

## Цикличность распределения концентраций элементов в воде истока Ангары (сток Байкала) в 1997-2017 гг.

© *В. И. Гребенщикова, М. И. Кузьмин, С. Б. Цыдыпова*

Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия. E-mail: [vgreb@igc.irk.ru](mailto:vgreb@igc.irk.ru)

В результате 20-летних мониторинговых исследований химического состава воды истока Ангары установлена межгодовая, годовая и ежемесячная цикличность в распределении концентраций макро- и микрокомпонентов. Отмечается изменение содержания элементов по сезонам года, зависящее от температуры воды, активности фито- и зоопланктона и региональных изменений в окружающей среде (наводнения, землетрясения, техногенез и др.).

**Ключевые слова:** макрокомпоненты; микрокомпоненты; вода; Ангара; Байкал.

## The cyclic distribution of the concentrations of elements in the water of the source of the Angara (the flow of Lake Baikal) in the years 1997-2017.

*V. I. Grebenshchikova, M. I. Kuzmin, S. B. Tsydyпова*

Vinogradov Institute of Geochemistry, SB RAS, Irkutsk, Russia. E-mail: [vgreb@igc.irk.ru](mailto:vgreb@igc.irk.ru)

As a result of 20-year monitoring studies of the chemical composition of the source waters of the Angara, the interannual, annual and monthly cyclicity in the distribution of concentrations of macro- and microcomponents has been established. There is a change in the content of elements for the seasons of the year, depending on the temperature of the water, the activity of phyto- and zooplankton and regional changes in the environment (floods, earthquakes, technogenesis, etc.).

**Keywords:** macrocomponents; microcomponents; water; Angara River; Lake Baikal.

В 21 столетии многие страны мира испытывают дефицит питьевой воды. В 1996 г. ЮНЕСКО включает Байкал в объекты Всемирного природного наследия. Вода Байкала и истока Ангары является настолько чистой и обогащенной кислородом, что по своим характеристикам пригодна для любого вида водопользования. Запасы воды в Байкале огромны, что вызывает мировой интерес к ее изучению.

Проводимые Институтом геохимии СО РАН (ИГХ СО РАН) мониторинговые геохимические исследования воды истока Ангары — единственного стока Байкала и сравнение с более ранней литературной информацией (1950–1995 гг.) важны для понимания существующей возможности сохранения чистой воды Байкала, несмотря на возрастающее антропогенное воздействие.

Химические анализы выполняются с использованием научного оборудования ЦКП «изотопно-геохимических исследований ИГХ СО РАН». К настоящему времени выполнен анализ 460 проб воды истока реки Ангары на макрокомпоненты и Hg, 130 проб — на 55 микрокомпонентов. Исток Ангары не замерзает в зимнее время за счет поступления подледной воды из Байкала [1], что позволяет проводить его постоянное опробование.

Ежемесячный мониторинг **макрокомпонентного состава** воды истока Ангары в ИГХ СО РАН начат в 1997 г. [2, 3] Первые данные о химическом составе воды Байкала и истока Ангары появились в 30-х годах 19 века. Анализ многочисленных литературных данных показал, что макрокомпонентный состав воды истока Ангары, как и Байкала, остается постоянным на протяжении последнего столетия. Вода истока Ангары, согласно данным всех исследователей, низкоминерализованная, гидрокарбонатно-кальциевого состава. Средняя годовая минерализация изменяется в пределах 96–100 мг/дм<sup>3</sup>.

В 2011 г. на водозаборе в районе истока Ангары была установлена ультрафиолетовая защита. В связи с этим в 2017 г. было принято решение одновременно проводить опробование воды на водозаборе и на берегу Ангары с целью проверки возможного влияния ультрафиолетовой защиты на состав воды.

Подекадное опробование воды истока Ангары в 1997 г. показало близость ее макрокомпонентного состава в течение одного месяца [3]. В апреле 2017 г. пробы воды отбирались 3 раза, через каждые 10 дней. Оказалось, что в течение месяца по макрокомпонентам, береговая вода и вода из водозабора фактически не различались (рис. 1А) и близки к воде истока в апреле 2007 г.

Сезонным (ежемесячным) изменениям наиболее подвержены анионы  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , а также  $\text{O}_2$ , pH и TDS (рис. 2А). Кремний, натрий, калий, фосфор, азот заметно ниже в весенне-летнее

время года. Отмечается незначительное увеличение  $F^-$  ранней весной (апрель-май) при таянии снега, а  $Cl^-$  — осенью, что, возможно, связано с большой туристической нагрузкой на поселок Листвянка, где находится исток Ангары.

По содержанию катионов отмечены незначительные изменения за весь период исследований. Слабо реагируют на сезон года катионы  $Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}$ , для них характерна слабо выраженная отрицательная и положительная тенденции.

Кроме того, определялась и удельная электропроводность (Ес). Она коррелирует с  $F^-$ -ионом и температурой воды в истоке, увеличиваясь в теплое время года.

За 20-и летний период исследований отчетливо выделяются *межгодовые* вариации или циклы изменения концентраций как положительной, так и отрицательной динамики. Продолжительность их 3–7 лет. Вариации отмечаются для всех катионов и анионов, а также для  $O_2$ , pH и TDS (рис. 1, 3А). У щелочных катионов в 1997–2004 гг. прослеживался общий отрицательный тренд [3]. В январе 2006 г. отмечено заметное повышение, после они имеют явную положительную тенденцию до 2009 г., затем концентрации их изменяются волнообразно и незначительно до настоящего времени.

В целом ежемесячные, годовые и межгодовые геохимические вариации изменения концентраций как положительной, так и отрицательной тенденции отмечаются во всех вышеперечисленных компонентах за 1997–2017 гг. [2]. При этом для всех характерны близкие среднегодовые содержания и положительная или отрицательная динамика (рис. 1, 1А–3А).

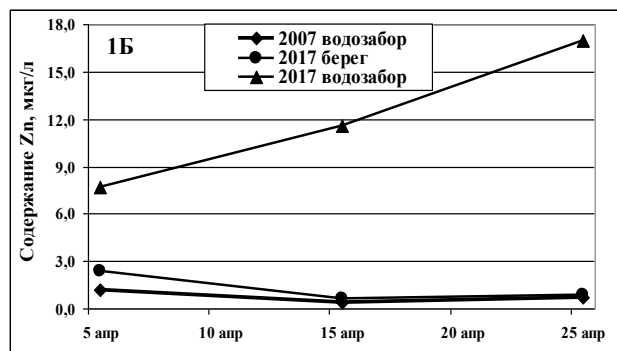
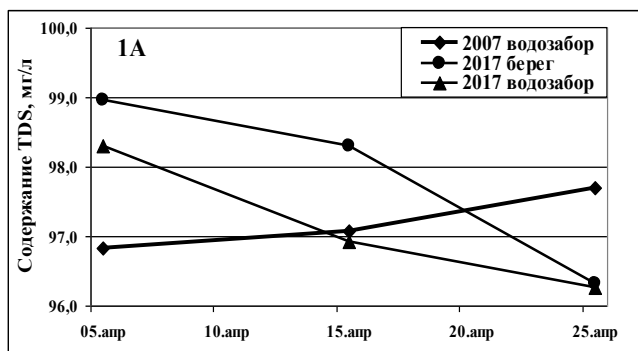
Мониторинг *микркомпонентного состава* истока Ангары и Байкала начат в 2006 г.

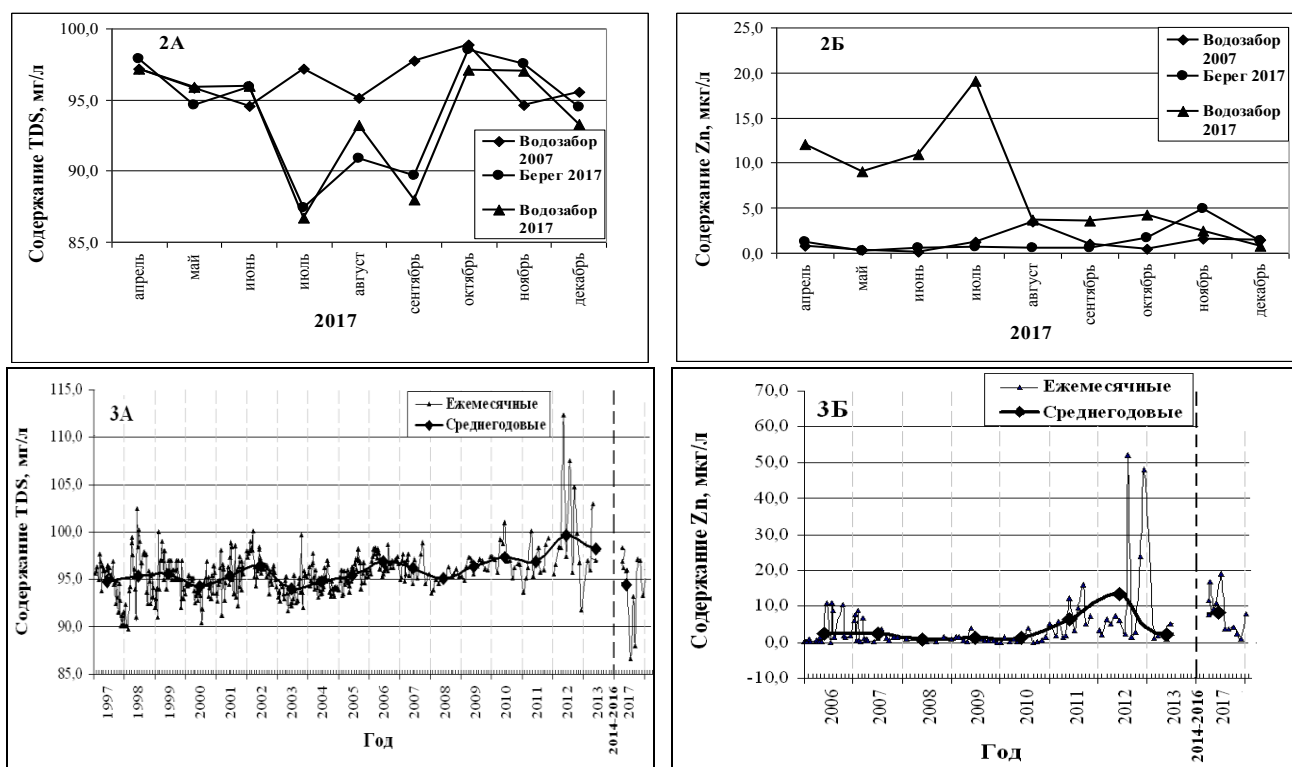
Месячный анализ микроэлементного состава в апреле 2017 г. показал значимые различия между водой в водозаборе и водой в береговой линии по таким элементам как: Fe, Cu, Zn, Cr (рис. 1, 1Б). Можно предполагать, что повышение содержаний элементов группы железа обусловлено воздействием ультрафиолетовой защиты. При этом в апреле вода в водозаборе всегда более теплая ( $1^\circ-3^\circ$ ), что объясняется влиянием «термоклина» [1]. Вода в береговой части истока в это время года более холодная ( $0^\circ-1^\circ$ ) (рис. 1, 1Б).

Сезонные (ежемесячные годовые) изменения микроэлементного состава воды на водозаборе и на берегу по большинству изученных элементов близки и выражены повышением содержаний в весенне-летнее время Co, V, Ni, Zn, Cu, Cd и Al, а осенью и зимой — уменьшением (рис. 1, 2Б). Отмечено близкое распределение элементов группы железа в 2007 и 2017 гг. Некоторые элементы изменяются не предсказуемо. Отличия минимальных и максимальных концентраций составляют 2–4 раза, иногда более. При этом превышений ПДК питьевых вод для всех анализируемых элементов не отмечено.

Продолжительность межгодовых изменений для микроэлементов (рис. 1, 3Б) различна, но в среднем, как и для макрокомпонентов, геохимический цикл составляет 3–7 лет. При этом максимумы и минимумы содержаний различных элементов по годам могут не совпадать. Например, неоднократные максимумы в течение 1998 г. характерны для Hg; 2002 г. — кислород и  $F^-$ -ион; 2008 г. — U; 2012 г. — TDS, Al, Cu, Zn, Ni, Co; 2017 г. —  $Cl^-$ -ион. Некоторые повышения ртути объяснились ранее [3] серией небольших землетрясений в 1998 г. и подтвердилось в марте 2018 г. на западе Байкала (район п. Голоустное). До этого времени в 2017–2018 гг. содержание ртути в среднем было очень низкое —  $0,0005 \text{ мкг/дм}^3$  и менее, а после землетрясения ее содержание в воде истока увеличилось в 3 раза — до  $0,0016 \text{ мкг/дм}^3$ . Эти данные подтверждают глубинный источник ртути в воде.

Органические загрязнители в озере Байкал остаются низкими и не влияют непосредственно на биоту [4]. Основной угрозой является локальное загрязнение сточными водами населенных пунктов, туристических лагерей и судоходства [5].





**Рис. 1.** Сравнение месячного (1А, 1Б), годового (2А, 2Б) и межгодового (3А, 3Б) распределения компонентов в воде истока Ангары (сток Байкала). Вертикальный пунктир — перерыв в опробовании в 2014-2016 гг.

Таким образом, данные 1997–2017 гг. исследований химического состава воды истока реки Ангары показали отсутствие значимого загрязнения. Отмечается сходство состава воды Ангары в настоящее время в сравнении с предшествующими исследованиями (1950–1995 гг.) [2, 3]. Подтверждены изменения химического состава воды истока, обусловленные климатом, уровнем Байкала, временами года и природными катаклизмами.

*Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания по Проекту IX.127.1.4. (0350-2016-0027) и при финансовой поддержке РФФИофи\_м (№ 17-29-05022).*

#### Литература

1. Сезонные изменения вертикальной структуры водной толщи пелагиали южного Байкала / В. В. Блинов [и др.] // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 3. С. 285–295.
2. Многолетний геохимический мониторинг истока реки Ангары (сток озера Байкал) / В. И. Гребенщикова [и др.] // ДАН. 2018. Т. 480. № 4.
3. Гидрохимические характеристики поверхностного стока озера Байкал (1997-2003) / П. В. Коваль [и др.] // ДАН. 2005. Т. 401. № 5. С. 663–667.
4. Current chemical composition of Lake Baikal water / T. V. Khodzher [et al.] // Inland Waters. 2017. V. 7. № 3. P. 250–258.
5. Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? / O. A. Timoshkin [et al.] // J. Great Lakes Res. 2016. V. 42. № 3. P. 487–497.

**Гребенщикова Валентина Ивановна**, старший научный сотрудник Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск.