

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА АРАКУЛЬ (ЧЕЛЯБИНСКАЯ
ОБЛАСТЬ)

Научная статья

Сибиркина А.Р.^{1,*}, Лихачев С.Ф.², Двинин Д.Ю.³, Мулюкова О.Н.⁴, Войтович Г.А.⁵

¹ ORCID : 0000-0002-2722-9417;

² ORCID : 0000-0003-3715-5965;

³ ORCID : 0000-0002-9451-4445;

⁴ ORCID : 0000-0002-1429-6290;

⁵ ORCID : 0000-0001-6470-4339;

^{1, 2, 3, 4, 5} Челябинский государственный университет, Челябинск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (sibirkina_alfira[at]mail.ru)

Аннотация

Установлено, что гидрохимический состав оз. Аракуль характеризуется нейтральными и слабощелочными свойствами, отличается низким содержанием основных ионов и соединений азота. Качество воды соответствует β-мезосапробной зоне и относится к 3 классу качества – «умеренно загрязненная», с отсутствием процессов ацидофикации. Об антропогенном воздействии на озеро можно судить по наличию видов-индикаторов *Alisma plantago-aquatica* Linnaeus, 1753; *Elodea canadensis* Michx, 1803; *Stratiotes aloides* Linnaeus, 1753 и выявленному превышению ПДК для соединений цинка и марганца в чешуе, цинка в коже и скелете *Rutilus rutilus lacustris* Linnaeus, 1758. Усиленная аккумуляция соединений марганца чешуей обусловлена участием плотвы, как представителя семейства карповых, в обмене данного элемента между организмом и средой обитания.

Ключевые слова: оз. Аракуль, высшая водная растительность, органы и ткани плотвы сибирской, соединения тяжелых металлов.

AN EVALUATION OF THE MODERN ECOLOGICAL SITUATION OF LAKE ARAKUL (CHELYABINSK
OBLAST)

Research article

Sibirkina A.R.^{1,*}, Likhachev S.F.², Dvinin D.Y.³, Mulyukova O.N.⁴, Voitovich G.A.⁵

¹ ORCID : 0000-0002-2722-9417;

² ORCID : 0000-0003-3715-5965;

³ ORCID : 0000-0002-9451-4445;

⁴ ORCID : 0000-0002-1429-6290;

⁵ ORCID : 0000-0001-6470-4339;

^{1, 2, 3, 4, 5} Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, Russian Federation

* Corresponding author (sibirkina_alfira[at]mail.ru)

Abstract

It was established that the hydrochemical composition of Lake Arakul is characterized by neutral and weakly alkaline properties, low content of basic ions and nitrogen compounds. Water quality corresponds to the β-mesosaprobic zone and belongs to the 3rd quality class – "moderately polluted", with the absence of acidification processes. Anthropogenic impact on the lake can be judged by the presence of indicator species *Alisma plantago-aquatica* Linnaeus, 1753; *Elodea canadensis* Michx, 1803; *Stratiotes aloides* Linnaeus, 1753, and by the detected excess of MAC for zinc and manganese compounds in scales, zinc in skin and skeleton of *Rutilus rutilus lacustris* Linnaeus, 1758. The increased accumulation of manganese compounds by scales is due to the participation of roach, as a representative of the cyprinoid fishes, in the exchange of this element between the body and the habitat.

Keywords: Lake Arakul, macrophytes, organs and tissues of Siberian roach, heavy metal compounds.

Введение

Оз. Аракуль располагается на границе Верхнеуфалейского городского округа и Каслинского района, относится к бассейну реки Течи и связано с Каслинской озёрной системой: Иртяш, Большой Кисегач, Малый Кисегач, Куташи, Малые Касли, Большие Аллаки, Малые Аллаки, Киреты, Сунгуль, Малое Травяное [1], [29]. Озеро Аракуль небольшое и неглубокое, площадь водного зеркала составляет чуть больше трех квадратных километров, а глубина колеблется от 2,5 до 11 метров в самой глубокой его точке, наибольшие глубины расположены на восточном и юго-восточном побережьях. Озеро проточно-сточное, в него впадают две реки – Каганка и Ольховка, вытекает р. Аракулька. Озеро имеет положительный водный баланс, в котором имеется антропогенная составляющая. На озере расположен водозабор п. Вишневогорска, производительность насоса 180 м в куб/ час. Питание озера смешанное: атмосферными осадками и, в основном, подземными трещинными водами. Большая территория заболоченных участков у северных берегов озера говорит о высоком уровне грунтовых вод района. Достаточная увлажненность территории определяет устойчивость уровня режима [1]. В последние годы уровень воды в озерах Челябинской области, включая Аракуль, значительно уменьшился в результате естественных причин, в первую очередь из-за высокой температуры окружающей среды и уменьшения количества осадков, что неизбежно приведет к изменению химического состава озерных вод.

В 21.01.1969 г. озеру Аракуль присвоено официальное название памятника природы, соответственно использование оз. Аракуль допускается только в научных, эколого-просветительских, рекреационных и природоохранных целях. В настоящее время на оз. Аракуль находится значительное количество пансионатов, гостиниц и коттеджей для отдыха, многочисленные пляжи и обилие рыбы в озере, скалы Аракульских Шиханов привлекают туристов, что может привести к нерегулируемой рекреационной нагрузке, замусориванию охранной зоны, загрязнению и ухудшению качества воды. Превышение рекреационной нагрузки приведет к снижению биологического разнообразия и деградации растительного покрова, например, существуют высокие корреляционные зависимости между биоразнообразием сосудистых макрофитов и концентрациями ионов аммония, нитрит – ионов, нитрат – ионов, фосфат – ионов [13].

Видовое разнообразие макрофитов определяется размерами и экологическими характеристиками водоёма [16], а видовой состав макрофитов позволяет охарактеризовать трофический статус, степень антропогенного воздействия, специфику химизма вод [5] и даже степень воздействия на экосистему водоема. Жесткие растения, образуя мощные и непроницаемые заросли, перехватывают у рыбы солнечные лучи, кислород, увеличивают содержание углекислого газа, уменьшают содержание фосфора, кальция, калия и микроэлементов, затрудняют полезную деятельность микроорганизмов, обитающих в прудах. Отмирая, растения оставляют после себя огромное количество органической массы, которая начинает гнить, конечным продуктом разложения органики является метан, до половины объема органического углерода, поступающего в донные осадки, выделяется в форме метана [28]. В период массового отмирания макрофитов в воде происходит возрастание эмиссии метана [22], около 75% метана, выносимого из литорали озер, удаляется водными растениями путем транспорта через аэренхимную ткань [30], [31]. Наиболее интенсивно из всех групп сосудистых растений метан выделяется прикрепленными гидрофитами с плавающими листьями, например, видом *Nuphar lutea* (L.) Smith, 1809, который вносит высокий вклад (около 8%) в общую годовую продукцию метана [22].

Для обеспечения экологической устойчивости водных экосистем необходима организация комплексного мониторинга, включающего наблюдения за состоянием и степенью загрязнения биотических компонентов [25]. Учитывая усиливающееся воздействие антропогенного фактора на оз. Аракуль, биотический компонент, например, высшая растительность и рыба, расширяет возможности в исследованиях факторов, способствующих формированию качества воды и влияющих на состояние водных объектов, в изучении развития негативных изменений в экосистеме [4]. Несмотря на то, что разовые обследования распространения отдельных видов не позволяют судить о качестве водной среды, тем не менее, многим прибрежно-водным растениям приписывается индикаторное значение [7], [12], [14], [32]. Присутствие определенных видов макрофитов сигнализирует о наличии процессов эвтрофикации антропогенного происхождения [19]. Биоиндикационные возможности высших растений обусловлены крупными размерами, внесением многих видов в список видов-индикаторов и использованием их для вычисления индекса сапробности и степени трофности водоёма по признакам жизненного состояния растений [15]. Наиболее ценными в биоиндикационных исследованиях воды являются сообщества макрофитов водоёмов, обладающие большими индикаторными возможностями [6], при этом учитывается занятая растительностью площадь, характер зарастания водоёма, проективное покрытие, видовой состав и др. Водная и прибрежно-водная растительность активно участвует в процессе самоочищения водоемов, перераспределяя вещество во времени и пространстве [14].

На верхнем уровне в трофической системе водоемов находятся рыбы, биоаккумуляция соединений металлов тканями рыб создает угрозу здоровью человека через рыбные продукты [18]. Многочисленные эксперименты показывают, что применение рыбы эффективно при выявлении загрязнений водной среды [23], например, соединениями тяжелых металлов, относящихся к приоритетным и наиболее опасным загрязнителям водных экосистем (Голованова, 2019), негативно воздействующих на организмы [26]. Содержание соединений тяжелых металлов отражается на химическом составе органов и тканей озерной рыбы и может многократно превышать таковое в воде [9], [27]. Наибольшее влияние на распределение соединений тяжелых металлов в организме рыб оказывают геохимия среды обитания, функциональное состояние организма и характер пищевых цепей водоема [21], размер частиц и форм соединений. При воздействии соединений тяжелых металлов, содержащихся в виде наночастиц, в желудочно-кишечном тракте гидробионтов происходит замещение нормальной микрофлоры транзитной [2], максимальная биоаккумуляционная активность характерна для ионных форм металлов [17].

Цель исследования: изучить экологическое состояние оз. Аракуль по индикаторным возможностям высших водных растений и уровню накопления соединений тяжелых металлов в органах и тканях *Rutilus rutilus lacustris* Linnaeus, 1758.

Объекты и методы исследования

Исследования на озере проводили в трех постоянных контрольных станциях отбора проб (ПП): ПП 1: 55°59.714' N, 60°32.051' E; ПП 2: 55°59.658' N, 60°31.398' E; ПП 3: 55°59.834' N, 60°30.629' E, точки отбора проб представлены на рисунке 1.

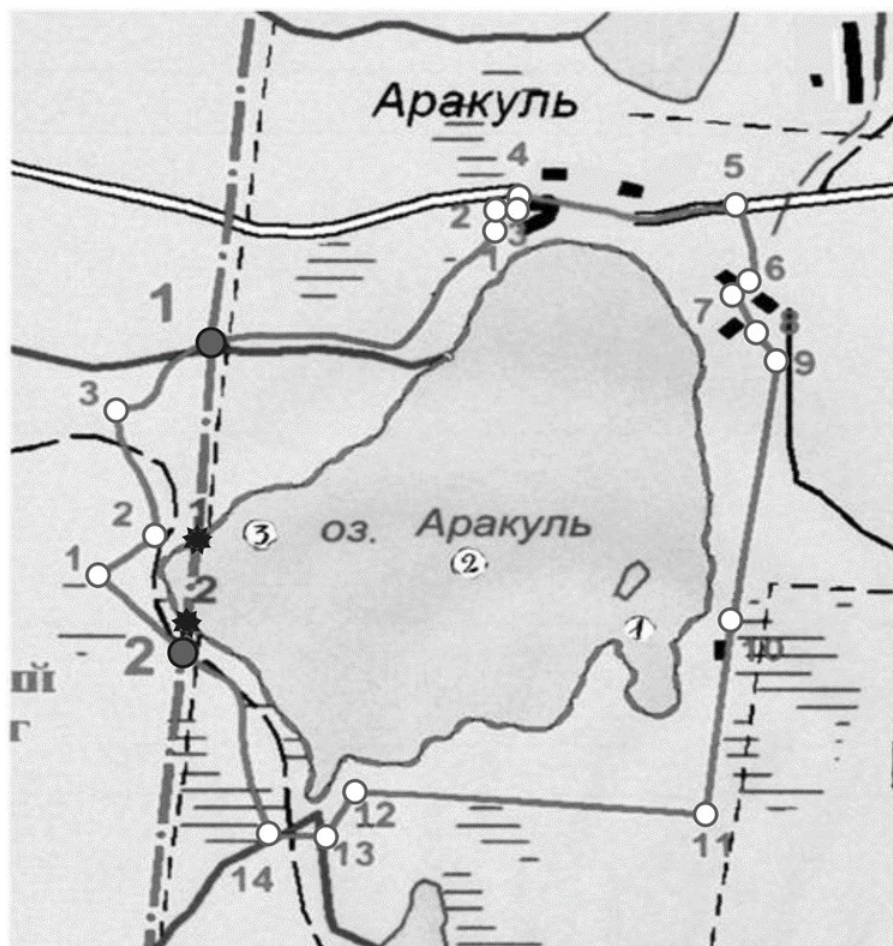


Рисунок 1 - Контрольные станции отбора проб на озере Аракуль:

— — — - граница памятника природы; ————— - граница охранной зоны памятника природы; - - - - - граница муниципальных образований; * - 2 условные точки границы памятника природы; - - - - - 2 узловые точки границы охранной зоны памятника природы; ○ - 2 поворотные точки границы охранной зоны памятника природы; ① - контрольная станция

Пробы для гидрохимического анализа, в соответствии с ГОСТ 17.1.3.07-82 «Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков», отбирали фторопластовым пробоотборником.

Аналитические исследования проводились в аккредитованном центре Общество с ограниченной ответственностью «Уральская комплексная лаборатория промышленного и гражданского строительства» согласно «Федеральному перечню методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды» (РД 52.18.595-96).

Изучение высшей водной растительности проводили на водоеме в июле. Для получения достаточно полных данных о фитоценозе выполняли описание растительности на пробных площадях размером 5x5 м [25]. При оценке видового обилия высших растений применяли шкалу Браун-Бланке [20]. При описании растительности отмечали характер и степень влияния человека и животных на фитоценоз.

Отлов рыбы производился на акватории оз. Аракуль на 3 контрольных станциях. Для анализа отбирали 0,6 кг одноразмерных взрослых особей *R. rutilus lacustris*. В лаборатории образцы мышц, скелета, кожи, чешуи рыбы подвергались исследованиям для установления соответствия/несоответствия требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», определения фактических значений по показателям. Методика проведения исследований: ФР.131.2007.03904 «М 04. -046.2007 Методика выполнения измерений массовой доли ртути в пробах пищевых продуктов, продовольственного сырья, кормов, комбикормов и сырья для их производства атомно-абсорбционным методом с использованием анализатора ртути РА-915+ с приставкой ПИРО-915+»; ГОСТ 26928-86 «Сырье и продукты пищевые. Методы определения токсичных элементов. МО железа»; ГОСТ 30178-96 «Сырье и продукты. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов»; ГОСТ 31628-2012 «Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инвенсированно-вольтамперометрический метод определения массовой концентрации мышьяка»; Р4.1.1672-03 «Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище» глава 2, п. II, I.

Накопление соединений кадмия, мышьяка, ртути, свинца, меди, цинка, никеля, марганца, железа исследовали в коже, чешуе, скелете и мышцах *R. rutilus lacustris*.

Результаты исследований и их обсуждение

Гидрохимические показатели

Поверхностные воды представляют собой многокомпонентные природные объекты переменного гидрохимического состава, данные представлены в таблице 1.

К важнейшим показателям качества воды относится рН, от величины которого зависят физико-химические и биохимические процессы, развитие и жизнедеятельность водных растений. В оз. Аракуль рН воды соответствует нейтральным и слабощелочным свойствам вод, отличается низким содержанием основных ионов: натрия, калия, кальция, хлора, сульфата, гидрокарбоната. По ионному составу преобладает содержание гидрокарбонат – ионов, а среди катионов – ионов кальция и магния, что соответствует химическим реакциям характерным для озерных вод. Незначительные содержания соединений азота в виде нитрат-ионов и катионов аммония в воде озера указывает на отсутствие источников биологического загрязнения (коммунальные очистные сооружения, отстойники промышленных отходов, животноводческие фермы, скопления навоза, азотных удобрений, поселения и др.). Соотношение нитрит – ионов и катионов аммония, которое составляет 1:2,04, а значит в условиях оз. Аракуль в воде процессы минерализации органических веществ до нитратов протекают значительно медленнее, чем восстановление до аммиака.

Таблица 1 - Основные гидрохимические показатели озера Аракуль

Показатель	Значение, мг/дм ³	Р/хоз. норм., мг/дм ³
рН	6,8500 (6,8000-6,9000)	6,0000-9,0000
Растворенный кислород	7,9500 (7,9300-7,9600)	Не ниже 4,0000
Гидрокарбонаты	109,3000 (107,5000-111,1000)	Не норм.
Сульфаты	29,9000 (23,7000-35,9000)	Не более 100,0000
Хлориды	< 10,0000	Не более 300,0000
Ионы кальция	29,1000 (27,8000-30,4000)	Не более 180,0000
Ионы магния	9,0000 (8,5000-9,8000)	Не более 40,0000
Ионы натрия	7,7000 (5,8000-11,5000)	Не более 120,0000
Ионы калия	3,0300 (2,6700-3,7400)	Не более 50,0000
Аммоний-ион	0,1840 (<0,0050-0,3500)	Не более 1,5000
Нитрит-ион	0,0910 (<0,0030- 0,1100)	Не более 0,0800
Нитрат-ион	0,4700 (<0,1000-0,6800)	Не более 40,0000
Фосфаты (по Р)	< 0,0500	Не норм,
Железо общее	0,0640 (0,0500-0,0890)	Не более 0,1000
Медь	< 0,001	Не более 0,0010
Цинк	0,0330 (<0,005- 0,0360)	Не более 0,0100
Марганец	0,0050 (<0,0020-0,0070)	Не более 0,0100
Свинец	0,0022 (<0,0020-0,0026)	Не более 0,0060
Кобальт	< 0,0025	Не более 0,0005
Никель	< 0,0050	Не более 0,0100
Кадмий	<0,0002	Не более 0,0008

Примечание: жирным выделены показатели вне допустимых границ

Содержание в воде ионов тяжелых металлов (меди, свинца, кадмия, никеля, кобальта) значительно ниже предельно допустимых, следовательно, отсутствует сток промышленных вод в озерные воды, на отсутствие промышленных стоков в озерные воды указывают и концентрации общего железа и марганца, содержание которых в воде значительно ниже их ПДК. Повышенные концентрации ионов цинка являются следствием трансграничного переноса атмосферных осадков и геологического строения подстилающих пород, так дно озера каменисто-песчаное, песчаное, песчано-илистое, встречаются слабо заиленные галечники, в центре озера – илы. Илистые отложения характеризуются высоким содержанием органических веществ и способствуют активному накоплению соединений тяжелых металлов.

Высшая водная растительность

В 2020 г. степень зарастания акватории озера макрофитами составила менее 3%, что указывает на отсутствие агрессивного наступления растительности на водоем. В распространении макрофитов по акватории оз. Аракуль прослеживается дифференциация на два сектора: северо-восточный и юго-западный. В северо-восточном секторе водоема сообщества высшей водной растительности развиты слабо или отсутствуют. В юго-западной части озера благоприятному развитию высшей водной растительности способствуют морфометрия водоема – плавное падение дна и изрезанность береговой линии, а также ландшафтный фактор – понижение рельефа. Среди высшей водной растительности отмечены три формации макрофитов: воздушно-водная, плавающая и с плавающими листьями и погруженная растительность. Последняя формация имеет наибольшее распространение в водоеме. Она прослеживается в южной части и вдоль западного берега. Формирование и распространение остальных формаций в большей степени связано с заливами водоема. Здесь широко распространены сообщества ежеголовниково-осоково-тростниковых сплавин, *Nuphar lutea* L. и *Polygonum amphibium* L.

В ходе исследования обнаружено 11 видов макрофитов – *Persicaria amphibium* (L.) DELARBRE, 1800; *Schoenoplectus lacustris* (L.) Palla, 1888; *N. lutea*; *Potamogeton lucens* Linnaeus, 1753; *Potamogeton crispus* Linnaeus, 1753; *Potamogeton perfoliatus* Linnaeus, 1753; *Eleocharis palustris* (L.) Roem. & Schult., 1817; *Sagittaria sagittifolia* Linnaeus, 1753; *Stratiotes*

aloides Linnaeus, 1753; *Alisma plantago-aquatica* Linnaeus, 1753; *Elodea canadensis* Michx, 1803. Обнаруженные виды *P. lucens*, *P. crispus*, *P. perfoliatus*, *E. canadensis* свидетельствуют об органическом загрязнении водоема (Гигевич, Власов, Вынаев, 2001) и соответствии воды β-мезосапробной зоне (1,51-2,50) и 3 классу качества – «умеренно загрязненная» [32], [14], рисунок 2. Эти же виды указывают на отсутствие процессов acidification воды, что подтверждается показателем pH – вода соответствует нейтральным и слабощелочным свойствам вод, таблица 1.

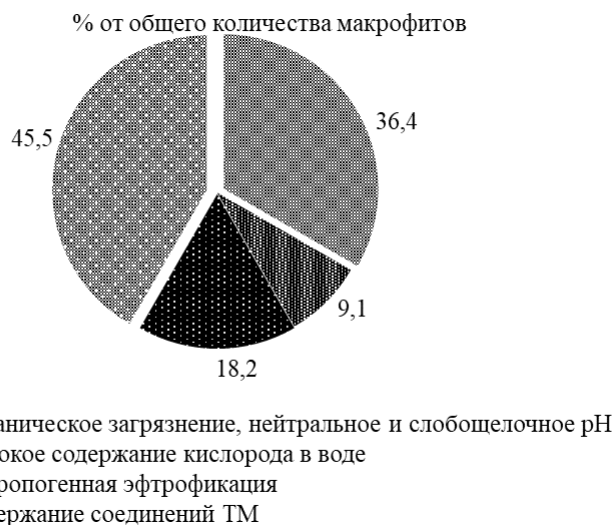


Рисунок 2 - Распределение видов макрофитов-биоиндикаторов качества воды от общего количества обнаруженных макрофитов

Присутствие *N. lutea* характерно для мезоэвтрофных пресноводных озер и указывает на высокое содержание растворённого кислорода на протяжении круглого года, таблица 1. Кроме того, *N. lutea* вносит определенный вклад в процессы осадконакопления и деструкции органического вещества, активно участвует в образовании и выносе метана.

Присутствие *P. crispus* и *A. plantago-aquatica* сигнализирует о наличии процессов эвтрофикации антропогенного происхождения.

Виды *P. lucens*, *P. perfoliatus*, *E. canadensis*, *S. aloides*, *A. plantago-aquatica* служат признаком наличия в воде повышенных содержаний соединений тяжелых металлов, в частности цинка, что также нашло отражение в химическом составе органов и тканей рыбы, обитающей в озере.

Содержание тяжелых металлов в органах и тканях

Rutilus rutilus lacustris Linnaeus, 1758

Содержание соединений тяжелых металлов (ТМ) в органах и тканях различается по сезонам, зависит от многих факторов, обусловленных физиологическими процессами, например, перераспределением элементов в организме в процессе размножения. Плотва нерестится в мае. Путь поступления соединений ТМ в организм специфичен: непосредственно из воды через жабры, с кормом по пищевым цепям, через кожные покровы. Ассортимент питания плотвы очень разнообразен и включает растительность, зоопланктон, личинки насекомых, моллюски и детрит. Ранжирование ионов металлов по органам и тканям плотвы представлено в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2 - Содержание ионов металлов в органах и тканях *R. rutilus lacustris*

Соединения ТМ	Органы и ткани				Среднее, мг/кг	ПДК
	чешуя, мг/кг	кожа, мг/кг	мышцы, мг/кг	скелет, мг/кг		
Pb	0,550±0,060	0,170±0,017	0,050±0,005	0,090±0,009	0,215	1,0
Cd	0,220±0,022	< 0,01	< 0,010	0,150±0,015	0,098	0,2
Hg	< 0,0025	0,0181±0,0072	0,0201±0,008	0,0101±0,004	0,0127	0,5
Cu	< 0,500	0,990±0,100	< 0,500	< 0,500	0,6225	10,0
Ni	0,140±0,014	0,420±0,040	0,050±0,005	0,110±0,011	0,180	20,0
Zn	100,000±10,000	54,000±5,400	11,700±1,200	60,600±6,100	59,500	40,0
Mn	16,400±1,600	1,930±0,190	0,200±0,020	9,200±0,900	6,933	10,0
As	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,3
Fe	33,400±0,280	8,000±0,280	3,200±0,280	7,100±0,280	12,925	30,0

Примечание: жирным выделены показатели вне допустимых границ

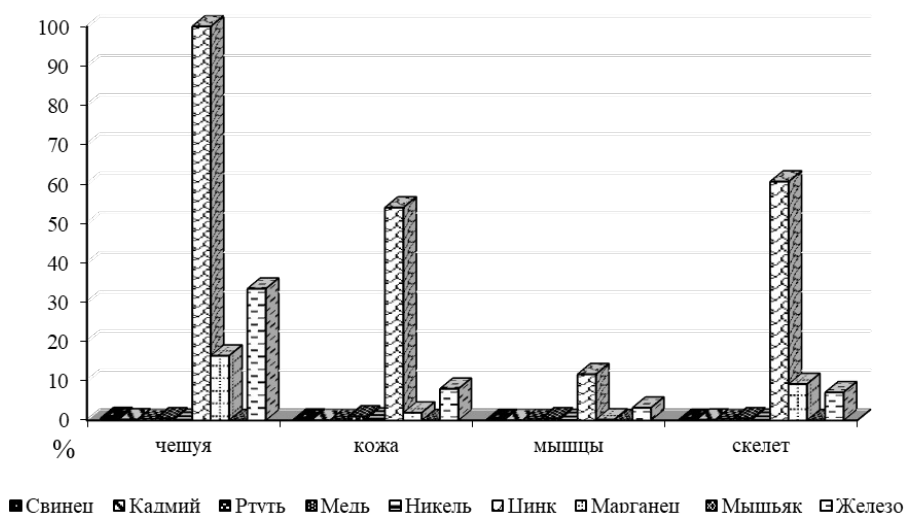


Рисунок 3 - Распределение ионов тяжелых металлов по органам и тканям плотвы сибирской (*Rutilus rutilus lacustris* (Pallas))

31 марта 1986 г. N 4089-86 главным государственным санитарным врачом СССР в продовольственном сырье и пищевых продуктах были утверждены предельно допустимые концентрации соединений тяжелых металлов и мышьяка. Как показали результаты химического анализа превышение ПДК зафиксировано только для цинка во всех анализируемых пробах плотвы сибирской, кроме мышечной ткани, что является следствием наличия в воде повышенных концентраций водорастворимого цинка, источником которого служат протекающие процессы разрушения и растворения горных пород и минералов. Содержание в воде ионов цинка составило от 0,013 до 0,083 мг/дм³ или 1,3-8,3 ПДК.

Превышение концентраций соединений марганца были обнаружены только в чешуе рыбы. Учитывая, что для 61,1 % проб воды содержание ионов марганца менее 0,0020 мг/дм³ (0,2 ПДК), а для 27,8 % проб – находилось в пределах 0,0073-0,0097 мг/дм³, можно предположить, что покровные ткани, особенно семейства карповых (*Cyprinidae*), к которым относится и *R. rutilus lacustris* принимают определенное участие в обмене данного элемента между рыбой и средой обитания и хорошо депонирует соединения марганца, которые, как и соединения цинка, железа и меди, являются эссенциальными элементами [25].

Активное аккумуляирование соединений марганца в органах и тканях плотвы происходит даже при незначительных их количествах в воде, что определяется механизмом биологического действия d-элементов, способных к комплексообразованию. Марганец, являющийся d-элементом с незаполненными d-подуровнями, характеризуются максимальной комплексообразующей способностью [3].

Заключение

1. Гидрохимический состав воды оз. Аракуль характеризуется нейтральными и слабощелочными свойствами, отличается высоким уровнем растворимого кислорода, низким содержанием основных ионов и соединений азота, более медленной минерализацией органических веществ до нитратов, чем восстановление до аммиака.

2. Для оз. Аракуль отмечены три формации макрофитов – воздушно-водная, плавающая и с плавающими листьями и погруженная растительность. По составу видов-индикаторов вода оз. Аракуль соответствует β-мезосапробной зоне и относится к 3 классу качества – «умеренно загрязненная», характеризуется отсутствием процессов ацидофикации и о начинающемся процессе эвтрофикации антропогенного происхождения.

3. Повышенное содержание ионов цинка в воде, в чешуе, коже и скелете *R. rutilus lacustris* связано с процессами разрушения и растворения горных пород и минералов и являющееся отражением геохимического состава воды. Усиленная аккумуляция соединений марганца чешуей обусловлена участием плотвы, как представителя семейства карповых, в обмене данного элемента между организмом и средой обитания.

4. Учитывая, что озеро Аракуль располагается на границе Верхнеуфалейского городского округа и Каслинского района Челябинской области, хозяйственная деятельность данных территорий, а также наличие по берегам оз. Аракуль значительного количества пансионатов, гостиниц и коттеджей для отдыха, оказывает негативное влияние на состояние экологической устойчивости водоема. Для более полной оценки уровня устойчивости необходимы регулярные исследования с целью выявления влияния происходящих климатических изменений на озерные экосистемы Челябинской области подверженные негативному антропогенному воздействию.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Андреева М.А. Озера Среднего и Южного Урала / М.А. Андреева. — Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 1973. — 269 с.
2. Багиров В.А. Нарушение равновесия в микробиоценозе кишечника *Danio rerio* (Hamilton, 1882) и угнетение защитных механизмов под воздействием никельсодержащих наночастиц / В.А. Багиров, Е.А. Сизова, Е.П. Мирошникова и др. // Биология внутренних вод. — 2019. — 1. — с. 86-95. — DOI: 10.1134/S0320965219010030
3. Берлянд А.С. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов / А.С. Берлянд, Ю.А. Ершов, А.З. Книжник и др. — М.: Высш. шк., 2007. — 560 с.
4. Быков Б.А. Геоботанический словарь / Б.А. Быков. — Алма-Ата: Наука Каз. ССР, 1973. — 216 с.
5. Вейсберг Е.И. Разнообразие водной растительности системы озер Большое Миассово — Малое Миассово (Южный Урал) / Е.И. Вейсберг // *Turczaninowia*. — 2014. — 17(4). — с. 84-96.
6. Виноградов Б.В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов / Б.В. Виноградов. — М.: Наука, 1964. — 172 с.
7. Власов Б.П. Высшие растения — биоиндикатор состояния водоемов / Б.П. Власов, Г.С. Гигевич // Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды. — Минск: БГУ, 2002. — 84 с.
8. Власова Е.А. Флуктуирующая асимметрия листа рдеста пронзеннолистного как индикационный показатель качества водной среды / Е.А. Власова, П.А. Белова, Т.А. Федорова и др. // Гидробиология. — Ярославль: ВНИИ биологии внутренних вод, 2006. — с. 227.
9. Галатова Е.А. Особенности накопления тяжелых металлов в органах и тканях рыб различных семейств / Е.А. Галатова // Вестник ТСХА. — 2009. — Вып. 3. — с. 157-169.
10. Гигевич Г.С. Высшие водные растения Беларуси / Г.С. Гигевич, Б.П. Власов, Г.В. Вынаев. — Минск: БГУ, 2001. — 231 с.
11. Голованова И.Л. Чувствительность пищеварительных гликозидаз к действию тяжелых металлов у сеголетков плотвы *Rutilus rutilus* (L.) — последствия гипомагнитных условий в период раннего онтогенеза / И.Л. Голованова, А.А. Филиппов, В.В. Крылов // Биология внутренних вод. — 2019. — 1. — с. 73-78. — DOI: 10.1134/S0320965219010108
12. Изотов А.А. Использование высших водных растений как индикаторов состояния окружающей среды: дис. ... канд. биол. наук / А.А. Изотов. — Калуга, 2003. — 120 с.
13. Киприянова Л.М. Водная и прибрежно-водная растительность озера Чаны / Л.М. Киприянова // Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия: тезисы докладов XII Международной конференции молодых ученых, посвященной 50-летию назначения контр-адмирала, дважды Героя Советского Союза И.Д. Папанина директором Института Биологии Внутренних Вод. — Борок, 2002. — 208 с.
14. Кокин К.А. Экология высших водных растений / К.А. Кокин. — М.: МГУ, 1982. — 160 с.
15. Красильникова Н.С. Биоиндикация качества воды реки Свияги с помощью высших водных растений / Н.С. Красильникова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. — 2010. — с. 261-264.
16. Краснова А.Н. Экологические особенности гидрофильной флоры Вологодского поозерья / А.Н. Краснова // Естествознание и гуманизм. — 2007. — Т. 4. — Вып. 2. — с. 108-111.
17. Линник Л.П. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах / Л.П. Линник, Б.И. Набиванец. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — 270 с.
18. Лобанова Т.А. Сезонные особенности накопления тяжелых металлов промысловыми видами рыб / Т.А. Лобанова // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. — 2008. — 3. — с. 22-24.
19. Маслова О.В. Растения водотоков и водоёмов города Орехово-Зуево как объект изучения флуктуирующей асимметрии / О.В. Маслова, О.В. Хотулёва, Н.А. Фролова и др. // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». — 2014. — 3. — с. 19-25.
20. Миркин Б.М. Современная наука о растительности / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова, А.И. Соломец. — Логос, 2001. — 264 с.
21. Моисеенко Т.И. Биодоступность и экотоксичность металлов в водных системах: критические уровни загрязнения / Т.И. Моисеенко // Геохимия. — 2019. — Т. 64. — 7. — с. 675.
22. Мухин В.А. Роль водных макрофитов в круговороте органического вещества в предгорном озере Большое Миассово (Южный Урал) / В.А. Мухин, Е.И. Вейсберг, Н.Б. Куянцева и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2013. — Т. 15. — 3(2). — с. 758-761.
23. Немова Н.Н. Биохимическая индикация состояния рыб / Н.Н. Немова, Р.У. Высоцкая. — М.: Наука, 2004. — 132 с.
24. Никаноров А.М. Роль биотической и абиотической компонент водной экосистемы в формировании экологического неблагополучия Цимлянского и Маньчжунских водохранилищ / А.М. Никаноров, Т.А. Хоружая // Водные ресурсы. — 2019. — Т. 46. — 5. — с. 544-554. — DOI: 10.31857/S0321-0596465544-554.
25. Остроумов С.А. Биогенный детрит связывает Cr, Co, Cd, Cu, Zn: выявление методом атомно-абсорбционной спектроскопии / С.А. Остроумов, Л.Л. Демина // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. — 2011. — 1(15). — с. 100-106.

26. Остроумов С.А. Тяжелые металлы (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Cr) в биогенном детрите микрокосмов с водными организмами / С.А. Остроумов, Л.Л. Демина // Экология промышленного производства. — 2010. — 2. — с. 53-56.
27. Перевозников М.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах / М.А. Перевозников, Е.А. Богданова. — СПб.: Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва, 1999. — 228 с.
28. Садчиков А.П. Гидробиотика: Прибрежно-водная растительность / А.П. Садчиков, М.А. Кудряшов. — М.: Академия, 2005. — 240 с.
29. Челябинская область. Атлас / Под ред. В.В. Латушина. — Челябинск: Абрис, 2010. — 32 с.
30. Dacey J.W.H. Methan efflux from from lake sediments through water lilies / J.W.H. Dacey, M.J. Klug // Science. — 1979. — 203. — p. 1253-155.
31. Sebacher D.I. Metane emissions to the atmosphere through aquatic plants / D.I. Sebacher, R.C. Harris, K.B. Barlett // J. Environ. Qual. — 1985. — 14. — p. 40-46.
32. Sladeczek V. A guide to limnosaprobical organisms / V. Sladeczek // Water technology. — 1963. — 2. — p. 543-612.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Andreeva M.A. Ozera Srednego i Juzhnogo Urala [Lakes of the Middle and Southern Urals] / M.A. Andreeva. — Cheljabinsk: South Ural book publishing house, 1973. — 269 p. [in Russian]
2. Bagirov V.A. Narushenie ravnovesija v mikrobiocenoze kishechnika Danio rerio (Hamilton, 1882) i ugnetenie zashhitnyh mehanizmov pod vozdejstviem nikel'soderzhashhih nanochastic [Disbalance in the intestinal microbiocenosis of Danio rerio (Hamilton, 1882) and inhibition of defense mechanisms under the influence of nickel-containing nanoparticles] / V.A. Bagirov, E.A. Sizova, E.P. Miroshnikova et al. // Biologija vnutrennih vod [Biology of internal waters]. — 2019. — 1. — p. 86-95. — DOI: 10.1134/S0320965219010030 [in Russian]
3. Berljang A.S. Obshhaja himija. Biofizicheskaja himija. Himija biogennyh jelementov [General chemistry. Biophysical chemistry. Chemistry of biogenic elements] / A.S. Berljang, Ju.A. Ershov, A.Z. Knizhnik et al. — M.: Higher school, 2007. — 560 p. [in Russian]
4. Bykov B.A. Geobotanicheskiy slovar' [Geobotanical Dictionary] / B.A. Bykov. — Alma-Ata: Nauka Kaz. SSR, 1973. — 216 p. [in Russian]
5. Veisberg E.I. Raznoobrazie vodnoj rastitel'nosti sistemy ozer Bol'shoe Miassovo — Maloe Miassovo (Juzhnyj Ural) [Diversity of aquatic vegetation of the system of lakes Big Miassovo — Small Miassovo (Southern Urals)] / E.I. Veisberg // Turczaninowia. — 2014. — 17(4). — p. 84-96. [in Russian]
6. Vinogradov B.V. Rastitel'nye indikatory i ih ispol'zovanie pri izuchenii prirodnyh resursov [Plant indicators and their use in the study of natural resources] / B.V. Vinogradov. — M.: Nauka, 1964. — 172 p. [in Russian]
7. Vlasov B.P. Vysshie rastenija — bioindikator sostojanija vodoemov [Higher plants as a bioindicator of the state of water bodies] / B.P. Vlasov, G.S. Gigevich // Ispol'zovanie vysshih vodnyh rastenij dlja ocenki i kontrolja za sostojaniem vodnoj sredy [Use of higher aquatic plants to assess and control the state of the aquatic environment: method. recommendations]. — Minsk: BGU, 2002. — 84 p. [in Russian]
8. Vlasova E.A. Fluktuirujushhaja asimmetrija lista rdesta pronzjonnolistnogo kak indikacionnyj pokazatel' kachestva vodnoj sredy [Fluctuating leaf asymmetry of the pierced pondweed as an indication of the quality of the aquatic environment] / E.A. Vlasova, P.A. Belova, T.A. Fedorova et al. // Gidrobotanika. — Yaroslavl: All-Russian Research Institute of Biology of Inland Waters, 2006. — p. 227. [in Russian]
9. Galatova E.A. Osobennosti nakoplenija tjazhelyh metallov v organah i tkanjah ryb razlichnyh semejstv [Features of the accumulation of heavy metals in the organs and tissues of fish of various families] / E.A. Galatova // Vestnik TSHA [Bulletin of the TSHA]. — 2009. — Iss. 3. — p. 157-169. [in Russian]
10. Gigevich G.S. Vysshie vodnye rastenija Belarusi [Higher aquatic plants of Belarus] / G.S. Gigevich, B.P. Vlasov, G.V. Vynaev. — Minsk: BGU, 2001. — 231 p. [in Russian]
11. Golovanova I.L. Chuvstvitel'nost' pishhevaritel'nyh glikozidaz k dejstvu tjazhelyh metallov u segoletkov plotvy Rutilus rutilus (L.) — posledstviya gipomagnitnyh uslovij v period rannego ontogeneza [Sensitivity of digestive glycosidases to the action of heavy metals in underyearlings of roach Rutilus rutilus (L.) — consequences of hypomagnetic conditions during early ontogenesis] / I.L. Golovanova, A.A. Filippov, V.V. Krylov // Biologija vnutrennih vod [Biology of internal waters]. — 2019. — 1. — p. 73-78. — DOI: 10.1134/S0320965219010108 [in Russian]
12. Izotov A.A. Ispol'zovanie vysshih vodnyh rastenij kak indikatorov sostojanija okruzhajushhej sredy [The use of higher aquatic plants as indicators of the state of the environment]: dis. ... of PhD in Biological Sciences / A.A. Izotov. — Kaluga, 2003. — 120 p. [in Russian]
13. Kiprijanova L.M. Vodnaja i pribrežno-vodnaja rastitel'nost' ozera Chany [Aquatic and coastal aquatic vegetation of Lake Chany] / L.M. Kiprijanova // Biologija vnutrennih vod: problemy jekologii i bioraznoobrazija [Biology of internal waters: problems of ecology and biodiversity]: abstracts of the XII International Conference of Young Scientists dedicated to the 50th anniversary of the appointment of Rear Admiral, twice Hero of the Soviet Union I.D. Papanin as director of the Institute of Biology of Inland Waters. — Borok, 2002. — 208 p. [in Russian]
14. Kokin K.A. Jekologija vysshih vodnyh rastenij [Ecology of higher water plants] / K.A. Kokin. — M.: MSU, 1982. — 160 p. [in Russian]
15. Krasil'nikova N.S. Bioindikacija kachestva vody reki Svijagi s pomoshh'ju vysshih vodnyh rastenij [Bioindication of the water quality of the Sviyaga River using higher aquatic plants] / N.S. Krasil'nikova // Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University]. — 2010. — p. 261-264. [in Russian]
16. Krasnova A.N. Jekologicheskie osobennosti gidrofil'noj flory Vologodskogo poozer'ja [Ecological features of the hydrophilic flora of the Vologda Lake District] / A.N. Krasnova // Estestvoznание i gumanizm [Natural History and Humanism]. — 2007. — Vol. 4. — Iss. 2. — p. 108-111. [in Russian]

17. Linnik L.P. Formy migracii metallov v presnyh poverhnostnyh vodah [Forms of metal migration in fresh surface waters] / L.P. Linnik, B.I. Nabivanec. — L.: Gidrometeoizdat, 1986. — 270 p. [in Russian]
18. Lobanova T.A. Sezonnnye osobennosti nakoplenija tjazhelyh metallov promyslovymi vidami ryb [Seasonal features of the accumulation of heavy metals by commercial fish species] / T.A. Lobanova // Vestnik KGU im. N. A. Nekrasova [Bulletin of the N. A. Nekrasov KSU]. — 2008. — 3. — p. 22-24. [in Russian]
19. Maslova O.V. Rastenija vodotokov i vodojomov goroda Orekhovo-Zuevo kak ob'ekt izuchenija fluktuirujushhej asimmetrii [Plants of streams and reservoirs of the city of Orekhovo-Zuevo as an object of studying fluctuating asymmetry] / O.V. Maslova, O.V. Hotuljova, N.A. Frolova et al. // Vestnik MGOU. Serija "Estestvennye nauki" [Bulletin of the Moscow State University. Series "Natural Sciences"]. — 2014. — 3. — p. 19-25. [in Russian]
20. Mirkin B.M. Sovremennaja nauka o rastitel'nosti [Modern science of vegetation] / B.M. Mirkin, L.G. Naumova, A.I. Solomeshh. — Logos, 2001. — 264 p. [in Russian]
21. Moiseenko T.I. Biodostupnost' i jekotoksichnost' metallov v vodnyh sistemah: kriticheskie urovni zagrjaznenija [Bioavailability and ecotoxicity of metals in water systems: critical levels of pollution] / T.I. Moiseenko // Geohimija [Geochem]. — 2019. — Vol. 64. — 7. — p. 675. [in Russian]
22. Muhin V.A. Rol' vodnyh makrofitov v krugovorote organicheskogo veshhestva v predgornom ozere Bol'shoe Miassovo (Juzhnyj Ural) [The role of aquatic macrophytes in the cycle of organic matter in the foothill lake Bolshoye Miassovo (Southern Urals)] / V.A. Muhin, E.I. Vejsberg, N.B. Kujanceva et al. // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. — 2013. — Vol. 15. — 3(2). — p. 758-761. [in Russian]
23. Nemova N.N. Biohimicheskaja indikacija sostojanija ryb [Biochemical indication of the state of fish] / N.N. Nemova, R.U. Vysockaja. — M.: Nauka, 2004. — 132 p. [in Russian]
24. Nikanorov A.M. Rol' bioticheskoj i abioticheskoj komponent vodnoj jekosistemy v formirovanii jekologicheskogo neblagopoluchija Cimljanskogo i Manychskih vodohranilishh [The role of the biotic and abiotic components of the aquatic ecosystem in the formation of ecological troubles of the Tsimlyanskoe and Manych reservoirs] / A.M. Nikanorov, T.A. Horuzhaja // Vodnye resursy [Water Resources]. — 2019. — Vol. 46. — 5. — p. 544-554. — DOI: 10.31857/S0321-0596465544-554. [in Russian]
25. Ostroumov S.A. Biogenyj detrit svjazyvaet Cr, Co, Cd, Cu, Zn: vyjavlenie metodom atomno-absorbcionnoj spektrometrii [Biogenic detritus binds Cr, Co, Cd, Cu, Zn: detection by atomic absorption spectrometry] / S.A. Ostroumov, L.L. Demina // Problemy biogeohimii i geohimicheskoi jekologii [Problems of biogeochemistry and geochemical ecology]. — 2011. — 1(15). — p. 100-106. [in Russian]
26. Ostroumov S.A. Tjazhelye metally (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Cr) v biogenom detrite mikrokosmov s vodnymi organizmami [Heavy metals (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Cr) in the biogenic detritus of microcosms with aquatic organisms] / S.A. Ostroumov, L.L. Demina // Jekologija promyshlennogo proizvodstva [Ecology of industrial production]. — 2010. — 2. — p. 53-56. [in Russian]
27. Perevoznikov M.A. Tjazhelye metally v presnovodnyh jekosistemah [Heavy metals in freshwater ecosystems] / M.A. Perevoznikov, E.A. Bogdanova. — SPb.: State Research Institute of Lake and River Fish Farming, 1999. — 228 p. [in Russian]
28. Sadchikov A.P. Hidrobotanika: Pribrezhno-vodnaja rastitel'nost' [Hydrobotany: Coastal-aquatic vegetation] / A.P. Sadchikov, M.A. Kudrjashov. — M.: Akademija, 2005. — 240 p. [in Russian]
29. Cheljabinskaja oblast'. Atlas [Chelyabinsk region. Atlas] / Ed. by V.V. Latjushina. — Cheljabinsk: Abris, 2010. — 32 p. [in Russian]
30. Dacey J.W.H. Methan efflux from from lake sediments through water lilies / J.W.H. Dacey, M.J. Klug // Science. — 1979. — 203. — p. 1253-1255.
31. Sebacher D.I. Metane emissions to the atmosphere through aquatic plants / D.I. Sebacher, R.C. Harris, K.B. Barlett // J. Environ. Qual. — 1985. — 14. — p. 40-46.
32. Sladeczek V. A guide to limnosaprobical organisms / V. Sladeczek // Water technology. — 1963. — 2. — p. 543-612.