ОБЗОРЫ

УДК 556.555.8(282.247.12) doi: 10.33933/2074-2762-2021-62-139-161

Ладожское озеро — геостратегический водный объект Северо-Запада России и его зоны экологического риска

Ш.Р. Поздняков, С.А. Кондратьев, А.М. Расулова, К.Д. Коробченкова

Институт озероведения Российской академии наук — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Санкт-Петербург, kondratyev@limno.org.ru

Геостратегическое значение Ладожского озера определяется тем, что оно является источником водоснабжения Санкт-Петербурга и населенных пунктов Ленинградской области и Карелии, элементом Волго-Балтийского водного пути, уникальным объектом с богатейшим туристско-рекреационным потенциалом, а также водоемом рыбохозяйственного значения. Все перечисленные выше факторы зависят от экологического состояния Ладоги. Постоянный мониторинг существующих зон экологического риска является необходимым условием сохранения уникального водоема, каким является Ладожское озеро, и предотвращения возникновения катастрофических ситуаций, связанных с возможным неконтролируемым негативным воздействием этих зон на весь водоем.

Ключевые слова: Ладожское озеро, экологический риск, геостратегическое значение, мониторинг экологического состояния.

Lake Ladoga is a geostrategic water body in the North-West of Russia and its zone of environmental risk

Sh.R. Pozdnyakov, S.A. Kondratyev, A.M. Rasulova, K.D. Korobchenkova

Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences — a separate structural unit of the Federal State Budgetary Institution of Science “St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences”, St. Petersburg, kondratyev@limno.org.ru

The geostrategic significance of Lake Ladoga in the North-West of Russia is determined by the fact that it is a source of drinking water supply of St. Petersburg and settlements in the Leningrad region and Karelia, a part of the Volga-Baltic waterway, a unique natural object having a great tourist and recreational potential, as well as a fishery water body. All of the above factors directly depend on the present ecological state of Lake Ladoga. Despite the stabilization of the ecological situation of the lake as a whole, there are a number of zones of ecological risk, located mainly in the coastal shallow water area, which requires constant monitoring. These are the bays in the northern part of the lake that receive wastewater from settlements and industrial enterprises, having a slow water exchange with the central part of the lake, as well as the places where polluted tributaries, both large (Volkhov, Syas, Svir) and relatively small (Naziya, Morye, Kabona), enter the lake. Constant monitoring of existing zones of ecological risk is a prerequisite for preserving the unique reservoir, which is Lake Ladoga, and preventing catastrophic situations associated with possible uncontrolled negative impact of these zones on the entire reservoir. However, the existing system of state monitoring of water bodies is not very effective in this case, both in terms of the list of controlled substances and the location of observation points, and in terms of sampling frequency. In 2017, the draft of

the federal law "On the protection of the Ladoga and Onega lakes" was submitted to the State Duma by the Legislative Assembly of the Republic Karelia. However, the State Duma rejected the draft of this law in the first reading due to insufficient elaboration.

Keywords: Lake Ladoga, ecological risk, geostrategic significance, ecological state monitoring.

For citation: *Sh.R. Pozdnyakov, S.A. Kondratyev, A.M. Rasulova, K.D. Korobchenkova.* Lake Ladoga is a geostrategic water body in the North-West of Russia and its zone of environmental risk. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Journal of Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2021. 62: 139—161. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2021-62-139-161

Введение

Ладожское озеро площадью 17 680 км^2 с объемом водной массы 848 км^3 и суммарной площадью водосбора более 283 000 км^2 является крупнейшим пресноводным водоемом Европы [1—5]. Водосбор Ладоги размещен в пределах семи субъектов Российской Федерации: Ленинградской области (39 % от площади российской части водосбора), Карелии (29 %), Новгородской (17 %), Псковской (6 %), Тверской (4 %), Вологодской (3 %) и Архангельской (2 %). Воды Ладожского озера практически полностью определяют сток реки Невы, который оказывает существенное воздействие на состояние и формирование вод Балтийского моря, расположенного у побережий трех стран Финского залива. Ладожское озеро (и его водосбор) имеет следующие геостратегические значения для Северо-Запада России [6—8]:

— источник водоснабжения Санкт-Петербурга и множества населенных пунктов Ленинградской области и Карелии;

— элемент Волго-Балтийского водного пути;

— уникальный природный комплекс, обладающий богатейшим туристско-рекреационным потенциалом;

— объект рыбохозяйственного значения.

В течение нескольких десятилетий прошлого века из-за несовершенства и несоблюдения природоохранного законодательства промышленными, сельскохозяйственными и жилищно-коммунальными предприятиями, судоходными, рыболовецкими и туристическими компаниями, а также иными организациями состоянию экосистемы Ладожского озера и прибрежной зоны был нанесен значительный ущерб. В 1960—80-е годы Ладога совершила стремительный скачок из олиготрофного состояния в мезотрофное, отдельные районы приобрели черты эвтрофных водоемов. Закрытие в 1986 г. Приозерского целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК) по инициативе Института озероведения и последующий экономический спад 1990-х годов привели к снижению антропогенной нагрузки на озеро и способствовали постепенному улучшению его состояния. Несмотря на некоторую стабилизацию экологических условий в Ладожском озере, проблема улучшения качества его воды и состояния прибрежной зоны продолжает оставаться актуальной.

Целью работы является обоснование геостратегического значения Ладожского озера и необходимости постоянного мониторинга существующих зон экологического риска.

Ладожское озеро как источник водоснабжения Санкт-Петербурга и населенных пунктов Ленинградской области и Карелии

Особую важность в последние годы приобретает проблема поиска альтернативного источника водоснабжения Санкт-Петербурга и других населенных пунктов Приладожья. Забор воды для Санкт-Петербурга в настоящее время осуществляется из реки Невы, качество воды в которой оставляет желать лучшего. Сложность решения задачи заключается в том, что морфометрическая неоднородность Ладожского озера, определяющая неоднородность гидрофизических, гидрохимических и гидробиологических характеристик, приводит к различной степени загрязнения отдельных озерных районов в результате антропогенного воздействия на него. Организация выбора местоположения возможных водозаборов на акватории Ладоги заключается, прежде всего, в определении района озера, обладающего значительным объемом чистой воды и подверженного минимальным воздействиям загрязненных или потенциально загрязненных вод, поступающих с водосбора или от других источников. Объем воды в указанном районе должен обеспечивать бесперебойное снабжение населенного пункта или промышленного предприятия водой со стабильными гидрохимическими и гидробиологическими характеристиками в течение длительного промежутка времени.

Организация водозабора на акватории Ладожского озера должна выполняться не только на основе существующих в настоящее время показателей качества воды, но и учитывать перспективы изменения антропогенной нагрузки на него и возможности потенциального попадания загрязняющих веществ в точку расположения водозабора. Перенос примесей и формирование качества воды в крупном водоеме в значительной мере определяется характером динамических явлений, возникающих под действием гидрологических и метеорологических факторов, и в первую очередь течений и турбулентности. Наиболее значимыми динамическими явлениями в озере являются циклоническая циркуляция в период существования вертикальной термической фронтальной зоны (термобара), горизонтальный термический фронт (термоклин), апвеллинги, ветровые и инерционные течения. Внутриводоемные процессы, не связанные с внешней нагрузкой, в гораздо меньшей степени (по сравнению с внешними факторами) воздействуют на качество воды Ладожского озера, особенно в центральной его части. На основе выполненных в Институте озероведения исследований установлено, что те объемы воды, которые потенциально могут быть использованы для питьевого водоснабжения Санкт-Петербурга и других крупных населенных пунктов Приладожья, находятся в западной и юго-западной частях акватории Ладожского озера с глубинами более 20 и 50 м (рис. 1). Запас воды в озере ниже плоскостей, ограниченных изобатами 20 и 50 м, рассчитанный в лаборатории гидрологии ИНОЗ РАН на основе цифровой модели ложа озера, оценивается в 555 и 264 км^3, соответственно [7, 9, 10, 11].

Волго-Балтийский водный путь

Водные пространства Ладожского озера издревле используются для судоходства. Во времена Киевской Руси и до начала XVIII в. здесь пролегал знаменитый

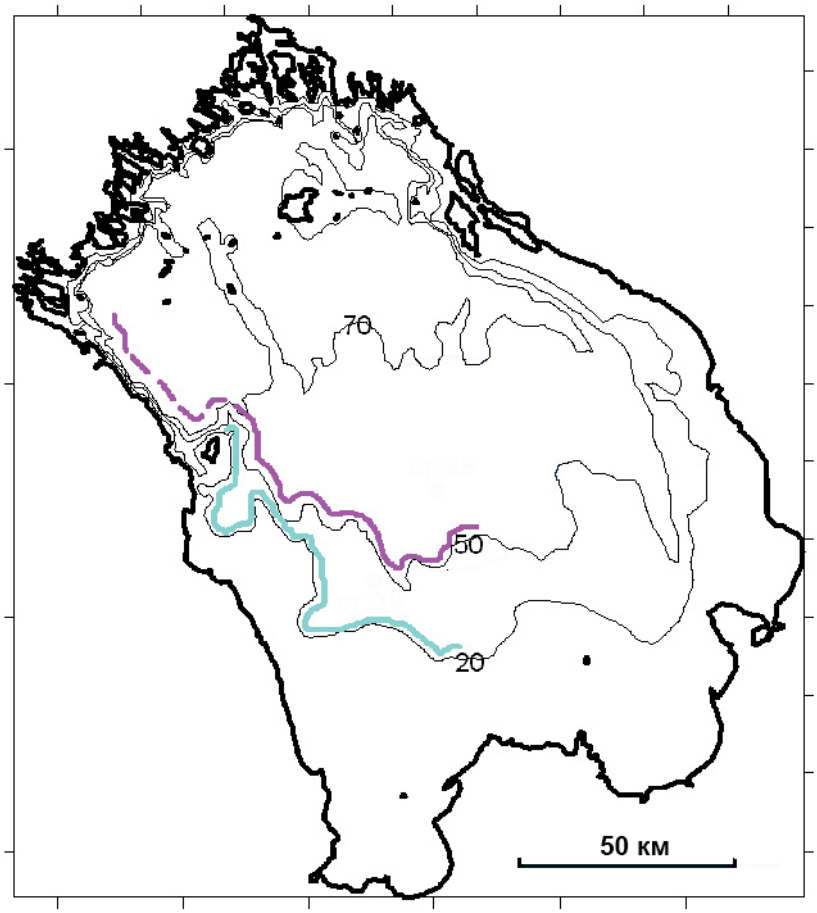

Рис. 1. Расположение границ
акватории Ладожского озера с глубинами более 20 и 50 м.

Fig. 1. Location of the boundaries of the water area
of Lake Ladoga with depths of more than 20 and 50 m.

торговый путь «из варяг в греки». В настоящее время Ладожское озеро является важнейшим звеном в транзитном водном пути из внутренних районов страны в Балтийское море. Главная транспортная артерия внутреннего водного транспорта, проходящая в южной части озера от устья Свири до истока Невы, является составной частью Волго-Балтийского водного пути. Ее протяженность в водах Ладоги превышает 70 миль. Каждую навигацию по ней перевозятся разнообразные грузы как в транзитном, так и в местном сообщениях. Волго-Балтийский водный путь обеспечивает транспортную связь Балтийского и Белого морей с Волжско-Камским воднотранспортным бассейном. Глубина его судоходных фарватеров

Рис. 2. Схема Волго-Балтийского водного пути.

Fig. 2. Scheme of the Volga-Baltic waterway.

составляет не менее 4 м, что обеспечивает проход судов грузоподъемностью до 5 тыс. т. Крупнейшая глубоководная магистраль страны (859 км), начинаясь в устье Невы, проходит по этой короткой, но очень полноводной реке, нередко неспокойному Ладожскому озеру, реке Свирь, Онежскому озеру, Волго-Балтийскому судоходному каналу и соединяется с Рыбинским водохранилищем Волги. Продолжением Волго-Балтийского водного пути является Беломорско-Балтийский канал, соединяющий Онежское озеро с Белым морем [7, 12]. Схема Волго-Балтийского водного пути представлена на рис. 2.

В целом, Волго-Балтийский водный путь представляет собой сложный комплекс инженерных объектов, включающий 4,9 тыс. км эксплуатируемых водных путей (в том числе 3,27 тыс. км с гарантированными габаритами), 11 шлюзов с напором от 11 до 18 м, 3 гидроэлектростанции, 25 земляных плотин и дамб, 12 паромных переправ, 9 мостовых переходов, 8 маяков в Ладожском озере, более 5 тыс. знаков судоходной обстановки. Его пропускная способность достигает 20 млн т различных грузов.

Главная особенность судоходства по Волго-Балтийскому водному пути — это сочетание резко различающихся по своему характеру озерных (прежде всего Ладоги) и речных условий плавания. Наиболее сложными навигационными особенностями в Ладожском озере и на подходах к нему отличаются: минимальные габариты Нижнесвирского шлюза (198 × 17,6 м), где может шлюзоваться только одно судно; штормовые ветры в октябре (при северных ветрах высота волн может достигать 6 м); Кошкинский фарватер через мелководную отмель Шлиссельбургской губы; перекаты «Кривое колено» и «Ивановские пороги» на Неве; небольшие высоты неразведенных невских мостов (наименьшая 36 м).

Создание Волго-Балтийского водного пути сделало возможным сквозную перевозку грузов на судах «река-море» из портов Балтийского в порты Каспийского, Азовского и Черного морей, а также доставку импортных грузов в российские внутренние речные порты из морских портов ряда стран Западной Европы и Средиземноморья. Объемы среднегодовых перевозок достигают 15—20 млн т, из них, как правило, на строительные материалы приходится 24—36 %, на нефтепродукты — 28—31 %, металлы — 9—12 %, лесные грузы — 7—14 %, минеральные удобрения и химические грузы — 3—6 %. За навигацию по Волго-Балтийскому водному пути проходит свыше 19—20 тыс. судов, в том числе 2,7—3 тыс. пассажирских (большая часть круизных), на которых ежегодно перевозится около 300 тыс. человек. Услугами Волго-Балтийского водного пути пользуется не менее 150 судоходных компаний. Основная часть грузов (11—14 млн т) следует в порты Балтийского моря через южную часть Ладожского озера. Всего за навигацию по этой оживленной трассе проходит более 8 тыс. судов, из них 6,5 тыс. грузовые (в том числе свыше 26 % — танкеры и наливные баржи). На более чем 80 теплоходах здесь перевозится около 160 тыс. пассажиров, следующих в основном по маршруту Санкт-Петербург—Москва.

Наиболее оживленная трасса круизных линий в Ладожском озере пролегает к острову Валаам и к живописному шхерному району Карелии. Значительное число туристских теплоходов транзитом через озеро следует по маршруту Санкт-Петербург—Москва, к Астрахани, Ростову-на-Дону и некоторым другим речным портам страны. На Ладоге нет крупных портов, но имеется много гаваней, используемых как при транзитных перевозках грузов, так и при перевозке грузов и пассажиров в пределах озера. К ним относятся пристани и причалы в Свирице, Новой Ладоге, Петрокрепости, Сортавале, Лахденпохье, Питкяранте, Приозерске, бухте Монастырская на острове Валаам. К основным транспортно-экологическим проблемам судоходства на Ладожском озере относятся [7, 12]:

— незначительная глубина подходных фарватеров и акватории на подходах к Неве (Кошкинский фарватер через мелководную отмель Шлиссельбургской губы) и реке Свирь;

— старение и износ судов внутреннего водного плавания;

— недостаток специализированных перегрузочных терминалов и причалов для судов пассажирского флота;

— отсутствие современных яхт-клубов в инфраструктуре водного туризма;

— устаревание значительной части существующих причальных сооружений;

— загрязнение водных путей маломерным флотом;

— несовершенство системы управления движением судов и координации действий сил, участвующих в ликвидации аварийных нефтеразливов и других чрезвычайных ситуаций;

— нарушение мер по обеспечению экологической безопасности при эксплуатации судов и портов;

— недостаточный объем инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры;

— несанкционированные сбросы при судоходстве.

Уменьшение негативного воздействия судоходства на окружающую среду в Ладожском озере может быть достигнуто за счет реконструкции гидротехнических сооружений на магистральных участках Волго-Балтийского водного пути (включая строительство второй ветки канала), модернизации и реконструкции существующих портов и транспортной инфраструктуры в целом, разработки и реализации современной системы локализации и ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов, реконструкции судоходных и портовых фарватеров (каналов) с одновременным обновлением парка технических средств путевого хозяйства, судов обеспечения, средств спасения людей и обеспечения безопасности плавания, развертывания экологического мониторинга в интересах природоохранной деятельности всего транспортного комплекса.

Туристско-рекреационный потенциал Ладожского озера

Ладожское озеро является уникальным природным комплексом, обладающим богатейшим туристско-рекреационным потенциалом. Формирование и развитие рекреационного природопользования и водопользования происходило и происходит здесь под влиянием социально-экономических, культурно-исторических, природоведческих, медико-биологических и других факторов, которые в свою очередь менялись во времени и пространстве. На протяжении веков Ладога была центром притяжения жителей нынешнего северо-запада России и ряда европейских государств. На берегах Ладожского озера строились крепости, монастыри, поселения. Постепенно Приладожье осваивалось в хозяйственном отношении, что влияло на динамику расселения и изменение общей численности населения на побережье Ладожского озера. В настоящее время на его берегах, островах и акватории увеличилось разнообразие рекреационных занятий. К традиционной охоте и рыбной ловле, сбору ягод и грибов, отдыху на базах и в оздоровительных лагерях добавились многие виды рекреационного водопользования (разные виды туризма, круизы, дайвинг, виндсерфинг и др.).

Совокупность природных, культурно-исторических и социально-экономических предпосылок для организации рекреационной деятельности на побережье и акватории Ладожского озера свидетельствует о потенциальных возможностях развития туризма, отдыха и других видов природопользования, и прежде всего, водопользования [12]. Это обусловливается уникальным географическим положением Ладожского озера и его водосборного бассейна, значительным

природно-климатическим потенциалом для развития туризма, санаторного лечения и отдыха, наличием достопримечательностей, богатым историко-культурным наследием, наметившейся тенденцией роста коллективных средств размещения туристов, сравнительно развитой транспортной инфраструктурой, возможностью использования сложившейся структуры экономики в интересах становления и развития туризма и рекреации вокруг Ладоги (рис. 3).

Рис. 3. Заповедники, заказники, культурно-исторические, археологические и геологические памятники, расположенные вокруг Ладожского озера.

Fig. 3. Reserves, sanctuaries, cultural, historical, archaeological and geological monuments located around Lake Ladoga.

Для водных путешествий по ладожским шхерам наиболее благоприятным сезоном является период с середины июня до второй половины сентября. В жаркое лето температура воды в заливах может подниматься до 18 °С, а в небольших внутренних озерах на островах и на материке — до 25 °С. Зима — время лыжных прогулок туристов по живописным просторам шхер. В целом, природно-климатический потенциал ладожских шхер и прибрежных районов Карелии оценивается очень высоко. На его основе перспективно дальнейшее развитие водно-спортивного, экологического, рыболовного, охотничьего, научного туризма и многих других видов рекреации.

Ладожское озеро и прилегающие к нему районы обладают богатым культурно-историческим наследием, привлекательным не только для российских туристов, но и для туристов из Финляндии, Швеции, Норвегии и других зарубежных стран [7, 12]. На островах и территориях приозерных районов находится огромное число памятников истории и культуры федерального, регионального и местного значения. Они, как ожерелье, опоясывают Ладожское озеро. Это крепости и фортификационные сооружения, многочисленные религиозные объекты, архитектурные строения, музеи, дворцы, усадьбы и т. д. Международную известность имеют такие памятники истории и культуры, как крепости Корела, Орешек (Шлиссельбург), Старая Ладога, Валаамский и Рождество-Богородичный Коневский монастыри, «Дорога жизни» и др. Сохранившаяся и воссозданная культурно-историческая составляющая рекреационного потенциала муниципальных районов Карелии и Ленинградской области на побережье и акватории Ладожского озера дополняет и обогащает природную составляющую, сочетая в совокупности материальную и духовную основу развития всех видов и форм туризма и рекреации.

Ладожское озеро является центром, внутри и вокруг которого в пределах всей водосборной площади создана сеть семнадцати особо охраняемых природных территорий. Исключительно высокий уровень разнообразия природы Приладожья до сего времени обеспечивал ее равновесие и устойчивое развитие, несмотря на близость многомиллионного Санкт-Петербурга. Однако происходящее в последнее время интенсивное хозяйственное освоение региона (изъятие земель под промышленное, сельскохозяйственное и жилищное строительство, организация садоводств), а также усиление рекреационной нагрузки ведут к деградации заповедной природы Приладожья и постепенному возрастанию гибели ценных природных экосистем. Поэтому сохранение необходимого минимума «дикой природы» с ее биоразнообразием становится главной задачей природоохранной деятельности общества [7].

Продукционный потенциал Ладожского озера

По рыбным запасам Ладожское озеро относится к ведущим внутренним водоемам страны. На протяжении 1946—2009 гг. уловы рыбы в нем колебались в пределах от 1592 тыс. т (1946 г.) до 6889 тыс. т (1981 г.), т. е. в 4,3 раза. В расчете на гектар акватории они составляли от 0,9 до 3,8 кг/(га год). Среднегодовой вылов за этот период составил 3883 тыс. т. Промысел в озере осуществляют

рыбодобывающие организации Ленинградской области и Карелии. При этом на долю первых, работающих в южной части водоема, приходится 85—90 % общего вылова. Динамика уловов характеризовалась подъемами и спадами в объемах. Эти колебания относятся к двум основным типам: короткопериодному и долгопериодному. Короткопериодный тип выражается в изменениях уловов в смежные годы. Он обусловливается появлениями различных по степени урожайности поколений рыб в связи с текущими гидрометеорологическими условиями (температура воды и уровенный режим во время нереста и др.) или изменениями в промысловой обстановке (позднее вскрытие водоема ото льда, неблагоприятный ход ледостава, сложные условия промысла из-за штормовой и иной обстановки и т. п.). Короткопериодные изменения уловов в соседние годы обычно невелики и быстро сменяются по объему вылова [7, 13, 14]. В послевоенный период (1946—1954 гг.) отмечался ощутимый рост уловов, выраженный кратковременным «всплеском». Они увеличились от 1592 тыс. т (1946 г.) до 4061 тыс. т и до 4849 тыс. т (в 1950—1952 гг. и 1954 г.). Характерной чертой этого периода было по существу полное игнорирование требований, диктуемых рациональным режимом рыболовства. На промысле широко использовались мелкоячейные тралы. Массовый характер принял лов неполовозрелых рыб (особенно сигов и судака) и интенсивный облов нерестовых концентраций. Из-за нерациональных подходов к ведению промысла, продолжительность «всплеска» оказалась краткой. В результате уже в 1959 г., несмотря на возросшую производственную базу, уловы опустились до уровня 1839 тыс. т. Промысел приблизился к черте, за которой мог наступить перелов. Возникшая депрессия в объемах вылова длилась практически 10 лет (с 1955 г. по 1963 г.) и тяжело отразилась на общем состоянии ладожского рыболовства. Лишь благодаря относительно быстрому принятию жестких мер по регулированию промысла полное разрушение ихтиоценоза озера было приостановлено, прекратилось сокращение запасов рыб и создались условия для их восстановления. На озере с 1959 г. был введен новый рациональный режим рыболовства, который предусматривал полный запрет на использование мелкоячейных тралов, установление щадящей промысловой меры для ценных промысловых рыб с длительным жизненным циклом, введение запретных сроков на лов в период размножения весенненерестующих (судак) и осенненерестующих (озерные сиги) видов. Для таких ценных рыб, как озерные сиги и судак, были введены лимиты вылова, устанавливаемые ежегодно на основании оценок численности популяций этих видов, выполняемых научными организациями. В результате принятых мер уже в середине 1960-х гг. стали отмечаться признаки восстановления численности промысловых рыб и общий рост их уловов [13, 14].

В начале 1990-х гг. высокий уровень продуктивности начал сменяться понижающейся ветвью долгопериодного цикла. В эти годы продукционный потенциал озера понизился, наступил третий период послевоенной динамики уловов в Ладожском озере (1991—2009 гг.), характеризующийся их уменьшением и сближением с показателями, наблюдавшимися в первом периоде. Минимальные уловы по официальным данным отмечались в конце 1990-х гг. В первые годы XXI в. они несколько повысились, но это незначительное повышение не меняет общей

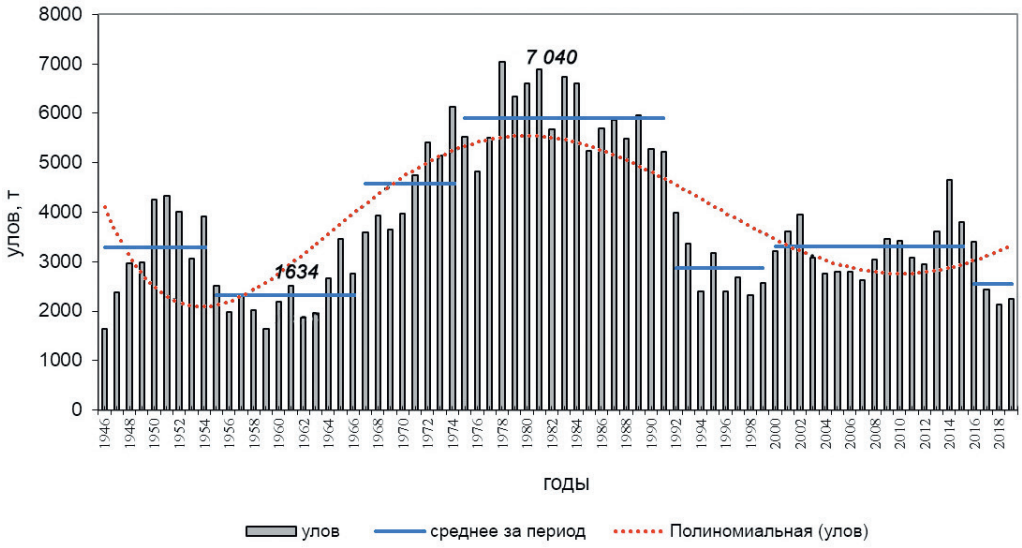

Рис. 4. Динамика годовых общих уловов рыбы (т) в Ладожском озере (по данным Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» «ГосНИОРХ» им Л.С. Берга).

Fig. 4. Dynamics of annual total fish catches (t) in Lake Ladoga (according to the St. Petersburg branch of the FSBSI "VNIRO" "GosNIORKh" named after L.S. Berg).

оценки периода последних двух десятилетий как понижающейся ветви единого для озера долгопериодного цикла [7].

По данным Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» «ГосНИОРХ» им Л.С. Берга, среднегодовой общий улов рыбы в Ладожском оз. за период 1946—2019 г. составил 3860 т. В расчете на гектар акватории уловы составляли от 0,9 до 3,8 кг/(га год). В настоящее время фиксируется катастрофическое снижение уловов рыбы на Ладоге (рис. 4).

При анализе сложившейся ситуации следует иметь в виду, что в рыбопродукционном отношении Ладожское озеро неоднородно, на что ранее не обращалось внимания [Ладога, 2013]. Оно может быть подразделено на две тесно связанные, но неэквивалентные части. Одна, основная — это обширные открытые акватории озера. Происходящие здесь процессы определяют высокий общий продукционный потенциал озера и его долгопериодную цикличность, отражающуюся, в конечном счете, на характере динамики рыбного населения в целом. Вторая часть озера — прибрежная мелководная зона. Она не только отличается существенными особенностями в экологическом отношении, включая динамику сырьевых ресурсов, но и уступает открытым акваториям по вкладу в суммарные биопродукционные показатели по водоему. Однако обе части имеют важное значение для ладожского рыболовства и в равной мере заслуживают пристального внимания как в хозяйственном, так и в природоохранном отношениях. Промысловые рыбы Ладожского озера, учитывая современное состояние их запасов и промысловой значимости, подразделяются на следующие группы:

— виды, запасы которых хотя и сократились в связи с общим понижением продукционного потенциала озера, но состояние которых не вызывает опасений, промыслом они используются недостаточно полно по организационным и экономическим причинам (ряпушка, корюшка, мелкий частик);

— виды, у которых сложилось напряженное положение с запасами не только из-за снижения продуктивности экосистемы озера, но и под значительным влиянием антропогенных факторов, включая экологическое состояние водоема, интенсивный промысел и др. (озерные сиги, судак, лещ, щука);

— рыбы, потерявшие промысловое значение, прежде всего в связи с продолжительным интенсивным антропогенным влиянием, ставшие редкими и исчезающими и включенные в «Красные книги» (озерный лосось, озерная форель, озерно-речные сиги волховский, свирский, вуоксинский, отчасти сырть).

Учитывая сложившееся положение с различными группами рыбного населения целесообразно разработать и приступить к практической реализации комплекса охранных и рыбоводных мероприятий, направленных на сохранение и восстановление промысловой значимости наиболее ценных ладожских рыб и стимулирование вылова слабо эксплуатируемых видов.

Зоны экологического риска Ладожского озера

Все перечисленные выше факторы, определяющие Ладожское озеро как геостратегический водный объект России, напрямую зависят от его экологического состояния. Однако, несмотря на стабилизацию в последние десятилетия экологической обстановки на Ладоге в целом, существует ряд зон экологического риска, расположенных в основном в прибрежной мелководной зоне, требующих постоянного контроля. В литературе концепция «экологического риска» представлена как оценка вероятности возникновения обратимых или необратимых изменений в структуре и функции экосистем в ответ на антропогенные воздействия. На начальных этапах она включает процесс идентификации опасности, который можно считать, как качественное предсказание воздействия стрессоров. Количественная оценка опасности включает рассмотрение схемы максимально возможного потока загрязнителей и установление границ их воздействия [15]. Реализация возможных неблагоприятных сценариев развития кризисных экологических ситуаций в этих зонах может негативно сказаться на состоянии всего озера. Кроме того, на водосборе существует большое количество объектов накопленного экологического риска, требующих не только контроля, но и принятия мер по их ликвидации. Как отмечается в работе, обобщающей многолетние исследования литорали Ладожского озера [16], зона экологического риска представляет собой участок акватории, приближенной к источникам техногенного загрязнения, где гидрохимические показатели и состояние сообществ гидробионтов в той или иной степени отличаются от фоновых. При продолжительном антропогенном воздействия степень негативных изменений здесь усиливается, приводя к постепенной деградации экосистемы вплоть до образования «мертвых зон».

На рис. 5 приведена регионализация прибрежных районов Ладожского озера по уровню нагрузки и загрязнению в период максимального антропогенного

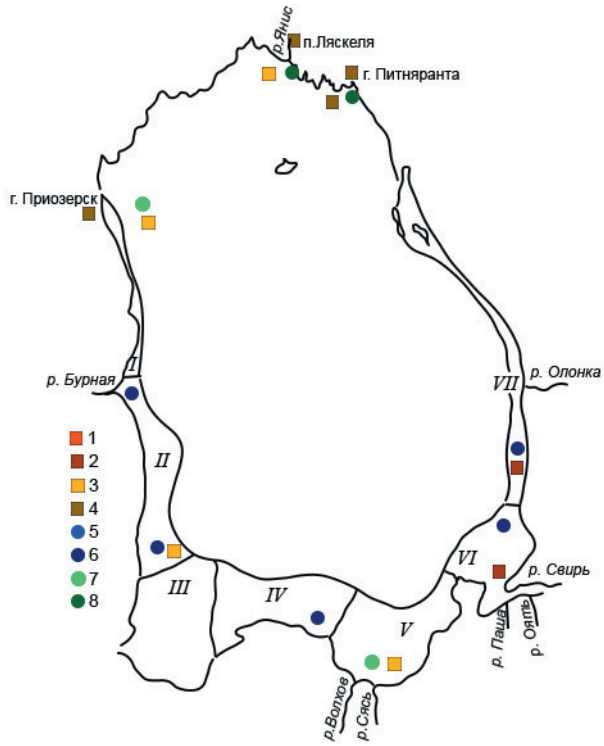

Рис. 5. Уровень загрязнения прибрежных районов Ладожского озера в период максимальной антропогенной нагрузки в середине 80-х годов [17].

Выделенные зоны: I — северо-западный берег, II — юго-западный берег, III — бухта Петрокрепость, IV — южный берег, V — Волховская губа, VI — Свирская губа, VII — восточный берег. Уровни загрязнения по степени антропогенной нагрузки: 1 — допустимое, 2 — среднее, 3 — сильное, 4 — критическое. Характеристика загрязнения по биологическим показателям: 5 — слабое, 6 — умеренное, 7 — сильное, 8 — критическое.

Fig. 5. The level of pollution of the coastal areas of Lake Ladoga during the period of maximum anthropogenic load in the mid-1980s [17].

Dedicated zones: I — northwestern coast, II — southwestern coast, III — Petrokrepost bay, IV — southern coast, V — Volkhovskaya bay, VI — Svirskaya bay, VII — eastern coast. Pollution levels by the degree of anthropogenic load: 1 — permissible, 2 — medium, 3 — strong, 4 — critical. Characteristics of pollution by biological indicators: 5 — weak, 6 — moderate, 7 — strong, 8 — critical.

воздействия и наихудшего состояния озера в середине 80-х годов [17]. Видно, что в то время критическая нагрузка на прибрежные воды наблюдалась в районе г. Приозерска, п. Ляскеля и г. Питкяранты. Сильному антропогенному воздействию были подвержены юго-западный прибрежный район и Волховская губа, принимающие сток рек Бурная, Волхов и Сясь. При этом по уровню загрязнения указанные районы классифицировались как умеренно и сильно загрязненные. Приведенные результаты можно расценивать, как возможный предельный

вариант загрязнения в случае возврата к прежнему критическому уровню антропогенного воздействия, а также как иллюстрацию действия механизмов переноса примеси в Ладожском озере на формирование качества воды.

В 90-х годах уровень антропогенной нагрузки на Ладожское озеро существенно снизился, в том числе и из-за экономического кризиса в стране, что привело к улучшению качества воды в озере. Тем не менее, зоны экологического риска на акватории сохранились, т. к. основные источники негативного антропогенного воздействия продолжают функционировать, хотя и менее интенсивно. Наиболее ярким примером экологического состояния водоема, испытывающего интенсивное воздействие стоков техногенного характера, является Щучий залив Ладожского озера, расположенный в западной части его шхерного района [16]. Более трех десятилетий в этот небольшой водоем поступали сточные воды Приозерского ЦБК, что привело к полной деградации экосистемы, превратившейся в «мертвую зону». В 1986 г. комбинат был закрыт, а затем перепрофилирован в другие, не менее опасные производства. Аналогичная ситуация характерна и для других участков акватории озера, а также притоков. Несмотря на достигнутое снижение антропогенной нагрузки, сбросы сточных вод в реки и водоемы продолжаются. В сложившейся ситуации постоянный мониторинг существующих зон экологического риска является необходимым условием сохранения уникального водоема, каким является Ладожское озеро, и предотвращения возникновения катастрофических ситуаций, связанных с неконтролируемым воздействием зон экологического риска на весь водоем.

Результаты оценки расположения таких зон по данным гидрохимических и гидробиологических исследований Института озероведения [18] на начало 2000-х годов представлены на рис. 6. Из этой схемы следует, что на акватории Ладоги преобладают зоны экологического риска двух основных типов:

— принимающие стоки населенных пунктов и расположенных в их окрестностях предприятий заливы, имеющие замедленный водообмен с центральной частью озера, накапливающие за счет этого загрязняющие вещества, что приводит к деградации биотических сообществ;

— места впадения в озеро загрязненных притоков как крупных (Волхов, Сясь, Свирь), так и относительно мелких (Назия, Морье, Кабона).

Исток реки Невы также отнесен к зонам экологического риска, хотя бухта Петрокрепость в их числе не значится.

В рамках проекта Санкт-Петербургского Общества Естествоиспытателей (СПбОЕ), выполненного при поддержке Всемирного Фонда Природы (WWF) [19] составлена схема «горячих точек» в прибрежных районах Ладожского озера (зоны 1—9 на рис. 7), которые определены как «участки с комплексом угроз всему биологическому разнообразию, территории, где под негативное антропогенное влияние попадают отдельные компоненты биоты и факторы, представляющие опасность естественному развитию природных комплексов». К их числу отнесены:

1) устье р. Сясь и прилегающие территории;

2) устье р. Волхов, г. Волхов и прилегающие территории;

3) бухта Петрокрепость, г. Петрокрепость и прилегающие территории южного Приладожья;

Рис. 6. Зоны экологического риска Ладожского озера по данным [18]:

1— г. Приозерск, прилегающие территории, Щучий залив; 2 — г. Лахденпохья, прилегающие территории; 3 — г. Сортавала, прилегающие территории; 4 — п. Ляскеля, прилегающие территории; 5 — п. Импилахти, прилегающие территории; 6 — г. Питкяранта, прилегающие территории; 7 — устье р. Свирь; 8 — устье р. Сясь, прилегающие территории; 9 — устье р. Волхов, прилегающие территории; 10 — устье р. Кобона; 11 — устье р. Назия; 12 — р. Нева; 13 — устье р. Морье; 14 — судоходный фарватер.

Fig. 6. Environmental risk zones of Lake Ladoga according to [18]:

1— Priozersk, adjacent territories, Shchuchiy Bay; 2 — Lahdenpohja city, adjacent territories; 3 — Sortavala city, adjacent territories; 4 — Lyaskela settlement, adjacent territories; 5 — Impilahti village, adjacent territories; 6— Pitkyaranta town, adjacent territories; 7 — the mouth of the Svir River; 8 — mouth of the Syas river, adjacent territories; 9 — the mouth of the Volkhov river, adjacent territories; 10 — the mouth of the Kobona River; 11 — the mouth of the Naziya river; 12 — the Neva river; 13 — mouth of the Morye River; 14 — navigable fairway.

4) устье р. Бурная;
5) г. Приозерск, прилегающие территории и Щучий залив;
6) п. Лахденпохья и прилегающая акватория;
7) г. Сортавала, прилегающие территории и акватории;
8) г. Питкяранта, прилегающие территории;
9) п. Ляскеля, прилегающие территории, бухта Хиденселька.

В последующих работах ИНОЗ РАН [16] схема была дополнена тремя зонами. Это устье р. Свирь, п. Импилахти и прилежащие территории, Монастырская бухта о-ва Валаам (зоны 10—12 на рис. 7) [20, 21], а также акватория судоходного фарватера (зона 13 на рис. 7).

При решении задачи выбрать альтернативный источник питьевого водоснабжения Санкт-Петербурга [7] выполнено исследование возможного негативного воздействия различных источников загрязнения на качество воды в различных частях акватории Ладоги (рис. 8). Здесь указаны факторы негативного воздействия на качество воды, которые следует учитывать при выборе расположения водозабора: зона возможного распространения речных вод на акватории озера в различные сезоны, зоны устойчивого загрязнения и экологического риска, возникшие в результате многолетнего воздействия загрязненных речных вод и сбросов сточных вод предприятиями, расположение основного судоходного фарватера, к которому приурочены многочисленные несанкционированные сбросы загрязняющих веществ с проходящих судов. Кроме того, обозначены места впадения крупных рек, малых загрязненных притоков, являющихся важными источниками поступления в озеро химических веществ, расположение точечных источников загрязнения, сбрасывающих сточные воды непосредственно в Ладожское озеро, а также зона возможного радиоактивного загрязнения в районе островов Западного архипелага.

Согласно этой схеме наиболее крупными точечными загрязнителями озера являются Сясьский ЦБК, а также целлюлозный завод (ЦЗ) Питкяранта. Сбросы Сяського ЦБК вместе со стоком рек Волхов и Сясь формируют зону устойчивого загрязнения в Волховской губе. Сбросы ЦЗ Питкяранта привели к возникновению кризисной экологической ситуации в прилегающих шхерах северного побережья Ладожского озера.

Кроме того, к числу возможных «горячих точек» акватории Ладожского озера может быть отнесена окрестность Западного архипелага (островов Хейнясенма, Кугрисари и Верккосари). В начале 50-х годов, согласно информации, приведенной в средствах массовой информации [22], здесь проводились испытания так называемых «грязных бомб». Взрывы проводились в воздухе, в воде и на бывшем немецком миноносце «Кит», который оставался вблизи острова Хейнясенма в притопленном состоянии до начала 90-х годов и затем был отбуксирован на Новую землю. Сведения об указанных испытаниях крайне отрывочны, содержатся, главным образом, в материалах журналистских расследований, основных на рассказах оставшихся в живых очевидцев [22]. Немногочисленные исследования радиоактивного фона в окрестности упомянутых островов, выполненные как российскими специалистами [23], так и в ходе совместных российско-финских исследований [24] не выявили каких-либо радиоактивных аномалий в районе исследований.

Результаты гидрохимических и гидробиологических исследований Ладоги и его литоральной зоны, выполненных в последнее десятилетие, показали важную роль литорали в качестве источника информации и индикатора экологического состояния районов озера, подверженных влиянию антропогенных факторов [16]. Именно в литоральной зоне выявлены наиболее загрязненные участки, или зоны

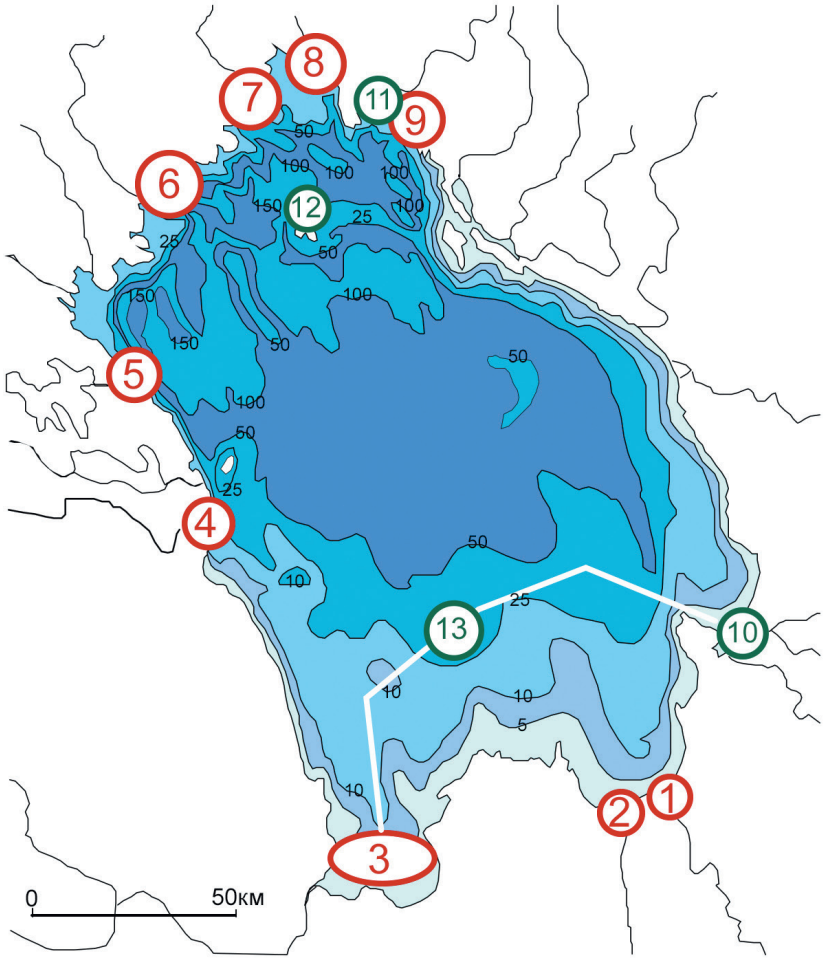

Рис. 7. Зоны экологического риска Ладожского озера по данным [16, 19]:

1 — устье р. Сясь, прилегающие территории; 2 — устье р. Волхов, прилегающие территории; 3 — бухта Петрокрепость, г. Шлиссельбург, прилегающие территории южного Приладожья; 4 — устье р. Бурной; 5 — г. Приозерск, прилегающие территории, Щучий залив; 6 — г. Лахденпохья, прилегающие территории; 7 — г. Сортавала, прилегающие территории; 8 — п. Ляскеля, прилегающие территории; 9 — г. Питкяранта, прилегающие территории; 10 — устье р. Свирь; 11 — п. Импилахти, прилегающие территории; 12 — Монастырская бухта (о. Валаам); 13 — судоходный фарватер.

Fig. 7. Environmental risk zones of Lake Ladoga according to [16, 19]:

1 — The mouth of the Syas river, adjacent territories; 2 — Mouth of the Volkhov River, adjacent territories; 3 — Bay Petrokrepost, Shlisselburg, adjacent territories of the southern Ladoga area; 4 — Mouth of the Burnaya River; 5 — Priozersk, adjacent territories, Shchuchiy Bay; 6 — Lahdenpohja city, adjacent territories; 7 — Sortavala city, adjacent territories; 8 — Läskelä village, adjacent territories; 9 — Pitkyaranta town, adjacent territories; 10 — Mouth of the Svir River; 11 — P. Impilahti, adjacent territories; 12 — Monastery Bay (Valaam Island); 13 — navigable fairway.

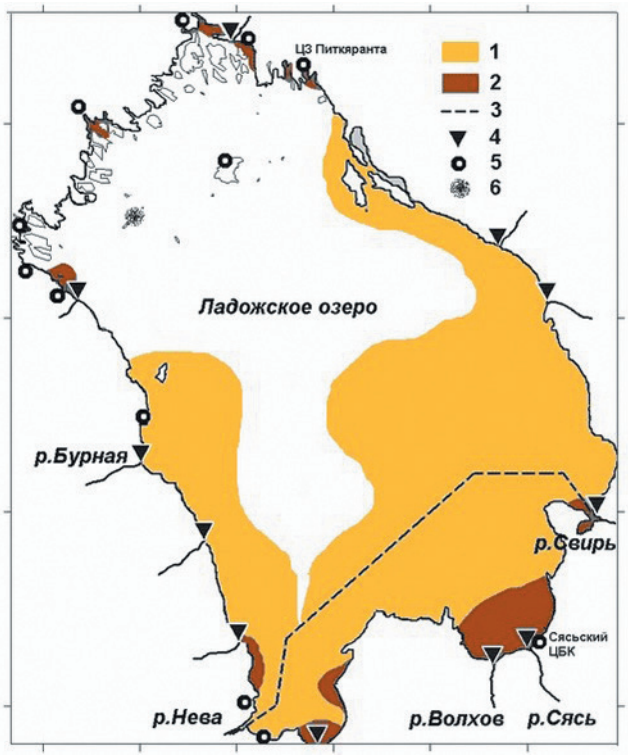

Рис. 8. Факторы негативного воздействия на качество воды в возможном водозаборе [7]:

1 — зона возможного распространения речных вод; 2 — зона устойчивого загрязнения и экологического риска; 3 — основной судоходный фарватер; 4 — места впадения крупных рек малых загрязненных притоков; 5 — точечные источники загрязнения; сбрасывающие сточные воды непосредственно в Ладожское озеро; 6 — зона возможного радиоактивного загрязнения.

Fig. 8. Factors of negative impact on water quality in a possible water intake [7]:

1 — zone of possible spread of river waters; 2 — zone of persistent pollution and environmental risk; 3 — main navigable fairway; 4 — places of confluence of large rivers of small polluted tributaries; 5 — point sources of pollution; discharging wastewater directly into Lake Ladoga; 6 — a zone of possible radioactive contamination.

экологического риска, расположенные вблизи источников загрязнения. Их влияние на водоем происходит постоянно, но при разбавлении в огромных водных массах оно не прослеживается в удаленных районах, создавая здесь впечатление вполне благополучной экологической обстановки. Между тем, загрязняющие вещества никуда не исчезают. Постепенно увеличивается их концентрация в воде и донных отложениях, они аккумулируются в телах гидробионтов и включаются в трофическую цепь. Чем больше таких неблагополучных районов в литоральной зоне, тем более «нездорова» экосистема озера в целом. Примером такой постепенной деградации гидробиоценозов являются обширные площади акватории в районе г. Питкяранта, принимающей стоки Питкярантского целлюлозного завода.

Отсюда очевидна важность мониторинга литоральной зоны как в ее фоновых участках, так и в выявленных зонах экологического риска [16].

Результаты токсикологических исследований, проведенных главным образом сотрудниками СПб филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им. Л.С. Берга) в 2019—2020 гг. указывают на достаточно благоприятное экологическое состояние большей части акватории Ладожского озера за исключением отдельных, локальных участков, где существует выраженное антропогенное воздействие. Сделано заключение, что самым неблагоприятным для среды обитания гидробионтов является район, примыкающий к г. Лахденпохья. Случаи превышения установленных нормативов содержания тяжелых металлов в пищевой рыбе обнаружены вблизи населенных пунктов с развитой промышленностью, в устьях рек, в бухтах с низким водообменом, Установлено, что в последние годы в южной мелководной зоне основного размножения и нагула многих видов рыб обострилась негативная ситуация нарушения воспроизводства рыб и беспозвоночных, что привело к падению вылова особенно ценных рыбных ресурсов. То есть локализация зон экологического риска на акватории Ладоги сохраняется и в настоящее время.

Заключение

Постоянный мониторинг существующих зон экологического риска является необходимым условием сохранения уникального водоема, каким является Ладожское озеро, и предотвращения возникновения катастрофических ситуаций, связанных с возможным неконтролируемым негативным воздействием этих зон на весь водоем. Однако существующая система государственного мониторинга водных объектов в данном случае мало эффективна, как по составу контролируемых веществ и расположению пунктов наблюдений, так и по частоте отбора проб. Важность сохранения водных ресурсов Ладожского и Онежского озер отмечена в Стратегии экологической безопасности РФ (документ утвержден Указом Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176), созданной по итогам заседания Совета Безопасности РФ от 20 ноября 2013 г. Тем не менее, научно обоснованная и официально утвержденная на государственном уровне стратегия рационального использования водных ресурсов этой крупнейшей пресноводной системы в настоящее время отсутствует.

Однако существующая система государственного мониторинга водных объектов в данном случае малоэффективна как по составу контролируемых веществ и расположению пунктов наблюдений, так и по частоте отбора проб. В 2017 г. проект федерального закона «Об охране Ладожского и Онежского озер» внесло в Госдуму Законодательное собрание Республики Карелия. «Учитывая, что Ладожское и Онежское озера являются уникальными природными объектами и самыми большими пресноводными озерами в Европе, по данным водным объектам наряду с озером Байкал требуется отдельное правовое регулирование», — говорилось в пояснительной записке. Документ должен был носить «рамочный» характер. Предполагалось внести изменения в нормативные правовые акты РФ, в части уточнения и расширения, переданных органам государственной власти субъектов Российской Федерации, на территории которых расположен природный комплекс Ладожского

и Онежского озер, отдельных государственных полномочий. Законопроект предусматривал, что субъекты РФ, на территории которых расположен природный комплекс Ладожского и Онежского озер, будут вправе принимать подзаконные правовые акты по вопросам переданных государственных полномочий, а также издавать обязательные для исполнения методические указания и инструктивные материалы по осуществлению переданных государственных полномочий. Тем не менее, Государственная Дума отклонила в первом чтении проект закона об охране Ладожского и Онежского озер по причине недостаточной проработки. Основной причиной отклонения закона, по-видимому, явилось ущемление таким законом интересов крупных промышленных и сельскохозяйственных компаний, осуществляющих сброс сточных вод в водные объекты бассейна Ладожского озера.

Благодарности

Авторы настоящей статьи благодарят А.Г. Леонова, главного специалиста Санкт-Петербургского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («ГосНИОРХ» им Л.С. Берга) за предоставленную информацию по улову рыбы в Ладожском озере.

Работа выполнена за счет средств федерального бюджета по теме № 0154-2019-0001 (№ госрегистрации АААА-А19-119031890106-5) «Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера и водоемов его бассейна под воздействием природных и антропогенных факторов».

Acknowledgments

The authors of this article are grateful to A.G. Leonov, chief specialist of the St. Petersburg branch of the FGBNU “VNIRO” (“GosNIORKh” named after L.S. Berg) for the information provided on fish catch in Lake Ladoga.

The work was carried out with funding from the federal budget on theme № 0154-2019-0001 (№ АААА-А19-119031890106-5) “Comprehensive assessment of the dynamics of the ecosystems of Lake Ladoga and water bodies of its basin under the influence of natural and anthropogenic factors”.

Список литературы

1. *Ailio J.* Die geographische Entwicklung des Ladogasees in Postglazialer Zeit und ihre Beziehung zur steinzeitlichen Besiedeledelung // Fennia. 1995. V. 38. № 3. 157 p.
2. *Holopainen, A.L.* The tropic state of Lake Ladoga as indicated by late summer phytoplankton // Hydrobiologia. 1996. 322 (1—3). P. 9—16.
3. Encyclopedia of Lakes and Reservoirs / Eds. Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. Berlin: Springer, 2012. 800 p.
4. Ladoga and Onego — Great European Lakes: Observations and Modelling / Eds. Rukhovets L.A., Filatov N.N. Berlin: Springer, 2010. 314 p.
5. *Kondratyev S., Ignatieva N.* An assessment of the nutrient load on the Russian part of the catchment of the Gulf of Finland and nutrient budget for Lake Ladoga // Finnish Environment. 2007. 15. P. 22—25.
6. Атлас. Ладожское озеро / Под ред. В.А. Румянцева. СПб.: 444 Военно-картографическая фабрика МО РФ, 2002. 129 с.
7. Ладога / Под ред. В.А. Румянцева и С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. 467 с.

8. Ладожское озеро и достопримечательности его побережья. Атлас / Под ред. В.А. Румянцева. СПб.: Нестор-История, 2015. 200 с.
9. *Науменко М.А.* Новое определение морфометрических характеристик Ладожского озера // Доклады Академии наук. 1995. Т. 345. № 4. С. 514—517.
10. *Науменко М.А.* Анализ морфометрических характеристик подводного рельефа Ладожского озера на основе цифровой модели // Известия РАН. Серия: географическая. 2013. № 1. С. 62—72.
11. *Кондратьев С.А., Поздняков Ш.Р.* Гидрофизическое обоснование выбора расположения водозабора на акватории крупного водоема (на примере Ладожского озера) // Чистая вода. Проблемы и решения. 2012. № 1—2. С. 84—87.
12. *Алхименко А.П.* Транспортно-экологические проблемы водной системы «Ладожское озеро — река Нева — Финский залив» // Региональная экология. 2005. № 1—2 (24). С. 109—119.
13. *Кудерский Л.А.* Пути формирования ихтиофауны Ладожского озера // Общество, среда, развитие. 2007. № 3 (4). С. 102—110.
14. *Кудерский Л.А.* Состав и промысловое значение рыбного населения Ладожского озера // Сборник научных трудов ГосНИОРХ. 2009. Вып. 334. С. 138—212.
15. *Башкин В.Н.* Экологические риски: расчет, управление, страхование. М.: Высшая школа, 2007. 358 с.
16. Литоральная зона Ладожского озера / Под ред. Е.А. Курашова. СПб.: Нестор-История, 2011. 416 с.
17. *Гусаков Б.Л., Петрова Н.А.* Антропогенное эвтрофирование и состояние озерных экосистем // Пути совершенствования природопользования в бассейнах больших озер / Под ред. Г.М. Воропаевой Л.: Наука, 1990. С. 16—29.
18. *Андроникова И.Н., Распопов И.М.* Зоны экологического риска в прибрежных районах Ладожского озера // Биология внутренних вод. 2007. № 2. С. 3—10.
19. Ладога. [Электронный ресурс]. URL: www.ladoga.krc. (Дата обращения: 21.12.2020).
20. *Степанова А.Б., Воякина Е.Ю., Бабин А.В., Зуева Н.В., Зуев Ю.А.* Результаты исследований прибрежной зоны Ладожского озера в районе Валаамского архипелага (1998—2019 гг.) в РГГМУ // Гидрометеорология и экология. 2020. № 60. С. 325—350. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-325-350.
21. *Чернышев А.Н., Сергеева В.О., Котова А.К., Никитина С.Н., Бабин А.В., Воякина Е.Ю., Степанова А.Б.* Особенности лимнологических параметров системы «Лещевое озеро — Лещевый залив» в период максимального прогрева воды (Валаамский архипелаг, Ладожское озеро) // Гидрометеорология и экология. 2020. № 61. С. 460−479. doi: 10.33933/2074-2762-2020-61-460-479.
22. *Тарасов О.В.* Черная быль Ладоги. Л.: Ленинградская Правда, 1991. 7 с.
23. *Катков А.Е.* Введение в региональную радиологию моря. М.: Энергоатомиздат, 1985. 160 с.
24. *Gritchenko Z.G., Ivanova L.V., Panteleev Y.A., Tishkova N.A., Ikaheimonen T.K., Ilis E., Saxen R.* Joint Russian-Finnish study of radioactive contamination in the NW part of Lake Ladoga // Hydrobiologia. 1996. 322. P. 125—128.

References

1. *Ailio J.* Die geographische Entwicklung des Ladogasees in Postglazialer Zeit und ihre Beziehung zur steinzeitlichen Besiedeledelung. Fennia. 1995, 38 (3): 157.
2. *Holopainen, A.L.* The tropic state of Lake Ladoga as indicated by late summer phytoplankton. Hydrobiologia. 1996, 322 (1—3): 9—16.
3. Encyclopedia of Lakes and Reservoirs. Eds. Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. Springer, Berlin. 2012: 800.
4. Ladoga and Onego — Great European Lakes: Observations and Modelling. Eds. Rukhovets L.A., Filatov N.N. Springer, Berlin. 2010: 314.
5. *Kondratyev S., Ignatieva N.* An assessment of the nutrient load on the Russian part of the catchment of the Gulf of Finland and nutrient budget for Lake Ladoga. Finnish Environment. 2007, 15: 22—25.
6. *Atlas. Ladozhskoe ozero.* Atlas. Lake Ladoga. Eds. V.A. Rumyantsev. St. Petersburg: 444 Military cartographic factory of the RF Ministry of Defense. 2002, 129 p. [In Russian].

7. *Ladoga.* Ladoga. Eds. V.A. Rumyantsev and S.A. Kondratyev. St. Petersburg: Nestor-History, 2013: 467 p. [In Russian].
8. *Ladozhskoe ozero i dostoprimechatelnosti ego poberezhya. Atlas.* Ladoga Lake and attractions of its coast. Atlas. Eds. V.A. Rumyantsev. St. Petersburg: Nestor-History, 2015: 200 p. [In Russian].
9. *Naumenko M.A.* New definition of the morphometric characteristics of Lake Ladoga. *Doklady Akademii Nauk.* Proc. of the Academy of Sciences. 1995, 345 (4): 514—517. [In Russian].
10. *Naumenko M.A.* Analysis of the morphometric characteristics of the underwater relief of Lake Ladoga on the basis of a digital model. *Izvestia RAN. Seria: geograficheskay.* News of RAN. Series: geographical. 2013, 1: 62—72. [In Russian].
11. *Kondratyev S.A., Pozdnyakov Sh.R.* Hydrophysical substantiation of the choice of the location of the water intake in the water area of a large reservoir (by the example of Lake Ladoga). *Chistaya voda. Problemy i reshenia.* Clean water. Problems and solutions. 2012, 1—2: 84—87. [In Russian].
12. *Alkhimenko A.P.* Transport and ecological problems of the water system "Lake Ladoga — Neva River — Gulf of Finland". *Regionalnay ecologia.* Regional ecology. 2005, 1—2 (24): 109—119. [In Russian].
13. *Kudersky L.A.* Ways of formation of the fish fauna of Lake Ladoga. *Obshestvo, sreda, razvitie.* Society, environment, development. 2007, 3 (4): 102—110. [In Russian].
14. *Kudersky L.A.* Composition and commercial value of the fish population of Lake Ladoga. *Kollektsiya nauchnyh trudov Gos NIORKh.* Collection of treatises GosNIORKh. 2009, 334: 138—212. [In Russian].
15. *Bashkin V.N. Ecologicheskie riski: raschet, upravlenie, strahovanie.* Environmental risks: calculation, management, insurance. Moscow: High School. 2007: 358 p. [In Russian].
16. *Litoralnaya zona Ladozhskogo ozera.* Littoral zone of Lake Ladoga. Eds. E.A. Kurashov. St. Petersburg: Nestor-History, 2011: 416 p. [In Russian].
17. *Gusakov B.L., Petrova N.A.* Anthropogenic eutrophication and the state of lake ecosystems. *Puti sovershenstvovania prirodopolzovania v basseinakh bolshikh ozer: kniga.* Ways of improving nature management in the basins of large lakes: a book. Ed. Voropaeva G.M. Leningrad: Science. 1990: 16—29. [In Russian].
18. *Andronikova I.N., Raspopov I.M.* Zones of ecological risk in the coastal regions of Lake Ladoga. *Biologia vnutrennikh vod.* Biology of internal waters. 2007, 2: 3—10. [In Russian].
19. Ladoga. [Electronic resource]. URL: www.ladoga.krc. (Date of treatment: 12/21/2020).
20. *Stepanova A.B., Voyakina E.Yu., Babin A.V., Zueva N.V., Zuev Yu.A.* Results of studies of the coastal zone of Lake Ladoga in the area of the Valaam archipelago (1998—2019) at the Russian State Medical University. *Gidrometeorologia i ecologia.* Hydrometeorology and Ecology. 2020, 60: 325—350. [In Russian]. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-325-350.
21. *Chernyshev A.N., Sergeeva V.O., Kotova A.K., Nikitina S.N., Babin A.V., Voyakina E.Yu., Stepanova A.B.* Peculiarities of limnological parameters of the system «Leshchevoy Lake — Leshchevy Bay» during the period of maximum water warming (Valaam Archipelago, Ladoga Lake). *Gidrometeorologia i ecologia.* Hydrometeorology and Ecology. 2020, 61: 460—479. [In Russian]. doi: 10.33933 / 2074-2762-2020-61-460-479.
22. *Tarasov O.V. Chernaya byl Ladogi.* Black story of Ladoga. Leningrad: Leningrad truth, 1991: 7 p. [In Russian].
23. *Katkov A.E. Vvedeniye v regionalnuyu radiologiyu morya.* Introduction to Regional Marine Radiology. Moscow: Energoatomizdat, 1985: 160 p. [In Russian].
24. *Gritchenko Z.G., Ivanova L.V., Panteleev Y.A., Tishkova N.A., Ikaheimonen T.K., Ilis E., Saxen R.* Joint Russian-Finnish study of radioactive contamination in the NW part of Lake Ladoga. Hydrobiologia. 1996, 322: 125—128.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 15.01.2021
Принята к публикации 20.02.2021

Сведения об авторах

Поздняков Шамиль Рауфович, д-р геогр. наук, директор Института озероведения Российской академии наук — обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (ИНОЗ РАН — СПбФИЦ РАН), lake@limno.org.ru.

Кондратьев Сергей Алексеевич, д-р физ.-мат. наук, заместитель директора ИНОЗ РАН — СПбФИЦ РАН по научной работе, главный научный сотрудник, заведующий Лабораторией математических методов моделирования, kondratyev@limno.org.ru.

Расулова Анна Мурадовна, канд. физ.-мат. наук, младший научный сотрудник Лаборатории математических методов моделирования ИНОЗ РАН — СПбФИЦ РАН, arasulova@gmail.com.

Коробченкова Ксения Дмитриевна, младший научный сотрудник Лаборатории математических методов моделирования ИНОЗ РАН — СПбФИЦ РАН, korobchenkova14@mail.ru.

Information about authors

Pozdnyakov Shamil Raufovich, Grand PhD (Geog. Sci.), Director of the Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences (IL RAS), lake@limno.org.ru.

Kondratyev Sergey Alekseevich, Grand PhD (Phys.-Math. Sci.), Deputy Director of IL RAS, Head of the Laboratory of Mathematical Modeling Methods, kondratyev@limno.org.ru.

Rasulova Anna Muradovna, PhD (Phys.-Math. Sci.), Junior Researcher, Laboratory of Mathematical Modeling Methods, IL RAS, arasulova@gmail.com;

Korobchenkova Ksenia Dmitrievna, Junior Researcher of the Laboratory of Mathematical Modeling Methods, IL RAS, korobchenkova14@mail.ru.