

УДК 550.424.4

DOI: 10.21209/2074-9155-2018-12-2-29-35

## ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА В ВОДНОЙ ТОЛЩЕ ОЗЕРА АРАХЛЕЙ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

### CHANGING PARAMETERS OF CHEMICAL COMPOSITION IN THE WATER COLUMN OF THE LAKE ARAKHLEY (EASTERN TRANSBAIKALIA)

Актуальность обсуждаемой темы обусловлена решением задачи сохранения качества водных ресурсов в условиях антропогенного воздействия. Изучены распределения физико-химических параметров вод оз. Арахлей в вертикальном разрезе. Отмечено, что по соотношению основных ионов рассматриваемые воды относятся к гидрокарбонатному магниевому-кальциевому типу, величина минерализации в рассматриваемый период (март-август 2012 г.) изменялась в пределах 154...174 мг/л, среднее значение pH составило 7,9. Воды оз. Арахлей характеризуются постоянством ионного состава и минерализации как в пределах акватории, так и в вертикальном разрезе. Показано, что содержание углекислого газа в водной толще оказывает существенное влияние на концентрацию водородных ионов, свидетельством чего является обратная зависимость между их значениями. Сделан вывод, что отмеченный рост содержания азотных форм и двуокиси углерода в придонной части озера связан, вероятнее всего, с процессами жизнедеятельности организмов и растительности. Зафиксированные превышения концентраций марганца, меди, никеля и алюминия над ПДК для вод рыбохозяйственного значения указывают на необходимость проведения дополнительных исследований для выявления их источников

The relevance of the topic under discussion is due to the solution of the problem of preserving the quality of water resources in the conditions of anthropogenic impact. The aim of this work was to study the distribution of physical and chemical parameters of the waters of the lake Arakhley in vertical section. According to the ratio of the main ions, the water under consideration belongs to the bicarbonate magnesium-calcium type, the value of mineralization in the considered period (March-August 2012) it varied within 154...174 mg/l, the average pH was 7,9. Waters of the lake Arakhley are characterized by the constancy of ionic composition and mineralization, within the water area and in vertical section. The content of carbon dioxide in the water column has a significant impact on the concentration of hydrogen ions, as evidenced by the inverse relationship between their values. The observed increase in the content of nitrogen forms and carbon dioxide in the bottom part of the lake is most likely related to the processes of life of organisms and vegetation. The recorded excess concentrations of manganese, copper, nickel and aluminum over maximum permissible concentration indicate the need for additional studies to identify their sources

Ключевые слова: озеро Арахлей; химический тип воды; двуокись углерода; азотные формы; металлы

Key words: lake Arakhley; chemical type water; carbon dioxide; nitrogen forms; metals



Г. О. Веселков



Л. П. Чечель

**Введение.** Изучение озер, направленное на их использование в хозяйственной деятельности человека, как источников промышленного и бытового водоснабжения, рыболовства, рекреации, бальнеологии и т. д., является актуальным во всем мире. Растущее население, урбанизация, использование земельных ресурсов приозерных территорий создают проблемы удаления стоков и загрязнения поверхностных, в том числе озерных,

вод. В частности, ухудшение их экологического состояния в результате использования удобрений способствует загрязнению последних тяжелыми металлами и ведет в конечном счете к утрате биоразнообразия озерных экосистем. Так, в Индии большую тревогу вызывает качество воды в крупных озерах и на значительных участках большинства рек, воды которых являются практически непригодными для питьевого водоснабжения [9]. Исследование качества воды двух озер в Северной Греции (Македония) [10] показало значительное превышение в одном из них концентраций биогенных веществ (соединений азота и фосфора), а также тяжелых металлов Fe, Mn, Zn, Pb и Cd.

Ивано-Арахлейская система озер, расположенная в Забайкальском крае, состоит из шести крупных озер с водной поверхностью более 10 км<sup>2</sup> (Арахлей, Шакшинское, Иргень, Иван, Тасей, Большой Ундугун) и примерно 20 мелких водоемов площадью около 1 км<sup>2</sup>. В настоящее время Ивано-Арахлейские озера активно используются местным населением для водоснабжения и рыболовства, а также имеют высокое рекреационное значение для жителей краевого центра Забайкальского края [2; 3].

Активное изучение закономерностей формирования гидрохимического режима, химического состава, биоразнообразия вод озер Ивано-Арахлейской системы начато в 60–70-х гг. прошлого столетия Б. А. Шишкиным и А. В. Ивановым [5; 6; 8] и продолжено их учениками и коллегами [5]. Озера Ивано-Арахлейской системы относятся преимущественно к пресным водоемам. Только два из них — Большое и Малое Гужирные — являются солоноватыми. В зависимости от проточности и химического состава вод среди озер Ивано-Арахлейской системы выделено четыре группы [7], к первой из которых отнесено наиболее крупное Арахлейское озеро, характеризующееся гидрокарбонатным магниево-кальциевым химическим составом вод.

Данная работа является продолжением многолетних исследований, проводимых лабораторией Геоэкологии и гидрогеохимии ИПРЭК СО РАН. Цель ее заключается в изу-

чении распределения физико-химических параметров вод в вертикальном разрезе оз. Арахлей.

*Объекты и методы исследования.* Озеро Арахлей расположено на юго-востоке Витимского плоскогорья, в 70 км от Читы. Это самое большое в Ивано-Арахлейской системе озеро, имеет длину 11,0 км; среднюю ширину — 5,3 км; площадь — 58,5 км<sup>2</sup>. Средняя глубина озера составляет 10,4 м, а наибольшая — 17,0 м (Атлас Забайкалья, 1967). Беклемишевская впадина, занимаемая Ивано-Арахлейскими озерами, вытянута с юго-запада на северо-восток и ограничена с юго-востока Яблоновым и с северо-запада Осинным хребтами.

Озеро Арахлей относится к слабопроточным водоемам. Гидрохимическое состояние озера определяется химическим составом питающих его вод, представленных атмосферными осадками, разгрузкой подземных вод и поверхностным стоком от небольших рек и ручьев — р. Шаборта, р. Малая и Большая Грязнуха, р. Сенная, руч. Домка. Впадающие в озеро ручьи и реки слабоминерализованы (69,9...127,9 мг/л), в анионном составе преобладают гидрокарбонаты (78,8...88,2 % экв.), среди катионов — ионы кальция (49,3...60,9 % экв.). Химический состав вод притоков гидрокарбонатный кальциевый.

В 2012 г. проведено трехкратное (март, июнь, август) опробование вод Арахлейского озера. Отбор проб производился послойно с интервалом 1...2 м в центральной и прибрежной частях. Химико-аналитические исследования проводились общепринятыми методами в лаборатории Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (г. Чита): турбидиметрией (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), потенциометрией (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>), колориметрией (Si, Робщ., NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Основные катионы и металлы определялись атомно-адсорбционным методом на спектрофотометре SOLAAR M6.

*Результаты исследования и их обсуждение.* Проведенные исследования вод оз. Арахлей свидетельствуют о постоянстве их ионного состава и минерализации как на разных участках водоема (центр озера, при-

брежная зона), так и по глубине. Отмечено некоторое снижение величины минерализации в течение периода с марта по август, что связано с обильными осадками в это время, ее средние значения составляли, мг/л: в марте — 170,3; в июне — 162,8; в августе — 158,5 (табл. 1).

В целом за рассматриваемый период минерализация изменялась в пределах 154,1...173,6 (ср. величина — 163,1 мг/л). По значениям щелочно-кислотного потенциала (рН) воды озера относятся к околонеутральным и слабощелочным (среднее значение рН — 7,9). Преобладающий химический тип озерных вод как в поверхностном слое, так и в водной толще озера в исследуемый период  $\text{HCO}_3\text{-Na-Mg-Ca}$ , реже  $\text{Mg-Na-Ca}$ , что согласуется с работами таких исследователей, как Л. В. Замана, А. В. Иванов, М. Т. Усманов и др. [1; 5–7].

Изменения основных показателей химического состава вод по акватории незначительны — отмечается некоторый рост величины рН от центра озера к прибрежью. Содержания свободной двуокиси углерода  $\text{CO}_2$  в основном постоянны, лишь в августе зафиксировано некоторое понижение от центра к прибрежной зоне. Изменения минерализации имеют разнонаправленный характер (табл. 1).

Послойное опробование центральной части озера показало общую для всех трех периодов опробования тенденцию к некоторому понижению значений рН от поверхностного к придонному слою, как в зимнее (табл. 1, рис. 1а), так и в летнее (табл. 1, рис. 1б, в) время. Концентрация растворенного углекислого газа, напротив, повышалась в марте и августе, а в июне, понижаясь на глубине 4...8 м, вновь повышалась до значений поверхностного слоя (табл. 1, рис. 1а, б, в).

В зимний период (март) зафиксировано существенное увеличение на отрезке глубин в 5...6 м концентраций аммонийной, нитритной и нитратной форм азота (табл. 1, рис. 2а). В июне на глубине 6...8 м на фоне понижающихся содержаний нитритной формы отмечался скачок содержаний  $\text{NO}_3^-$ . В придонном слое (8...13,3 м), напротив, зафиксирован рост концентраций нитритной и снижение нитратной форм, изменения количеств  $\text{NH}_4^+$  при этом были незначительны (табл. 1, рис. 2б). В августе отмечалось возрастание по глубине содержаний нитритной и нитратной форм и параллельно снижались концентрации аммонийной формы азота (табл. 1, рис. 2). Рост концентраций азотных форм и  $\text{CO}_2$  в придонной части озера связан, вероятнее всего, с процессами окисления органического вещества.

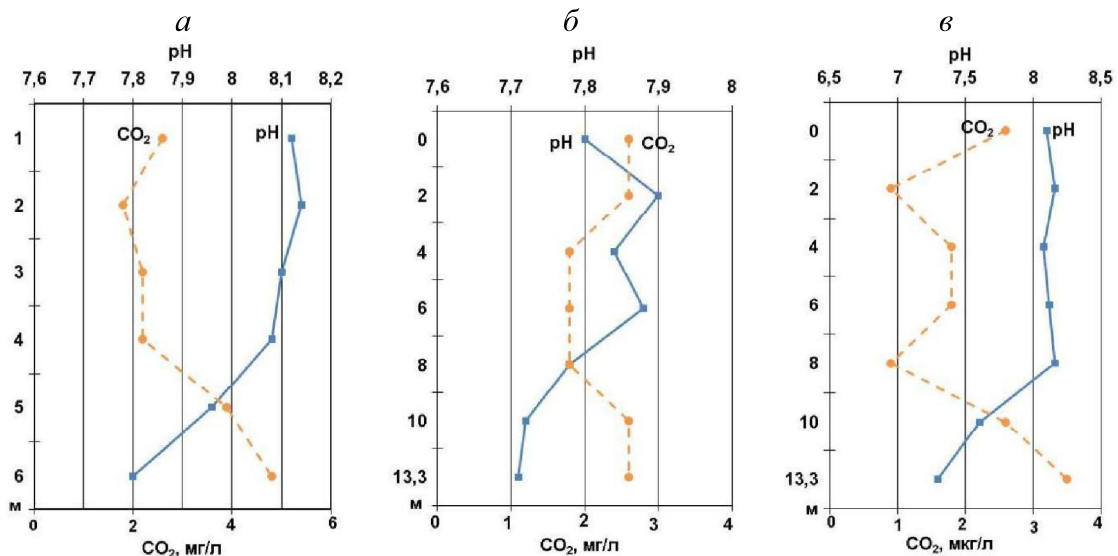


Рис. 1. Изменения значений рН и  $\text{CO}_2$  в центральной части оз. Арахлей по глубине: а – март; б – июнь; в – август / Fig. 1. Changes in pH values and  $\text{CO}_2$  in the central part of the lake Arakhley in depth: a – March; b – June; c – August

Таблица 1. Химический состав (мг/л) воды оз. Арахлей / Table 1. Chemical composition (mg/l) water of the lake Arakhley

Номер пробы / Sample number	pH	ПК/ PO	CO <sub>2</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Мин. / Sal.	Si	P <sub>общ.</sub> / P <sub>total</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
AP-12-03-Ц-1	8,12	4,6	2,6	122	1,92	4,5	0,46	16,4	8,41	15,1	1,60	169,93	3,53	0,072	—	0,008	0,10
AP-12-03-Ц-2	8,14	4,5	1,8	122	1,88	4,4	0,42	15,6	8,43	15,0	1,52	168,83	3,55	0,075	—	0,007	0,12
AP-12-03-Ц-3	8,10	4,7	2,2	121	1,90	4,5	0,42	15,3	8,24	15,0	1,46	167,4	3,54	0,075	—	0,007	0,07
AP-12-03-Ц-4	8,08	4,6	2,2	127	1,92	4,4	0,38	15,0	8,27	15,6	1,44	173,63	3,56	0,070	—	0,010	0,07
AP-12-03-Ц-5	7,96	4,5	3,9	122	1,90	4,4	0,38	15,7	8,36	15,4	1,48	169,24	3,54	0,070	—	0,007	0,07
AP-12-03-Ц-6	7,80	4,6	4,8	126	1,88	4,4	0,35	15,4	8,24	15,7	1,57	173,19	3,56	0,072	0,68	0,024	0,58
AP-12-06-ПР-0	7,90	4,99	2,6	121	2,85	2,8	0,32	17,9	6,66	12,3	1,15	164,66	3,55	0,075	—	0,009	0,08
AP-12-06-ПР-1,7	7,65	5,16	2,6	118	2,90	2,5	0,33	16,5	6,45	12,0	1,15	159,5	3,64	0,072	—	0,008	0,09
AP-12-06-Ц-0	7,80	4,91	2,6	118	2,85	2,4	0,33	16,7	6,12	12,1	1,15	159,32	3,50	0,070	—	90,00	0,10
AP-12-06-Ц-2	7,90	4,99	2,6	120	2,90	2,5	0,33	17,5	6,56	12,5	1,16	163,12	3,57	0,072	—	0,008	0,08
AP-12-06-Ц-4	7,84	5,08	1,8	120	2,92	2,4	0,33	17,5	6,56	12,5	1,16	163,04	3,56	0,068	—	0,009	0,09
AP-12-06-Ц-6	7,88	4,83	1,8	122	2,84	2,4	0,35	17,5	6,59	12,5	1,16	164,99	3,62	0,068	—	0,008	0,10
AP-12-06-Ц-8	7,78	4,83	1,8	124	2,90	2,5	0,33	17,7	6,60	12,8	1,16	167,66	3,60	0,065	0,68	0,007	0,12
AP-12-06-Ц-10	7,72	5,16	2,6	120	2,92	2,5	0,33	17,5	6,56	12,5	1,15	163,13	3,66	0,070	0,62	0,008	0,09
AP-12-06-Ц-13,3	7,71	5,08	2,6	122	2,85	2,4	0,33	17,6	6,60	12,6	1,16	165,21	3,63	0,065	0,62	0,009	0,12
AP-12-08-Ц-0	8,10	—	2,6	120	1,95	2,9	0,32	16,8	7,29	11,3	1,23	161,47	3,14	0,075	0,72	0,008	0,10
AP-12-08-Ц-2	8,16	—	0,9	117	1,80	2,9	0,35	16,8	7,30	11,3	1,20	158,3	2,97	0,070	0,90	0,009	0,05
AP-12-08-Ц-4	8,08	—	1,8	115	1,83	2,8	0,35	16,8	7,29	11,4	1,23	156,35	2,81	0,073	0,94	0,009	0,06
AP-12-08-Ц-6	8,12	—	1,8	113	1,78	2,8	0,33	16,7	7,41	11,2	1,23	154,12	2,87	0,070	0,86	0,009	0,08
AP-12-08-Ц-8	8,16	—	0,9	117	1,75	2,7	0,35	16,8	7,72	11,5	1,23	158,7	3,07	0,072	0,78	0,009	0,08
AP-12-08-Ц-10	7,61	—	2,6	117	1,75	2,7	0,35	16,9	7,89	11,5	1,22	158,96	3,71	0,070	0,72	0,009	0,06
AP-12-08-Ц-13,3	7,30	—	3,5	117	1,75	2,8	0,35	17,2	7,95	11,6	1,23	159,53	4,41	0,073	0,94	0,011	0,09
AP-12-08-ПР-0	8,25	—	1,8	117	2,0	3,2	0,33	16,71	7,56	11,2	1,29	158,96	3,07	0,078	0,90	0,009	0,10
AP-12-08-ПР-1,7	8,15	—	1,8	118	2,05	3,2	0,32	16,75	7,68	11,5	1,32	160,5	2,93	0,075	0,94	0,008	0,05

Примечание. В наименовании пробы — AP — оз. Арахлей, 12 — год отробования, 03 (06 или 08) — месяц, Ц — центральная часть озера, ПР — прибрежная зона, последняя цифра — глубина отробования (м); ПК — перманганатная окисляемость (мгО<sub>2</sub>/л); <-> — не обнаружено; Мин. — минерализация / Note: in the name of the sample — AP — lake Arakhley, 12 — year, 03 (06 or 08) — month, Ц — central part of the lake, ПР — coastal zone, last figure — depth of testing (m); PO — permanganate oxidation (mgO<sub>2</sub>/l); “ — ” — is not found; Sal. — salinity

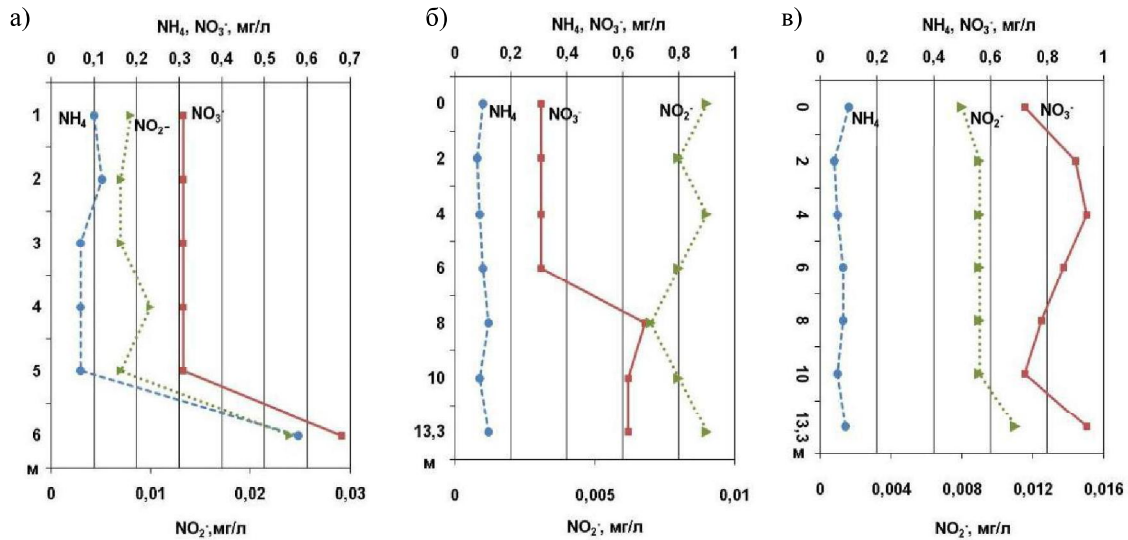


Рис. 2. Распределение содержаний азотных форм по вертикали водной толщи в центральной части оз. Арахлей: а – март; б – июнь; в – август (за величину  $\text{NO}_3^-$  в марте и июне принимали половину чувствительности метода) / Fig. 2. Distribution of nitrogen forms contents vertically in the water column in the Central part of the lake Arachley: a – March; b – June, c – August (the value of  $\text{NO}_3^-$  in March and June is equal to half the sensitivity of the method)

Изучение микрокомпонентного состава озерных вод включало определение концентраций Al, Sr, Mn, Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, As, Ag, Hg, Cr, Ni и Co. Содержания Cd, Pb, As, Hg и Ag в период исследований были в основном ниже пределов обнаружения. Напротив, содержания марганца, меди, никеля и алюминия зачастую превышали ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения (табл. 2). Источниками поступления этих металлов в поверхностные воды могут быть как естественные причины, а именно: их выщелачивание из подстилающих горных пород либо

привнос с питающими озеро подземными и поверхностными водами и также разложение водных животных и растительных организмов, так и техногенные — деятельность сельского хозяйства, сжигание топлива, движение транспорта и т. п.

Изменения концентраций металлов по вертикали водной толщи носят, как правило, разнонаправленный характер. Наиболее существенные изменения концентраций, зафиксированные в центральной части оз. Арахлей, свойственны меди, кобальту, алюминию и железу (табл. 2).

Таблица 2. Концентрации металлов в водах оз. Арахлей, мкг/л / Table 2. Concentration ( $\mu\text{g/l}$ ) metals in the waters of the lake Arakhley

Номер пробы / Sample number	Sr	Mn	Fe	Zn	Cu	Ni	Co	Al	Cr
AP-12-03-Ц-1	30,0	2,5	17,0	2,3	<b>1,50</b>	0,81	–	<b>48,7</b>	–
AP-12-03-Ц-2	30,0	1,4	19,3	2,4	0,55	0,73	–	33,2	–
AP-12-03-Ц-3	30,0	2,7	19,5	2,4	0,95	5,50	1,25	29,0	–
AP-12-03-Ц-4	30,0	3,1	18,3	1,7	0,18	–	–	25,6	–
AP-12-03-Ц-5	30,0	2,6	18,0	1,5	0,25	–	–	25,5	–
AP-12-03-Ц-6	30,0	<b>39,5</b>	18,3	1,1	0,64	1,54	–	25,4	–
AP-12-06-ПР-0	–	6,97	21,0	0,47	<b>2,50</b>	4,14	2,51	<b>47,7</b>	–
AP-12-06-ПР-1,7	–	6,97	20,3	0,29	<b>1,24</b>	3,75	1,59	<b>51,2</b>	–
AP-12-06-ПР-3,5	–	6,94	21,0	0,17	<b>1,13</b>	3,84	1,42	<b>44,1</b>	–

Номер пробы / Sample number	Sr	Mn	Fe	Zn	Cu	Ni	Co	Al	Cr
AP-12-06-Ц-0	–	7,00	21,1	0,27	0,48	3,96	0,91	<b>43,2</b>	–
AP-12-06-Ц-2	–	7,27	20,1	0,10	0,64	3,74	1,20	35,7	–
AP-12-06-Ц-4	–	7,23	19,8	0,33	<b>1,48</b>	3,14	1,08	<b>50,4</b>	–
AP-12-06-Ц-6	–	6,78	19,9	0,12	<b>1,16</b>	3,03	0,74	<b>44,5</b>	–
AP-12-06-Ц-8	–	6,54	21,0	0,15	<b>1,22</b>	2,78	0,64	36,1	–
AP-12-06-Ц-10	–	6,70	21,0	0,28	<b>2,23</b>	2,40	0,29	19,9	–
AP-12-06-Ц-13,3	–	6,77	20,3	0,21	<b>2,29</b>	2,93	1,38	14,1	–
AP-12-08-Ц-0	26,0	6,95	63,4	2,94	<b>1,41</b>	2,41	–	31,9	0,35
AP-12-08-Ц-2	26,0	6,95	56,2	2,95	<b>1,41</b>	2,49	–	<b>43,4</b>	0,35
AP-12-08-Ц-4	27,0	6,93	58,0	2,95	<b>1,45</b>	2,41	–	30,9	0,35
AP-12-08-Ц-6	27,0	6,86	63,0	2,94	<b>1,46</b>	2,43	–	<b>45,9</b>	0,35
AP-12-08-Ц-8	27,0	6,86	63,2	2,94	<b>1,42</b>	2,41	–	<b>47,5</b>	0,36
AP-12-08-Ц-10	28,0	6,96	63,2	2,94	<b>1,56</b>	2,43	–	<b>48,4</b>	0,45
AP-12-08-Ц-13,3	29,0	6,96	72,4	3,05	<b>1,61</b>	2,88	–	<b>48,4</b>	0,53
AP-12-08-ПР-0	28,0	6,92	52,9	2,98	<b>1,72</b>	<b>10,8</b>	–	<b>48,5</b>	0,43
AP-12-08-ПР-1,7	28,0	6,59	62,5	2,96	<b>1,78</b>	<b>10,3</b>	–	<b>48,5</b>	0,43
ПДК*/МРС*	400	10,0	100	10,0	1,00	10,0	10,0	40,0	50,0

Примечание. ПДК\* – ПДК для вод рыбохозяйственного значения (Приказ Минсельхоза России от 13 декабря 2016 г. № 552); жирным шрифтом выделены концентрации компонентов, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК) / Note: МРС\* – MPC for waters of fishery value (Order of the Ministry of agriculture of the Russian Federation of 13.12.2016 No 552); concentrations of the components exceeding maximum permissible concentrations (MPC)

*Заключение.* Преимущественный состав вод оз. Арахлей гидрокарбонатный магниво-кальциевый, величина минерализации в рассматриваемый период изменялась в пределах 154...174 мг/л, среднее значение рН – 7,9. Проведенные исследования свидетельствуют о постоянстве ионного состава и минерализации вод оз. Арахлей как в пределах акватории, так и в вертикальном разрезе.

На концентрацию водородных ионов в водной толще озера существенное влияние оказывает содержание растворенного угле-

кислого газа, с ростом значений которого отмечается понижение величины рН, и наоборот. Увеличение содержания азотных форм и двуокси углерода в придонной части озера связаны с процессами жизнедеятельности организмов и растительности.

Зафиксированные превышения концентраций металлов, особенно меди и алюминия, в водной толще озера свидетельствуют о загрязнении его вод и необходимости дополнительных исследований для выявления их источников.

## Список литературы

1. Замана Л. В. Гидрохимические особенности озер // Ивано-Арахлейские озера на рубеже веков (состояние и динамика). Новосибирск: СО РАН, 2013. С. 73–77.
2. Звягинцев В. В., Звягинцева О. Ю. Современные проблемы рекреационной нагрузки на Ивано-Арахлейский парк // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. Т. 1, № 2. С. 36–44.
3. Ивано-Арахлейские озера [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.arakhley.ru/index.php/ivano-arakhlejskie-ozera-vvedenie> (дата обращения: 21.09.2018).
4. Ивано-Арахлейские озера на рубеже веков (состояние и динамика) / М. Ц. Итигилова [и др.]; отв. ред. Н. М. Пронин. Новосибирск: СО РАН, 2013. 337 с.
5. Иванов А. В., Саункина М. Ф. Гидрохимия озер Ивано-Арахлейской группы и их положение в системе озерно-гидрохимического районирования // Формирование химического состава природных вод Приамурья и Забайкалья. Владивосток, 1978. С. 73–85.

6. Иванов А. В., Трофимова Л. Н. Гидрохимия озер Центрального Забайкалья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. 139 с.
7. Усманов М. Т., Жилин В. Н. Характеристика гидрохимических параметров // Ивано-Арахлейский заказник: природно-ресурсный потенциал территории. Чита: Поиск, 2002. С. 66–71.
8. Шишкин Б. А. Природные условия Центрального Забайкалья и их влияние на лимнологический режим Ивано-Арахлейских озер // Биологическая продуктивность Ивано-Арахлейских озер. Чита, 1972. Вып. 80. С. 3–21.
9. Bhatia R., Jain D. Water quality assessment of lake water: a review // Sustainable Water Resources Management. 2016. Vol. 2. P. 161–173.
10. Gantidis N., Pervolarakis M., Fytianos K. Assessment of the quality characteristics of two lakes (Koronia and Volvi) of N. Greece // Environ Monit Assess. 2007. Vol. 125. P. 175–181.

## References

---

1. Zamana L. V. *Ivano-Arahleyskie ozera na rubezhe vekov (sostoyanie i dinamika)* (Ivano-Arakhley lakes at the turn of the century (state and dynamics)). Novosibirsk: SB RAS, 2013, pp. 73–77.
2. Zvyagintsev V. V., Zvyagintseva O. Yu. *XXI vek. Tehnosfernaya bezopasnost* (Twenty-first century. Technospheric safety), 2016, no. 2, pp. 36–44.
3. *Ivano-Arahleyskie ozera* (Ivano-Arakhley lakes). Available at: <http://www.arakhley.ru/index.php/ivano-arakhleyskie-ozera-vvedenie> (Date of access: 21.09.2018).
4. *Ivano-Arahleyskie ozera na rubezhe vekov (sostoyanie i dinamika)* (Ivano-Arakhley lakes at the turn of the century (state and dynamics)) / M. C. Itgilova (ets); rep. ed. N. M. Pronin. Novosibirsk: SB RAS, 2013. 337 p.
5. Ivanov A. V., Saunkina M. F. *Formirovanie himicheskogo sostava prirodnyh vod Priamuriya i Zabaykaliya* (Formation of the chemical composition of natural waters of the Amur region and Transbaikalia). Vladivostok, 1978, pp. 73–85.
6. Ivanov A. V., Trofimova L. N. *Gidrohimiya ozer Tsentralnogo Zabaykaliya* (Hydrochemistry of lakes of Central Transbaikalia). Vladivostok: Far Eastern Scientific Center of the USSR Academy of Sciences, 1982. 139 p.
7. Usmanov M. T., Zhilin V. N. *Ivano-Arahleyskiy zakaznik: prirodno-resursny potentsial territorii* (Ivano-Arakhley reserve: natural resource potential of the territory). Chita: Search, 2002, pp. 66–71.
8. Shishkin B. A. *Biologicheskaya produktivnost Ivanov-Arahleyskih ozer* (Biological productivity of Ivanov-Arakhley lakes). Chita, 1972, vol. 80, pp. 3–21.
9. Bhatia R., Jain D. *Sustainable Water Resources Management* (Sustainable Water Resources Management), 2016, vol. 2, pp. 161–173.
10. Gantidis N., Pervolarakis M., Fytianos K. *Environ Monit Assess* (Environ Monit Assess), 2007, vol. 125, pp. 175–181.

## Сведения об авторах

---

*Веселков Георгий Олегович*, аспирант, младший научный сотрудник, лаборатория геоэкологии и гидрогеохимии, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия. *Научные интересы*: гидрохимия, гидрогеохимия

*Чечель Лариса Павловна*, научный сотрудник, лаборатория геоэкологии и гидрогеохимии, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия. *Научные интересы*: гидрогеохимия, термодинамика, геоэкология рудных месторождений

## Information about the authors

---

*Georgy Veselkov*, postgraduate, Geoecology and Hydrogeochemistry laboratory, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia. *Research interests*: hydrochemistry, hydrogeochemistry

*Larisa Chechel*, researcher, Geoecology and Hydrogeochemistry laboratory, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia. *Research interests*: hydrogeochemistry, thermodynamics, environmental Geoscience, mineral deposits