

Применение комплекса наземных методов исследования для диагностики загрязнения и процессов эвтрофирования водохранилищ Кировской области

© 2019. Т. И. Кутявина¹, к. б. н., с. н. с.,
Т. Я. Ашихмина^{1,2}, д. т. н., профессор, г. н. с., зав. лабораторией,
Л. В. Кондакова^{1,2}, д. б. н., профессор,
¹Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,
²Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,
167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,
e-mail: kutyavinati@gmail.com

Проведена оценка состояния четырёх крупнейших водохранилищ Кировской области с использованием комплекса методов физико-химического, биоиндикационного и микробиологического анализов. Определены комбинаторный (КИЗВ) и удельный комбинаторный (УКИЗВ) индексы загрязнённости и классы качества вод. Установлено, что по химическим показателям КИЗВ уменьшается в ряду водохранилищ: Большое Кирсинское – Омутнинское – Чернохолуницкое – Белохолуницкое. Показано, что наибольший вклад в загрязнение водохранилищ вносят аммонийный азот и органические вещества. Выявлено превышение предельно допустимых концентраций для водоемов культурно-бытового использования (ПДК_{к-б}) по железу общему (от 2 до 9,5 ПДК_{к-б}) во всех объектах исследования, в Большом Кирсинском водохранилище – по химическому потреблению кислорода (ХПК) (1,6–1,7 ПДК_{к-б}). В Омутнинском водохранилище выявлены растения-индикаторы органического загрязнения – *Typha latifolia* L. и *Potamogeton natans* L., что согласуется с величиной ХПК (53 мгО/дм³). Установлена положительная реакция ряски *Lemna minor* L., *L. trisulca* L. и многокоренника *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid. на повышенное содержание аммонийного азота в месте выпуска сточных вод в Омутнинское водохранилище, где содержание аммония было в 2,1 раза выше по сравнению с другими участками водоема.

На основании микробиологического анализа воды Омутнинского водохранилища выявлена мезосапробная зона водоема (центральный и приплотинный участки), что подтверждается отношением биологического потребления кислорода к перманганатной окисляемости (в среднем 27%).

Ключевые слова: водохранилище, индекс загрязнения воды, сапробность, эвтрофирование, фитоиндикация.

Application of ground-based research methods for the diagnostics of pollution and eutrophication of water reservoirs of the Kirov region

© 2019. T. I. Kutyavina¹ ORCID: 0000-0001-7957-0636*
T. Ya. Ashikhmina^{1,2} ORCID: 0000-0003-4919-0047*
L. V. Kondakova^{1,2} ORCID: 0000-0002-2190-686X*
¹Vyatka State University,
36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,
²Institute of Biology of Komi Scientific Centre
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Russia, 167982,
e-mail: kutyavinati@gmail.com

The status of the four largest reservoirs of the Kirov region was assessed using a set of methods for physicochemical, bioindicative and microbiological analyzes. The combinatorial index of water pollution (CIWP), the specific combinatorial index of water pollution (SCIWP), and water quality classes are defined. It has been established that in terms of chemical indices CIWP decreases in the series: Bol'shoje Kirsinskoye – Omutninskoye – Chernokholunitskoye – Belokholunitskoye reservoirs. It has been shown that ammonium nitrogen and organic substances make the largest contribution to the pollution of reservoirs. The maximum permissible concentrations for reservoirs of cultural and domestic use (MPC_{c-d}) for total iron (from 2 to 9.5 MPC_{c-d}) are exceeded in all objects of study, in the Bol'shoje Kirsinskoye reservoir – on bichromate oxidation (COD) (1.6–1.7 MPC_{c-d}). In the Omutninsky reservoir, indicator plants for the presence of organic pollution

were found – *Typha latifolia* L. and *Potamogeton natans* L., which is consistent with the COD value (53 mgO/dm^3). It is established the positive reaction of *Lemna minor* L., *L. trisulca* L., *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid. to the increased content of ammonium nitrogen in the place of sewage discharge into the Omutninsky reservoir, where the ammonium content was 2.1 times higher compared to other parts of the reservoir.

Based on the microbiological analysis of the water of the Omutninsky reservoir, the mesosaprobic zone of the reservoir (central and dam sections) was detected, as evidenced by the ratio of biological oxygen consumption during 5 days to permanganate oxidation (an average of 27%).

Keywords: reservoir, water pollution index, saprobity, eutrophication, phytoidication.

Проблема загрязнения поверхностных вод с каждым годом становится всё более актуальной. Связано это в основном с развитием промышленности, ростом городов, поступлением в водоёмы огромного количества загрязняющих веществ, биогенных элементов через сточные воды поселений, сельскохозяйственных угодий, промышленных предприятий, что приводит к значительному увеличению количества эвтрофированных водоёмов, деградации в них как отдельных компонентов экосистемы, так и целых сообществ организмов [1–2]. Эвтрофикация приводит к снижению рыбохозяйственного и рекреационного потенциала водоёмов, оказывает негативное влияние на системы очистки воды из водных объектов для питьевого водоснабжения [3, 4]. При эвтрофикации часто наблюдается «цветение» воды, а также массовое развитие высших водных растений. В настоящее время антропогенная эвтрофикация является одним из важнейших факторов негативного воздействия промышленной, сельскохозяйственной и иной деятельности на водные объекты [2]. Решение проблем по снижению эвтрофирования водоёмов – актуальная задача современной науки и практики. Необходимо получать более точные количественные оценки, выявлять наиболее значимые информативные факторы в развитии процессов загрязнения водных объектов и их эвтрофирования, разрабатывать оптимальные методы и алгоритмы диагностики процессов эвтрофирования водоёмов для разработки мер по их социальной защите и реабилитации.

Цель работы – оценить состояние водохранилищ Кировской области с использованием комплекса наземных методов исследования.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили самые крупные водохранилища (пруды) Кировской области: Белохолуницкое, Омутнинское, Большое Кирсинское и Чернохолуницкое. Согласно классификации по положению в географической зоне [5], все объекты ис-

следования являются лесными, по приуроченности к макрорельефу – равнинными, по площади водного зеркала [6] – небольшими. Общими чертами для всех водоёмов являются сходные природно-климатические условия. Растительность и животный мир в районах расположения водоёмов типичны для таёжной полосы. Все водохранилища созданы в XVIII веке в районах добычи и разработки железных руд. С момента создания до середины XX в. они выполняли общую функцию – обеспечение водоснабжения металлургического производства. Основные отличия водоёмов, выявленные по данным полевых исследований и анализу космоснимков, состоят в морфометрических параметрах, разной ориентации в пространстве, форме чаши и изрезанности береговой линии, в интенсивности водообмена, степени антропогенной нагрузки и в развитии процессов эвтрофикации [7]. Наиболее освоены и интенсивно используются берега в приплотинных участках водохранилищ. Источниками загрязнения на берегах водоёмов являются металлургические производства, объекты лёгкой промышленности, автодороги, населённые пункты, садоводческие общества. На Омутнинском водохранилище с 2010 г. фиксируется интенсивное «цветение» воды, что свидетельствует о развитии процессов эвтрофирования в данном водоёме. При этом наиболее явно «цветение» проявляется на приплотинном участке, где отсутствует высшая водная растительность и поступает неорганизованный ливневый сток с городской застройки. Интенсивность «цветения» подтверждается величиной оптической плотности (D) воды, отобранной у поверхности (0,3 м): она варьирует в пределах $D = 0,15–0,22$ при измерении в кювете с толщиной поглощающего слоя 1 см и длине волны 615 нм [8].

Наблюдения проводились на акватории исследуемых водохранилищ в течение 2011–2018 гг. Пробы воды для проведения физико-химического анализа, определения видового состава водорослей и микробиологического анализа отбирали несколько раз в течение летне-осеннего периода: в июне, августе

и октябре. Границы водохранилищ и степень зарастания высшей водной растительностью уточнялись по космоснимкам [7].

Физико-химический анализ проб воды проводили в аккредитованной лаборатории по аттестованным методикам. Результаты анализа сравнивали с предельно-допустимыми концентрациями для водоёмов культурно-бытового назначения (ПДК_{к-б}) и использовали для расчёта комбинаторного (КИЗВ) и удельного комбинаторного (УКИЗВ) индексов загрязнённости воды.

Кроме физико-химических методов анализа в работе применяли три метода биологических исследований: биоиндикация (фито- и зооиндикация), биотестирование и микробиологический анализ. В данной статье приведены результаты фитоиндикации и микробиологического анализа.

Доминантные виды высших водных и прибрежно-водных растений и их расположение в водоёме фиксировали во время маршрутного обследования акватории и береговой линии, проводимого с моторной лодки. Для выявления индикаторных видов растений использовали списки растений-индикаторов загрязнения и эвтрофирования различных водных объектов [9].

Для микробиологического анализа проб воды применяли чашечный метод количественного учёта микроорганизмов [10].

Результаты и обсуждение

В ходе выявления степени развития процессов эвтрофикации было проведено комплексное исследование экологического состояния Белохолуницкого, Омутнинского, Большого Кирсинского и Чернохолуницкого водохранилищ с использованием наземных методов исследования.

Гидрохимический анализ проб воды из исследуемых водохранилищ проводили в летне-осенний сезон в течение 2011–2014 гг. Результаты физико-химического анализа представлены в таблице 1. В 2016–2018 гг. дополнительно проводили анализ проб воды из Омутнинского и Большого Кирсинского водохранилищ для контроля качества воды в них, так как данные водоёмы в большей степени, по сравнению с Белохолуницким и Чернохолуницким прудами, подвержены загрязнению.

Согласно полученным результатам (табл. 1), в воде всех изучаемых водохранилищ отмечается превышение ПДК_{к-б} по содержанию общего железа, в Большом Кирсинском пруду – по химическому потреблению кислорода (ХПК). Значения всех остальных показателей намного ниже ПДК_{к-б}.

Водородный показатель (рН) в изучаемых водоёмах варьирует в пределах от 6,1 до 8,6 ед. В зависимости от величины рН воды Белохолуницкого водохранилища относятся к слабощелочным, Омутнинского и Чернохолуницкого – к нейтральным, Большого Кирсинского – к слабокислым. Известно, что нормальное развитие жизни водных организмов идёт при нейтральной или слабощелочной реакции среды [11].

В водоёмах с кислой реакцией среды фотосинтетические процессы ослаблены, вследствие чего развитие бактерий, водорослей и зоопланктона угнетается. Низкое значение рН в воде Большого Кирсинского водохранилища объясняется присутствием гумусовых кислот в почве и болотных водах, питающих пруд. Снижение рН до 5,5 ед. может вызвать значительные изменения в видовом составе живых организмов водоёма.

Содержание биогенных элементов во всех водохранилищах невысокое. Из неорганических форм азота в изучаемых водоёмах преобладает аммонийный азот. Известно, что присутствие в незагрязнённых поверхностных водах ионов аммония связано главным образом с процессами аммонификации азотсодержащих органических веществ (ОВ), находящихся в воде в результате прижизненных выделений и посмертных остатков водных организмов. Основными источниками дополнительного попадания аммонийного азота в водоёмы являются животноводческие фермы, хозяйственно-бытовые сточные воды, поверхностный сток с сельхозугодий в случае использования аммонийных удобрений, а также сточные воды предприятий пищевой, коксохимической, лесохимической и химической промышленности [12]. Наименьшие концентрации ионов аммония отмечены в Белохолуницком водохранилище, наибольшие – в Большом Кирсинском. Во всех прудах, кроме Чернохолуницкого, содержание аммонийного азота на всей акватории практически не изменяется. В Чернохолуницком водохранилище, в его средней части, концентрация аммония выше, чем в верховье и приплотинной части. Вероятно, это связано с поступлением в водоём с поверхностным стоком хозяйственно-бытовых сточных вод с территории пос. Чёрная Холуница, который расположен на правом берегу в средней части водохранилища. По содержанию аммонийного азота Белохолуницкий пруд является умеренно загрязнённым,

Таблица 1 / Table 1

Среднее содержание химических компонентов в пробах воды из водохранилищ на северо-востоке Кировской области в 2011–2014 гг.

The average content of chemical components in water samples from reservoirs in the northeast of the Kirov region in 2011–2014

Компоненты, единицы измерения / Components, units	Водохранилище / Reservoir											
	Белохолуницкое / Belokholunitskoye			Омутнинское / Omutninskoye			Большое Кирсинское / Bol'shoye Kirsinskoye			Чернохолуницкое / Chernokholunitskoye		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Водородный показатель, ед. рН / рН, unit of рН	8,0	7,6	8,6	7,0	7,0	6,8	6,1	6,3	6,4	6,8	6,8	6,6
NH_4^+ , мг/дм ³ / mg/dm ³	0,43	0,45	0,41	0,58	0,54	0,49	1,50	1,41	1,40	0,42	0,79	0,46
NO_2^- , мг/дм ³ / mg/dm ³	0,037	0,046	0,038	<0,02	<0,02	<0,02	0,027	0,027	0,026	<0,02	<0,02	<0,02
NO_3^- , мг/дм ³ / mg/dm ³	<0,1	<0,1	<0,1	0,25	0,31	<0,1	<0,1	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
PO_4^{3-} , мг/дм ³ / mg/dm ³	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Fe_{total} , мг/дм ³ / mg/dm ³	0,73	0,66	0,60	0,67	0,65	0,74	2,57	2,85	2,70	0,63	0,71	0,66
ХПК, мгО/дм ³ / COD, mgO/dm ³	19	21	18	15	21	17	48	51	51	15	13	13
Растворённый кислород, мг/дм ³ / Dissolved oxygen, mg/dm ³	–	5,04	–	5,63	6,20	6,27	4,31	4,53	5,04	5,82	5,66	5,29
Цветность, градусы цветности / Chromaticity, degrees of chromaticity	59	85	64	51	54	56	212	398	212	44	44	42

Примечание: цифрами обозначены участки водохранилищ: 1 – верховье, 2 – центральный, 3 – приплотинный; «–» обозначает отсутствие данных.

Note: the numbers denote parts of the reservoirs: 1 – upper, 2 – central, 3 – near the dam; “–” indicates the absence of data.

Омутнинский и Чернохолуницкий – загрязнёнными, Большой Кирсинский – грязным. К 2018 г. содержание аммонийного и нитритного азота в Большом Кирсинском водохранилище возросло в 2 раза по сравнению с 2014 г. и составило 3,2 и 0,22 мг/дм³ соответственно, что указывает на ухудшение санитарного состояния водного объекта и увеличение поступления бытовых и сельскохозяйственных сточных вод с водосбора.

Содержание фосфат-ионов во всех водохранилищах в течение 2011–2014 гг. было ниже предела обнаружения методики ПНД Ф 14.1:2:4.112-97 (0,05 мг/дм³). Начиная с 2016 г., в центральном и приплотинном

участках Омутнинского водохранилища концентрация фосфат-ионов возросла до 0,08, а в Большом Кирсинском пруду – до 0,11 мг/дм³. Известно, что при минимальном количестве нитратов и фосфатов и высоком содержании ОВ в водоёме идёт быстрое развитие цианобактерий (ЦБ) [13]. Подобная закономерность отмечена нами в Омутнинском водохранилище, в котором в 2011 и 2012 гг. наблюдалось очень интенсивное «цветение» воды. В составе доминантов «цветения» (рис. 1, см. цв. вкладку) были обнаружены три вида ЦБ: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena spiroides*, *Microcystis aeruginosa*, которые чаще всего отмечаются в эвтрофированных водоёмах

Европейской части России [14]. В Большом Кирсинском водохранилище, в воде которого также содержится много ОВ, такого массового развития ЦБ не отмечено, что связано, скорее всего, с низким значением рН в воде этого водоёма. В период наблюдений с 2011 по 2018 гг. минимальное значение рН в этом водоёме составляло 5,3 ед., а максимальное – 6,9 ед.

Соотношение неорганических форм азота и фосфора во всех изучаемых водохранилищах менее 5. Согласно литературным данным, в данном случае развитие фитопланктона лимитирует азот [13].

Концентрации железа в отобранных пробах воды были выше установленных нормативов и составляли от 2 до 9,5 ПДК_{к-б.}. Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, сопровождающиеся их механическим разрушением и растворением, значительные количества поступают с подземным стоком и со сточными водами предприятий металлургической, металлообрабатывающей, текстильной, лакокрасочной промышленности, с сельскохозяйственными стоками. Повышенное содержание железа обычно наблюдается в болотных водах. Наибольшее содержание общего железа отмечено в воде Большого Кирсинского пруда, что, скорее всего, связано с поступлением в водоём болотных вод. Как отмечалось ранее [7], все изучаемые водоёмы расположены в одном физико-географическом округе, вблизи месторождений железных руд, что также оказывает влияние на содержание железа в почвах и воде данных территорий. Увеличение содержания железа в воде Омутнинского пруда в его приплотинной части, вероятно, связано с влиянием металлургического завода и периодическим укреплением откосов плотины доменным шлаком.

Значения ХПК в изучаемых водохранилищах изменялись от 0,4 до 1,7 ПДК_{к-б.}.

Показатель ХПК позволяет делать выводы о количественном содержании трудноокисляемых ОВ в воде. Состав ОВ в природных водах формируется под влиянием внутриводоёмных биохимических процессов продуцирования и трансформации, поступления из других водных объектов, с поверхностными и подземными стоками, с атмосферными осадками, с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами. Наибольшие значения ХПК зафиксированы в Большом Кирсинском пруду на всей его акватории, наименьшие – в Чернохолуницком пруду. Источником поступления ОВ в Большое Кирсинское водохранилище, скорее всего, являются воды, поступающие с участков торфоразработок, расположенных выше водоёма, и из Кирсового болота. Довольно высокие значения ХПК отмечены в центральном участке Омутнинского водохранилища (табл. 2), что может быть связано с поступлением бытовых сточных вод с территории садоводческих обществ. Перманганатная окисляемость на данной акватории также была выше по сравнению с другими участками (10,8 и 7,9 мгО/дм³ соответственно). Высокое значение ХПК в верховье водоёма, зафиксированное в 2012 и 2014 гг., может быть связано с природными факторами. Повышенное содержание веществ органической природы при низком содержании нитрат- и фосфат-ионов могут стимулировать интенсивное развитие в водоёме ЦБ [15]. Массовое «цветение» воды в центральной части Омутнинского водохранилища соотносится с большим запасом растворённых ОВ в воде на этой акватории (рис. 1, см. цв. вкладку). Также на данном участке отмечены высшие растения-индикаторы загрязнения ОВ (*Typha latifolia* L.) и биогенными веществами – *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid, *Lemna minor* L. и *L. trisulca* L. Последние три вида были встречены нами в 2011 г. в месте выпуска сточных вод санатория-профилактория, расположенного на берегу водоёма. Содер-

Таблица 2 / Table 2

Химическое потребление кислорода (ХПК) в разных участках Омутнинского водохранилища в 2011–2016 гг., мгО/дм³

Bichromate oxidability (COD) in different parts of the Omutninsky reservoir in 2011–2016, mgO/dm³

Год исследования Year of study	Участок водохранилища / Reservoir area		
	верховье / headwater	центральный / central	приплотинный / near the dam
2011	27,3	27,0	26,8
2012	63	53	50
2013	15	21	17
2014	37	37	33
2016	32	43	31

Т. И. КУТЯВИНА, Т. Я. АШИХМИНА, Л. В. КОНДАКОВА
«ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА НАЗЕМНЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ
ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ПРОЦЕССОВ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ», С. 44

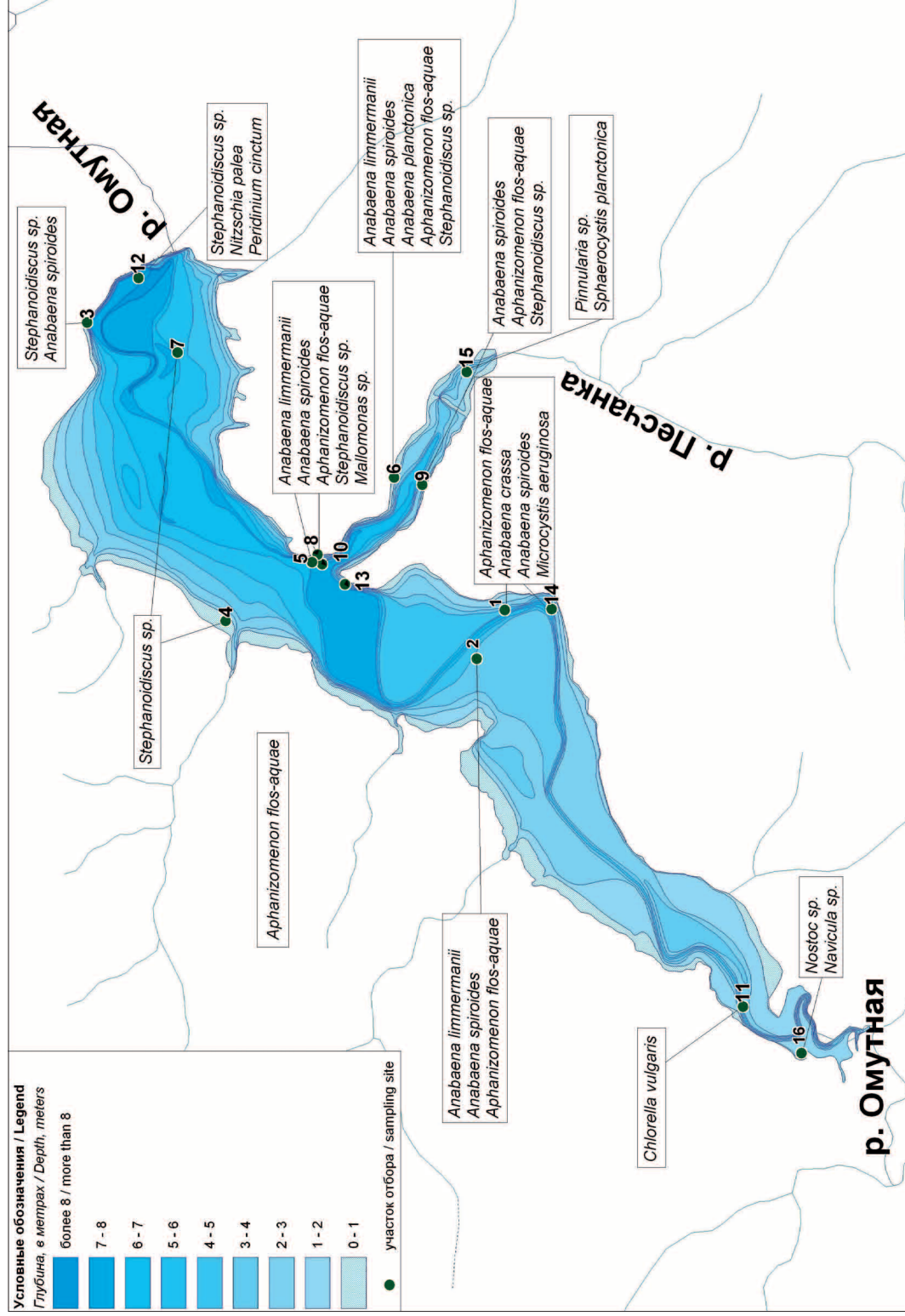


Рис. 1. Распределение доминантных видов водорослей по акватории Омутинского водохранилища в 2011 г.
Fig. 1. Distribution of dominant species of algae in the Omutninsky reservoir in 2011

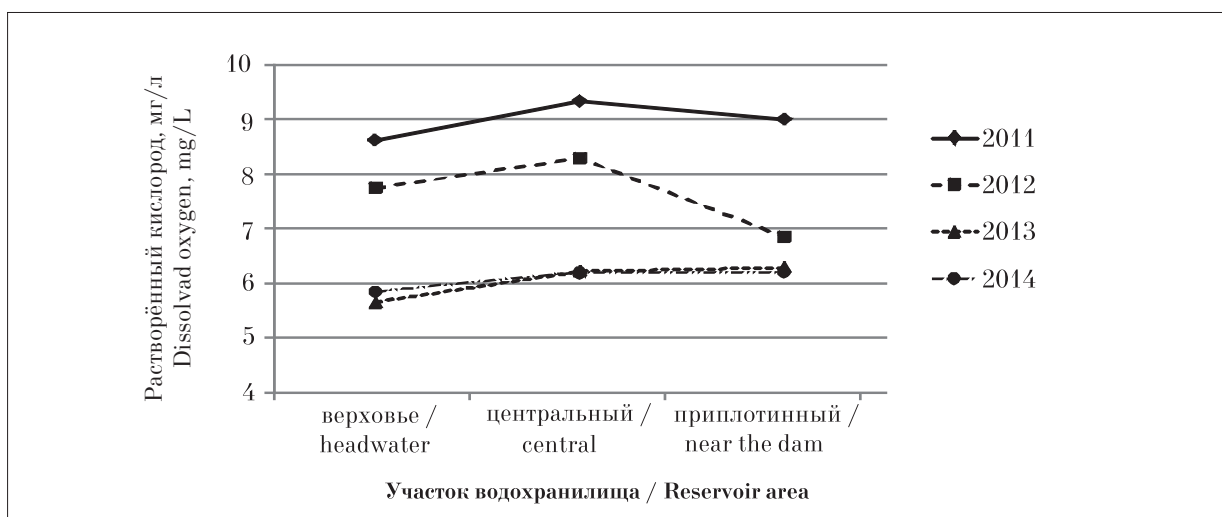


Рис. 2. Содержание растворённого кислорода в воде Омутнинского водохранилища в 2011–2014 гг.
 Fig. 2. The content of dissolved oxygen in the water of the Omutninsky reservoir in 2011–2014

Таблица 3 / Table 3

Классы качества воды для водохранилищ северо-востока Кировской области
 (средние значения по данным химического анализа за 2011–2014 гг.)
 Water quality classes for reservoirs in the northeast of the Kirov region
 (average values according to chemical analysis data for 2011–2014)

Название водохранилища / Reservoir name	КИЗВ / CIWP	УКИЗВ/ класс качества, характеристика SCIWP / quality class, characteristic
Белохолуницкое Belokholunitskoye	12,82	1,07/ II, слабозагрязнённая low polluted water
Омутнинское Omutninskoye	26,25	2,19/ III, загрязнённая polluted water
Большое Кирсинское Bol'shoje Kirsinskoye	31,83	2,65/ III, загрязнённая polluted water
Чернохолуницкое Chernokholunitskoye	13,76	1,15/ II, слабозагрязнённая low polluted water

жание аммонийного азота на этой акватории в 2011 г. достигало 1,14 мг/дм³, в то время как на других участках составляло в среднем 0,54 мг/дм³. После ввода в эксплуатацию новых очистных сооружений санатория в 2012 г., *S. polyrhiza* (L.) Schleid, *L. minor* L. и *L. trisulca* L. в центральной части Омутнинского пруда нами обнаружены не были.

Концентрация растворённого кислорода во всех изучаемых водохранилищах довольно низкая. К процессам, уменьшающим содержание кислорода в воде, относятся реакции потребления его на дыхание водных организмов, биохимическое окисление ОВ, а также химическое окисление Fe²⁺, Mn²⁺, NO₂⁻, NH₄⁺, CH₄, H₂S. Скорость потребления кислорода увеличивается с повышением температуры, количества бактерий и других водных организмов и веществ, подвергающихся химическому и биохимическому окислению. Наименьшие значения по содержанию рас-

творённого кислорода были отмечены в Большом Кирсинском водохранилище. Полученные результаты согласуются с данными о высоком содержании ОВ в этом водоёме. Этот факт свидетельствует о неблагоприятной обстановке в данном водохранилище, так как низкое содержание растворённого кислорода и высокая концентрация ОВ негативно влияет на жизнедеятельность гидробионтов, в частности инфузорий [16]. Неблагоприятно на кислородном режиме водохранилища отражается низкая интенсивность водообмена, коэффициент водообмена (*k*) составляет всего 0,9 ед., в то время как в Белохолуницком водохранилище он достигает 9,4 ед. В Омутнинском водохранилище на протяжении 2011–2014 гг. отмечалось снижение концентрации растворённого кислорода в воде с 9 до 6 мг/дм³ (рис. 2), однако к 2018 г. его содержание в воде возросло в среднем до 7,3 мг/дм³. Для данного водоёма характерна

средняя интенсивность водообмена по сравнению с другими объектами исследования, $k = 4,4$ ед.

По результатам гидрохимического анализа за 2011–2014 гг. рассчитаны КИЗВ и УКИЗВ (табл. 3).

Согласно рассчитанным индексам (табл. 3), вода в Белохолуницком и Чернохолуницком водохранилищах является менее загрязнённой, чем в двух других водоёмах. Наибольшей загрязнённостью характеризуются Большое Кирсинское и Омутнинское водохранилища. Загрязнение воды Большого Кирсинского пруда наблюдается по содержанию аммонийного азота, общего железа, значениям ХПК. В водоёме отмечена слабокислая реакция среды (табл. 1), что неблагоприятно влияет на состояние водоёма и живых организмов. Загрязнение данного пруда ОВ в основном вызвано проводимыми ранее торфоразработками. Загрязнение воды Омутнинского пруда наблюдается по содержанию железа, аммония и ХПК. По отношению БПК₅/перманганатная окисляемость (в среднем 27%) установлено, что Омутнинское водохранилище испытывает сильное сапробное загрязнение. Это подтверждается результатами микробиологического анализа, согласно которому вода в центральном и приплотинном участках по степени развития гетеротрофных микроорганизмов относится к мезосапробной зоне (средняя численность микроорганизмов в воде варьировала в пределах от 4700 до 59000 КОЕ/мл). Согласно классификации водоёмов по бактериальным показателям вода в верховье водоёма является «удовлетворительно чистой», в средней части соответствует классу качества воды «загрязнённая», в приплотинной – «грязная». Загрязнение Омутнинского водохранилища ОВ связано с поступлением загрязняющих веществ в водоём с хозяйственно-бытовыми сточными водами и поверхностным ливневым стоком, с влиянием промышленных предприятий.

Повышенное содержание биогенных элементов и ОВ в Омутнинском водохранилище оказывают влияние на развитие водных растений, что подтверждается обнаружением индикаторных видов растений в центральном и приплотинном участках водоёма. Белохолуницкое водохранилище, согласно индексам КИЗВ и УКИЗВ (табл. 3), подвержено загрязнению в меньшей степени. Для этого водоёма отмечена невысокая антропогенная нагрузка и высокая скорость водообмена, что способствует самоочищению воды.

Согласно классификации качества вод по трофо-сапробным показателям (растворённый кислород, содержание биогенных элементов и ОВ), предложенной в ГОСТ 17.1.2.04-77, все изучаемые водохранилища являются β-мезосапробными, что по трофической шкале классификации водоёмов соответствует эвтрофному классу.

Заключение

Таким образом, проведена экологическая оценка четырёх крупнейших водохранилищ Кировской области с применением комплекса наземных методов исследования. Определено, что наибольшая природно-техногенная нагрузка характерна для Омутнинского водохранилища. Её природная составляющая обусловлена влиянием болот, расположенных на территории вблизи впадения р. Омутной в пруд, холмистого рельефа водосборной площади пруда в центральном и приплотинном участках, развитием эрозионных процессов, что в первую очередь подтверждается высоким содержанием общего железа в воде. Вклад в техногенную нагрузку вносят металлургический завод и городская застройка, расположенные в приплотинной части, лечебно-оздоровительные учреждения и садоводческие общества в центральной части водоёма, о чём свидетельствуют высокое содержание в воде ОВ, аммонийного азота, массовое развитие сапротрофных бактерий и интенсивное «цветение» воды.

Высокую природно-техногенную нагрузку испытывает Большое Кирсинское водохранилище. Его характерными природными особенностями является расположение в районе преобладания болотно-подзолистых почв и питание водами Кирсового болота, расположенного выше по течению р. Дальняя, что отражается на содержании в воде железа общего, показателях рН и цветности. Техногенная нагрузка на водоём обусловлена влиянием торфоразработок на Кирсовом болоте, жилой и промышленной застройкой г. Кирса. Водоохранилище характеризуется меньшей проточностью по сравнению с Омутнинским водохранилищем, что неблагоприятно влияет на кислородный режим пруда. Белохолуницкий пруд, по сравнению с водоёмами в г. Кирсе и г. Омутнинске, испытывает меньшую нагрузку. Природные условия, в которых создано и функционирует водохранилище, практически не влияют на поступление загрязняющих веществ в водоём. Наименьшая

природно-техногенная нагрузка в настоящее время отмечена для Чернохолуницкого пруда. Она складывается из влияния немногочисленных болот, расположенных выше по течению р. Чёрная Холуница (верховье пруда) и жилой застройки одноимённого посёлка в приплотинной части, что проявляется в повышенном содержании аммонийного азота в центральном участке водохранилища.

Использование в работе комплекса физико-химических, микробиологических методов анализа и биоиндикации позволило выявить участки водохранилищ, наиболее подверженные загрязнению и эвтрофированию, оценить влияние природных и антропогенных факторов на формирование качества воды прудов.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых учёных – кандидатов наук (МК-86.2019.5).

Литература

1. Rast W., Thornton J.A. Trends in eutrophication research and control // *Hydrological processes*. 1996. V. 10. P. 295–313.
2. Oliver S., Corburn J., Ribeiro H. Challenges regarding water quality of eutrophic reservoirs in urban landscapes: A mapping literature review // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019. V. 16. No. 1. 40. [Электронный ресурс] <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/1/40/html> (Дата обращения: 21.05.2019).
3. Farley M. Eutrophication in fresh waters: An international review. In: *Encyclopedia of lakes and reservoirs*. Encyclopedia of Earth Sciences Series / Eds. L. Bengtsson, R.W. Herschy, R.W. Fairbridge. Springer, Dordrecht. 2012. [Internet resource] https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-1-4020-4410-6_79#howtocite (Дата обращения: 18.02.2019).
4. Paerl H.W. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters // *Limnol. Oceanogr.* 1988. V. 33. No. 4 (Part 2). P. 823–847.
5. Дьяконов К.Н., Аношко В.С. Мелиоративная география. М.: Изд-во МГУ, 1995. 254 с.
6. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 325 с.
7. Кутявина Т.И., Домнина Е.А., Ашихмина Т.Я., Савиных В.П. Морфометрические, гидрохимические и биологические особенности прудов Северо-Востока Кировской области // *Теоретическая и прикладная экология*. 2013. № 2. С. 50–55.
8. Кутявина Т.И., Олькова А.С. Проблемы эксплуатации и экологического состояния Омутнинского водохранилища Кировской области // *Учёные записки*

Петрозаводского государственного университета. 2016. № 8 (161). С. 66–73.

9. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Гидробиотика: Прибрежно-водная растительность. М.: Издательский центр «Академия», 2005. 240 с.
10. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. М.: Дрофа, 2004. 256 с.
11. Сокольский А.Ф. Биопродуктивность малых озёр. Астрахань: Изд-во БИВЦ «Каспрыба», 1995. 310 с.
12. Петин А.Н., Лебедева М.Г., Крымская О.В. Анализ и оценка качества поверхностных вод. Учебное пособие. Белгород: Изд-во БелГУ, 2006. 252 с.
13. Yoshimasa Y., Hajime T., Yuko M. Relationship between environmental factors and the formation of cyanobacterial blooms in a eutrophic pond in central Japan // *Algological Studies*. 2010. V. 134. No. 1. P. 25–39.
14. Водоросли, вызывающие «цветение» водоёмов Северо-Запада России. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 367 с.
15. Smith V.H., Tilman G.D., Nekola J.C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems // *Environmental Pollution*. 1999. V. 100. P. 179–196.
16. Садчиков А.П., Котелевцев И.С. Можайское водохранилище: продукционно-деструкционные процессы. [Электронный ресурс] http://www.moip.msu.ru/wp-content/uploads/2011/09/Mojajskoi_vodohr.pdf (Дата обращения: 22.10.2017).

References

1. Rast W., Thornton J.A. Trends in eutrophication research and control // *Hydrological processes*. 1996. V. 10. P. 295–313.
2. Oliver S., Corburn J., Ribeiro H. Challenges regarding water quality of eutrophic reservoirs in urban landscapes: A mapping literature review // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019. V. 16. No. 1. 40. [Электронный ресурс] <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/1/40/html> (Accessed: 21.05.2019). doi: 10.3390/ijerph16010040.
3. Farley M. Eutrophication in fresh waters: An international review // *Encyclopedia of lakes and reservoirs*. Encyclopedia of Earth sciences series / Eds. L. Bengtsson, R.W. Herschy, R.W. Fairbridge. Springer, Dordrecht. 2012. [Internet resource] https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-1-4020-4410-6_79#howtocite (Accessed: 18.02.2019). doi: 10.1007/978-1-4020-4410-6.
4. Paerl H.W. Nuisance phytoplankton blooms in coastal, estuarine and inland waters // *Limnol. Oceanogr.* 1988. V. 33. No. 4 (Part 2). P. 823–847.
5. Dyakonov K.N., Anoshko V.S. Reclamation geography. Moskva: Izd-vo MGU, 1995. 254 p. (in Russian).
6. Avakyan A.B., Saltankin V.P., Sharapov V.A. Reservoirs. Moskva: Mysl', 1987. 325 p. (in Russian).

7. Kut'yavina T.I., Domnina E.A., Ashikhmina T.Ya., Savinykh V.P. Morphometric, hydrochemical and biological features of the ponds of the North-East of the Kirov region // *Theoretical and Applied Ecology*. 2013. No. 2. P. 50–55. doi: 10.25750/1995-4301-2013-2-050-055 (in Russian).
8. Kut'yavina T.I., Olkova A.S. Problems of operation and ecological condition of the Omutninsky reservoir of the Kirov region // *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2016. No. 8 (161). P. 66–73 (in Russian).
9. Sadchikov A.P., Kudryashov M.A. *Hydrobotany: Coastal aquatic vegetation*. Moskva: Izdatelskiy tsentr Akademiya, 2005. 240 p. (in Russian).
10. Tepper E.Z., Shilnikova V.K., Pereverzeva G.I. *Practical work in microbiology*. Moskva: Drofa, 2004. 256 p. (in Russian).
11. Sokolskiy A.F. *Bioproductivity of small lakes*. Astrakhan: Izd-vo BIVTs Kaspyba, 1995. 310 p. (in Russian).
12. Petin A.N., Lebedeva M.G., Krymskaya O.V. Analysis and assessment of surface water quality. *Uchebnoe posobie*. Belgorod: Izd-vo BelGU, 2006. 252 p. (in Russian).
13. Yoshimasa Y., Hajime T., Yuko M. Relationship between environmental factors and the formation of cyanobacterial blooms in a eutrophic pond in central Japan // *Algological Studies*. 2010. V. 134. No. 1. P. 25–39. doi: 10.1127/1864-1318/2010/0134-0025
14. *Algae, causing “flowering” of water bodies of the North-West of Russia*. Moskva: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2006. 367 p. (in Russian).
15. Smith V.H., Tilman G.D., Nekola J.C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems // *Environmental Pollution*. 1999. V. 100. P. 179–196. PMID: 15093117.
16. Sadchikov A.P., Kotelevtsev I.S. Mozhaisk reservoir: production and destruction processes [Internet resource] http://www.moip.msu.ru/wp-content/uploads/2011/09/Mojaiskoi_vodohr.pdf (Accessed: 22.10.2017) (in Russian).