}^{-1}$ в период открытой воды и $2,30 \text{ мэкв} \cdot \text{л}^{-1}$ в подледный) и сульфатов ($0,39$ и $0,62 \text{ мэкв} \cdot \text{л}^{-1}$ соответственно).

Почвы восточного побережья, развитые на кислых интрузивных и метаморфических породах, обуславливают сходный химический состав и низкую минерализацию вод. Летние концентрации преобладающих ионов — гидрокарбоната и кальция — в реках Верх. Ангара, Баргузин и Селенга варьируют в пределах $0,83$ – $1,11$ и $0,70$ – $1,34 \text{ мэкв} \cdot \text{л}^{-1}$ соответственно.

Особое место в горном обрамлении озера занимает хр. Хамар-Дабан. Большое количество осадков, выпадающих на его северо-западный макросклон, является причиной крайне низкой минерализации рек Хара-Мурин, Утлик и Снежная. В период открытой воды она не превышает $1,7 \text{ мэкв} \cdot \text{л}^{-1}$. Максимальные зимние концентрации ионов HCO_3^- и Ca^{2+} составляют $1,01$ и $0,83 \text{ мэкв} \cdot \text{л}^{-1}$ соответственно, а минимальные летние — всего $0,27$ и $0,21 \text{ мэкв} \cdot \text{л}^{-1}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав вод всех исследованных рек меняется в течение года сходным образом (табл. 1). Небольшие различия наблюдаются в концентрациях и величинах выноса отдельных компонентов. Концентрации растворенного органического углерода, так же, как и величины выноса, снижаются от мая к апрелю. Для большей части притоков зимние концентрации $C_{\text{орг}}$ в 3–5 раз ниже летних, а незначительный расход воды в подледный период (см. рис. 1) делает зимние величины выноса почти в 100 раз ниже летних. В отличие от содержания $C_{\text{орг}}$ концентрации катионов металлов растут от весны к зиме, а разница между летними и зимними величинами выноса находится в пределах от 3 до 10 раз.

Несмотря на снижение выноса $C_{\text{орг}}$ и увеличение выноса КНС от весны к осени, отношение $C_{\text{орг.В}}/\text{КНС}_В$ в период открытой воды остается выше такового в подледный. Связано это с абсолютным преобладанием бокового стока над вертикальным. Поэтому рассчитанные доли вкладов органогенных горизонтов почв в состав растворенного вещества в этот период больше вклада выветривания и снижаются от 70–80 % в мае до 50–60 % в сентябре (см. рис. 2, а). Постепенное увеличение вклада вертикального стока в питание рек находит свое отражение в уменьшении отношения $C_{\text{орг.В}}/\text{КНС}_В$ и, соответственно, в увеличении доли продуктов выветривания в составе растворенного вещества. В отличие от доли «органогенных» катионов, которая изменяется менее чем в полтора раза, доля катионов минерального происхождения для большинства рек меняется многократно — от 3–7 % в мае до 25–30 % в сентябре.

Гидрохимические и гидрологические характеристики изученных рек

Период (месяцы)	C _{орг} [*] , мг·л ⁻¹	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	Сток, м ³ ·га ⁻¹	Площадь, км ²
<i>Среднемноголетние данные</i>										
Селенга										
V–IX	2,90	1,41	0,13	0,03	0,01	1,02	0,35	0,15	105	440 000
XII–III	0,99	2,03	0,16	0,04	0,01	1,36	0,57	0,25	7	
Верх. Ангара										
V–IX	1,33	0,83	0,08	0,01	0,00	0,70	0,13	0,07	623	20 600
XII–III	0,90	1,43	0,12	0,02	0,01	1,02	0,40	0,12	92	
Баргузин										
V–IX	2,36	1,34	0,15	0,03	0,00	1,11	0,21	0,16	295	19 800
XII–III	0,78	1,95	0,19	0,04	0,02	1,60	0,23	0,28	44	
Бугульдейка										
V–IX	2,13	3,25	0,39	0,01	0,00	2,19	1,39	0,07	114	1700
XII–III	0,68	4,78	0,62	0,02	0,02	3,00	2,30	0,13	29	
Голоустная										
V–IX	2,55	1,38	0,28	0,01	0,00	1,00	0,55	0,10	194	2260
XII–III	0,77	2,54	0,51	0,02	0,02	1,79	1,04	0,21	8	
Хара-Мурин										
V–IX	1,47	0,27	0,08	0,00	0,01	0,21	0,06	0,07	1156	1130
XII–III	0,36	0,46	0,12	0,01	0,02	0,39	0,14	0,06	80	
Утулик										
V–IX	1,44	0,67	0,15	0,00	0,03	0,57	0,16	0,10	885	959
XII–III	0,52	1,01	0,21	0,00	0,02	0,83	0,30	0,08	66	
Снежная										
V–IX	1,73	0,51	0,08	0,00	0,01	0,43	0,06	0,08	861	3000
XII–III	0,51	0,80	0,13	0,00	0,02	0,73	0,11	0,08	50	
<i>Средние данные за 2002–2004 гг.</i>										
Хара-Мурин										
V–IX	1,83	0,21	0,14	< 0,001	0,010	0,17	0,10	0,09	1120	1130
XII–III	0,50	0,33	0,20	< 0,001	0,020	0,29	0,13	0,12	72	
Утулик										
V–IX	1,93	0,80	0,34	0,011	0,015	0,62	0,31	0,14	1057	959
XII–III	0,72	0,92	0,48	0,013	0,029	0,83	0,37	0,18	81	
Снежная										
V–IX	1,84	0,44	0,15	0,013	0,014	0,45	0,12	0,07	837	3000
XII–III	0,53	0,80	0,19	< 0,001	0,021	0,73	0,13	0,10	44	

* Величина перманганатной окисляемости.

Вклад атмосферного вещества максимален в мае, в период снеготаяния, составляет в среднем 25 %. Наибольшее участие атмосферы в формировании ионного стока характерно для рек хр. Хамар-Дабан. Доля атмосферного вещества в них достигает 45 %. Это вполне согласуется с данными, полученными нами ранее при использовании изотопных методов [19], и обусловлено огромным, не характерным для региона количеством осадков. Минимальные значения вклада — в среднем 17 % — наблюдаются в сентябре.

Описание изменений в составе растворенного вещества в терминах долей источников представляет собой по большей части «качественную» оценку происходящего. Уменьшение доли может сопровождаться увеличением соответствующего ей количества, и наоборот. Так, максимальные величины Вп и ОВ наблюдаются в середине лета (рис. 3), при этом их доли максимальны в мае (см. рис. 2, а). Несоответствие обусловлено тем, что в июле количество выносимых катионов в среднем в 3 раза выше, чем в мае, июльские же доли осадков и органики меньше майских всего на 25 и 50 %, соответственно. Что касается самой природы июльских максимумов, то причина максимума Вп — наи-

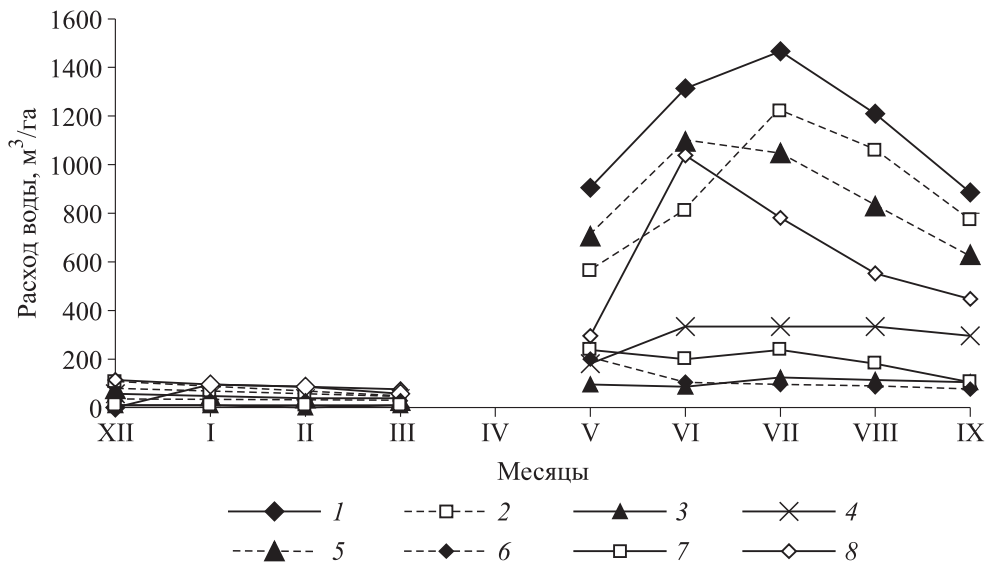


Рис. 1. Гидрограф стока изученных рек в период открытой воды (V–IX) и подледный (XII–III).

Реки: 1 – Хара-Мурин, 2 – Утулик, 3 – Селенга, 4 – Баргузин, 5 – Снежная, 6 – Бугульдейка, 7 – Голоустная, 8 – Верх. Ангара.

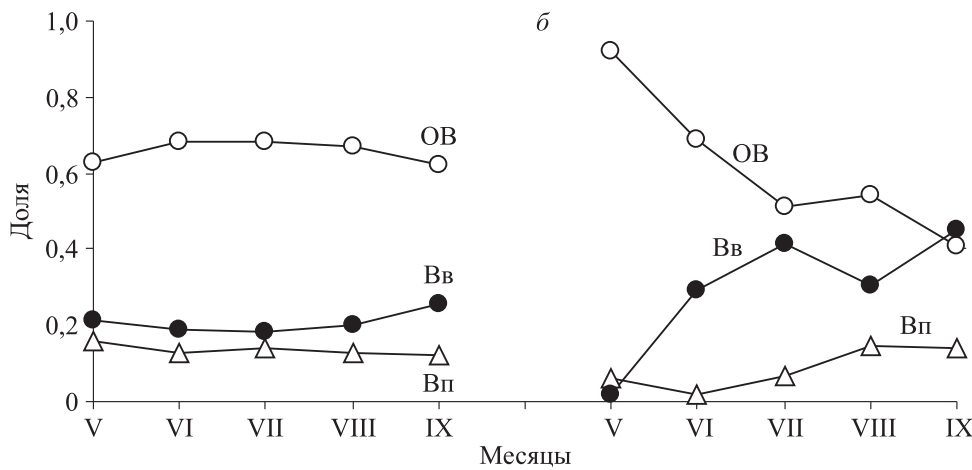
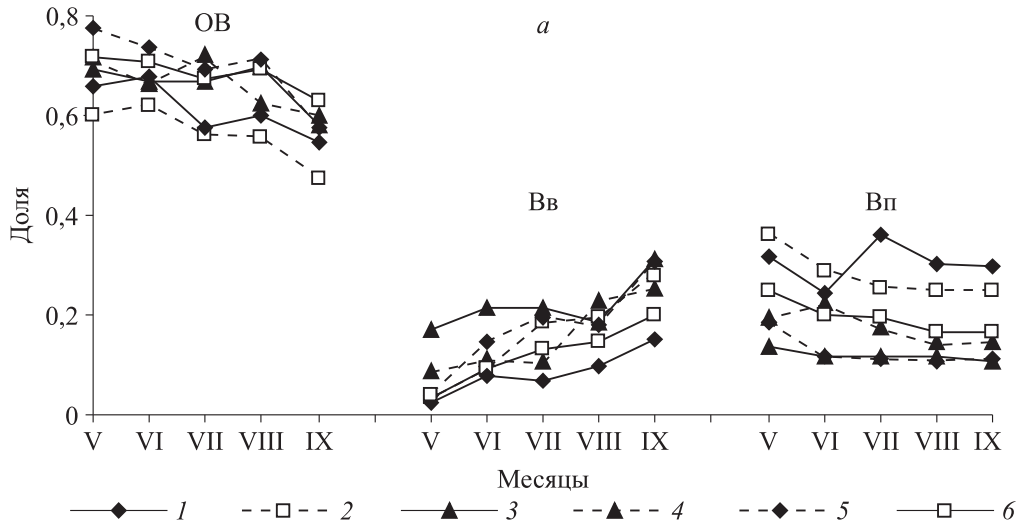


Рис. 2. Доли источников катионов.

а – реки: 1 – Хара-Мурин, 2 – Утулик, 3 – Селенга, 4 – Снежная, 5 – Бугульдейка, 6 – Голоустная;
 б – реки Баргузин и Верх. Ангара.

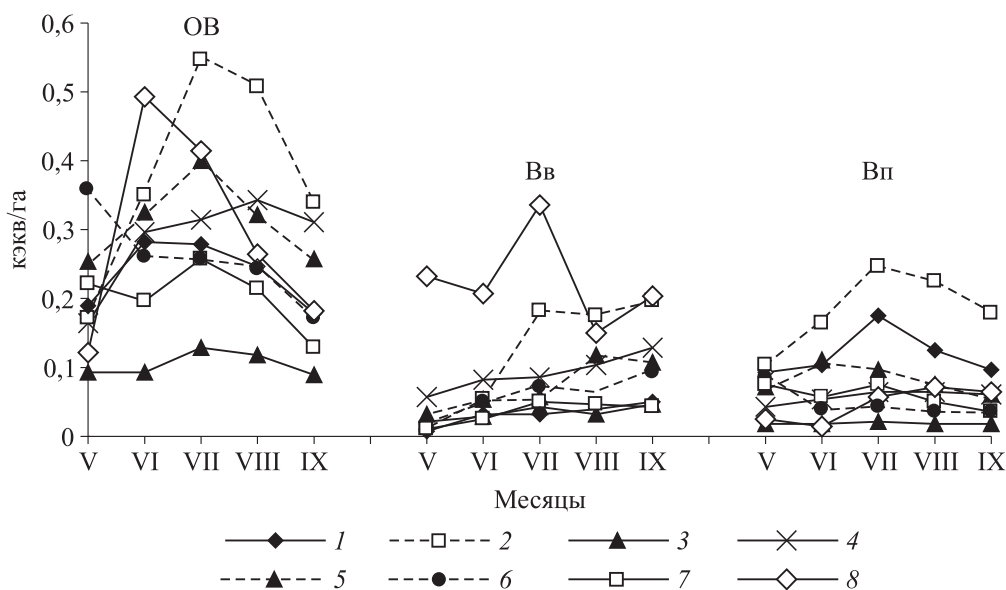


Рис. 3. Потoki катионов из различных источников.

Реки: 1 — Хара-Мурын, 2 — Утулик, 3 — Селенга, 4 — Баргузин, 5 — Снежная, 6 — Бугульдейка, 7 — Голоустная, 8 — Верх. Ангара.

большее за год количество осадков, ОВ — оптимизация водно-воздушного и температурного режимов почв, способствующая разложению органики, а также максимум бокового стока, с которым выносятся продукты разложения из органогенных горизонтов.

Рост величин ОВ и Вп до максимума в июле и падение после объясняются, соответственно, увеличением и уменьшением количества осадков и температуры. Изменения величин Вв в течение периода открытой воды в целом повторяют изменения их доли в растворенном веществе, т. е. рост от весны к осени. В первой половине лета он, по нашему мнению, связан с улучшением гидротермических условий, способствующим выветриванию, а во второй — с уменьшением бокового стока. Необходимо отметить, что величины выноса растворенного вещества, рассчитанные нами для Селенги, занижены, так как при расчетах мы использовали всю площадь водосборного бассейна. В дальнейшем при расчетах планируется «ограничить» площадь водосбора площадью распространения промывного водного режима почв.

Описанные выше закономерности не вполне соблюдаются для Верх. Ангары и Баргузина. Полученные для Верх. Ангары доли источников не были помещены на общие диаграммы, так как доли выветривания слишком велики, а доли органогенного вещества слишком малы по сравнению с другими реками (см. рис. 2, б). Возможно, что высокие концентрации катионов, понижающие отношения $C_{\text{орг.В}}/КНС_{\text{В}}$, связаны с таянием мерзлых грунтов, занимающих значительную площадь водосбора и содержащих большое количество растворенного вещества. Благодаря повторяющимся циклам промерзания—оттаивания разрушение минерального вещества в таких грунтах идет особенно интенсивно. Поэтому максимум Вв совпадает с максимальными температурами воздуха в июле (см. рис. 3), когда почва протаивает на наибольшую глубину, а максимум ОВ приходится на июнь, когда начинают оттаивать верхние горизонты почв.

Особенность р. Баргузин — незначительные (в пределах 10 %) колебания долей соответствующих источников в течение всего периода открытой воды (см. рис. 2, б). Отчасти причина этого — небольшое (до 240 мм) количество осадков и их равномерное распределение, обуславливающее постоянство объема (см. рис. 1) и, соответственно, направления стока. Другой причиной может быть увеличивающееся в течение сезона поступление органического вещества в реку, поддерживающее постоянство отношений $C_{\text{орг}}/КНС$. Источником органического вещества могут служить земли, используемые в сельском хозяйстве.

Сравнение результатов, полученных по [15], с результатами, рассчитанными по данным 2002–2004 гг., показало значительные различия между долями атмосферных выпадений и органического вещества (табл. 2). По-видимому, это связано с увеличением в последние десятилетия минерализации осадков [20].

Рассчитываемые величины ОВ и Вв могут послужить основой для последующей оценки величин параметров цикла углерода, таких как эмиссия CO_2 из почв и количество углерода, окисляемого в почвенном профиле до углеродсодержащих кислот (угольной и органических). Эмиссия углекислого

**Средние (числитель), минимальные и максимальные (знаменатель) величины потоков катионов
в период открытой воды**

Река	Вп		Вв		ОВ	
	кэкв-га ⁻¹	доля	кэкв-га ⁻¹	доля	кэкв-га ⁻¹	доля
<i>Среднемноголетние данные (май–сентябрь)</i>						
Хара-Мурин	$\frac{0,12}{0,09 - 0,17}$	$\frac{0,30}{0,24 - 0,36}$	$\frac{0,03}{0,01 - 0,05}$	$\frac{0,08}{0,02 - 0,15}$	$\frac{0,23}{0,18 - 0,28}$	$\frac{0,62}{0,55 - 0,68}$
Утулик	$\frac{0,18}{0,10 - 0,25}$	$\frac{0,28}{0,25 - 0,36}$	$\frac{0,12}{0,01 - 0,20}$	$\frac{0,16}{0,04 - 0,28}$	$\frac{0,38}{0,17 - 0,55}$	$\frac{0,56}{0,48 - 0,62}$
Снежная	$\frac{0,08}{0,06 - 0,11}$	$\frac{0,18}{0,15 - 0,22}$	$\frac{0,07}{0,03 - 0,12}$	$\frac{0,16}{0,09 - 0,24}$	$\frac{0,31}{0,25 - 0,40}$	$\frac{0,66}{0,59 - 0,71}$
Селенга	$\frac{0,02}{0,017 - 0,022}$	$\frac{0,12}{0,11 - 0,14}$	$\frac{0,03}{0,02 - 0,05}$	$\frac{0,22}{0,17 - 0,31}$	$\frac{0,10}{0,09 - 0,13}$	$\frac{0,66}{0,57 - 0,70}$
Верх. Ангара	$\frac{0,05}{0,01 - 0,07}$	$\frac{0,09}{0,03 - 0,16}$	$\frac{0,23}{0,15 - 0,33}$	$\frac{0,30}{0,03 - 0,43}$	$\frac{0,30}{0,12 - 0,49}$	$\frac{0,61}{0,42 - 0,93}$
Баргузин	$\frac{0,06}{0,04 - 0,07}$	$\frac{0,13}{0,12 - 0,16}$	$\frac{0,09}{0,06 - 0,13}$	$\frac{0,21}{0,18 - 0,25}$	$\frac{0,29}{0,17 - 0,33}$	$\frac{0,66}{0,62 - 0,67}$
Бугульдейка	$\frac{0,05}{0,03 - 0,09}$	$\frac{0,13}{0,11 - 0,19}$	$\frac{0,06}{0,02 - 0,09}$	$\frac{0,17}{0,04 - 0,31}$	$\frac{0,26}{0,17 - 0,36}$	$\frac{0,70}{0,58 - 0,77}$
Голоустная	$\frac{0,06}{0,03 - 0,08}$	$\frac{0,20}{0,17 - 0,25}$	$\frac{0,03}{0,01 - 0,05}$	$\frac{0,12}{0,04 - 0,20}$	$\frac{0,20}{0,13 - 0,26}$	$\frac{0,68}{0,62 - 0,72}$
<i>Среднемноголетние данные (июнь, июль, сентябрь)</i>						
Хара-Мурин	$\frac{0,12}{0,10 - 0,17}$	$\frac{0,30}{0,23 - 0,35}$	$\frac{0,04}{0,03 - 0,05}$	$\frac{0,10}{0,07 - 0,14}$	$\frac{0,25}{0,18 - 0,28}$	$\frac{0,60}{0,54 - 0,67}$
Утулик	$\frac{0,20}{0,16 - 0,25}$	$\frac{0,26}{0,25 - 0,29}$	$\frac{0,14}{0,05 - 0,20}$	$\frac{0,19}{0,09 - 0,28}$	$\frac{0,41}{0,34 - 0,55}$	$\frac{0,55}{0,48 - 0,62}$
Снежная	$\frac{0,09}{0,06 - 0,11}$	$\frac{0,18}{0,14 - 0,21}$	$\frac{0,07}{0,05 - 0,11}$	$\frac{0,16}{0,11 - 0,24}$	$\frac{0,33}{0,26 - 0,40}$	$\frac{0,66}{0,59 - 0,71}$
<i>Средние данные за 2002–2004 гг. (июнь, июль, сентябрь)</i>						
Хара-Мурин	$\frac{0,18}{0,15 - 0,21}$	$\frac{0,43}{0,41 - 0,45}$	$\frac{0,05}{0,03 - 0,09}$	$\frac{0,12}{0,07 - 0,19}$	$\frac{0,19}{0,15 - 0,25}$	$\frac{0,45}{0,35 - 0,53}$
Утулик	$\frac{0,34}{0,27 - 0,41}$	$\frac{0,34}{0,33 - 0,37}$	$\frac{0,20}{0,14 - 0,26}$	$\frac{0,21}{0,12 - 0,27}$	$\frac{0,44}{0,36 - 0,58}$	$\frac{0,45}{0,40 - 0,51}$
Снежная	$\frac{0,16}{0,10 - 0,24}$	$\frac{0,27}{0,22 - 0,37}$	$\frac{0,08}{0,05 - 0,12}$	$\frac{0,15}{0,09 - 0,18}$	$\frac{0,34}{0,28 - 0,43}$	$\frac{0,58}{0,46 - 0,68}$

газа может быть оценена через величину ОВ и отношение металлов к углероду в растительных тканях. При этом главная сложность — это учет поглощения металлов корнями в самих органогенных горизонтах. Количество углерода образовавшихся кислот может быть оценено через количество углерода/водорода кислотных функциональных группировок, эквивалентных количеству высвободившихся в реакциях выветривания металлов — величину Вв. Основная проблема в этом случае — установление эквивалентного веса кислот и долей участия угольной и органических кислот в выветривании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Достоверность метода, основанного на сравнении величин выноса кислотнейтрализующих компонентов и растворенного органического углерода, подтверждается согласованностью полученных результатов с существующими представлениями о закономерностях функционирования экосистем. На сегодняшний день этот метод самый малозатратный как в плане средств, так и в плане физических усилий. Его надежность обусловлена использованием только химических и гидрологических параметров водотоков, без привлечения данных по свойствам компонентов наземных экосистем, характеризующихся значительной пространственной вариабельностью.

Получаемые результаты, в частности величины OB и Bv , дают выход на сопряженную оценку параметров круговорота углерода в наземных экосистемах, таких как эмиссия CO_2 из почв и количество углерода, окисляемого до углеродсодержащих кислот. Единственное выявленное ограничение метода представляет собой его неприменимость для территорий с непромывным водным режимом почв.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Президента РФ (МД-4389.2009.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Christophersen N., Neal C., Hooper R. P. et al.** Modelling streamwater chemistry as a mixture of soilwater end-members — a step towards second-generation acidification models // *Journ. of Hydrol.* — 1990. — 116 (1–4). — P. 307–320.
2. **Ladouche B., Probst A., Viville D. et al.** Hydrograph separation using isotopic, chemical and hydrological approaches (Strengbach catchment, France) // *Journ. of Hydrol.* — 2001. — 242 (3–4). — P. 255–274.
3. **Inamdar S. P., O’Leary N., Mitchell M. J., Riley J. T.** The impact of storm events on solute exports from a glaciated forested watershed in western New York, USA // *Hydrol. Processes.* — 2006. — 20 (16). — P. 3423–3439.
4. **Petelet-Giraud E., Negrel P.** Geochemical flood deconvolution in a mediterranean catchment (Herault, France) by Sr isotopes, major and trace elements // *Journ. of Hydrol.* — 2007. — 337 (1–2). — P. 224–241.
5. **Land M., Ingri J., Andersson P. S., Ohlander B.** Ba/Sr, Ca/Sr and Sr-87/Sr-86 ratios in soil water and groundwater: implications for relative contributions to stream water discharge // *Applied Geochem.* — 2000. — 15 (3). — P. 311–325.
6. **Derry L. A., Pett-Ridge J. C., Kurtz A. C.** Ge/Si and Sr-87/Sr-86 tracers of weathering reactions and hydrologic pathways in a tropical granitoid system // *Journ. of Geochem. Exploration.* — 2006. — 88 (1–3, SI). — P. 271–274.
7. **Negrel P., Fouillac C., Brach M.** A strontium isotopic study of mineral and surface waters from the Cezallier (Massif Central, France): implications for mixing processes in areas of disseminated emergences of mineral waters // *Chemical geol.* — 1997. — 135 (1–2). — P. 89–101.
8. **Hogan J. F., Blum J. D.** Tracing hydrologic flow paths in a small forested watershed using variations in (87)Sr/(8)6Sr, [Ca]/[Sr], [Ba]/[Sr] and delta O-18 // *Water Resources Res.* — 2003. — 39 (10). — 1282. — <http://www.agu.org/journals/wr/wr0310/2002WR001856/>
9. **Robson A., Neal C.** Hydrograph separation using chemical techniques: an application to catchments in mid-wales // *Journ. of Hydrol.* — 1990. — 116. — P. 345–363.
10. **Hendershot W. H., Savoie S., Courchesne F.** Simulation of stream-water chemistry with soil solution and groundwater-flow contributions // *Journ. of Hydrol.* — 1992. — 136 (1–4). — P. 237–252.
11. **Billet M. F., Cresser M. S.** Evaluation of the use of soil ion exchange properties for predicting streamwater chemistry in upland catchments // *Journ. of Hydrol.* — 1996. — 186. — P. 375–394.
12. **Hooper R. P., Christophersen N., Pitters N. E.** Modelling streamwater chemistry as a mixture of soilwater end-members — an application to the panola mountain catchment, Georgia, USA // *Journ. of Hydrol.* — 1990. — 116. — P. 321–341.
13. **Bickle M. J., Chapman H. J., Bunbury J. et al.** The relative contributions of silicate and carbonate rocks to riverine Sr fluxes in the head waters of the Ganges // *Geochim. et Cosmochim. Acta.* — 2005. — 69 (9). — P. 2221–2240.
14. **Синюкович В. Н.** Взаимосвязь водного и ионного стока основных притоков оз. Байкал. // *Водн. ресурсы.* — 2003. — № 2. — С. 208–212.
15. **Вотинцев К. К., Глазунов И. В., Толмачева А. П.** Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. — М.: Наука, 1965. — 494 с.
16. **Башенхаева Н. В.** Органическое вещество вод южных притоков озера Байкал // *Материалы III междунар. науч. конференции «Озерные экосистемы: Биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды».* — Минск: Нарочь, 2007. — С. 304–305.
17. **Семенов А. Д.** Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 541 с.
18. **Кузьмин В. А.** Химический состав вод притоков Юго-Западного и Южного Байкала и его связь с природной обстановкой // *География и природ. ресурсы.* — 1998. — № 1. — С. 70–77.
19. **Semenov M. Yu., Van Grieken R.** Base cation fluxes in mountain landscapes of Lake Baikal southern shore // *Communicat. in Soil Sci. and Plant Analysis.* — 2007. — 38. — P. 2635–2646.
20. **Сороковикова Л. М., Синюкович В. Н., Нецветова О. Г. и др.** Поступление сульфатов и азота в озеро Байкал с водами его притоков // *География и природ. ресурсы.* — 2009. — № 1. — С. 61–65.

Поступила в редакцию 27 ноября 2009 г.