

Мониторинговые исследования ИОННОГО СОСТАВА ВОДЫ истока р. Ангары (ОЗЕРО БАЙКАЛ)

Цель работы – анализ возможных изменений, происходящих в макрокомпонентном составе воды озера Байкал в период повышенной антропогенной нагрузки на экосистему. Полученные многолетние (1997-2009 гг.) результаты исследований состава истока р. Ангары и сравнительный анализ с более ранними опубликованными данными показывают хорошую сходимость и соответствуют общепринятому мнению о постоянстве ионного состава воды истока р. Ангары, как, соответственно, и воды оз. Байкал. В последние годы установлены слабо выраженные положительные тренды в изменении содержаний щелочных элементов, гидрокарбонатов, кислорода, общей суммы ионов, а отрицательный тренд характерен для распределения концентраций кальция.



Введение

Река Ангара (рис. 1) является единственным поверхностным стоком озера Байкал. Можно полагать, что вода истока р. Ангары отражает средний химический состав воды оз. Байкал или его южной части. Оз. Байкал объявлено ЮНЕСКО объектом мирового наследия и проводимые нами мониторинговые исследования очень важны в связи с возрастающим антропогенным воздействием на экосистему озера в период техногенеза. Изучение ионного состава ангарской воды проводилось многими исследователями [1-5]. Цель нашей работы – оценить происходящие за последние 59 лет изменения макрокомпонентного состава воды истока р. Ангары.

Материалы и методы исследования

С 1997 г. в Институте геохимии СО РАН П.В. Ковалем были начаты мониторинговые наблюдения за составом воды в истоке р. Ангары [6, 7], которые продолжа-

В.И. Гребенщикова*,
доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией проблем геохимического картирования и мониторинга, Учреждение Российской академии наук Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения РАН

ются и в настоящее время. С 1997 г. до июля 2007 г. проводилось подекадное опробование, как и многими предыдущими исследователями, позднее – ежемесячно. Отбор проб проводился на водозаборе в поселке Листвянка (рис. 1) в пластиковые бутылки емкостью 1 л. В течение 1 ч после отбора пробы доставлялись в Институт геохимии СО РАН и поступали на анализ. Химический анализ на основные ионы (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) и кислород проводился постоянно, начиная с 1997 г., одной группой аналитиков Института. С 1997 по 2009 гг. выполнено 400 анализов проб воды на макрокомпоненты, кислород, а также определялись рН и общая минерализация. Анализ на катионы (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) проводился методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе ELEMENT 2 (фирма Finnigan MAT, Германия). Анализы на остальные ионы выполнялись следующими методами: хлор-ион – меркуриметрическим, сульфат-ион – турбидиметрическим, гидрокарбонат-ион –

* Адрес для корреспонденции: vgreb@igc.irk.ru

титриметрическим, растворенный кислород – йодометрическим.

Необходимо отметить, что в 1957 г. в Иркутске на р. Ангаре была построена плотина ГЭС, которая, несомненно, повлияла на гидрологический режим, а в 1966 г. начал работать Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат. Для оценки влияния ГЭС и комбината на состав байкальской и, соответственно, ангарской воды представляет интерес сравнение ее макрокомпонентного состава до и после строительства этих объектов.

Результаты и их обсуждение

По концентрации ионов водорода (рН) вода истока р. Ангары изменяется от нейтральной (6,2) до слабо щелочной (8,5). Полученные аналитические данные по макрокомпонентному составу приведены в табл. 1.

Для сравнения здесь же приводятся данные из ранее опубликованных работ.

Согласно данным всех исследователей, вода истока р. Ангары низкоминерализованная, гидрокарбонатно-кальциевого состава. Сумма растворенных солей в течение года варьирует в незначительных пределах. В последние годы наблюдается некоторое снижение годовой амплитуды колебаний значе-

Н.А. Загорулько,

младший научный
сотрудник
лаборатории
проблем
геохимического
картирования
и мониторинга,
Учреждение
Российской
академии наук
Институт геохимии
им. А.П. Виноградова
Сибирского
отделения РАН

М.В. Пастухов,

научный сотрудник
лаборатории
проблем
геохимического
картирования
и мониторинга,
Учреждение
Российской
академии наук
Институт геохимии
им. А.П. Виноградова
Сибирского
отделения РАН

ний минерализации (рис. 2), о чем свидетельствует уменьшение коэффициентов вариации. Максимальный интервал изменения минерализации воды (89,8-102,4 мг/л) за 13-летний период исследований был отмечен в 1998 г.

Средняя минерализация за изученный период составляет 95,46 мг/л. Относительно пониженная минерализация чаще всего отмечается в январе-феврале. Сезонные изменения состава воды происходят на фоне межгодовых, циклических изменений минерализации, обусловленных, преимущественно, гидрокарбонат-ионом. Статистический анализ показал наличие отчетливой корреляции между гидрокарбонат-ионом и минерализацией ($R=0,82$), а также между калием и натрием ($R=0,74$), более слабо выражена корреляция минерализации и содержания сульфат-иона ($R=0,47$).

Максимальное межгодовое содержание кальция отмечалось в 1954-1955 гг. (табл. 1). Некоторое повышение содержания Ca^{2+} в 2004 г. полностью компенсируется заметным снижением его концентрации в последующие годы (2005-2009 гг.). В последние годы максимальное содержание Ca^{2+} (17,0 мг/л) отмечалось в октябре 2003 г., минимальное (14,0 мг/л) – в январе 2008 г., среднее за последние 13 лет – 15,44 мг/л. Судя по характеру тренда (рис. 3), выделяются 2-5-летние циклы изменения его концентрации.



Рис. 1. Карта-схема нахождения мониторинговой станции (звездочка) в п. Листвянка.

Таблица 1

Средние содержания основных ионов, растворенного кислорода и рН в воде истока р. Ангары (мг/л)

Компонент/год	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	ΣМ	O ₂	рН
1950-1955 гг. [3]	4,30	16,76	2,30	67,50	0,43	4,24	95,53	12,39	7,45
1950 г. [3]	3,98	16,40	2,58	67,18	0,54	3,96	94,64	12,53	7,55
1951 г. [3]	5,15	16,43	2,01	67,24	0,39	4,40	95,62	12,74	7,40
1952 г. [3]	3,47	16,14	2,69	65,24	0,37	4,40	92,31	12,10	7,50
1953 г. [3]	4,97	16,52	2,13	68,73	0,43	3,44	96,22	12,66	7,50
1954 г. [3]	3,96	17,50	2,13	67,51	0,43	4,64	96,17	12,25	7,45
1955 г. [3]	4,23	17,57	2,23	69,13	0,41	4,50	98,07	12,06	7,40
1957-1961 гг. [4]	5,6	15,3	3,2	64,7	0,90	4,5	94,4	–	–
1984-1995 гг. [5]	4,20	15,9	3,2	62,70	0,90	6,20	91,3-96,7	–	7,5-8,5
1997 г. [7]	4,33	15,06	3,33	65,98	0,62	5,40	94,73	12,25	–
1998 г. [7]	4,39	15,44	3,30	65,04	0,52	6,62	95,29	12,76	–
1999 г. [7]	4,26	15,51	3,57	65,15	0,64	6,40	95,54	13,43	–
2000 г. [7]	4,12	15,42	3,29	64,83	0,61	5,94	94,21	13,44	–
2001 г. [7]	4,11	15,73	3,35	65,57	0,58	5,97	95,30	13,01	–
2002 г. [7]	4,22	15,33	3,37	67,39	0,61	5,33	96,44	12,40	–
2003 г. [7]	4,03	15,17	3,16	65,56	0,60	5,16	93,95	10,18	–
2004 г.	3,95	16,01	3,25	66,08	0,56	4,94	96,01	10,89	7,85
2005 г.	3,79	15,73	3,38	66,42	0,63	5,32	95,47	10,14	–
2006 г.	4,39	15,57	3,50	66,86	0,62	5,72	96,87	10,61	–
2007 г.	4,44	15,25	3,44	66,67	0,63	5,31	96,09	11,41	7,08
2008 г.	4,49	14,73	3,31	65,82	0,72	5,31	95,08	12,06	7,45
2009 г.	4,71	14,99	3,27	66,52	0,73	5,65	96,37	14,41	7,44

Примечание: «–» отсутствие данных.

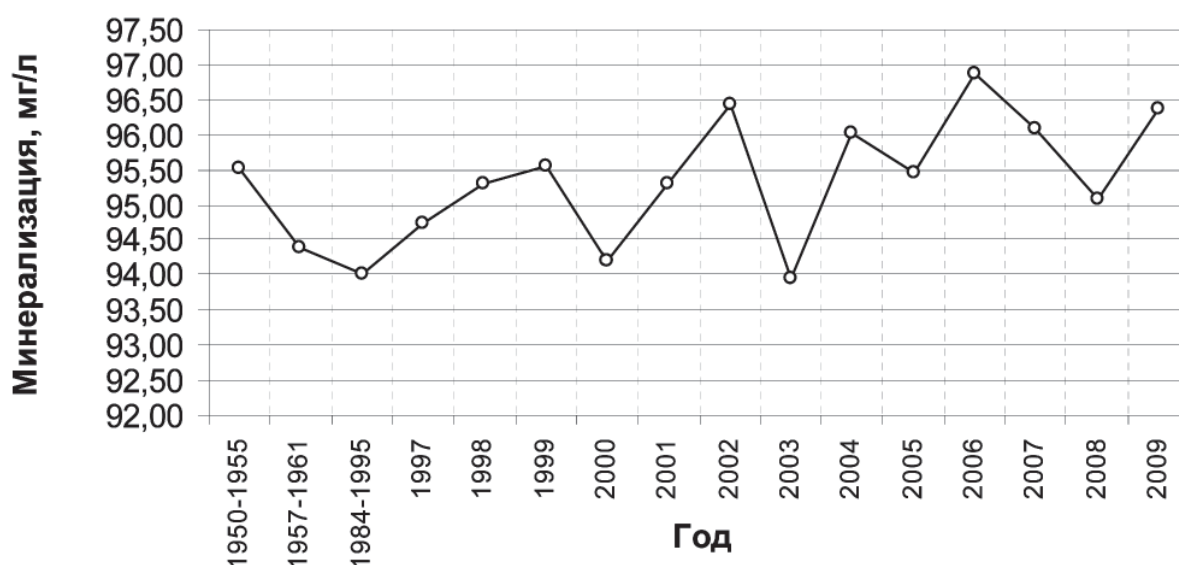


Рис. 2. Изменение минерализации в воде истока р. Ангары за период 1950-2009 гг.

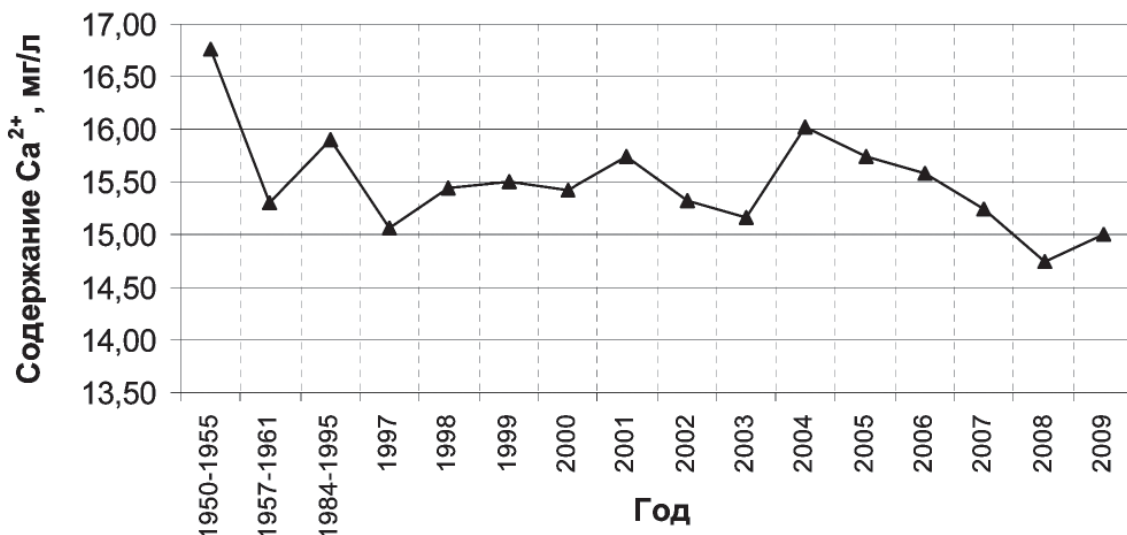


Рис. 3. Изменение содержания Ca²⁺ в воде истока р. Ангары за период 1950-2009 гг.

По сезонам года концентрация магния фактически не изменяется. Минимальные межгодовые содержания отмечались в 1955-1959 гг. (табл. 1). Минимальное разовое содержание по нашим данным – 2,55 мг/л отмечено в 1997 г., максимальное – 4,26 мг/л в 1999 г., среднее за изученный нами период времени – 3,36 мг/л. Следует также отметить, что в 1950-1955 гг. [3] содержание магния было значительно ниже, чем в последующие годы, начиная с 1957 г. (табл. 1). После этого наблюдается практически субгоризонтальный тренд его распределения. Согласно проведенным нами за 13-летний период измерениям содержание магния всего в 18 случаях (из 400) было меньше 3 мг/л.

У щелочных ионов за период 1997-2004 гг. прослеживался общий отрицательный тренд

[7]. Планомерное снижение концентрации K⁺ и Na⁺ происходило по 2005 г. В январе 2006 г. отмечено повышение содержания щелочных ионов, после чего вплоть по 2009 г. изменения имеют явную положительную тенденцию. Минимальная разовая сумма щелочей – 3,54 мг/л отмечалась в последней декаде 2005 г., максимальная – 5,09 мг/л – летом 2009 г., среднее содержание щелочей за изученный период составило 4,21 мг/л.

Тренды увеличения концентраций за последние годы установлены для гидрокарбонатов и менее выраженные – для хлоридов. Для гидрокарбонат-иона характерно чередование максимумов и минимумов с периодичностью в 3-5 лет (рис. 4).

Ранее отмечалось [3] увеличение гидрокарбонат-иона в зимнее время и объяснялась эта закономерность влиянием вод р. Селенги, которые могли непосредственно попадать в исток р. Ангары. Сейчас имеются

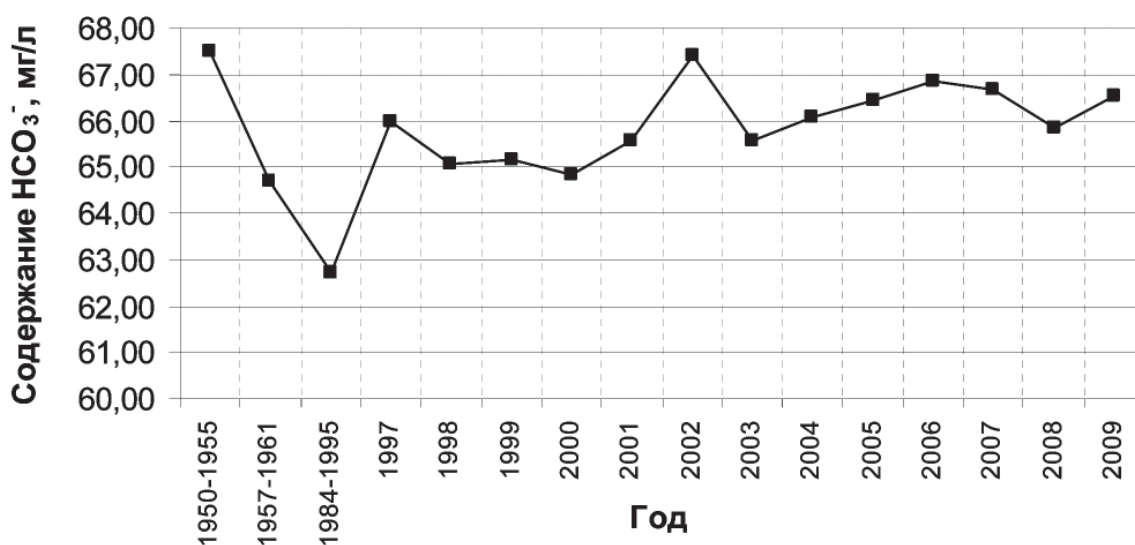


Рис. 4. Изменение содержания HCO₃⁻ в воде истока р. Ангары за период 1950-2009 гг.

данные [9], показывающие, что в мелководной зоне оз. Байкал возле устья р. Селенги содержание гидрокарбонат-иона может достигать 90 мг/л. Поверхностные конвективно-градиентные течения в оз. Байкал вблизи устья р. Селенги перемешивают поступивший водный поток с водой Байкала. Затем направление течения проходит в южную часть Байкала вдоль западного берега, т.е. непосредственно подходят к истоку р. Ангары. Однако полученные нами данные не всегда подтверждают именно зимнее увеличение гидрокарбонат-иона, а скорее свидетельствуют о цикличности изменения концентраций. Максимальное разовое содержание 70,52 мг/л отмечено в марте 2002 г., минимальное – 61,9 мг/л в марте 2001 г., среднее содержание за изученный период составляет 65,97 мг/л. В последние годы содержание гидрокарбонат-иона близко к среднему и интервал колебаний концентрации незначителен. Наибольший интервал вариаций содержания отмечался в 1998-2002 гг. По литературным данным [5] (табл. 1, рис. 4) минимальное содержание гидрокарбонат-иона было отмечено в период 1984-1995 гг.

Максимальное среднегодовое содержание хлорид-иона в воде истока р. Ангары было отмечено в 1957-1961 гг. [4] (табл. 1) – 1,9 мг/л и 0,9 мг/л в 1984-1995 гг. [5]. М.Д. Николаева [4] считает, что на самом деле «эта величина значительно ниже, чем среднее количество хлоридов в озере (0,9 мг/л), что связано с различием в методах определения. Если же произвести расчет по методике, при-

Ключевые слова:

мониторинг,
ионный состав воды,
река Ангара

меняемой на Байкале, то концентрации хлоридов окажутся близкими». Другими исследователями [3, 5, 7] и по нашим данным такие высокие среднегодовые концентрации не подтвердились. Только в летнее время 2003 г. содержание хлорид-иона однажды достигало максимального значения – 1,6 мг/л. Минимальное содержание было отмечено летом 1998 г. и составляло 0,35 мг/л, среднее за весь период наших наблюдений – 0,62 мг/л. Повышенные концентрации хлорид-иона часто отмечались в летнее время года, а низкие значения характерны в зимний период с ноября по февраль. В целом, для хлорид-иона в последние два года намечается незначительный рост его концентрации.

Размах варьирования среднегодовых величин сульфатов превышает погрешность анализа. Среднее содержание сульфат-иона за исследуемый период (5,66 мг/л) остается повышенным относительно его значений в 1950-1955 гг. (4,24 мг/л) [3] (табл. 1). Повышенное среднее содержание – 6,2 мг/л приводится в работе [5] за период 1984-1995 гг. Максимальные разовые значения составляют 8 мг/л, а максимальные среднегодовые концентрации отмечались в период 1998-1999 гг. (рис. 5).

Повышение содержания сульфат-иона, а также ртути в этот период времени объяснялось [6, 7] происходящими небольшими землетрясениями в Прибайкалье. Наиболее крупное землетрясение произошло 09.02.1999 г.

Минимальная концентрация сульфат-иона (3,1 мг/л) отмечено зимой 1997-1998 гг. За

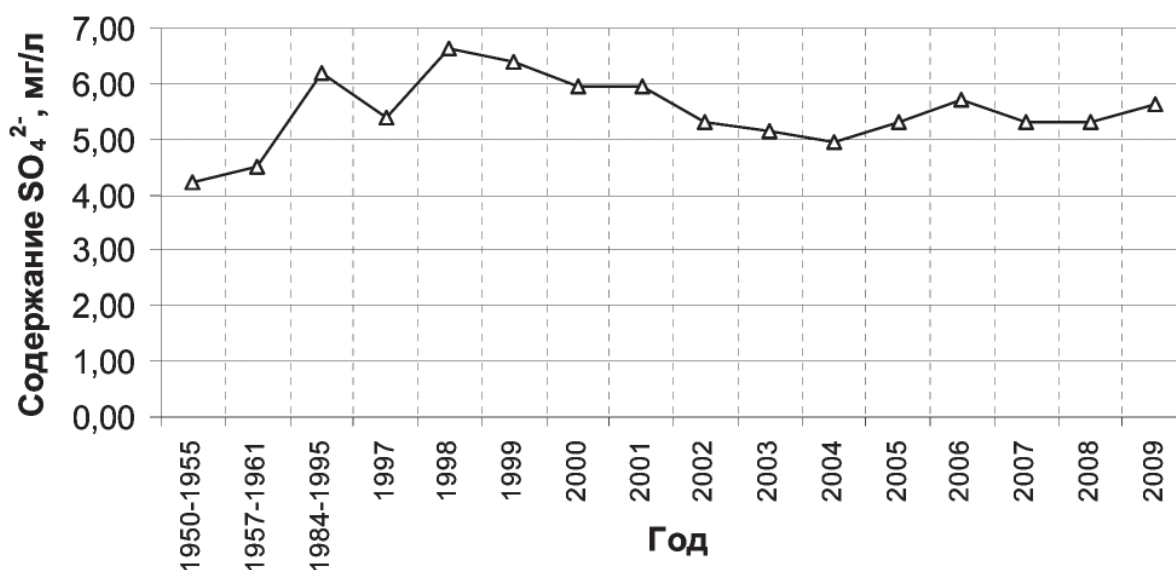


Рис. 5. Изменение содержания сульфат-иона в воде истока р. Ангары за период 1950-2009 гг.

последние годы наблюдений не происходит увеличения концентрации сульфат-иона, более того, в 2007-2008 гг. проявляется некоторая отрицательная тенденция (рис. 5), что, возможно, обусловлено временной приостановкой деятельности Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. Однако М.А. Грачев [8] считает, что если бы источником повышенных содержаний сульфат-иона в воде оз. Байкал были стоки комбината, то отмечалась бы прямая корреляция между содержаниями натрия и сульфат-иона. Как показал статистический анализ макрокомпонентов в 400 пробах воды истока Ангары, это не установлено.

Среднее годовое содержание растворенного в воде кислорода за изученный период изменяется от 10,14 до 14,41 мг/л (табл. 1). Концентрация его достаточно отчетливо определяется несколькими факторами [3]: «взаимоотношение вода-атмосфера, биологические процессы, предшествующая температура воды, а также перемешивание вод Байкала во время гомотермии – все это суммируется в картине кислородного режима вод, поступающих из Байкала в Ангару». Как показали наши наблюдения за 13-летний период, большое значение имеют сезонные факторы. В летнее время при повышении температуры воды содержание кислорода уменьшается, т.к. активизируется процесс фотосинтеза у планктонных водорослей. При понижении температуры наблюдается обратный процесс – рост содержания кислорода. Соответственно, высокие его концентрации обычно отмечаются в зимнее время, в

первом и последнем кварталах года, а низкие – в летнее время года. Среднее содержание кислорода за период 1997-2009 гг. составляет 11,93 мг/л. Минимальное среднегодовое содержание кислорода (10,11 мг/л) было зафиксировано в 2003-2006 гг., а максимальное среднегодовое содержание (14,41 мг/л) отмечено в 2009 г. (табл. 1).

Проведенные систематические мониторинговые наблюдения свидетельствуют о несущественных изменениях ионного состава воды истока р. Ангары за последние 59 лет, что, в основном, связано с сезонными факторами, с природными катаклизмами (землетрясения, ураганы) и с изменениями уровня оз. Байкал. В настоящее время не установлено влияние антропогенного воздействия на макросостав воды, что объясняется буферизирующей функцией самого Байкала [3, 8]. При этом И.В. Глазунов считал, что «время средней сменяемости его воды около 400 лет» [3].

Заключение

Полученные нами аналитические данные по макрокомпонентному составу воды истока р. Ангары, их сравнительный анализ и сопоставление с ранее опубликованной информацией подтверждают общепринятое мнение о фактически постоянном ионном составе ангарской воды, как, соответственно, и воды Байкала. Отмеченные в последние годы флуктуации в изменении содержания гидрокарбонатов, хлоридов,



общей суммы ионов и кислорода отражают 3-5-летние природные циклы изменений, когда максимумы сменяются минимумами или наоборот.

Работа поддержана интеграционным проектом СО РАН № 122.

Литература

1. Бочкарев П.Ф. Гидрохимия рек Восточной Сибири. Иркутск: Иркутское книжное изд-во, 1959. 155 с.
2. Вотинцев К.К. Гидрохимический режим озера Байкал в районе пос. Лиственничного / Вотинцев К.К., Глазунов И.В. // Гидрохимические исследования озера Байкал. Под ред. К.К. Вотинцева. Труды Лимнологического института. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1963. том III (XXIII). С. 3-56.
3. Глазунов И.В. Гидрохимический режим и химический сток реки Ангары // Гидрохимические исследования озера Байкал / Под ред. К.К. Вотинцева. Труды Лимнологического института. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1963. Том III (XXIII). С. 57-94.
4. Николаева М.Д. К гидрохимии Иркутского водохранилища // Биология Иркутского водохранилища / Под ред. Г.И. Галазия. Труды Лимнологического института. М.: Изд-во «Наука», 1964. Том II (31). С. 17-40.

5. Шпейзер Г.М. Водноэкологический мониторинг и качество вод реки Ангары / Шпейзер Г.М., Дедова Л.И., Дюберг В.М., Евсютин А.Г., Жучева Т.В., Куимова Л.П., Лобкова Л.И., Ломоносов И.С., Макаров А.А., Малевский А.Л., Проховник Л.Б., Писарский Б.И. // Материалы 1-го научно-методического семинара «Состояние р. Ангары и пути управления использованием ресурсов и их качеством». Второе издание. М.: Московский общественный научный фонд, 2000. С. 49-64.
6. Коваль П.В. Ртуть в воде истока р. Ангары / Коваль П.В., Удодов Ю.Н., Андрулайтис Л.Д., Саньков В.А., Гапон А.Е. // ДАН. 2003. Т. 389. № 2. С. 235-238.
7. Коваль П.В. Гидрохимические характеристики поверхностного стока озера Байкал (1997-2003) / Коваль П.В., Удодов Ю.Н., Андрулайтис Л.Д., Гапон А.Е., Склярова О.А., Чернигова С.Е. // ДАН. 2005. Т. 401. № 5. С. 663-667.
8. Грачев М.А. О современном состоянии экологической системы озера Байкал. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 156 с.
9. Байкал. Атлас. М.: ФСГКР, 1993. 160 с.



V.I. Grebenshchikova, N.A. Zagorul'ko, M.V. Pastukhov

STUDY OF IONIC WATER STRUCTURE OF RIVER ANGARA (LAKE BAIKAL)

The aim of this study is to give analysis of possible changes, which could be carried out in macrocomponent waters of the Baikal in the period of extensive anthropogenic load. The outlet of the Angara river has been investigated in the period of 1997-

2009 years. The results have good correlation with previous data and correspond to conventional view on definite water composition. Recently minor positive trends take place in change of alkaline element content, hydrocarbonates, oxygen and total

ions, at the same time a negative trend of calcium concentration distribution occurs.

Key words: monitoring, ionic structure of water, the river Angara

