

УДК 502.51

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОЗЕРА ХАЛАКТЫРСКОГО ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

© 2016 г. А.Е. Голованева

ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный технический университет»,
г. Петропавловск-Камчатский, Россия

Ключевые слова: антропогенное воздействие, тепловое воздействие, эвтрофирование, сточные воды, оз. Халактырское, р. Кирпичная, азот, фосфор, АПАВ, нефтепродукты, растворенный кислород.



А.Е. Голованева

Представлена оценка экологического состояния Халактырского озера, испытывающего значительное антропогенное воздействие. Изучение экологического состояния озера проводилось по следующим показателям: температура, растворенный кислород, азот (аммонийный, нитратный, нитритный), фосфор, железо, нефтепродукты, АПАВ.

В ходе исследования получены данные по превышению на некоторых станциях значений ПДК по фосфору и аммонийному азоту. ПДК по железу превышена на всех исследуемых пунктах. Отмечено превышение ПДК АПАВ и нефтепродуктов, поступающих с коммунально-бытовыми сточными водами и с загрязненными водами р. Кирпичной. По исследуемым показателям определена степень загрязнения водоема. Наличие поступающих в водоем коммунально-бытовых сточных вод и нагретых вод ТЭЦ-2 способствует ускорению процессов эвтрофирования, создавая дисбаланс в экосистеме исследуемого озера. В оз. Халактырское сбрасываются нагретые воды ТЭЦ-2, что приводит к тепловому загрязнению водоема. Загрязняющие вещества оказывают отрицательное воздействие на биохимические и гидрохимические процессы, протекающие в оз. Халактырском.

Природные воды, находясь во взаимодействии с атмосферой и почвой, содержат растворенные газы и соли, что служит отличительным признаком природных вод от воды, как определенного химического соединения [1]. Формирование химического состава вод определяется совокупностью физических, химических и биологических процессов, происходящих на водосборе и в самом водоеме [2].

Озера относятся к числу важнейших элементов природных ландшафтов. Их роль в жизни человека определяется в первую очередь большими запасами пресной воды [3]. Озера играют важную роль в круговороте ве-

щества и энергии, являясь расходно-накопительными системами. Именно накопление вещества в озерах играет важнейшую роль в преобразовании озерных котловин и эволюции озерных геосистем. В озерах накапливаются продукты жизнедеятельности растений и животных, образующих озерные экосистемы, формируются биогенные и хемогенные осадки.

Антропогенные факторы, которые в последние годы по значимости сопоставимы с природными, влияют на химический состав природной воды как в результате непосредственного сброса сточных вод и неорганизованных стоков, так и вследствие глобальных изменений окружающей среды и климата [2]. Антропогенное воздействие нередко сопровождается стрессовыми изменениями озерных экосистем. Цель данного исследования – изучение экологического состояния оз. Халактырского.

Озеро Халактырское расположено на восточной окраине г. Петропавловска-Камчатского в долине р. Кирпичной, впадающей в Авачинский залив Тихого океана несколько севернее Авачинской бухты. Площадь озера около 220 га, средняя глубина 4,12, максимальная 12 м [4]. Ранее в озере вели промысел лососей, на базе промыслового хозяйства образовался пос. Халактырка. Со временем стадо лососевых рыб значительно сократилось и промысел пришлось прекратить. Причина сокращения стада – перелов, т. к. водоем небольшой по акватории, а промысел велся интенсивно [5].

Озеро Халактырское является местом нереста и нагула нерки, кеты, горбуши, кижуча, гольца. За последние 30–40 лет под влиянием антропогенных факторов (нарушение путей миграции, гидрологического режима и водосборной территории, загрязнение поверхностных и грунтовых вод хозяйственно-бытовыми и производственными сточными водами) нерестово-нагульный потенциал озера существенно снизился, нерест лососевых рыб во многих частях бассейна прекратился, в большинстве ручьев и притоков лосось исчез. Но нерестово-вырастной потенциал по-прежнему остается на высоком уровне и в случае очистки и рекультивации оз. Халактырского, а также реализации мер по восстановлению путей миграции и зарыбления может стать основой роста популяций рыб до исторической промысловой величины [6].

Близость г. Петропавловска-Камчатского определяет большое количество органических взвесей в воде. В акваторию поступают загрязненные воды с застроенных городскими постройками окружающих территорий [6]. Сточные воды различного происхождения поступают с водами впадающей в озеро р. Кирпичной. Значительное антропогенное воздействие на озеро оказывает расположенная на его берегу ТЭЦ-2. Несмотря на длительное антропогенное воздействие исследования экологического состояния водоема ранее не проводились.

Для определения степени антропогенного влияния на исследуемый водоем использовали стандартные методы обработки и анализа проб воды по следующим гидрохимическим показателям: биогенные элементы (фосфор; азот аммонийный, нитратный, нитритный; железо), растворенный кислород, загрязняющие вещества (нефтепродукты, АПАВ) [7]. Фосфаты определяли по методике выполнения измерений фотометрическим методом с молибдатом аммония в кислой среде. Определение аммония произведено фотометрическим методом с реактивом Несслера. Массовая концентрация нитритов определена по методике выполнения измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса. Массовая концентрация нитратов определена по методике выполнения измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса после восстановления в кадмиевом редуторе. Массовая концентрация железа общего определена по методике выполнения измерений фотометрическим методом с 1,10-фенантролином. Концентрация нефтепродуктов определена по методике выполнения измерений ИК-фотометрическим методом. Определение массовой концентрации анионных поверхностно-активных веществ в пробах озерной воды осуществлялось экстракционно-фотометрическим методом.

Отбор проб производили непосредственно на станциях исследования водоема (рис. 1), содержание растворенного кислорода в природных водах определяли йодометрическим методом (по Винклеру). Отбор проб осуществляли пять раз в год в основные фазы гидрологического режима водоема в период 2013–2014 гг. Анализ проводили по средним значениям показателей, изучаемых в ходе определения антропогенного влияния на оз. Халактырское.

Полученные в ходе анализа данные сравнивали с измерениями, проведенными в 1970-х годах при проектировании ТЭЦ-2, а также с результатами исследований химической производственной лаборатории ТЭЦ-2 в 2009–2010 гг.

Озеро Халактырское используется станцией ТЭЦ-2 филиала ОАО «Камчатскэнерго» в качестве источника водоснабжения для технологических нужд и как водоприемник технологических вод с 1985 г. Схема циркуляционного водоснабжения электростанции оборотная с водохранилищем-охладителем. Вода оз. Халактырского, пройдя через конденсатор и охладив пар, нагревается и возвращается в природную среду с повышенной температурой (рис. 2).

Как следует из рис. 2, ТЭЦ-2 сбрасывает в оз. Халактырское нагретые сточные воды, что свидетельствует о тепловом воздействии на водоем. При рассмотрении вопроса о тепловом загрязнении необходимо учесть, что для рыбохозяйственных водоемов температура воды в расчетном створе летом

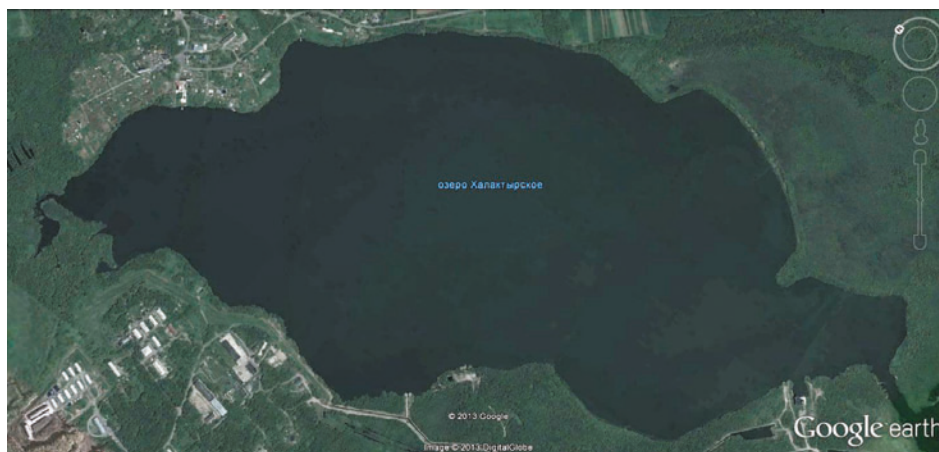


Рис. 1. Картограмма расположения станций отбора проб воды на оз. Халактырском: 1 – центр акватории; 2 – выпуск сточных вод ТЭЦ-2; 3 – коммунально-бытовые сточные воды пос. Халактырка; 4 – место впадения р. Кирпичной; 5 – коммунально-бытовые сточные воды пос. Дальний.



Рис. 2. Сравнительная характеристика температуры воды оз. Халактырского и места сброса сточных вод ТЭЦ-2.

не должна повышаться более чем на 5 °С по сравнению с естественной в месте водовыпуска [8]. Незначительное превышение в 2 °С (июль, август 2013 г.) объясняется работой ТЭЦ в неотапительный период (небольшой объем образования сточных вод).

Тепловое загрязнение опасно тем, что вызывает интенсификацию процессов жизнедеятельности и ускорение естественных жизненных циклов водных организмов, изменение скорости протекающих в водоеме химических и биохимических реакций. Повышение температуры способно нарушить структуру растительного мира водоемов: характерные для холодной воды водоросли заменяют более теплолюбивые и при высоких температурах полностью их вытесняют [9–11]. Нарушение теплового режима ведет к активному росту водной растительности, увеличивая при этом количество биогенных элементов, что приводит к эвтрофированию водоема.

Принципиальное отличие теплового воздействия от антропогенного эвтрофирования и загрязнения водоемов заключается в том, что в первом случае в водоемы поступает тепло, т. е. энергия, а в остальных – вещество [12]. Тепло не аккумулируется и не передается по трофическим цепям. Существенно отличается и продолжительность последствий: после прекращения сброса теплых вод даже полностью уничтоженные высокими температурами биоценозы восстанавливаются за время, необходимое на реколонизацию субстратов, а после прекращения сброса эвтрофирующих веществ необходимо не только длительное время, но и проведение специальных мероприятий для очистки водоемов. Лишь после этого становится возможным восстановление нарушенных биоценозов [8].

Важнейшая причина эвтрофирования внутренних вод связана с обогащением их питательными веществами. Даже в условиях относительно постоянной географической среды идет, хотя и медленное, накопление этих веществ в озерах. При антропогенном эвтрофировании меняется скорость поступления таких биохимически важных элементов, как углерод, азот и фосфор. В настоящее время установлено, что углерод не может рассматриваться как элемент сколько-нибудь существенно ответственный за эвтрофирование водоемов, т. к. благодаря инвазии атмосферного углекислого газа практически никогда не лимитирует биологические процессы, в первую очередь процессы фотосинтеза [8]. Фосфор – наиболее важный биогенный элемент в процессах эвтрофирования, его избыточные поступления могут значительно увеличить содержание углерода и азота в воде.

Сильное антропогенное воздействие сопровождается стрессовым изменением озерных экосистем. Многочисленные исследования показывают, что изменения режима биогенных элементов сказываются на характере структуры экосистемы озер: повышается уровень биопродуктивности, меняется видовой состав биологических сообществ, нарушается устойчивость трофических связей.

Рассматривая процесс эвтрофирования в оз. Халактырском, необходимо оценить количество поступающих биогенных элементов. Исходя из источ-

ников, оказывающих антропогенное воздействие на озеро (сточные воды ТЭЦ-2, коммунально-бытовые сточные воды поселков Халактырка и Дальний, р. Кирпичная), необходимо рассмотреть поступление в водоем фосфора и азота. Содержание фосфора в оз. Халактырском по нескольким показателям превышает значение ПДК (предельно-допустимая концентрация), особенно в результате сброса сточных вод ТЭЦ-2 и коммунально-бытового загрязнения (табл. 1). Согласно ПДК для рыбохозяйственных водоемов, значения фосфатов не должны превышать 0,2 мг/л для эвтрофных водоемов, 0,15 мг/л для мезотрофных водоемов и 0,05 для олиготрофных водоемов.

Таблица 1. Содержание фосфора в воде оз. Халактырское в 2013 г, мг/л

Месяц	Станция отбора проб				
	Место сброса сточных вод ТЭЦ-2	Центр акватории	Коммунально-бытовые сточные воды пос. Халактырка	Место впадения р. Кирпичной	Коммунально-бытовые сточные воды пос. Дальний
Июль	0,12	0,16	0,87	0,19	0,07
Август	0,13	0,16	0,18	0,05	0,14
Октябрь	0,09	0,13	0,52	0,08	0,4

Азотсодержащие вещества – нитриты, нитраты и ионы аммония – зачастую относят к санитарным показателям качества воды, т. к. они свидетельствуют о загрязнении воды хозяйственно-бытовыми сточными водами. Азотсодержащие вещества образуются в воде главным образом в результате разложения белковых соединений в водоеме [13].

Значение нитратов в пробах разных станций оз. Халактырское в 2013 г. не превышает значений ПДК для рыбохозяйственных водоемов: нитраты – 9,1 мг/л, нитриты – 0,02 мг/л (рис. 3). Наблюдалось лишь некоторое повышение нитритов в коммунально-бытовых сточных водах пос. Халактырка в июле 2013 г. Нитриты являются промежуточным продуктом биохимического окисления аммиака или восстановления нитратов, их присутствие свидетельствует о фекальном загрязнении воды [13]. В табл. 2 представлены данные о содержании аммонийного азота на станциях исследования оз. Халактырского. Загрязнение озера аммонийным азотом объясняется наличием превышающих значения ПДК показателей в коммунально-бытовых сточных водах прилегающих к озеру поселков, а также с водами впадающей в озеро р. Кирпичной (ПДК=0,4 мг/л).

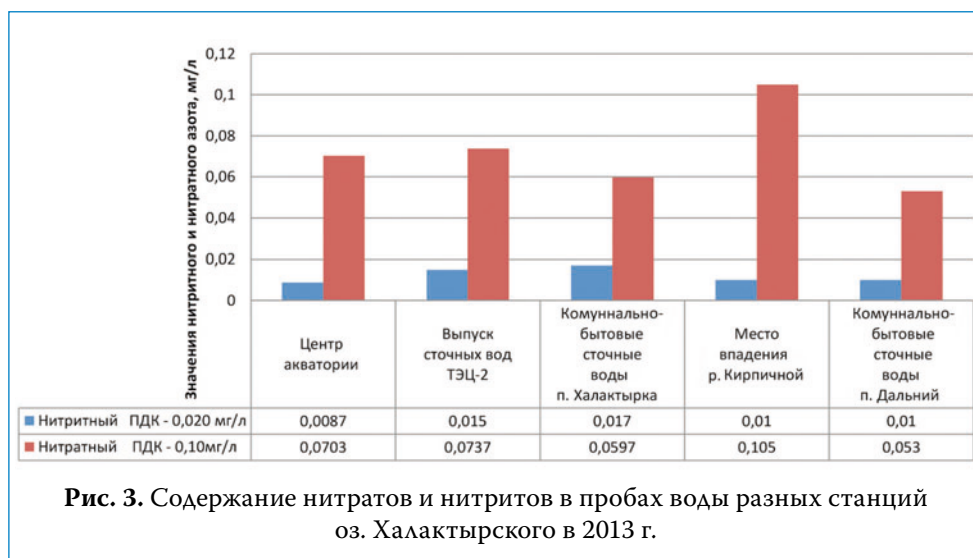


Рис. 3. Содержание нитратов и нитритов в пробах воды разных станций оз. Халактырского в 2013 г.

Таблица 2. Содержание аммонийного азота в воде оз. Халактырское в 2013 г., мг/л

Название станции	Июль	Август	Октябрь
Коммунально-бытовые сточные воды пос. Халактырка	1,385	1,226	2,53
Коммунально-бытовые сточные воды пос. Дальний	0,282	0,162	1,238
Центр акватории	0,303	0,308	0,541
ТЭЦ-2	0,274	0,345	0,155
Место впадения р. Кирпичной	0,267	1,056	0,306

Присутствие аммония в концентрациях порядка 1 мг/л снижает способность гемоглобина рыб связывать кислород. Признаки интоксикации – возбуждение, судороги, рыба мечется по воде и выпрыгивает на поверхность. Токсичность аммония возрастает с повышением рН среды. Повышенная концентрация ионов аммония может быть использована в качестве индикаторного показателя, отражающего ухудшение санитарного состояния водного объекта, процесса загрязнения поверхностных и подземных вод бытовыми и сельскохозяйственными стоками [14, 15].

Главными источниками соединений железа в поверхностных водах являются процессы химического выветривания горных пород, спрово-

ждающиеся их механическим разрушением и растворением. В процессе взаимодействия с содержащимися в природных водах минеральными и органическими веществами образуется сложный комплекс соединений железа, находящихся в воде в растворенном, коллоидном и взвешенном состояниях. Значительные количества железа поступают с подземным стоком и со сточными водами предприятий. Являясь биологически активным элементом, железо в определенной степени влияет на интенсивность развития фитопланктона и качественный состав микрофлоры в водоеме. Содержание железа в воде выше 1–2 мг Fe/л значительно ухудшает органолептические свойства, придавая ей неприятный вяжущий вкус, делает воду малопригодной для использования в технических целях [14, 15]. ПДК железа составляет 0,1 мг/л. Проанализировав данные табл. 3, можно сделать вывод о значительном превышении значений железа в воде оз. Халактырское. Важно отметить, что все источники антропогенного воздействия на озеро загрязняют его железом.

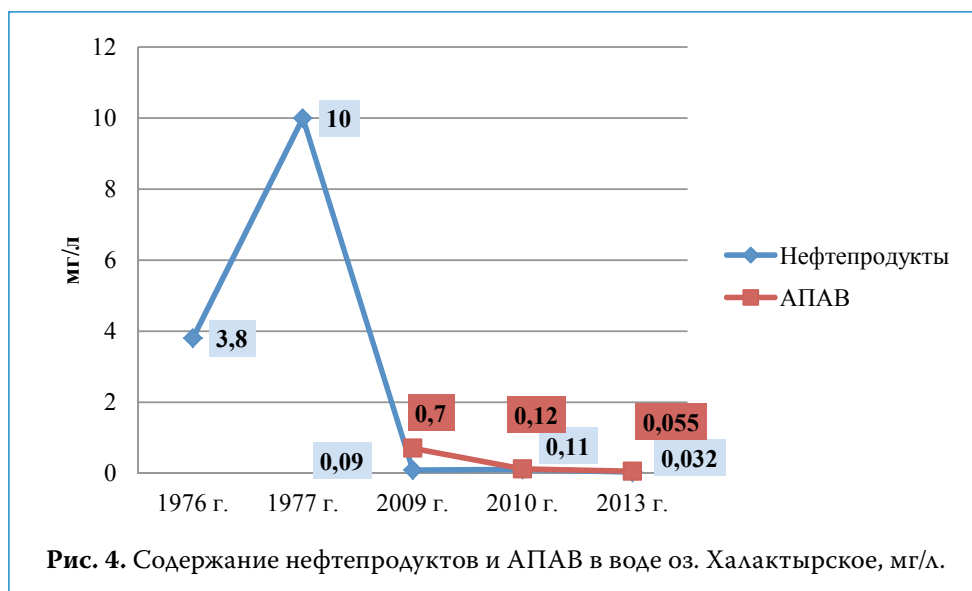
Таблица 3. Содержание железа в воде оз. Халактырское в 2013 г., мг/л

Название станции	Июль	Август	Октябрь
Коммунально-бытовые сточные воды пос. Халактырка	0,86	0,12	0,09
Коммунально-бытовые сточные воды пос. Дальний	0,51	0,17	0,57
Центр акватории	0,44	0,02	0,18
ТЭЦ-2	0,45	0,23	0,02
Место впадения р. Кирпичной	0,39	0,47	0,03

Значительный вклад в деградацию водной среды вносят различные загрязняющие вещества, в том числе нефтепродукты и СПАВы. С коммунальными и частично промышленными водами в водоемы поступают детергенты – моющие синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) [16]. СПАВ изменяют физико-химические свойства воды (пенообразование, снижение поверхностного натяжения), уменьшают диффузию кислорода в воду, тормозят процессы самоочищения водоемов и нарушают гидрохимический режим. Поступая со сточными водами в реки и озера содержащиеся в них химические вещества влияют на биологический и физический режим водоемов. СПАВ адсорбируются на взвешенных частицах и оседают на дно, некоторые СПАВ образуют нерастворимые соли с кальцием и магнием [17]. На их окисление расходуется много растворенного кис-

лорода, который таким образом исключается из процессов биологического окисления. Кроме этого косвенного вреда, детергенты оказывают и прямое токсическое действие на водных животных, нарушая функции биологических мембран и вызывая жаберные кровотечения, удушье у рыб и беспозвоночных. Для теплокровных они усиливают токсическое и канцерогенное влияние других загрязняющих веществ. Активные вещества бытового назначения – анионные детергенты (АПАВ) – обычно менее токсичны, чем неионные. Последние особенно трудно ассимилируются природной средой и крайне отрицательно влияют на состояние водных экосистем [16].

В рамках анализа воздействия коммунально-бытового хозяйства на оз. Халактырское проводилось исследование на содержание АПАВ. Для сравнения использовали значения АПАВ, полученные в 2009 и 2010 гг. (для АПАВ ПДК составляет 0,1 мг/л). Содержание нефтепродуктов и АПАВ в воде оз. Халактырского представлено на рис. 4.



Результаты анализов 1970-х годов (рис. 5) свидетельствуют о том, что в 1976 и 1977 гг. содержание нефтепродуктов в р. Кирпичной было значительным – 4,4 и 8,0 мг/л соответственно. Эти значения в несколько раз превышают ПДК нефтепродуктов (ПДК = 0,05 мг/л). Исследования 2013 г. показывают, что концентрация нефтепродуктов в озере снизилась, но по-прежнему превышает значения ПДК.

По мнению Ю.С. Черкасова [18] и Г.А. Татарчук [19], высокое содержание нефтепродуктов в воде р. Кирпичной в 1970-х годах объясняется смывом



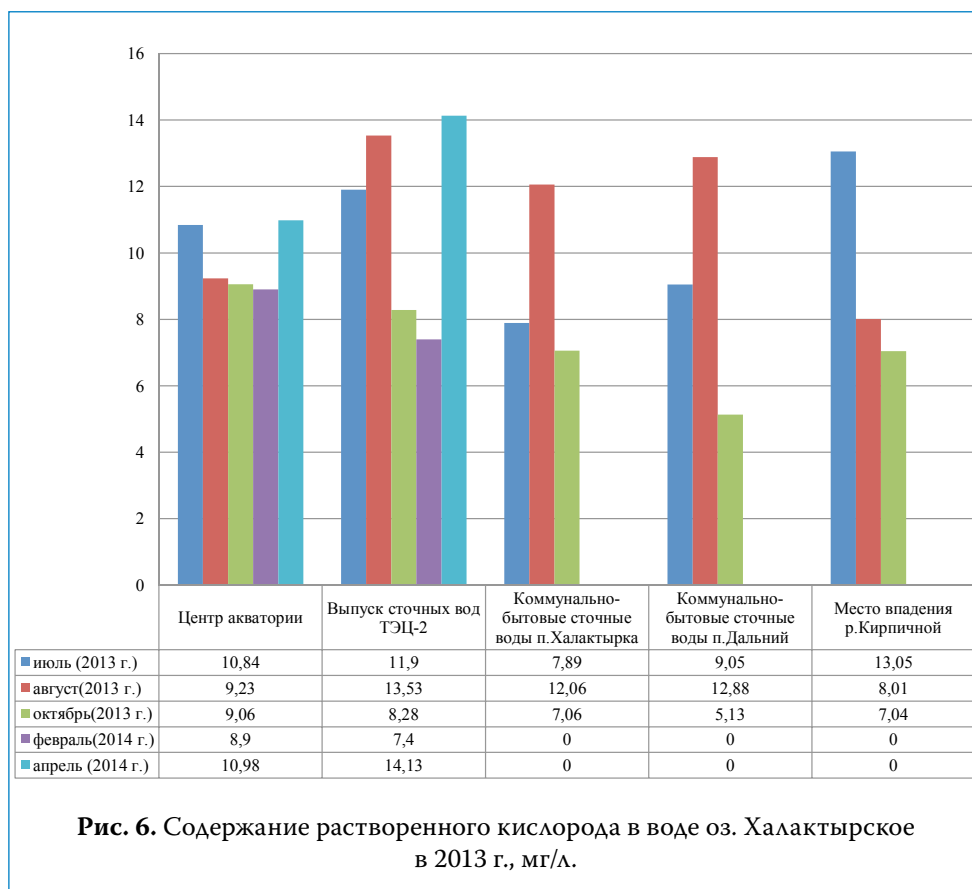
Рис. 5. Содержание нефтепродуктов в воде р. Кирпичной, мг/л.

с территории расположенных в бассейне реки гаражей горюче-смазочных материалов. Отмечены также случаи сброса отработанных ГСМ спецавтомашинами в бассейн р. Кирпичной. Таким образом, в оз. Халактырское поступают нефтепродукты с водами р. Кирпичной в концентрации, превышающей значения ПДК, что приводит к загрязнению озера: вода покрывается поверхностной пленкой, что ухудшает газо- и теплообмен водоема и атмосферы [16].

Важным показателем природной воды является степень насыщения растворенным кислородом, поскольку при определенных условиях может наблюдаться перенасыщение или дефицит этого газа в водоеме. Кислородный режим – чуткий показатель уровня загрязнения природных вод. Содержание растворенного кислорода в природных водах колеблется в пределах от 0 до 14 мг/л [14, 15, 20]. Данные, полученные при изучении растворенного кислорода в оз. Халактырском, представлены на рис. 6. На разных станциях наблюдения вода перенасыщена кислородом, поскольку уменьшение ее температуры вызывает увеличение содержания кислорода.

В зимний период значение кислорода оказалось меньшим, чем при высоких температурах летом, что обусловлено процессом фотосинтеза. Принимая во внимание февральские показатели кислорода в оз. Халактырском, этот водоем можно отнести к умеренно загрязненному (III класс качества).

Данные, полученные при изучении экологического состояния оз. Халактырского свидетельствуют о негативном антропогенном воздействии



на исследуемый водоем. В озеро попадают сточные воды различного происхождения: промышленные и коммунально-бытовые. Результаты гидрохимических исследований показывают превышение значений ПДК для фосфора, аммонийного азота, железа, АПАВ и нефтепродуктов для рыбохозяйственных водоемов, что негативно отражается на экологическом состоянии оз. Халактырского.

Некоторые вещества, к примеру нефтепродукты, поступают в водоем достаточно длительное время, хотя их концентрация снизилась по сравнению со значениями 1970-х годов. Присутствие теплового загрязнения, поступающие в водоем биогенные элементы в значительной степени могут ускорить процесс эвтрофирования озера. Необходимо проведение мониторинга, изучение экологического состояния оз. Халактырского, а также совершенствование систем водоотведения ТЭЦ-2, поселков Дальний и Халактырка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верещагин Г.Ю.* Методы полевого гидрохимического анализа в их применении к гидрологической практике. Л.: ГГИ, 1933. 127 с.
2. *Гашкина Н.А.* Пространственно-временная изменчивость химического состава вод малых озер в современных условиях изменения окружающей среды: автореф. дисс... д-ра геогр. наук. СПб.: Институт озероведения РАН, 2014. 207 с.
3. *Лопух П.С., Якушко О.Ф.* Общая лимнология: уч. пособие. Минск: Наука, 2011. 340 с.
4. *Улатов А.В., Леман В.Н.* Оценка эффективности рыбозащитных устройств береговой насосной станции 2 филиала Камчатское ТЭЦ // Отчет о НИР. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 2008. 47 с.
5. *Толстяк Т.И., Вронский Б.Б.* Состояние запасов, регулирование промысла и воспроизводство тихоокеанских лососей. Ихтиофауна Халактырского озера. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамчатНИРО, 1974. 32 с.
6. *Улатов А.В., Введенская Т.Л.* Антропогенное влияние на некоторые лососевые реки Камчатского края // Мат-лы всерос. науч. конф., посв. 80-летию юбилею ФГУП «КамчатНИРО». Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2012. 622 с.
7. *Боева Л.В.* Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Р.-на-Д.: Росгидромет, 2009. 1044 с.
8. Восстановление экосистем малых озер. СПб.: Наука, 1994. 144 с.
9. *Бойкова И.Г., Волшаник В.В., Карпова Н.Б., Печников В.Г., Пупырев Е.И.* Эксплуатация, реконструкция и охрана водных объектов в городах. М.: Изд-во АСВ, 2008, 256 с.
10. *Лурье Ю.Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. М.: Химия, 1984. 448 с.
11. *Голицын А.Н.* Промышленная экология и мониторинг загрязнения природной среды: учебник. М.: Изд-во Оникс, 2015. 336 с.
12. *Мордухай-Болтовский Ф.Д.* Проблемы влияния тепловых и атомных электростанций на гидробиологический режим водоемов // Экология организмов водохранилищ-охладителей. Л.: Наука, 1975. С. 7–69.
13. *Логина Е.В., Лопух П.С.* Гидроэкология. Минск: БГУ, 2011. 300 с.
14. *Крупнова Т.Г.* Химия окружающей среды: уч. пособ. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2011. 59 с.
15. *Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А.* Гидрохимические показатели состояния окружающей среды. М.: Эколайн, 2000. 88 с.
16. *Зилов Е. А.* Гидробиология и водная экология (организация, функционирование и загрязнение водных экосистем). Иркутск: Иркут. ун-т, 2008. 138 с.
17. *Жилин Д.М.* Химия окружающей среды. М. 2013. 144 с.
18. *Черкасов Ю.С.* Технический отчет по материалам инженерно-строительных изысканий на объекте «Новая электрическая станция на Камчатке». Т. V. Петропавловск-Камчатский: ДальТИСИЗ, 1976. 42 с.

19. Татарчук Г.А. Новая электростанция на Камчатке. Отчет об инженерно-гидрометеорологических изысканиях. Т. VII. Петропавловск-Камчатский: ДальТИСИЗ, 1978. 32 с.
20. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1953. 296 с.

Сведения об авторе:

Голованева Анна Евгеньевна, аспирант, ФГБОУ ВПО «Камчатский государственный технический университет» (КамчатГТУ), Россия, 683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35; e-mail: golovaneva.an@yandex.ru