

УДК 551.48:543.3

РЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА ОЗЕРНЫХ ВОД**Фоменко А.И.***ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный университет», Череповец, e-mail: fomenko@chsu.ru*

Представлены результаты исследования гидрохимического состава озерных вод, расположенных на водосборной территории северо-западного побережья Рыбинского водохранилища. Характерной для этой территории особенностью является значительное различие по цвету и интенсивности окраски воды водоемов. Выявлено, что окраску воде исследованных водоемов придают в основном биохимически стойкие гумусовые вещества. Установлена зависимость концентрации основных катионов и анионов в исследованных пробах воды от показателя цветности. Показано, что химический состав исследованных озерных вод сложен, разнообразен и включает в основном продукты трансформации автохтонных веществ. Обоснована необходимость дальнейшего изучения содержания гумусовых веществ как фоновой основы при оценке экологического состояния водоемов, исследования внутриводоемных процессов, выявлении их бальнеологической ценности.

Ключевые слова: вода озер, гидрохимическая характеристика, показатели качества воды, загрязнение, санитарно-гигиенические нормативы.

REGIONAL SPECIFICITY OF LAKE WATERS**Fomenko A.I.***Cherepovets state university, Cherepovets, e-mail: fomenko@chsu.ru*

The paper presents the results of investigation of the hydrochemical composition of the lake waters located in the drained area of the North-West coast of the Rybinsk reservoir. The characteristic feature of the territory is the significant difference in the color and intensity of the color of water reservoirs. It was found out that biochemically resistant humus substances influenced the color of the water of the studied reservoirs. The dependence of concentration of the basic cations and anions on the index of the color of the studied water sample is shown in the paper. It is shown that the chemical composition of the lake water is complex and diverse; it includes the products of transformation of the autochthonous substances. The article substantiates the necessity of further study of humus substances as the basis for assessing the ecological status of water bodies, the research of the process within the reservoir and reveals its balneological value.

Keywords: lake waters, hydrochemical characteristic, water quality index, water pollution, sanitary and hygienic standards

В настоящее время опубликовано много работ, в которых обобщены результаты гидрохимических исследований поверхностных вод отдельных водных объектов. Однако системные гидрохимические исследования, проводимые в рамках мониторинга качества поверхностных вод, ориентированы в основном на контроль загрязнения значимых для народного хозяйства водных объектов, источников централизованного питьевого водоснабжения и подвергающихся воздействию сточных вод. Значительно менее изученными остаются гидроресурсы водных объектов, используемых в рекреационных целях, в частности, гидроресурсы болот и озер, расположенных внутри болота.

Данная работа посвящена изучению химического состава поверхностных вод озер, расположенных на водосборной территории северо-западного побережья Рыбинского водохранилища. Актуальность решения такой задачи обусловлена, с одной стороны, экологическими проблемами водных ресурсов, с другой – вопросами социально-экономического развития региона.

Рассматриваемая в настоящей работе территория расположена в подзоне южной тайги лесной зоны и характеризуется как прекомфортная. По показателям природно-

климатических условий и ресурсной ценности рассматриваемая территория характеризуется как пригодная для использования в целях рекреации, в том числе актуального в современных условиях направления – становления санаторно-курортной отрасли. Одним из важнейших составляющих природного потенциала развития этой специализации являются гидроресурсы территории. Результаты аналитического контроля катионного и анионного состава и общесанитарных характеристик питьевых вод различных природных источников на рассматриваемой территории региона опубликованы в работах [7, 8]. Характерной для этой территории особенностью является значительное различие по цвету и интенсивности окраски воды водных объектов. Этим обусловлено проведение данного исследования.

Целью проводимых исследований являлось изучение гидрохимического состава озерных вод и оценка соответствия санитарно-гигиеническим требованиям показателей качества воды в водных объектах на рассматриваемой территории. Кроме того, задачи исследования включали определение наиболее значимых факторов формирования состава озерных вод с повышенными или близкими к ПДК нормируемыми примесями.

Материалы и методы исследования

Выявление региональной специфики химического состава поверхностных вод и установление особенностей их функционирования по характерным показателям является важной задачей аналитической химии и экологического мониторинга. Методологической основой работы являлся системный подход с учетом стохастической природы процесса загрязнения водных объектов нормируемыми примесями поверхностного стока.

Для получения данных о составе поверхностных вод в сентябре 2012 года были выполнены работы по отбору проб воды, донных отложений и грунтов береговой зоны озер на рассматриваемой территории и в качестве контроля были отобраны пробы воды из Рыбинского водохранилища. Отбор проб воды и пород проводился в соответствии с требованиями государственных стандартов [2, 3]. Отбор проб воды и донных отложений озер осуществлялся с лодки с использованием пробоотборника в объеме, достаточном для дальнейших исследований.

Основными методами исследования являлись инструментальные с использованием современных физико-химических методов анализа качественного и количественного состава анализируемых проб воды и грунтов и расчетные с использованием методов математической статистики. Аналитические исследования состава отобранных проб озерных вод и проб донных отложений и грунтов прибрежных территорий выполнены по нормативным методикам и в соответствии с методическими рекомендациями [4, 6].

В анализируемых пробах воды озер определяли физические показатели и общесанитарные характеристики (прозрачность, цветность, мутность, водородный показатель pH, перманганатную окисляемость, окислительно-восстановительный потенциал, жесткость, солесодержание, сухой и прокаленный остаток, щелочность, БПК₅, ХПК, растворенный кислород, сульфиды) и показатели химического состава (содержание основных катионов и анионов, ионов следовых металлов, органических веществ). Отобранные и подготовленные пробы донных отложений и грунтов были проанализированы по физико-механическим показателям и физико-химическим характеристикам (плотность, pH водной вытяжки, pH солевой суспензии, емкость катионного обмена, обменная кислотность, гидролитическая кислотность, общая щелочность HCO₃⁻), валовому химическому составу, содержанию валовых и подвижных форм тяжелых металлов и нефтепродуктов.

Прозрачность воды определена методом, используемым в практике лабораторного анализа санитарно-гигиенических характеристик воды по высоте столба анализируемой пробы воды в мерном цилиндре, сквозь который виден стандартный шрифт с высотой букв 3,5 мм (ГОСТ 3351-46), погрешность измерения ± 0,05%. Измерение массовой концентрации ионов железа общего, ионов марганца, ионов алюминия, ионов хрома, ионов никеля, ионов мышьяка, ионов аммония, нитрат- и нитрит-ионов, фосфат-ионов, цветность, мутность, химическое потребление кислорода (ХПК) в анализируемых пробах воды проводили спектрофотометрическим методом на спектрофотометре КФК-3, средняя погрешность измерений не превышала ± 0,02%. Определение солесодержания выполнено на приборе солемер типа «Н19812», погрешность измерения ± 2%. Содержание сухого и прокаленного остатка определено гравиметриче-

ским методом, средняя погрешность измерений не превышала ± 2%. Биохимическое потребление кислорода (БПК₅) определено потенциометрическим методом на приборе «Экотест-2000» в режиме «БПК термооксиметр», погрешность измерения ± 0,1%. Величина водородного показателя pH определена с использованием иономера И-130М, включенного в режим измерения pH, суммарная погрешность метода была в пределах ± 0,005%. Методами объемного титрования определены жесткость воды, содержание ионов кальция и магния, средняя погрешность измерений не превышала ± 0,05%. Измерение массовой концентрации сульфат-ионов выполнено турбидиметрическим методом, погрешность измерений не превышала ± 0,05%. Измерение массовой концентрации хлорид-ионов выполнено меркурометрическим методом, погрешность измерений не превышала ± 0,05%. Определение содержания ионов натрия, калия, фтора, гидрокарбонат-иона проведено потенциометрическим методом с использованием ион-селективных электродов, средняя погрешность измерений не превышала ± 0,02%. Измерение массовой концентрации ионов цинка, меди, кадмия, свинца проведено инверсионным вольтамперометрическим методом с использованием анализатора «Полярграф АВС-1.1» со встроенным электрохимическим датчиком «Модуль EM-04» и компьютерной программой AVS, средняя погрешность измерений не превышала ± 0,05%. Определение содержания формальдегида, фенолов, нефтепродуктов, анионных поверхностно-активных веществ (АПАВ) проведено флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02», средняя погрешность измерений не превышала ± 0,05%.

Физико-химические характеристики отобранных проб донных отложений и грунтов (pH водной вытяжки, pH солевой суспензии, обменная кислотность, гидролитическая кислотность, общая щелочность HCO₃⁻) определены потенциометрическим методом, средняя погрешность измерений не превышала ± 0,02%. Определение емкости катионного обмена проведено титриметрическим методом в модификации ЦИНАО, средняя погрешность измерений не превышала ± 0,05%.

Данные результатов количественного химического анализа проб воды проанализированы по санитарно-химическим показателям качества на соответствие их требованиям [1, 5].

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные в ходе выполненных исследований значения химического состава и экологически значимых обобщенных показателей качества анализируемых проб воды приведены в табл. 1–2.

Воды всех исследованных источников в классификации пресных вод относятся к маломинерализованным (менее 200 мг/дм³), к гидрокарбонатному классу вод кальциевой группы, к категории нейтрально-щелочных водоемов. В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов рыбохозяйственного назначения, воды водных объектов в зонах рекреации, величина pH не должна выходить за пределы интервала значений 6,5–8,5 (нейтраль-

ные воды 6,5–7,5, слабощелочные воды (7,5–8,5). Жесткость природной воды зависит от содержания в ней растворенных солей кальция и магния. Вода с жесткостью менее 4 ммоль/дм³ считается мягкой, от 4 до 8 ммоль/дм³ – средней жесткости (табл. 1).

Таблица 1

Обобщенные показатели качества исследованных проб воды

Определяемый показатель	Единица измерения	Диапазон изменения	Санитарно-гигиенический норматив показателя	Исследованный водоем			
				Рыбинское водохранилище	о. Черное	о. Миндюкинское	о. Ваня
Значение величины показателя							
Прозрачность	см	1–35	не нормируется	21	20	30	30
Цветность	градус	1–70	не более 30	159*	1492*	376*	175*
Цвет, интенсивность окраски				желтый, слабое окрашивание	коричнево-бурый, интенсивное окрашивание	желтый, интенсивное окрашивание	желтый, слабое окрашивание
Мутность	ЕМ/дм ³	1–50	в пределах 2,6–3,5	11,6	2,6	2,8	3,4
Водородный показатель (рН)	ед. рН	1,0–14,0	в пределах 6,5–8,5	7,43	6,65	6,64	7,48
Растворенный кислород	мгО ₂ /дм ³	5,0–300,0	не менее 6,0	9,5	8,2	9,5	9,0
Перманганатная окисляемость	мгО ₂ /дм ³	0,1–50	в пределах 5–7	16,4	54,0*	35,6	11,0
ХПК	мгО ₂ /дм ³	5,0–50,0	не более 30	45,3	190,1*	68,0	51,3
БПК ₅	мгО ₂ /дм ³	0,5–300,0	не более 2	3,7	2,5	2,1	3,9
Сульфиды и Н ₂ S	мг/дм ³	0,001–3,0	не более 0,005	0,013	0,060	<0,001**	<0,001**
Жесткость	ммоль/дм ³	0,1–8,0	в пределах 7–10	4,2	0,8	1,0	5,1
Солесодержание	мг/дм ³	10–25000	в пределах 1000–1500	120	20	20	140
Сухой остаток	мг/дм ³	10–50000	не нормируется	206	140	94	181
Прокаленный остаток	мг/дм ³	10–50000	не нормируется	112	23	41	127

Примечание. * – значения величины выше предела обнаружения определены методом разбавления аликвоты анализируемой пробы; ** – значения величины ниже предела обнаружения.

Таблица 2

Среднее содержание ряда катионов и анионов в исследованных пробах воды

Определяемый показатель	Диапазон измерения	Санитарно-гигиенический норматив показателя	Исследованный водоем			
			Рыбинское водохранилище	о. Черное	о. Миндюкинское	о. Ваня
Значение величины показателя, мг/дм ³						
Ca ²⁺	1,0–100,0	не более 180,0	66,5	6,4	10,0	41,9
Mg ²⁺	1,0–100,0	не более 40,0	10,5	5,6	6,1	37,0
Na ⁺	3,0–500	не более 120,0	3,0	0,1	0,5	3,7
K ⁺	0,5–500	не более 50,0	2,3	0,6	0,4	2,0
Fe _{общ}	0,05–2,0	не более 0,1	0,13	1,18	0,29	0,22
Mn ²⁺	0,05–1,5	не более 0,01	0,10	0,028	0,36	0,13
NH ₄ ⁺	0,05–4,0	не более 0,5	0,50 (0,35)	0,63	0,96	0,25
SO ₄ ²⁻	18–1000	не более 100,0	23,0	4,1	7,0	6,9
Cl ⁻	3,0–2000	не более 300,0	5,0	6,4	4,5	4,1
F ⁻	0,1–23	не более 0,75	0,15	<0,1**	<0,1**	<0,1**
NO ₃ ⁻	2,0–100	не более 40	4,70	4,29	3,9	0,23
NO ₂ ⁻	0,02–0,3	не более 0,08	0,05	<0,02**	<0,02**	<0,02**
PO ₄ ³⁻	0,05–1,0	не более 0,20	0,13	0,056	0,055	0,056

Примечание. * – значения величины выше предела обнаружения определены методом разбавления аликвоты анализируемой пробы; ** – значения величины ниже предела обнаружения.

Цвет воды характеризует ее качество. Окраску воде придают в основном газы биохимического происхождения, трудно-окисляемые, биохимически стойкие гумусовые вещества и соединения железа (III). Органические гуминовые кислоты окрашивают воду в бурый или коричневый цвет, фульвокислоты придают ей желтую и желтовато-бурую окраску. Воды, содержащие соединения железа (III), имеют ржавый или чернильный оттенок. Для вод болотистого происхождения, содержащих гумусовые вещества, характерен желтоватый цвет. Все исследованные пробы озерных вод имеют высокие значения цветности, что связано со значительной заболоченностью их водосборных бассейнов и поступлением высокоокрашенных болотных вод с притоками. Максимальное значение цветности в 1492 градусов платиново-кобальтовой (Pt-Co) шкалы было зафиксировано в озере Черное. Вода в этом озере отличается от всех других исследованных проб коричнево-бурой окраской, что свидетельствует о преимущественном содержании гуминовых кислот по сравнению с фульвокислотами. Повышенное содержание ионов железа общего и марганца наблюдается во всех исследованных пробах. Концентрации ионов кальция и магния в исследованных пробах воды изменяются в широком диапазоне, характерны низкие концентрации ионов кальция и магния для водоемов с высокими показателями цветности. В распределении ионов натрия и калия наблюдается та же тенденция, что и для ионов кальция и магния. Концентрации сульфатов и хлоридов изменяются скачкообразно. Прозрачность (или светопропускание) природных вод обусловлена их цветом и мутностью. Это согласуется с аналитическими данными исследованных проб. Высокие значения мутности в исследованных пробах воды Рыбинского водохранилища значительно снижают их прозрачность по сравнению с озерными водами. Величины перманганатной окисляемости, являющейся косвенной характеристикой содержания в воде органических и минеральных веществ, в большей степени зависят от цветности воды. Наибольшие значения перманганатной окисляемости наблюдались в озере Черное. Величины окисляемости (ХПК) природных вод изменяются в пределах от долей миллиграммов до десятков миллиграммов в 1 дм³ воды в зависимости от общей биологической продуктивности, содержания биогенных элементов и органических веществ. В соответствии с гигиеническими требованиями к составу и свойствам воды водных объектов в зонах рекреации величина ХПК

не должна превышать 30 мгО₂/дм³. Величина БПК₅ в поверхностных водах используется для оценки содержания биохимически окисляемых органических веществ и в качестве интегрального показателя загрязненности воды. В поверхностных водах величины БПК₅ изменяются обычно в пределах 0,5–4,0 мгО₂/дм³ и подвержены сезонным и суточным колебаниям. Значение ПДК для БПК₅ рыбохозяйственных водоемов нормировано величиной не более 2,0 мгО₂/дм³. В исследованных пробах озерных вод не установлено превышения пределов этого показателя, характерных для незагрязненных природных вод. Содержание растворенного кислорода в поверхностных водах подвержено суточным и сезонным колебаниям. По этому показателю все исследованные пробы воды соответствуют установленным нормам для незагрязненных природных вод и характеризуются близкими значениями.

Во всех отобранных пробах содержание биогенных элементов не превышает установленный норматив (табл. 2). Фосфор является одним из главных биогенных элементов, определяющих продуктивность водного объекта. Концентрация растворенного фосфора (минерального и органического) в незагрязненных природных водах изменяется от 0,005 до 0,2 мг/дм³. Значения этого показателя в исследованных пробах озерных вод не превышают эти пределы. Неорганические соединения азота (аммоний, нитриты и нитраты) образуются в воде в процессе биохимического разложения органических веществ как природного происхождения, так и попадающих в водоемы со сточными водами. Концентрации иона аммония во всех пробах в основном были близки к ПДК (не более 0,5 мг/дм³). Все наблюдаемые концентрации нитрит-иона не превышали ПДК для рыбохозяйственных водоемов (0,08 мг/дм³). Концентрации нитрат-иона в исследованных водоемах определялись в диапазоне от 0,23 до 7,70 мг/дм³, что соответствует требованиям санитарно-гигиенических нормативов (не более 40 мг/дм³).

В отношении ионов основных тяжелых металлов в анализируемых пробах воды установлены схожие уровни их содержания. Их концентрации отмечены на уровне фоновых или ниже предела обнаружения. Так, концентрации ионов алюминия, меди, цинка, никеля, свинца чаще всего измеряются десятками и сотыми долями единиц микрограмм на 1 дм³ воды, концентрации ионов мышьяка, бора, хрома, кадмия, селена, ртути в пределах обнаружения не установлены. Содержание органических веществ (фенолов, формальдегида, нефтепродуктов, АПАВ) также определяется на уровне фоновых или

ниже предела обнаружения, что характерно для условий отсутствия загрязнения.

Анализ данных физико-химических характеристик и состава донных отложений и грунтов береговой зоны озер показал, что доминирующую роль в гидрохимическом режиме на рассматриваемой территории водосбора играют тепло- и массообмен с атмосферой и зависящие от него внутриводоемные процессы, в ходе которых формируются автохтонные вещества, определяющие качественную специфику озерных вод. Установлены значительные различия исследованных проб по физико-механическим показателям и физико-химическим характеристикам. Характерны низкие значения плотности, рН водной вытяжки и рН солевой суспензии донных отложений и грунтов для водоемов с высокими показателями цветности воды. Исследованные пробы донных отложений и грунтов для этих водоемов определялись значительно более высокими значениями емкости катионного обмена, гидролитической кислотности, показателя потери при прокаливании. Характерным для анализируемых проб донных отложений и грунтов этих водоемов является высокая степень гумификации. В содержании водорастворимых компонентов валового химического состава экологически значимых различий не установлено.

Заключение

Результаты исследований показали, что на рассматриваемой территории водосбора водоемы не испытывали вообще или испытывали минимальное влияние хозяйственной деятельности человека. Основные гидрохимические показатели, по которым различались озера, – степень гумификации и цветности воды. Значения рН воды варьировались в небольших пределах. Компонентный состав формируется в основном в результате сложных внутриводоемных процессов. Ионы токсичных металлов присутствуют в невысоких концентрациях в основном ниже предела их обнаружения.

Полученные данные носят оценочный, предварительный характер, но они позволяют акцентировать внимание на существующей проблеме и необходимости проведения комплексного эколого-геохимического мониторинга водных объектов области, в значительной мере определяющих социально-экономическое развитие региона. По существу, данная публикация является фоновой основой при изучении закономерностей формирования химического состава озерных вод и оценке их экологического состояния, выявлении их бальнеологической ценности и решении других задач, что

принципиально для обеспечения их рационального использования.

Список литературы

1. ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. – М.: СТК «Аякс», 2004. – 154 с.
2. ГОСТ 17.1.5.01-80. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2001. – 6 с.
3. ГОСТ 12071-2000. Грунты. Отбор, упаковка, транспортировка и хранение образцов. – М.: МН-ТКС, 2001. – 23 с.
4. Методика определения концентраций ионов с помощью ионселективных электродов «ЭКОМ». – М.: Эконикс, 1993. – 74 с.
5. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное назначение. – М.: ВНИРО, 1999. – 291 с.
6. Унифицированные методы анализа. – 2-е изд., испр.; под ред. Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1973. – 376 с.
7. Фоменко А.И. Безопасность децентрализованного водоснабжения на территориях в зонах техногенного загрязнения // Безопасность жизнедеятельности. – 2011. – № 7. – С. 36–42.
8. Фоменко А.И. Оценка качества воды в источниках децентрализованного водоснабжения на территории промышленного региона // Вода: химия и экология. – 2012. – № 2. – С. 26–32.

References

1. GN 2.1.5.1315-03 Predelno dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshhestv v vode vodnykh obektov hozhrajstvenno-pitevogo i kulturno-bytovogo vodopolzovanija: Gi-gienicheskie normativy. – M.:STK «Ajaks», 2004. 154 p.
2. GOST 17.1.5.01-80. Gidrosfera. Obshhie trebovanija k otboru prob donnyh otlozhenij vodnykh obektov dlja analiza na zagraznennost. – M.: Gosstandart Rossii: Izd-vo standartov, 2001. 6 p.
3. GOST 12071-2000. Grunty. Otbor, upakovka, transportirovka i hranenie obrazcov. M.: MN-TKS, 2001. 23 p.
4. Metodika opredelenija koncentracij ionov s pomoshhju ionselektivnykh jelektrodov «JeKOM». M.: Jekoniks, 1993. 74 p.
5. Perechen rybohozajstvennykh normativov: predelno dopustimyh koncentracij (PDK) i orientirovochno bezopasnyh urovnej vozdeystvija (OBUV) vrednykh veshhestv dlja vo-dy vodnykh obektov, imejushhijh rybohozajstvennoe naznachenie. M.: VNIRO, 1999. 291 p.
6. Unificirovannye metody analiza. 2-e izd., ispr. /Pod red. Ju.Ju. Lur'e. M.: Himija, 1973. 376 p.
7. Fomenko A.I. Bezopasnost necentralizovannogo vododnabzhenija na territorijah v zo-nah tehnogennoho zagraznenija // Bezopasnost' zhiznedejatelnosti. 2011. no. 7. pp. 36–42.
8. Fomenko A.I. Ocenka kachestva vody v istochnikah necentralizovannogo vododnabzhenija na territorii promyshlennogo regiona // Voda: himija i jekologija. 2012. no. 2. pp. 26–32.

Рецензенты:

Грызлов В.С., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный университет», г. Череповец;

Гнездилова А.И., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина», г. Вологда.

Работа поступила в редакцию 17.07.2013.