

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА
КУЛТУЧНОГО (Г. ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ)
ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ**

М.А. Походина, Е.В. Лепская, В.Г. Эльчапаров

*Государственный научный центр Российской Федерации. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Камчатский филиал (КамчатНИРО), ул. Набережная, 18, г. Петропавловск-Камчатский, 683000, Россия.
E-mail: m.pohodina@kamniro.vniro.ru*

Приведены данные о качественном и количественном составе вод оз. Култучное (Петропавловск-Камчатский) по основным показателям. Произведен расчет индексов загрязненности вод оз. Култучное, определено качество озерных вод по гидрохимическим показателям. Произведен ретроспективный анализ имеющихся данных, основанный на результатах ранее проведенных исследований. Сделан вывод о существенном загрязнении озерных вод и общем неблагоприятном состоянии водоема.

**ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE
OF THE KULTUCHNOY LAKE (PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY)
BASED ON HYDROCHEMICAL INDICATORS**

M.A. Pokhodina, E.V. Lepskaya, V.G. Elchaparov

State Scientific Center of the Russian Federation. Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Kamchatka branch (KamchatNIRO), Naberezhnaya str., 18, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000, Russia. E-mail: m.pohodina@kamniro.vniro.ru

The data on the qualitative and quantitative composition of surface waters of Lake Kultuchnoye (Petropavlovsk-Kamchatsky) are presented for the main indicators. The indices of pollution of waters of Lake Kultuchnoye are calculated, the quality of lake waters is determined for hydrochemical indicators. A retrospective analysis of the available data is performed, based on the results of previously conducted studies. A conclusion was made about significant pollution of the lake waters and the general poor condition of the reservoir.

Введение

Озеро Култучное расположено в историческом центре г. Петропавловск-Камчатский. В историческом плане водоем был лагунного типа, соединенный с морем протокой. В период штормов и приливов морские воды попадали в акваторию озера, и водоем осолонялся (Дитмар, 1901; Комаров, 1912). В результате развития инфраструктуры городского центра произошло сокращение водного зеркала более чем в два раза (Введенская и др., 2013). Все притоки были переведены в трубопроводы, а протока, соединяющая морскую и озерную акватории, была антропогенно трансформирована. Одним из основных последствий произошедших антропогенных изменений стало опреснение озерных вод и значительное сокращение водообмена. Существенным фактором ухудшения качества вод было решение об организации сброса неочищенных ливневых вод в акваторию озера

и подключение хозяйственно-бытовой канализации к ливневому стоку (Гаврилов, 2017). В условиях обширного сокращения водообмена, засыпки и перевода русел водотоков в кульверты, поступающие в акваторию неочищенные стоки значительно ухудшили качество воды. На неудовлетворительное экологическое состояние оз. Култучное и пути решения сложившейся проблемы указывают многочисленные исследования (Алискеров, 1997; Хурина, Кузякина, 2006; Хурина и др., 2010; Кузякина, Хурина, 2007; Введенская и др., 2010; Введенская и др., 2013; Саушкина, Лонгинова, 2016; Бровкин и др., 2017; Ступникова, 2017).

Неблагоприятное экологическое состояние озера стало причиной проведения работ в 90-е годы XX в. по изъятию ила со дна озера, которое так и не было доведено до планируемых результатов. Однако одним из последствий проведения работ явилось строительство дамбы, которая отделила относительно небольшой участок водоема, что привело к образованию малой акватории (далее – «Малая акватория»).

Расположение озера в центре города обусловило его важное культурное и рекреационное значение. Вопрос о современном экологическом состоянии озера, как рекреационного водоема, и степени загрязненности его вод имеет актуальное практическое значение, поэтому цель настоящего исследования – провести оценку степени загрязненности вод по гидрохимическим показателям.

Материалы и методы

Пробы были отобраны горизонтальным батометром Ван-Дорна в оз. Култучное и его Малой акватории. Глубина в месте отбора проб определялась лотом с храпцом и показаниями эхолота. После поднятия отобранная проба воды переливалась с помощью специальной трубки в подготовленную в лабораторных условиях емкость. Транспортировка отобранных проб в гидрохимическую лабораторию «КамчатНИРО» осуществлялась в специальных изотермических контейнерах, в день их отбора. Установление сети станций гидрохимического контроля на исследуемых водоемах произведено с учетом их морфометрии. Учитывая вытянутую с юга на север форму оз. Култучное, был принят меридиональный разрез из 3 станций. Отбор проб сотрудниками КамчатНИРО осуществлялся с мая по сентябрь с 2019 г. по 2024 г. на 5 станциях. Сбор материала ЦЛАТИ проводился на 8 станциях (три станции в месте расположения сточного коллектора, три в срединной части озера и две со стороны городской площади. Станции, на которых непрерывно осуществляли сбор проб с 1990 г. по 2024 г. – 1, 2, 3 (рис. 1).

Гидрохимические показатели, по которым провели оценку экологического состояния воды оз. Култучное и «Малой акватории» включали: ион аммония (NH_4^+), нитриты (NO_2^-), нитраты (NO_3^-), растворенный кислород (O_2), БПК₅, взвешенные вещества, ХПК, нефтепродукты, pH, АПАВ, сульфаты. Определение всех вышеперечисленных показателей провели в лаборатории Камчатского филиала ФГБНУ ВНИРО по утвержденным методикам (ПНД Ф 14.1:2:3:4.282, ПНД Ф 14.1:2:4.254, РД 52.24.495, РД 52.24.419, РД 52.24.420, ЦВ 1.12.52, ГОСТ 31859, ПНД Ф 14.1:2:4.15). Для оценки качества воды использовали перечень ПДК для соответствующих веществ (табл. 1), установленный для рекреационных водоемов (СанПин 1.2.3685-21, 2021), а также расчетный индекс загрязненности воды (ИЗВ) (СП 502.1325800.2021, Приложение Е).

Индекс загрязненности воды (ИЗВ) рассчитали по формуле 1:

$$\text{ИЗВ} = \sum_{i=1}^N \frac{C_i / \text{ПДК}_i}{N}, \quad (1)$$

Таблица 1

**Перечень ПДК для определенных в оз. Култучное показателей
согласно СанПин 1.2.3685-21, 2021.**

№	Показатель	ПДК, мг/дм ³
1	Ион аммония	1,5
2	Нитриты	3,0
3	Нитраты	45,0
4	Растворенный кислород	4,0
5	БПК ₅ (мг О ₂ /дм ³)	4,0
6	Взвешенные вещества	0,75 + фоновое значение
7	ХПК (мг О ₂ /дм ³)	30
8	Нефтепродукты	0,1
9	АПАВ	0,5
10	Сульфаты	500

где:

C_i – концентрация компонента (в ряде случаев – значение параметра);

ПДК_{*i*} – предельно допустимая концентрация *i*-го загрязняющего вещества для соответствующего типа водного объекта;

N – число показателей, использованных для расчета индекса.

ИЗВ рассчитывают строго по шести показателям, имеющим наибольшие значения приведенных концентраций и наибольшую токсичность, независимо от того превышают они ПДК или нет. В своей работе мы учитывали: растворенный кислород, БПК₅, азот аммонийный, ХПК, нефтепродукты, нитриты, взвешенные вещества. Кроме того, использовали нормы для пересчета БПК₅ и растворенного кислорода согласно справочнику (Гагарина, 2012).

Результаты и обсуждение

В 1990 г. в озеро Култучное поступало значительное количество загрязненных сточных вод, поэтому содержание кислорода в воде составляло 1 ПДК. В 1991 г. концентрация кислорода в воде упала до самых низких значений – в 3,6 раза ниже ПДК, что свидетельствовало о крайнем дефиците кислорода в озере, он практически весь расходовался на окисление органических веществ, попадавших в водоем со стоками с водосбора. Затем ситуация изменилась в лучшую сторону, и содержание растворенного кислорода в воде озера вновь стало увеличиваться. Это связано с прошедшей в этот период очисткой озера (Голованева и др., 2016). Проведенные ранее исследования указывают на довольно высокие концентрации кислорода в поверхностных слоях воды, так в 1993–2008 гг. его содержание колебалось от 8,0 до 12,3 мг/дм³. Однако с глубиной концентрация кислорода резко падала, что может являться показателем неблагоприятного экологического состояния водной экосистемы. В 2024 г. содержание кислорода, как в поверхностном, так и в придонном слоях остается высоким, более 10 мг/дм³. В «Малой акватории» оз. Култучное в 2019 г. и 2022 г. содержание растворенного кислорода было на уровне 1990–1991 гг. т. е. в пределах или значительно ниже ПДК (рис. 2).

Высокие концентрации химического потребления кислорода (ХПК) и биохимического потребления кислорода (БПК₅) служат свидетельством высокого содержания

органических и неорганических соединений в водной среде, а при значительном превышении утвержденных предельных безопасных для водной среды значений являются доказательством высокой степени загрязненности озерных вод.

Биохимическое потребление кислорода (БПК₅). В 1991 г. был зарегистрирован сильнейший санкционированный сброс сточных вод в акваторию озера (Голованева и др., 2016). Последствием сброса стало значительное увеличение показателя БПК₅, значение которого в 17,5 превысило ПДК. В последующий период показатель БПК₅ постепенно снижался, а его превышение фиксируется на участках акватории, которые приурочены к местам поступления сточных вод. В мае 2024 г. значение БПК₅ варьировало от 1,5 до 8,1 мгО₂/дм³. Наиболее высокие показатели были отмечены на станции 3 (2 ПДК), на этом участке водоема визуально отмечалась повышенная мутность, наличие радужной пленки и бытового мусора, также относительно небольшие превышения ПДК наблюдались в заболоченной «Малой акватории» (рис. 3).

Химическое потребление кислорода (ХПК). Превышения ПДК по ХПК фиксировали в 2021 г. и 2024 г. (1,1–7,5 ПДК), а в 2020 г. на станции 2 оно достигло 24 ПДК. Это свидетельствовало о повышенном содержании в воде оз. Култучное веществ органического происхождения, устойчивых к микробной деградации, которые, как правило, осаждаются на дно и накапливаются в донных отложениях (рис. 4).

Водородный показатель. Согласно результатам исследований, полученным за весь период наблюдения за состоянием вод оз. Култучное, их можно охарактеризовать как нейтральные по водородному показателю, однако концентрация ионов водорода незначительно меняется по участкам акватории озера. В целом, диапазон колебаний значений pH с 2019 г. по 2024 г. составляет 7,5–8,1 ед. pH в оз. Култучное и 7,1–8,0 ед. pH в его «Малой акватории». Изменение водородного показателя свидетельствует о том, что процессы фотосинтеза, при которых, как правило, значение pH увеличивается, практически уравниваются процессами окисления, при которых pH уменьшается. В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов рекреационного назначения величина pH не должна выходить за пределы интервала значений 6,0–9,0. Воды оз. Култучное отвечают этому требованию.

Аммонийный азот. По ранее проведенным исследованиям содержание ионов аммония в приповерхностном слое колебалось от 0,2 до 10 мгN/дм³. Такие высокие концентрации связаны с поступлением в озеро с водосбора биогенных элементов преимущественно антропогенного происхождения. Проведенный анализ имеющихся данных ЦЛАТИ (Голованева и др., 2016) по содержанию аммонийного азота в водах оз. Култучное в период с 1990 г. по 2008 г. показал, что максимальное содержание NH₄ наблюдали в 1991 г. – 7,3 ПДК. В период с 1993 г. по 2008 г. содержание аммонийного азота колебалось в значительных пределах от 1 до 6 мгN/дм³ (в среднем 2,2 мг/дм³), превышая ПДК в 4 раза для данного показателя. Таким образом, в озерных водах преобладали восстановленные формы азота, что свидетельствует о большом количестве органического вещества. К 2024 г. содержание аммонийного азота увеличилось в 2,3 раза, достигнув уровня ПДК (рис. 5).

Нитритный азот представляет собой неустойчивую неорганическую азотсодержащую форму, образующуюся в результате первой стадии нитрификации аммонийного азота. Содержание нитритных ионов в воде оз. Култучное (рис. 6) незначительно (в большинстве случаев менее 0,2 мг/дм³), наиболее заметные пики концентрации пришлось на 1991, 2004 и 2008 гг., но во всех случаях превышения ПДК (3 мг/дм³) не отмечено. С 2019 г. по 2024 г. концентрация нитритов была

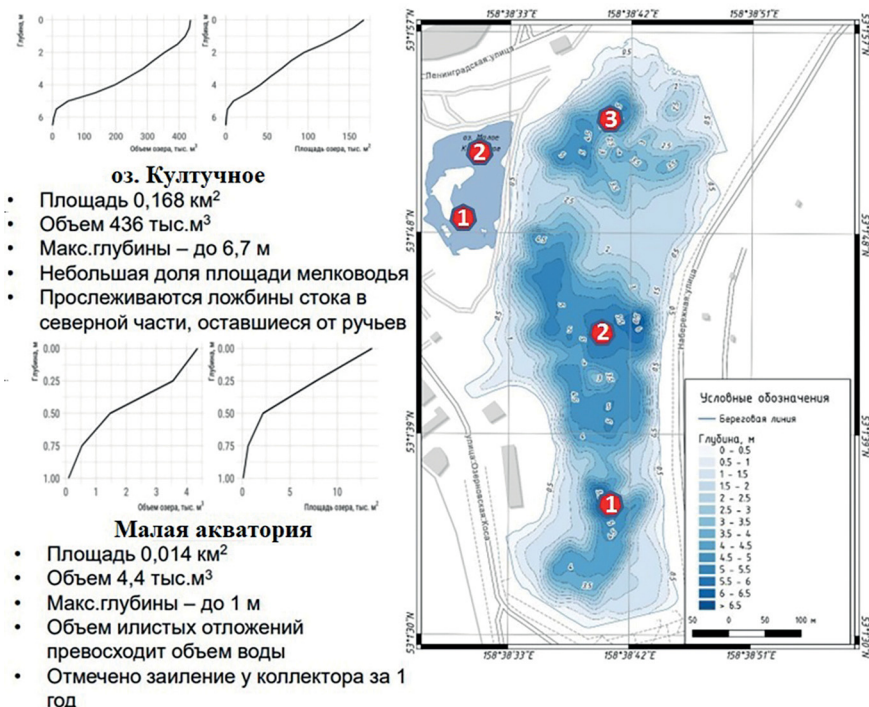


Рис. 1. Батиметрическая карта и морфометрические характеристики акваторий оз. Култужное (<https://sediment.ru/data/kultuchnoe2020.pdf>) и схема установления точек отбора гидрохимических проб

на одном уровне, порядка 0,05 мг/дм³. Доля нитритов в составе минерального азота в оз. Култужное достигла 2,9 %, а в «Малой акватории» 3,2 %, что говорит о замедлении процесса их окисления до нитратов. При наличии достаточного количества кислорода нитриты должны быстро окисляться до нитратов, поэтому их наличие в воде оз. Култужное свидетельствует о поступлении значительного объема стоков, содержащих большое количество органических веществ.

Нитратный азот представляет собой конечный продукт минерализации органического вещества и является важным санитарным показателем. Анализ данных ЦЛТИ показал незначительное количество (менее 0,5 мг/дм³) нитратного азота

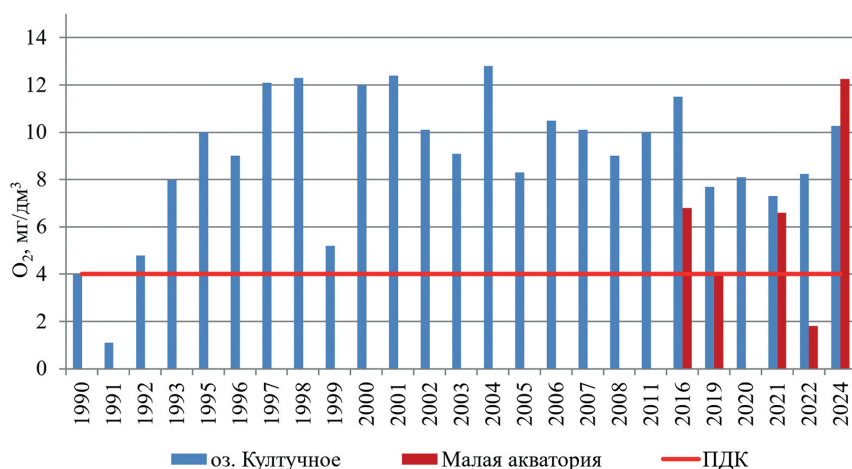


Рис. 2. Содержание растворенного кислорода в воде оз. Култужное в 1990–2024 гг.

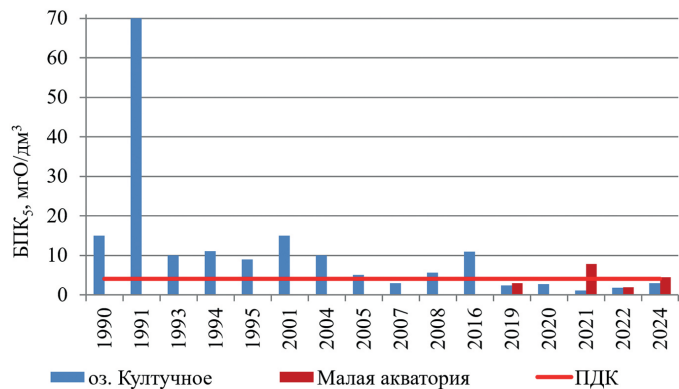


Рис. 3. Значение БПК₅ в воде оз. Култучное в 1990–2024 гг.

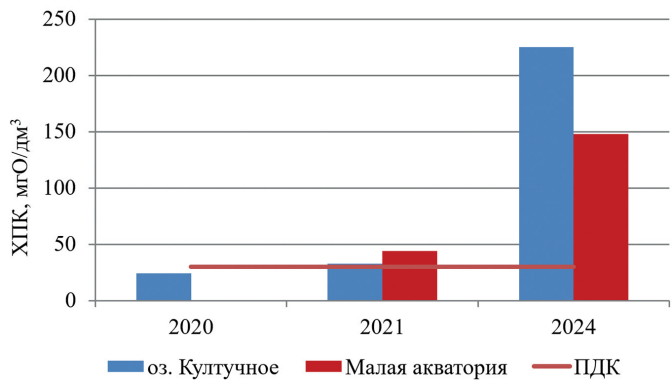


Рис. 4. Значение ХПК в воде оз. Култучное в 2020–2024 гг.

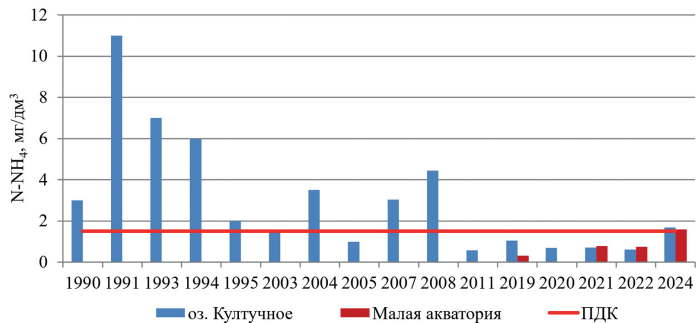


Рис. 5. Содержание аммонийного азота в воде оз. Култучное в 1990–2024 гг.

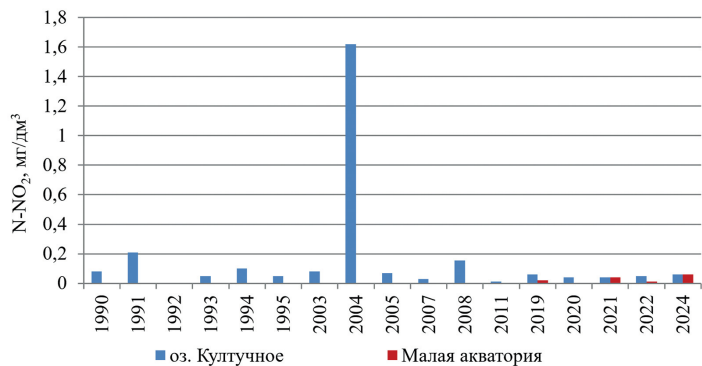


Рис. 6. Содержание нитритного азота в воде оз. Култучное в 1990–2024 гг.

в воде оз. Култучное в 1990, 1991 и в 1993 гг. (Голованева и др., 2016). В период с 2003 г. по 2008 г. концентрация нитратного азота колебалась в достаточно узких пределах и имела невысокие значения (от 0,8 до 3,3 мг/дм³). С 2019 по 2024 гг. концентрация нитратов была на одном уровне (0,4 мг/дм³), причем их содержание в оз. Култучное стабильно в 2,3 раза выше, чем в «Малой акватории». ПДК за все время наблюдений превышен не был (рис. 7).

Взвешенные частицы в природных водах влияют на прозрачность воды, температуру, состав растворенных компонентов, адсорбцию токсичных веществ, в процессе осаждения они оказываются на дне, но при малейших возмущениях переходят обратно в воду. Вода, в которой много взвешенных частиц, не подходит для рекреационного использования по эстетическим соображениям (Косов, Иванов, 1995). Проанализировав данные, полученные в 2019–2024 гг., можно сделать вывод, что содержание взвешенных веществ в озере часто превышает ПДК, средние результаты за год по станциям колеблются в пределах 2–20 ПДК. В «Малой акватории» всегда стабильно высокое содержание взвешенных веществ, в 1,6 раза больше чем в оз. Култучное (рис. 8).

Нефтепродукты не являются естественными компонентами водоемов, они создают разные формы загрязнения: плавающую в воде нефтяную пленку, растворенные и эмульгированные в воде нефтепродукты, осевшие на дно тяжелые фракции и т. д. (Чернова, 2004). Превышение ПДК нефтепродуктов в озере было зафиксировано на всех станциях оз. Култучное и в «Малой акватории» за все время наблюдений, причем в «Малой акватории» их содержание, как правило, выше. Содержание нефтепродуктов в воде оз. Култучное колебалось от 4 до 83 значений ПДК, а в «Малой акватории» озера на станции 2 достигло огромного значения – 114 ПДК. Результаты проведенных исследований показывают, что поступление нефтепродуктов с водосборной территории в водоем носит регулярный неконтролируемый характер (рис. 9).

С коммунальными водами в водоемы поступают моющие синтетические поверхностно-активные вещества (АПАВ). Концентрация АПАВ в озере за время наблюдений с 2019 г. в среднем составила 0,03 мг/дм³, что значительно меньше ПДК (0,5 мг/дм³).

В 2024 г. концентрация *сульфатов* в оз. Култучное в 2024 г. в среднем по станциям составила 22 мг/дм³, а в «Малой акватории» 24 мг/дм³, что значительно меньше ПДК (500 мг/дм³).

В зависимости от значения интегрального индекса загрязненности воды (ИЗВ) установлены классы качества поверхностных вод суши (табл. 2).

Таблица 2

**Оценка и нормирование качества поверхностных вод
(СП 502.1325800.2021; Гагарина, 2012)**

ИЗВ	Класс качества воды	Оценка качества воды
Менее и равно 0,2	I	Очень чистые
Более 0,2–1	II	Чистые
Более 1–2	III	Умеренно грязные
Более 2–4	IV	Загрязненные
Более 4–6	V	Грязные
Более 6–10	VI	Очень грязные
Свыше 10	VII	Чрезвычайно грязные

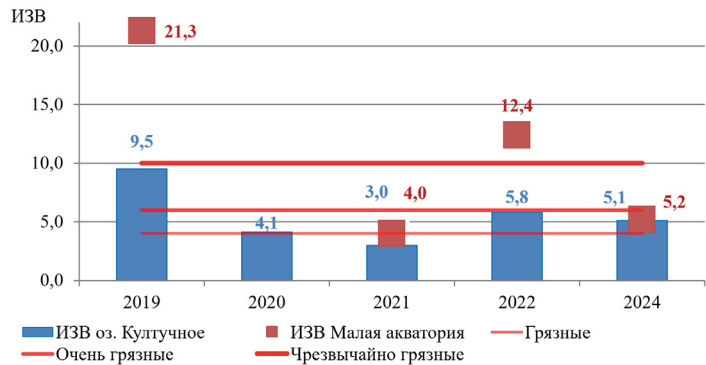


Рис. 7. Содержание нитратного азота в воде оз. Култучное в 1990–2024 гг.

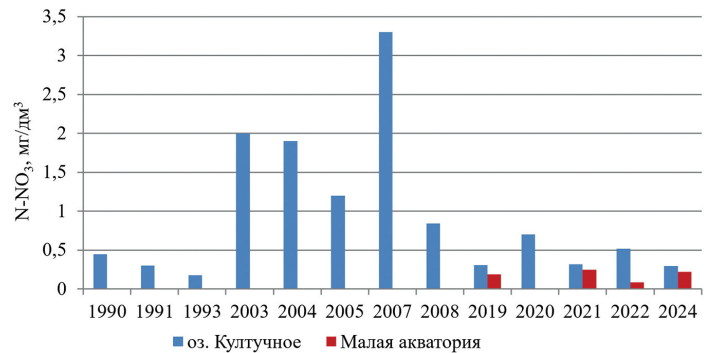


Рис. 8. Содержание взвешенных веществ в воде оз. Култучное в 1990–2024 гг.

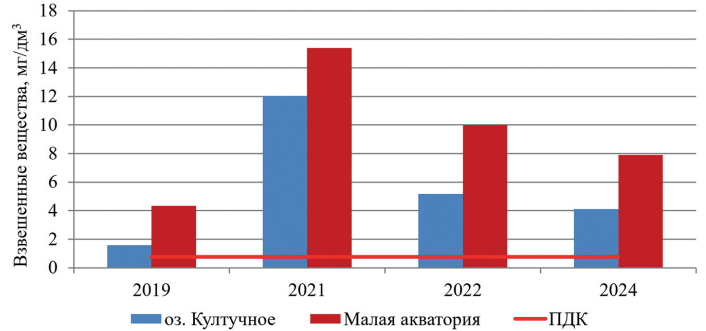


Рис. 9. Содержание нефтепродуктов в воде оз. Култучное в 2007–2024 гг.

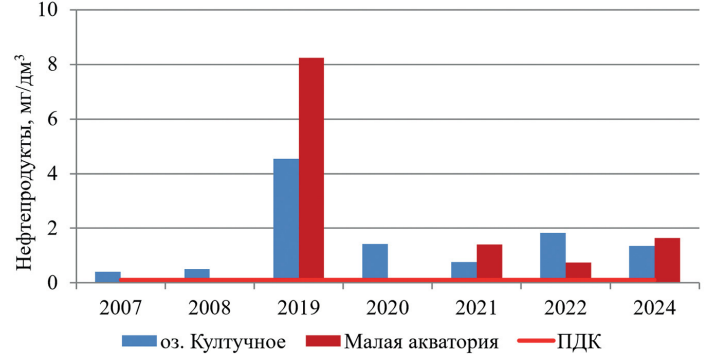


Рис. 10. Интегральные значения ИЗВ вод оз. Култучное в период с 2019 г. по 2024 г.

В таблице 3 представлены нормируемые компоненты, которые использовали для расчета ИЗВ оз. Култучное с 2019 г. по 2024 г.

Таблица 3

Нормируемые компоненты и их распределение по годам

Наименование показателя	2019	2020	2021	2022	2024
Растворенный кислород	+	+	+	+	+
БПК ₅	+	+	+	+	+
Азот аммонийный	+	+	+	+	+
ХПК	нет	+	+	нет	+
Нефтепродукты	+	+	+	+	+
Нитриты	+	+	+	+	+
Взвешенные вещества	+	нет	нет	+	нет

До 2006 г. оценить ИЗВ мы не можем, т. к. для его расчета этого? необходимы шесть показателей, а в указанный период их было определено пять. В 2007–2008 гг. окисляемость определяли по методу Кубеля (Голованева и др., 2016). Этот метод подходит для определения органического вещества в умеренно загрязненной природной или в питьевой воде и может давать некорректные результаты при анализе сточных вод, т. к. перманганат является недостаточно сильным окислителем, и окисление многих веществ проходит частично или совсем не проходит. Если воды очень загрязненные (как в случае с оз. Култучное), необходимо определять бихроматную окисляемость (ХПК). Кроме того, в 2007–2008 гг. при расчете ИЗВ были использованы фактические данные БПК₅ и концентраций кислорода, тогда как они должны были быть пересчитаны согласно нормам (Гагарина, 2012). Так же при расчете ИЗВ в этот период фактические значения рН не были поделены на значения ПДК согласно формуле 1. Поэтому ИЗВ в 2007–2008 гг. рассчитаны неверно и не могут быть использованы в качестве отправной точки для сравнения.

В период с 2019 г. по 2024 г. по индексу ИЗВ вода в оз. Култучное имеет градацию от IV класса – «загрязненные» до VI класса – «очень грязные». В среднем индекс ИЗВ по оз. Култучное составляет 5,5, что характеризует его воды чаще всего как «грязные», т. е. V класс качества вод. В «Малой акватории воды» находятся в промежутке от V до VII классов качества, что соответствует градации от «грязные» до «чрезвычайно грязные», в среднем – «чрезвычайно грязные», т. к. ИЗВ составляет 10,7 (рис. 10).

Закключение

В результате исследований, проведенных в период 2019–2024 гг., в воде оз. Култучное было зафиксировано регулярное превышение ПДК по нефтепродуктам до 101 и 114 ПДК как в самом озере, так и в его «Малой акватории». Локально ХПК достигало 225 ПДК и 148 ПДК, соответственно.

Превышения по БПК₅ и аммонийному азоту составили до 2,0 ПДК в обеих акваториях. Также в оз. Култучное отмечено высокое содержание взвешенных веществ – до 83 ПДК.

Результаты исследований показывают, что с 1990 г. оз. Култучное подвергается комплексному, недопустимому по нагрузке антропогенному воздействию. В озерных водах продолжается накопление органического вещества, что затрудняет процессы естественного (природного) самоочищения.

Литература

- Алискеров А.А. 1997.** Экологическое восстановление Култучного озера // Физико-химические процессы в гетерогенных средах. Петропавловск-Камчатский: ПКВМУ. С. 84–91.
- Бровкин А.Е., Потапов В.В., Хорошман Л.М., Власова И.М. 2017.** Основные факторы, влияющие на состав и объемы поверхностных сточных вод, поступающих в озеро Култучное города Петропавловска-Камчатского // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование. VIII Всероссийская научно-практическая конференция (12–14 апреля 2017 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 79–83.
- Введенская Т.Л., Бонк Т.В., Макаrenchенко Е.А. 2010.** Предварительные сведения о составе донных организмов в озере Култучном (Петропавловск-Камчатский) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Материалы XI Междунар. науч. конф. (24–25 ноября 2010 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 183–185.
- Введенская Т.Л., Улатов А.В., Бонк Т.В. 2013.** Экологическое состояние озера Култучного (Восточная Камчатка) // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей: Докл. XII–XIII междунар. конф., 2011–2012 гг. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 72–91.
- Гаврилов С.В. 2017.** Озеро, город и горожане // Экологическое состояние озера Култучное, меры по его улучшению и возможности хозяйственного использования. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. С. 6–33.
- Гагарина О.В. 2012.** Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. – Ижевск: Удмуртский университет. 200 с.
- Голованева А.Е., Ступникова Н.А., Хурина О.В., Саушкина Л.Н. 2016.** Экологическое состояние озер Петропавловск-Камчатской городской агломерации и меры по его улучшению. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. 186 с.
- ГОСТ 17.1.3.07-82.** Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. Nature protection. Hydrosphere. Procedures for quality control of water in reservoirs and stream flows: утвержден Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 марта 1982 г. № 1115 дата введения установлена 01.01.83 Приказом Минприроды России от 16 апреля 1992 г. № 60 снято ограничение срока действия.
- ГОСТ 31859-2012.** Метод определения химического потребления кислорода: утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2012 № 1618, введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2014 г.
- Дитмар К.В. 1901.** Поездки и пребывание в Камчатке в 1851–1855 гг. Часть первая. Исторический очерк по путевым дневникам. С.-Петербург: Типография императорской Академии наук. 754 с.
- Комаров В.Л. 1912.** Путешествие по Камчатке в 1908–1909 гг. Камчатская экспедиция Федора Павловича Рябушинского, снаряженная при содействии Императорского Русского Географического общества. М.: Ботанический отдел. 456 с.
- Косов В.И. Иванов В.Н. 1995.** Охрана и рациональное использование водных ресурсов. Ч. 1 Охрана поверхностных вод: Тверь: Твер. гос. техн. ун-т. 124 с.
- Кузякина Т.И., Хурина О.В. 2007.** Участие микроорганизмов в превращениях соединений азота в антропогенном водоеме (оз. Култучное, Камчатка) // Успехи современного естествознания. № 9. С. 94–95.
- ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-2018.** Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации хлорид-ионов, нитрит-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природных, питьевых и сточных вод с применением системы капиллярного электрофореза «Капель». С.-Петербург: ООО «Люмэкс-маркетинг». 40 с.
- ПНД Ф 14.1:2:4.15-95.** Методика измерений массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ в питьевых, поверхностных и сточных водах экстракционно-фотометрическим методом. М.: БФУ «ФЦАО», 2011. 16 с.
- ПНД Ф 14.1:2:4.254-09.** Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций взвешенных и прокаленных взвешенных веществ в пробах питьевых, природных и сточных вод гравиметрическим методом. М.: ЗАО «РОСА», 2017. 35 с.
- РД 52.24.419-2019.** Массовая концентрация растворенного кислорода в водах. Методика измерений йодометрическим методом. Ростов-на-Дону: Гидрохимический институт, 2020. 29 с.
- РД 52.24.420-2019.** Биохимическое потребление кислорода в водах. Методика измерений титриметрическим и амперометрическим методами. Ростов-на-Дону: Гидрохимический институт, 2020. 27 с.
- РД 52.24.495-2017.** Водородный показатель вод Методика измерений потенциометрическим методом. Ростов-на-Дону: Гидрохимический институт, 2018. 11 с.

- СанПиН 1.2.3685-21** «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». СПС КонсультантПлюс. Опубликовано 03.02.2021 на официальном интернет-портале правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>
- Саушкина Л.Н., Лонгинова Р.В. 2016.** О возможности восстановления экологического состояния озера Култучное биопрепаратом микрозим «ПОНД ТРИТ» // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. VII Всероссийская научно-практ. конф. с междунар. участием (22–24 марта 2016 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 38–41.
- СП 502.1325800.2021.** Свод правил. Инженерно-экологические изыскания для строительства.
- Ступникова Н.А. 2017.** Экологический статус озера Култучное и его устойчивость к эвтрофированию // Экологическое состояние озера Култучное, меры по его улучшению и возможности хозяйственного использования. Сборник докладов научно-практической конференции. Петропавловск-Камчатский. С. 68–79.
- Хурина О.В., Кузякина Т.И. 2006.** Значение биологических факторов для возрождения озера Култучное // Рыбохозяйственное образование и научные исследования в Камчатском регионе: Материалы науч.-техн. конф. ППС и аспирантов Камчат ГТУ (26–28 апреля 2005 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ. С. 110–113.
- Хурина О.В., Саушкина Л.Н., Кузякина Т.И. 2010.** Оценка экологического состояния пресноводной гидросистемы в условиях антропогенной нагрузки // *Вестник КамчатГТУ*. № 12. С. 26–31.
- ЦВ 1.12.52-2002.** Методика выполнения измерений содержания нефтепродуктов. Метод газовой хроматографии. СПб: Центр исследования и контроля воды, 2007. 19 с.
- Чернова Н.М. 2004.** Экология. М.: Дрофа. 412 с.