

УДК 556.114

ГИДРОХИМИЯ ОЗЕРА ИРИМНОЕ**Алимова Г.С., Токарева А.Ю.***Тобольская комплексная станция Уральского отделения Российской академии наук,
Тобольск, e-mail: gulsem76@mail.ru*

В 2008 г. исследована гидрохимия воды оз. Иримное, расположенного в Уватском районе Тюменской области. Из гидрохимических показателей качества поверхностных вод были определены температура воды, водородный показатель, содержание кислорода, окисляемости перманганатной, железа общего, хлоридов, сульфатов, кальция, магния и жесткости, неорганических соединений азота – нитратов, нитритов и аммония. Температурный режим воды в озере характерен для озер с глубинами не более 4 м. Вертикальное распределение температуры водной толщи озера изменяется на 0,1 ... 5,6 °С от поверхности до средней глубины – 1 м. Содержание кислорода неоднородно как по длине и глубине озера, так и по времени отбора проб воды. Определены средние прямые связи концентрации кислорода в воде с ее температурой. На глубине 1 м его концентрация минимальна в феврале – 0,6 мг/дм³ (зимний замор) и максимальна в июне – 9,5 мг/дм³. Определена слабощелочная реакция воды по среднему значению водородного показателя воды. Наблюдалось повышение значения pH при увеличении концентрации магния, жесткости и аммония в воде озера Иримное. Определены сильные статистически значимые прямые связи между pH и концентрациями магния и жесткости, средние – между pH и концентрацией аммония в воде озера. Содержание железа в летние месяцы достигает до 1 мг/дм³, зимой увеличивается до 3,9 мг/дм³. При повышении содержания железа в воде увеличивается окисляемость перманганатная. Значения концентраций аммония, железа и окисляемости перманганатной выше предельно допустимых концентраций для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Ключевые слова: нижнее течение реки Иртыш, озеро Иримное, гидрохимия, коэффициент корреляции Спирмена, водородный показатель

HYDROCHEMISTRY OF THE IRIMNOYE LAKE**Alimova G.S., Tokareva A.Yu.***Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Tobolsk, e-mail: gulsem76@mail.ru*

In 2008, the hydrochemistry of the water of Lake Irimnoye, located in the Uvat district of the Tyumen region, was studied. The water temperature, hydrogen index, oxygen content, permanganate oxidation, total iron, chloride, sulfate, calcium, magnesium and hardness, inorganic nitrogen – nitrate, nitrite and ammonium compounds were determined from the hydrochemical indicators of surface water quality. The temperature regime of water in the lake is typical for lakes with depths of no more than 4 meters. The vertical distribution of the temperature of the lake's water column varies by 0.1 ... 5.6 °C from the surface to an average depth of 1 meter. The oxygen content is nonuniform both in length and depth of the lake, and in time of water sampling. The average direct links between the concentration of oxygen in water and its temperature are determined. At a depth of 1 m, its concentration is minimal in February – 0.6 mg / dm³ (winter kill) and maximum in June – 9.5 mg/dm³. A slightly alkaline reaction of water was determined from the mean value of the hydrogen index of water. An increase in pH was observed with an increase in magnesium concentration, stiffness and ammonium in the water of Lake Irimnoye. Strong statistically significant direct links between pH and magnesium concentrations and stiffness were determined, and mean between pH and ammonium concentration in lake water. The iron content in the summer months reaches up to 1 mg/dm³, in winter it increases to 3.9 mg/dm³. When the iron content in the water increases, the permanganate oxygen consumed increases. Values of concentrations of ammonium, iron and permanganate oxygen consumed above the maximum allowable concentrations for water objects of fishery use.

Keywords: the lower course of the Irtysh River, the Irimnoye Lake, hydrochemistry, Spearman correlation coefficient, hydrogen index

Озеро Иримное (народное название Арынное) – типичный водоём замкнутого типа. Озеро входит в пойменно-руслевой комплекс нижнего течения реки Иртыш, территориально находится в Уватском районе Тюменской области. Географически озеро расположено на левобережной пойме Иртыша – 58.735380 с.ш., 68.679617 в.д., в отдалении от меженного русла реки на несколько сотен метров (рис. 1). Общая площадь водного зеркала озера составляет 13 га, протяженность водоёма не превышает 2 км, средняя глубина около 1 м, максималь-

ная – до 4 м. В годы высокого паводка озеро соединяется с руслом Иртыша [1]. Питание озера осуществляется за счет атмосферных осадков и подземного стока. Литературных источников о гидрохимических данных воды озера Иримное, полученных в более ранние годы, не обнаружено. Найдены работы по изучению таксономического состава рыбного населения озера, его распределения по площади и глубине озера [1].

Цель исследования: изучение гидрохимических характеристик поверхностной воды в озере Иримное.

Материалы и методы исследования

Полевые исследования на озере Иримное проведены в течение 2008 г. – в январе, феврале и с мая по октябрь. Координаты точек отбора проб воды: 1 – N 58.736888, E 68.672911; 2 – N 58.735359, E 68.678747; 3 – N 58.734746, E 68.685356 (рисунок). Отбор проб воды с глубины 0,3 и 1 м на озере Иримное осуществлялся по ГОСТ Р 51592–2000.



Схема расположения озера Иримное

Из гидрохимических показателей качества поверхностных вод были определены температура, pH, O_2 , окисляемость перманганатная, $Fe^{общее}$, Cl^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , жесткость, Ca^{2+} , Mg^{2+} . Исследование ионного состава воды проводилось по общепринятым методикам измерений в аккредитованной лаборатории «Экотоксикология» Тобольской биологической станции Российской академии наук [2]. Измерения pH и температуры воды проведены на анализаторе АНИОН-7050, содержание $Fe^{общее}$, SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_2^- и NO_3^- на спектрофотометре UNICO-1200. Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлена в программе Microsoft Excel с применением коэффициента корреляции Спирмена r_s ($p < 0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований гидрохимических показателей озера Иримное приведены в табл. 1 и 2. В исследуемый период минимальная температура воды в озере наблюдалась в феврале – минус $0,8^\circ C$ на глубине ниже 0,8 м. Максимум температуры воды в поверхностном слое до 0,3 м наступает в июне – $25,7^\circ C$. Изменение вертикального распределения температуры водной толщи составило от 0,1 до $5,6^\circ C$. В сентябре – октябре выявлена разница в $4-5,6^\circ C$ между

температурами воды в поверхностном слое до 0,3 м и глубиной более 1 м. Верхние слои воды в первую очередь подвержены влиянию внешних факторов (взаимодействию с атмосферой, сгонно-нагонным явлениям), т.е. быстрее охлаждаются в осенний период [3]. Водородный показатель воды в озере нестабилен в течение всего периода исследований. Воду озера Иримное по среднему значению pH, равному 7,6 по вертикали, можно отнести к слабощелочным водам, имеющим диапазон $7,5 \dots 8,5$ единиц pH; по медиане, соответствующей 7,3 единицы pH – к нейтральным водам.

Значения pH воды в озере варьировали от слабокислой реакции (6,5) до сильнощелочной ($>9,5$). В зимние месяцы (январь, февраль) вода имела нейтральную реакцию. В осенний (сентябрь, октябрь) период в воде наблюдалась слабощелочная реакция, в весенние и летние месяцы – от слабокислой до сильнощелочной. Расчет значений коэффициента корреляции Спирмена между значениями pH и концентрациями магния (и жесткости) выявил сильные статистически значимые прямые связи между ними (табл. 3). В августе 2008 г. вода в озере имела сильнощелочную реакцию, при максимальном значении концентрации магния и увеличении жесткости до $5,1^\circ J$. В целом по величине общей жесткости вода относится к мягкой (до $2^\circ J$). Средние обратные связи обнаружены между значениями pH и концентрациями железа и окисляемости перманганатной ($r_s = -0,3$ и $-0,5$) (табл. 3).

Концентрация железа в летние месяцы достигает 1 мг/л, зимой увеличивается до 3,9 мг/л. Данные значения согласуются с данными, полученными для озер Тюменской области [4]. При повышении содержания железа в воде увеличивается окисляемость перманганатная ($r_s = 0,9$). Значение перманганатной окисляемости воды в зимние месяцы – январь и февраль – в среднем составило $20,7$ мгО/дм³, и содержание железа в этот период было максимально – в среднем – $2,6$ мг/дм³. Высокое значение перманганатной окисляемости воды свидетельствует о том, что в воде озера железо присутствует в большей степени в виде двухвалентного иона Fe (II). Он может окисляться до Fe (III) и выпадать в виде осадка гидроксида железа Fe(OH)₃ при низком содержании органических и минеральных веществ, удерживающих преобразование железа из одной формы в другую [5].

Таблица 1

Гидрохимические показатели воды в озере Иримное за январь, февраль, май и июнь 2008 г. (ОП – окисляемость перманганатная, Ж – жесткость, "–" – анализ на данный показатель не проводился)

Показатель, единица измерения	Глубина, м	январь			февраль			май		июнь		
		1	2	3	1	2	3	2*	3	1	2	3
t, °C	0,3	0,4	0,5	0,3	0	-0,1	0,1	14,7	14,4	25,7	25,5	25,1
	1	0,1	-0,1	0,1	-0,8	0,1	0,4	13,7	14,3	23,8	24,6	21,4
рН, ед. рН	0,3	7,1	7,3	7,0	6,5	7,4	7,3	8,6	8,5	7,2	7,2	6,7
	1	7,0	6,9	6,9	7,3	7,2	7,3	8,2	8,6	7,1	7,1	6,2
O ₂ , мг/дм ³	0,3	–	–	–	2,9	2,8	3,8	7,1	7,5	9,6	9,7	9,0
	1	–	–	–	0,6	5,3	3,5	6,4	8,7	9,5	9,3	3,4
ОП, мгО/дм ³	0,3	17,4	18,2	19,4	19,9	19,7	19,2	8,4	8,7	10,7	8,8	9,8
	1	20,8	22,6	28,8	19,6	21,8	20,6	9,7	9,9	11,9	9,3	10,0
Fe _{общее} , мг/дм ³	0,3	2,3	2,0	2,6	3,2	2,6	3,5	0,5	0,5	0,8	0,5	0,8
	1	1,2	1,0	2,9	3,6	2,8	3,9	1,3	0,2	0,6	1,3	0,8
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	0,3	4,6	12,6	11,3	16,0	11,2	14,5	6,8	10,4	24,9	22,3	13,6
	1	8,4	6,5	9,8	14,8	12,5	12,0	8,6	8,3	18,6	15,5	11,5
Cl ⁻ , мг/дм ³	0,3	12,8	19,2	21,0	27,8	26,9	24,2	23,4	29,5	29,4	27,2	23,8
	1	10,0	21,0	6,4	25,1	22,4	22,4	26,5	28,8	27,4	29,2	22,6
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	0,3	1,1	7,9	7,6	9,1	5,7	7,2	14,3	12,6	0,6	0,6	12,1
	1	6,7	7,7	1,1	5,8	6,7	9,3	12,7	12,9	0,5	0,4	15,3
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	0,3	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0,05	0,04
	1	0,04	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	0,3	1,7	1,6	1,3	0,8	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9	0,2	2,0
	1	1,1	1,2	1,0	1,8	0,9	0,8	0,9	0,8	1,0	0,4	4,9
Ж, °Ж	0,3	–	–	–	–	–	–	1,2	1,4	1,4	1,4	1,1
	1	–	–	–	–	–	–	1,5	1,1	1,2	1,3	1,3
Ca ²⁺ , мг-экв/л	0,3	–	–	–	–	–	–	0,7	0,7	1,2	0,7	0,6
	1	–	–	–	–	–	–	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7
Mg ²⁺ , мг/дм ³	0,3	–	–	–	–	–	–	6,7	7,7	2,6	8,6	6,1
	1	–	–	–	–	–	–	8,0	4,4	5,2	7,2	7,4

Примечание.* в точке 1 взять пробу воды было невозможно, так как в районе этой точки кругом были установлены рыболовные сети.

Кислородный режим в поверхностных водах формируется за счет фотосинтеза, обмена с атмосферой, биохимического потребления на дыхание живых организмов [3]. Содержание кислорода неоднородно как по длине и глубине озера, так и по времени отбора проб воды. Определены средние прямые связи концентрации кислорода в воде с ее температурой (табл. 3). В летние месяцы (июнь – июль), когда температура

воды достигает 24–25 °C в поверхностном слое, содержание кислорода за счет фотосинтеза достигает до 9,0 ... 10,0 мг/дм³. На глубине 1 м его концентрация минимальна в феврале – 0,6 мг/дм³ и максимальна в июне – 9,5 мг/дм³. Соединения азота (нитратный, нитритный и аммонийный ионы) относят к биогенным веществам, участвующим в биологических процессах биоты [6]. Зафиксированные концентрации нитрит-

и нитрат-ионов характерны для природных поверхностных вод – 0...0,05 мг/дм³ и 0,2...4,9 мг/дм³ соответственно и подтверждаются в работе [7]. Концентрация ионов аммония в озере значительно превышает предельно допустимые нормы для водных объектов рыбохозяйственного назначения (0,5 мг/дм³). Содержание аммония сильно варьирует как во временном диапазоне, так и по длине озера – от 0,4 до 28,3 мг/дм³. Максимальные средние концентрации аммо-

ния в озере отмечены в мае (13,5 мг/дм³ – до 0,3 м и 12,8 мг/дм³ – до 1 м) и в августе (15,3 мг/дм³ и 22,8 мг/дм³ соответственно). Высокое содержание аммония приводит к повышению значения водородного показателя [7]. В мае среднее значение рН воды в озере выросло до 8,5 ед. рН, а в августе – 9,7 ед. рН. Выявлена средняя прямая корреляционная зависимость между концентрацией аммония в воде и рН ($r_s = 0,3$), что согласуется с данными, полученными в работе [8].

Таблица 2

Гидрохимические показатели воды в озере Иримное за июль – октябрь 2008 г.

(ОП – окисляемость перманганатная, Ж – жесткость,
"–" – анализ на данный показатель не проводился)

Показатель, единица измерения	Глубина, м	июль		август		сентябрь		октябрь	
		2*	3	2	3	2	3	2	3
t, °C	0,3	25,1	24,8	19,6	18,4	13,8	12,5	13,8	12,5
	1	21,4	21,3	18,9	18,5	18,0	18,1	18,0	18,1
рН, ед. рН	0,3	6,7	6,5	9,8	9,7	7,7	7,8	7,8	7,2
	1	6,2	6,1	9,8	9,6	7,7	7,7	7,7	7,8
O ₂ , мг/дм ³	0,3	9,0	10,0	7,3	6,6	9,2	7,0	5,9	9,3
	1	3,4	3,2	8,2	7,0	8,3	5,9	8,4	5,3
ОП, мгО/дм ³	0,3	9,8	10,2	9,9	8,8	9,3	11,1	10,4	11,4
	1	10,0	11,0	6,9	9,5	6,4	7,4	10,4	12,1
Fe _{общее} , мг/дм ³	0,3	0,8	0,3	0,9	0,9	0,2	0,1	1,4	0,4
	1	0,8	0,5	0,9	0,9	0,2	0,2	0,3	0,3
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	0,3	13,6	11,8	13,8	3,8	7,1	12,0	9,2	6,5
	1	11,5	11,1	21,8	18,3	7,8	11,0	7,3	6,8
Cl ⁻ , мг/дм ³	0,3	23,8	18,8	19,6	36,3	8,2	9,9	11,3	12,0
	1	22,6	23,0	8,2	10,2	9,2	8,5	10,6	13,9
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	0,3	12,1	8,7	19,8	10,7	5,3	4,6	13,1	10,0
	1	15,3	10,9	17,4	28,3	6,2	8,1	14,5	11,5
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	0,3	0,04	0,01	0,04	0,04	0,01	0,04	0,04	0,04
	1	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	0,3	2,0	2,4	2,1	2,4	1,9	0,7	0,8	0,5
	1	4,9	4,0	2,7	1,1	1,6	0,8	0,6	1,4
Ж, °Ж	0,3	1,1	1,1	1,7	1,6	1,2	1,3	1,2	1,1
	1	1,3	1,2	1,5	5,1	1,2	1,3	1,1	2,5
Ca ²⁺ , мг-экв/л	0,3	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-
	1	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-
Mg ²⁺ , мг/дм ³	0,3	6,1	5,5	13,6	11,8	7,8	9,1	-	-
	1	7,4	6,3	11,3	55,3	7,1	8,4	-	-

Примечание. * в точке 1 взять пробу воды было невозможно, так как в районе этой точки кругом были установлены рыболовные сети.

Таблица 3

Коэффициент корреляции Спирмена между гидрохимическими показателями воды озера Иримное (ОП – перманганатная окисляемость, Ж – жесткость)

Показатель	t	pH	O ₂	ОП	Fe	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	Ж	Ca ²⁺	Mg ²⁺
t	1	–	0,4	–0,9	–0,8	–	–	–	–	–	–	0,5	–0,4
pH		1	–	–0,5	–0,3	–	–	0,3	–	–	0,8	–0,3	0,8
O ₂			1	–0,3	–	–	–	–	–	–	–0,3	0,4	–0,6
ОП				1	0,9	0,4	–	–0,3	–	–	–0,3	–	–
Fe					1	0,3	–	–0,4	–	–	0,3	–	–
SO ₄ ²⁻						1	–	–	–	–	–	0,7	–
Cl ⁻							1	–0,5	–	–	0,5	0,4	–
NH ₄ ⁺								1	–	–	–	–0,5	0,3
NO ₂ ⁻									1	–	0,3	–0,6	0,7
NO ₃ ⁻										1	–	–0,4	–
Ж											1	0	0,7
Ca ²⁺												1	–0,7
Mg ²⁺													1

Примечание. «–» – корреляция статистически не значима.

Так как озеро Иримное является водоемом замкнутого типа, то растворенный аммиак может образовываться в результате жизнедеятельности водной растительности, поступать с атмосферными осадками или в результате локального «свежего загрязнения» – возможного гниения рыбы в рыболовных сетях, установленных в большом количестве (до 7–10 сетей) на данном озере. Рыбное население озера было представлено преимущественно серебряным карасём (*Carassius auratus gibelio*) – (>90%), а также золотым карасём (*Carassius carassius*) [1]. Данные виды рыб являются наиболее устойчивыми к негативным факторам среды, в том числе и заморам в зимнее время, когда содержание кислорода в воде составляет менее 6 мг/дм³. Среднее содержание хлорид-ионов (20,7 мг/дм³) и сульфат-ионов (12,6 мг/дм³) в воде озера имеет природный характер, так как их концентрации находятся в диапазоне значений значительно ниже предельно допустимых концентраций (300 и 100 мг/дм³ соответственно) для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Выводы

Определены средние прямые связи концентрации кислорода в воде с ее температурой. На глубине 1 м его концентрация мини-

мальна в феврале – 0,6 мг/дм³ (зимний замор) и максимальна в июне – 9,5 мг/дм³. Определена слабощелочная реакция воды по среднему значению водородного показателя воды. Наблюдалось повышение значения pH при увеличении концентрации магния, жесткости и аммония в воде озера Иримное. Определены сильные статистически значимые прямые связи между pH и концентрации магния и жесткости, средние – между pH и концентрацией аммония в воде озера. При повышении содержания железа в воде увеличивается окисляемость перманганатная. Значения концентраций аммония, железа и окисляемости перманганатной выше предельно допустимых концентраций для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Статья подготовлена при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы ФНИ № 0408-2014-0019 «Миграционные процессы радионуклидов и химических поллютантов в экосистеме водоемов Обь-Иртышского бассейна».

Список литературы / References

1. Борисенко Э.С., Мочек А.Д., Павлов Д.С., Чемагин А.А. Распределение рыб в речной системе Нижнего Иртыша // Вопросы ихтиологии. 2013. Т. 53. № 1. С. 31–43. DOI: 10.7868/S0042875213010049.
- Borisenko E.S., Mochek A.D., Pavlov D.S., Chemagin A.A. Distribution of fishes in the river system of the Lower

Irtysk // Journal of Ichthyology. 2013. Т. 53. № 1. С. 16–27. DOI: 10.1134/S0032945213010049.

2. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши: в 2 ч. Под ред. Л.В. Боева. Ростов-на-Дону: ГУ: Изд-во «НОК», 2009. 514 с.

Guide to the chemical analysis of a surface water of sush: in 2 h Under the editorship of L.V. Boev. Rostov-on-Don: GU: NOK publishing house, 2009. 514 p. (in Russian)

3. Ильин Г.В., Матишов Г.Г., Миронов О.Г., Павлова Л.Г., Петров В.С., Щекатурина Т.Л. Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение). Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 404 с.

Ilin G.V., Matishov G.G., Mironov O.G., Pavlova L.G., Petrov V.S., Shekaturina T.L. Chemical processes in the ecosystems of northern seas (chemical hydrology, geochemistry, oil pollution). Apatity: KNCz RAN, 1997. 404 p. (in Russian).

4. Крохалевский В.Р., Гапонов И.А. Гидробиологическая характеристика озёр Упоровского района Тюменской области // Синергия наук. 2018. № 24. С. 1603–1607.

Krohalevskij V.R., Gaponov I.A. Hydrobiological characteristics of lakes in the Uporovskiy district of the Tyumen region // Sinergiya nauk. 2018. № 24. P. 1603–1607 (in Russian).

5. Агбальян Е.В., Шинкарук Е.В., Хорошавин В.Ю. Характеристика химических показателей воды в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2016. № 2 (91). С. 44–49.

Agbalyan E.V., Shinkaruk E.V., Horoshavin V.Yu. Characteristics of chemical water indicators in the Tazovsky region of the Yamal-Nenets Autonomous District // Nauchnyj vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga. 2016. № 2 (91). P. 44–49 (in Russian).

6. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Лукин А.А., Кудрявцева Л.П. и др. Антропогенные модификации озера Имандра. Отв. ред. Т.И. Моисеенко. М.: Наука, 2002. 403 с.

Moiseenko T.I., Dauvalter V.A., Lukin A.A., Kudryavceva L.P. et al. Anthropogenic modifications of the Imandra lake. Otv. red. T.I. Moiseenko. M.: Nauka, 2002. 403 p. (in Russian).

7. Никаноров А.М. Фундаментальные и прикладные проблемы гидрохимии и гидроэкологии: учебное пособие. Ростов н/Д.: Изд-во Южного федерального университета, 2015. 572 с.

Nikanorov A.M. Fundamental and applied problems of hydrochemistry and hydroecology: uchebnoe posobie. Rostov n/D.: Izd-vo Yuzhnogo federalnogo universiteta, 2015. 572 p. (in Russian).

8. Гетманец И.А., Артеменко Б.А. Гидрохимическая оценка уровня загрязнения воды реки Миасс на территории Челябинской области // Фундаментальные исследования. 2013. № 10–6. С. 1248–1252.

Getmanec I.A., Artemenko B.A. Hydrochemical assessment of the water pollution level of the Miass River in the Chelyabinsk Region // Fundamental research. 2013. № 10–6. P. 1248–1252 (in Russian).