

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА ПО ТОКСИКОЛОГИЧЕСКИМ И ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Крылова Ю.В.¹, Светашова Е.С.¹, Екимова С.Б.¹, Пономаренко А.М.¹, Курашов Е.А.,^{1,2} Синякова М.А.^{1,3}, Ляшенко Г.Ф.¹, Колосовская Е.В.¹, Фисак Е.М.¹, Ходонович В.В.¹, Явид Е.Я.^{1,4}, Аршаница Н.М.¹, Романов А.Ю.⁵

¹ Санкт–Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (ГосНИОРХ им. Л.С.Берга), наб. Макарова, д.26, Санкт-Петербург, 199053, Россия; juliakrylova@mail.ru;

² Институт озераедения Российской академии наук, обособленное подразделение СПб ФИЦ РАН;

³ Санкт–Петербургский государственный морской технический университет (СПбГМТУ)

⁴ НИЦЭБ РАН СПб ФИЦ РАН;

⁵ ГБУЛО «Станция по борьбе с болезнями животных Всеволожского района».

Аннотация

В статье дана оценка экологического состояния Ладожского озера по гидрохимическим, и токсикологическим параметрам. Показана роль природных и антропогенных факторов в формировании среды обитания гидробионтов по результатам исследований 2019 года в сравнении с данными прошлых лет. Результаты токсикологических и гидрохимических исследований 2019 г. указывают, в целом, на достаточно благоприятное экологическое состояние большей части акватории Ладожского озера за исключением отдельных, так называемых «горячих точек», где существует выраженное антропогенное воздействие.

Состояние среды обитания гидробионтов в Ладожском озере является итогом взаимодействия процессов, происходящих в водоёме под воздействием природных и антропогенных факторов, что приводит к существенным различиям на отдельных участках акватории озера. Основными источниками поступления в озеро химических веществ разной природы является речной сток. Около 90% речного стока приходится на долю 3 главных притоков - рек Свирь, Волхов и Вуокса (Бурная). Точечными источниками загрязнения являются предприятия целлюлозно-бумажной и химической промышленности, цветной металлургии, коммунального хозяйства, агропромышленные и животноводческие комплексы. Наибольшему загрязнению от сбросов сточных вод промышленных предприятий подвержены такие притоки Ладожского озера как Волхов и Вуокса, на которых расположены крупнейшие предприятия химической и целлюлозно-бумажной отраслей промышленности, - "Метаким" (Волховский алюминий) и, "Киришинефтеоргсинтез", ОАО "Светогорск", и река Сясь, несущая загрязняющие вещества, в основном, от Сясьского ЦБК.

Важную роль в аккумуляции токсических и биогенных веществ играют донные отложения. В связи с этим в статье показаны результаты исследований содержания в воде и донных отложениях 4 нормируемых тяжёлых металлов (кадмий, свинец, медь, марганец), нефтяных углеводородов. Также проведена оценка токсичности на тест-объекте *Dafnia magna* Straus, определены в воде биогенные элементы (общий и минеральный фосфор, аммоний) и ряд других важных компонентов среды обитания гидробионтов (температура, прозрачность по диску Секки, концентрация растворённого кислорода, pH, минерализация, электропроводность, мутность), что важно для понимания взаимосвязи между разными компонентами среды обитания гидробионтов.

Для оценки современного экологического состояния Ладожского озера использовались результаты исследований, проведенных в июле-августе 2019 г. в различных зонах водоёма (рис.1). Исследования выполнялись с использованием стандартных и общепринятых методик.

Гидрологические и гидрохимические параметры

В июле и августе 2019 г. концентрация растворённого кислорода колебалась в интервале 7.7 – 12.7 мг/л, pH – 7.18 – 9.55, минерализация – 0.035– 0.153 г/л и сопряжённый с ним показатель электропроводности остались на уровне значений прошлых лет, мутность от 0.7 до 16.4 NTU, прозрачность от 1.5 до 3 м.

Минимальные значения кислорода наблюдались в местах с высокой температурой воды или на литорали в местах с преобладанием деструкционных процессов, например, в районе пос. Вороново, где были зафиксированы низкие значения рН.

Величины значений рН напрямую зависели от интенсивности развития фотосинтезирующих организмов. Самые высокие значения водородного показателя наблюдались в районе посёлка Импилахти (9.55) и во Владимирской бухте (9.12), что в первом случае было связано с интенсивным развитием фитопланктона и подтверждалось высокой концентрацией общего фосфора (0.25 мг/л), а во втором с развитием высшей водной растительности, потребившей фосфор. Его концентрация в воде в данном местообитании была незначительна (0.017 мг/л). Самые низкие значения рН наблюдались во время измерений, попавших на фазу пониженной активности фотосинтеза.

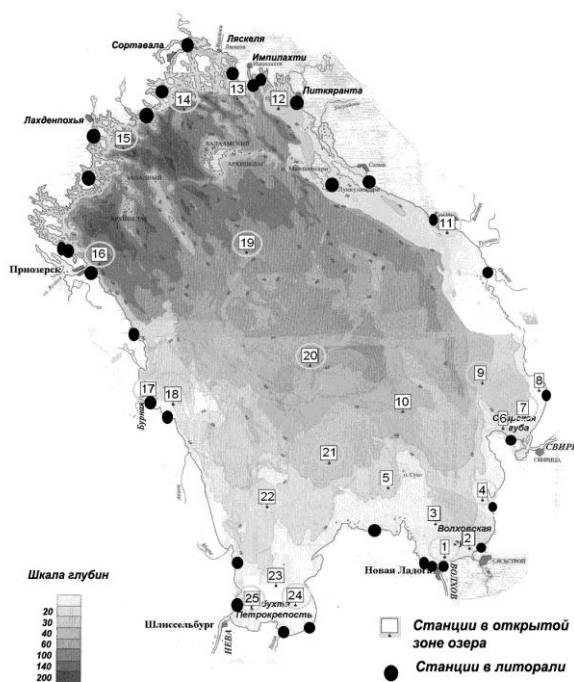


Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб в июле-августе 2019г. в открытой и литоральной зонах Ладожского озера.

Значения содержания общего фосфора не выходили за пределы средних показателей для Ладожского озера и колебались в диапазоне от 0.01 до 0.25 мг/л с более высокими концентрациями в местах с повышенной антропогенной нагрузкой. Это станции в районе п. Импилахти на выходе из залива (0.25 мг/л), в районе г. Питкяранта у ЦБК (0.217 мг/л), у п-ва Рауталаhti (0.25 мг/л) и в Тайполовском заливе в районе устья р. Бурная (0.234 мг/л). Также высокие концентрации общего фосфора отмечены в районе ст. 7 (Свирская губа) – 0.128 мг/л, ст. 12 (г. Питкяранта) – 0.121 мг/л, ст.14 (г. Sortавала) – 0.109 мг/л. На ст. 22 в юго-западной открытой зоне озера высокое содержание общего фосфора (0.125 мг/л) скорее всего, было связано с интенсивным развитием фитопланктона. Можно предположить, что концентрация общего фосфора в заливе Рауталаhti была связана с бытовыми сбросами в этом районе и, отчасти, с апвеллингом, поскольку рН и температура воды были очень низкими.

Концентрация иона аммония была на всех станциях ниже ПДКвр (0.5 мг/л) и колебалась от 0.00 (ниже предела обнаружения) до 0.058 мг/л и, в основном, на всех исследованных станциях была ниже 0.01 мг/л. В единичном случае (залив Уксунлахти) отмечена сравнительно высокая концентрация – 0.26 мг/л, что, вероятно, связано с влиянием впадающей реки Уксун.

Из полученных данных следует, что превышений ПДКвр по биогенным элементам не выявлено. В то же время в местах сильного антропогенного влияния отмечены значения общего фосфора, соответствующие гиперэвтрофному водоёму.

Токсикологические исследования

Согласно проведённым исследованиям проб воды на содержание тяжёлых металлов (ТМ) (рис. 2) было выявлено, что концентрация кадмия значительно ниже ПДКвр. Концентрация свинца на ст. 15 в районе северных шхер (г. Лахденпохья) была близка к ПДКвр. Концентрация меди во всех пробах воды превышала ПДКвр, что, как и в предыдущие годы, в случае глубоководных зон озера, указывает в большей степени на природную составляющую, нежели антропогенную. В то же время прослеживается обнаружение самых больших концентраций меди в основном в местах с повышенной антропогенной нагрузкой и в зонах влияния рек. Так, наиболее высокие концентрации меди обнаружены в воде на ст. 15 (район г. Лахденпохья) – 106 ПДКвр, ст.17 (устье р. Бурная) – 27 ПДКвр, ст. 22 – 14 ПДКвр, ст. 1 (устье р. Волхов), ст.12 (район г. Питкяранта) – 13 ПДКвр, ст. 4, 9, 16 – 10 ПДКвр. В остальных пробах воды концентрация меди превышала ПДКвр в 1.2 – 5.6 раз.

Концентрация марганца была выше ПДКвр в пробах воды на трех станциях: ст. 1 – в 5 раз и станций 4 и 7 – в 1.8 и 1.9 раз, соответственно. В воде станций 9 и 17 концентрация марганца близка к нормативу.

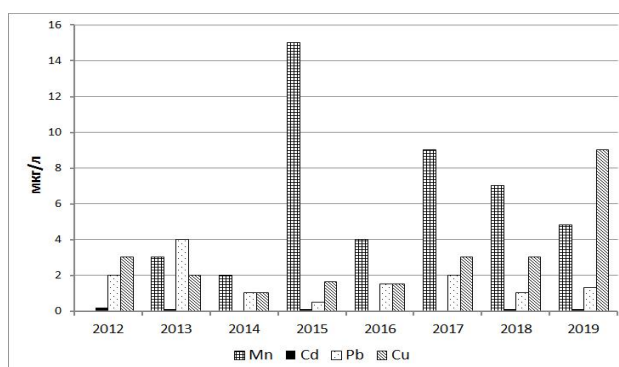


Рисунок 2 – Динамика средних значений (медиана) концентраций (мкг/л) ТМ в воде Ладожского озера с 2012 по 2019 гг.

По данным исследований конца 20-го - начала 21-го века показано, что повышенные концентрации ТМ чаще всего приурочены к районам впадения крупных притоков. Особенно выделяется Волховская губа, принимающая загрязнённые воды р. Волхов. По данным последних лет повышенные концентрации марганца и меди продолжают наблюдаться в Волховской губе и в зонах влияния городов.

В 2018-2019 гг. отмечается снижение концентраций марганца и свинца относительно 2017 г. Концентрация меди в 2019 г. значительно возросла по сравнению с 2017 и 2018 гг.

В донных отложениях концентрация кадмия превышала принятый норматив (усредненные почвы мира) в пробах станций 12, 14, 15, и 19 в 1.6 - 2.2 раза. Концентрация свинца оказалась немного выше норматива в донных отложениях на ст. 15, была близка к нормативу на станциях 14 и 19. Концентрация меди превышала норматив в донных отложениях ст. 15 в 1.2 раза, была высока в пробах станций 12, 14, 16, 19 и 20. Концентрация марганца в донных отложениях ст. 14 выше норматива в 1.5 раза; станций 15, 16, 19 и 20 – в 4-6 раз.

На станциях, находящихся в зоне влияния городов северной части Ладожского озера - 12, 14, 15 и 16 превышение норматива по кадмию и свинцу обусловлено техногенной составляющей.

На большинстве станций превышений ПДКвр (0.05 мг/л) в воде по нефтяным углеводородам (НУВ) не выявлено. При этом самое большое превышение нормативной концентрации по НУВ отмечено на ст. 7 (Свирская губа) – 9 ПДКвр (0.45 мг/л), что, вероятно, связано с интенсивным судоходным движением в этом районе. На двух станциях в открытой части озера также отмечено превышение – ст.20 (5 ПДКвр) и ст.22 (5 ПДКвр). Незначительное превышение на ст. 4 обусловлено влиянием реки Волхов. В отдельных

случаях (например, на ст. 22) повышенные концентрации НУВ (0.1 мг/л) в воде могут быть связаны с внеклеточной продукцией фитопланктона.

В 2018 г. наблюдалась другая ситуация. Превышение ПДК_{вр} НУВ (6 – 8 ПДК) было практически на всех исследованных станциях. Следует учесть, что в 2019 г. отбор проб проводился в июле-августе, а в 2018 в осенний период, что влияет на продукционно-деструкционные процессы и, следовательно, на содержание НУВ.

Согласно результатам исследований 2014 г. [1] концентрации НУВ выше 0.2 мг/л были обнаружены на некоторых локальных участках прибрежной части озера. Концентрация НУВ в бухте Петрокрепость варьировала от 0.54 до 0.90 мг/л.

По нашим данным концентрации НУВ в воде озера в последние годы остаются достаточно стабильными.

Обнаруженные в воде Ладожского озера НУВ имеют в большей степени природное происхождение, являясь частью лабильного автохтонного органического вещества озера. [2,1].

В донных отложениях на станциях 15 и 14, расположенных в шхерных районах Ладожского озера (близ городов Лахденпохья и Сортавала), обнаружено повышенное содержание НУВ – в 1.4 и 1.2 раза выше целевого норматива, равного 180 мг/кг. В центральном районе озера (ст. 19) отмечено незначительное превышение концентрации НУВ и скорее больше связано с естественным осадконакоплением (аккумуляцией детрита), поскольку характер грунта представлен серым илом и глиной.

На рисунке 3 показана динамика содержания НУВ в донных отложениях с 2012 по 2019 гг.

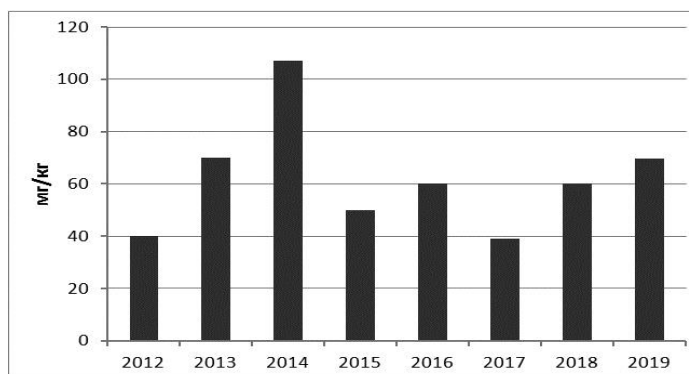


Рисунок 3 – Динамика средних значений концентраций (медиана) НУВ (мг/кг) в донных отложениях Ладожского озера с 2012 по 2019 гг.

Прослеживается увеличение НУВ в донных отложениях относительно 2017 г.

Опыты по биотестированию (острый и хронический) были поставлены на пробах воды, отобранной на 14 станциях, обозначенных на рис. 1 – 1, 3, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 19, 20, 22 и воде и донных отложениях на 12 станциях прибрежной зоны.

Острой токсичности исследуемой воды и донных отложений Ладожского озера не выявлено. На двух станциях отмечена гибель особей на 33.3 %, что объясняется повышенной антропогенной нагрузкой, обусловленной стоками от населённых пунктов (посёлков Импилахти и Видлица).

Результаты хронических опытов показали, что донные отложения со станций у пос. Импилахти, г. Лахденпохья (ст. 15), пос. Видлица (ст. 11) оказывали токсическое действие на тест-объект *D. magna* по выживаемости. По плодовитости оказала воздействие вода в устье Бурной и вода из района г. Лахденпохья. Вода с остальных исследованных станций токсического действия не оказывала.

По совокупности полученных результатов можно сделать вывод, что самым неблагоприятным для обитания гидробионтов является район, примыкающий к г. Лахденпохья (ст. 15). Результаты хронических опытов показали, что водная вытяжка из донных отложений со ст. 15 оказывает токсическое действие на тест-объект *D. magna* по выживаемости, как и в предыдущие годы. По результатам опыта на пробах воды выявлена

хроническая токсичность по плодovitости. Там же обнаружены самые большие превышения в воде по меди (более 100 ПДК) и больше, чем на всех станциях содержание свинца (не менее, чем 1.8 раз выше, чем на остальных станциях наблюдений). Отмечено превышение нормативов по кадмию, свинцу и меди в донных отложениях и в 1.6 раз превышение целевого норматива по НУВ.

Полученные результаты дают основание предполагать, что присутствующие в воде и донных отложениях соединения меди, свинца, кадмия и НУВ могут быть токсичными по отношению к гидробионтам. В некоторых случаях повышенные концентрации НУВ в воде могут быть связаны с активно протекающими продукционно-деструкционными процессами с образованием различных форм лабильного органического вещества.

Поскольку ст. 20 расположена в центральном районе озера, то можно предположить, что обнаруженные НУВ имеют природное происхождение, являясь частью лабильного органического вещества [3]. Предположение обосновано тем, что НУВ, именуемые зачастую как «нефтепродукты», являются органическими соединениями двойственной природы, имеющие как антропогенное, так и природное происхождение (метаболиты фитопланктона).

На ст.13 результат по биотестированию (вода оказывает действие на выживаемость и плодovitость дафний) можно связать с поступлением вод реки Янис, куда попадают сточные воды деревообрабатывающих производств.

Следует отметить, что повышенное содержание марганца в донных отложениях озера отражает особенности «железо-марганцевой провинции на Карельском перешейке» [4]. Повышенные содержания марганца, а также свинца и меди являются специфической особенностью местной геохимической провинции. На поверхности осадка образуются железо-марганцевые корки, стяжения и конкреции, в которых преобладают окислы и гидроокислы марганца [5]. Данный факт указывает, что содержание марганца в большей степени связано с геохимическим фоном изучаемого района, нежели с антропогенным воздействием.

Результаты исследований 2019 г. показали, что концентрации кадмия, свинца, ртути и мышьяка в мышечной ткани большинства проб рыб не превышали допустимых нормативов для пищевой рыбы. В одном случае обнаружено превышение в 1.3 раза допустимой остаточной концентрации мышьяка в мышцах плотвы, выловленной в Шлиссельбургской губе.

Выводы

Отмеченная хроническая токсичность воды и донных отложений в некоторых местообитаниях Ладожского озера является результатом регулярного поступления загрязняющих веществ непосредственно в озеро из антропогенных источников, а также с притоками.

Результаты токсикологических и гидрохимических исследований 2019 г. указывают, в целом, на достаточно благоприятное экологическое состояние большей части акватории Ладожского озера за исключением отдельных, так называемых «горячих точек», где существует выраженное антропогенное воздействие.

Список литературы

1. Игнатъева Н.В., Петрова Т.Н., Гусева М.А. Оценка загрязнённости поверхностных вод на территории водосборного бассейна Ладожского озера по гидрохимическим показателям // Известия Самарского научного центра РАН. – 2015. – Т. 17. – № 6. – С. 91–96.
2. Коркишко Н.Н., Крылова Ю.В. Исследование воды озера методом высокоэффективной газожидкостной хроматографии // Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее. – СПб: Наука, 2002. – С. 117–121.
3. Петрова Т.Н., Игнатъева Н.В. Органическое вещество // Ладога. – СПб: Нестор-История., 2013. – С.202–211.
4. Семенович Н.И. Донные отложения Ладожского озера. – М. – Л.: Издательство АН СССР, 1966. – 124 с.
5. Субетто Д.А., Поздняков Ш.Р., Рыбалко А.Е. Донные отложения Ладожского озера // Ладога. – СПб: Нестор-История, 2013. – С.202–211.