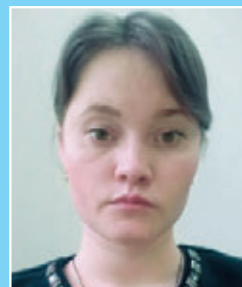


## ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ДЛЯ ВЫБОРА МЕТОДОВ РЕАБИЛИТАЦИИ ВОДОЕМОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ КОМПЛЕКСНОМУ АНТРОПОГЕННУМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ \*

© 2017 г. В.Н. Заслоновский, О.Ю. Токарева,  
М.П. Семенюк, С.Г. Тарасова

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», г. Чита, Россия

**Ключевые слова:** ТЭС, деградация, водный объект, химический состав вод, золоотвал, сброс, качество воды, модуль трансформации, восстановление водоема, антропогенное воздействие.



В.Н. Заслоновский

О.Ю. Токарева

М.П. Семенюк

С.Г. Тарасова

Представлен анализ многолетних архивных данных о химическом составе воды оз. Кенон, являющегося водоемом-охладителем Читинской ТЭЦ-1 по результатам собственных исследований и данным других авторов за длительный период. Отборы проб воды по акватории и на притоках производили с целью выявления путей переноса загрязнений. Обосновано применение интегральной оценки качества воды для антропогенно нагруженных водоемов, которое позволяет наиболее эффективно планировать мероприятия по восстановлению или приостановлению деградации таких водных объектов. На основе интегральной оценки качества вод для оз. Кенон выявлены загрязняющие вещества, вносящие основной вклад в загрязнение озера. Определен наиболее значимый путь загрязнения водоема – фильтрационные воды золоотвала.

\* Работа выполнена в рамках реализации научного гранта Совета по научной и инновационной деятельности ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет» на тему «Многолетнее изменение гидрохимического режима природного водоема под воздействием ТЭС»

Разработаны мероприятия по восстановлению водоема. Предложено разделить озеро дамбой на техногенную и коммунально-бытовую части, произвести перенос и консервацию золоотвала. Данные мероприятия соответствуют нормативным требованиям, возможность их реализации подтверждена гидрологическими расчетами, восстановление качества воды – прогнозными расчетами. Оценка стоимости строительства по укрупненным показателям указывает на возможность реализации проекта и его окупаемость в течение 10 лет за счет снижения платы за забор и сброс воды.

Технология производства электроэнергии связана с использованием большого количества воды, в основном для охлаждения конденсаторов. Под влиянием сброса в водный объект загрязняющих веществ и остаточной теплоты происходит изменение характеристик природных вод, вплоть до полной деградации водного объекта. Особенно подвержены такому влиянию объекты с замедленным водообменом – озера, пруды, водохранилища. Наглядным примером деградации крупного городского водоема под влиянием тепловой электрической станции (ТЭС) является процесс ускоренного эвтрофирования оз. Кенон, расположенного в пределах городской черты крупного областного центра Восточной Сибири – г. Читы.

Недостаточность объемов капитальных вложений и отсутствие научно проработанных сведений об отрицательном влиянии таких станций на окружающую среду ранее привело к принятию варианта размещения теплоэлектростанции на берегу озера и использованию его природной акватории в качестве водоема-охладителя. Таким образом, Читинская ТЭЦ-1 уже более 50 лет использует уникальный природный водоем в качестве технологического пруда. За это время в водоеме произошли изменения водного и термического балансов, химического состава, серьезные изменения претерпел и биоценоз озера [1].

Основные сложности оценки параметров деградации водоема заключаются в следующем:

- воздействие теплоэлектростанции на водный объект имеет многофакторный характер, выявить и оценить параметры такого воздействия в комплексе не всегда возможно;
- параметры воздействия вносят неодинаковый вклад в процесс деградации водоема;
- изменения в процессе деградации в водоеме могут быть выявлены в ходе детального мониторинга, что требует значительных финансовых вложений.

В настоящее время существует два подхода к решению проблем природопользования. Первый основан на нормах и лимитах на использование

природных ресурсов, в конечном результате он приводит к «сохранению без развития», т. к. система экологических ограничений консервативна и может быть принята лишь в качестве временной меры. Второй подход основан на формировании новых систем «человек–природа», основанных на взаимодействии природного и технического объектов в интересах использования и сохранения природной среды. В этом случае лимиты являются только способом регулирования. Такой подход может быть сформулирован как «развитие без разрушения» [2], именно он и применен при разработке комплекса мероприятий по стабилизации состояния оз. Кенон.

С вводом в строй ТЭЦ-1 в 1965 г. значительно увеличилась расходная часть водного баланса озера за счет безвозвратного забора воды и увеличенного испарения. Проблема дефицита водного баланса в настоящее время решается переброской воды в теплое время года из р. Ингоды в озеро. Подкачка воды в оз. Кенон началась в 1967 г. со строительством первой насосной станции, в 1977 г. запущена в эксплуатацию вторая насосная станция [3].

Цель работы – разработать действующую программу восстановления водоема-охладителя, опираясь на данные многолетнего мониторинга химического состава воды оз. Кенон.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Химический состав вод оз. Кенон и р. Ингода существенно отличаются. Основными веществами, подвергающимися сравнению в данных водных объектах, являются сульфаты и гидрокарбонаты. По данным наблюдений ФГБУ «Забайкальское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (ЗабУГМС), содержание сульфатов в р. Ингоде примерно в 16 раз ниже, чем в водах оз. Кенон. Различия в концентрациях гидрокарбонатов гораздо ниже – в 4 раза. Сравнивали также содержание кальция, магния, нефтепродуктов, хлоридов, солей Na+Ca. Концентрация хлоридов в водах оз. Кенон к настоящему времени больше, чем в р. Ингоде в 17 раз; кальция – в 9; магния – в 12; Na+Ca – в 9 раз, содержание нефтепродуктов практически не отличается [4].

Систематические наблюдения за химическим составом вод озера начали специалисты ЗабУГМС в 1966 г. в двух точках: на рейдовой вертикали и в 0,1 км от водовыпуска ТЭЦ. С этого же времени наблюдения велись в химической лаборатории ТЭЦ-1. Пробы отбирали каждый месяц в точке забора технологической воды, также ежемесячно осуществляли контроль качества сбросной воды.

Для выявления тенденций изменения химического состава воды оз. Кенон под влиянием ТЭЦ в ходе данного исследования были построены графики по среднегодовым концентрациям веществ с наложением на них ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения. В летний период 2000–2003 гг.

в рамках программы по разработке «Плана мероприятий по восстановлению оз. Кенон» производился отбор проб в семи точках по акватории озера с целью выявления направлений переноса загрязнений. Пробы отбирали четыре раза в год в теплый период. В летний период 2016 г. в рамках работ по гранту ЗабГУ проведены аналогичные работы, пробы отобраны три раза в семи точках по акватории и на притоках. Карта с расположением точек отбора проб представлена на рис. 1.

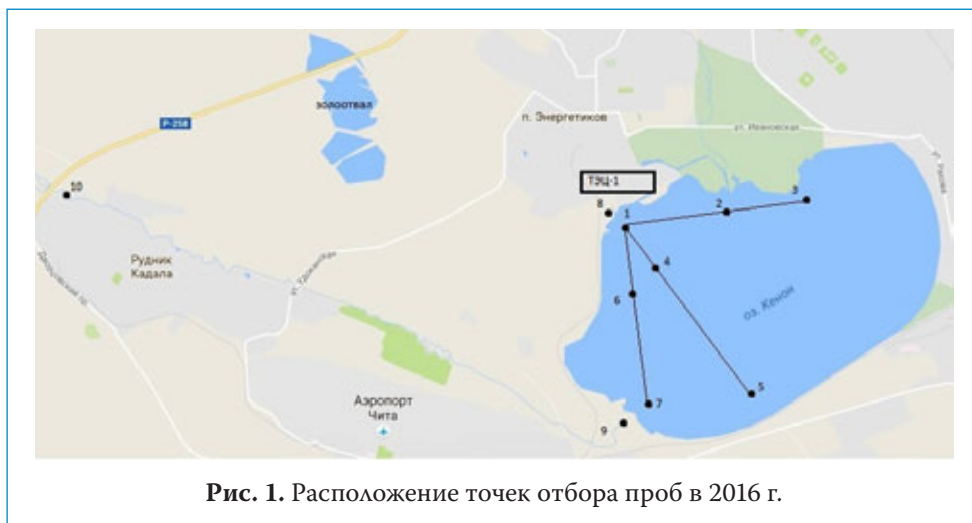
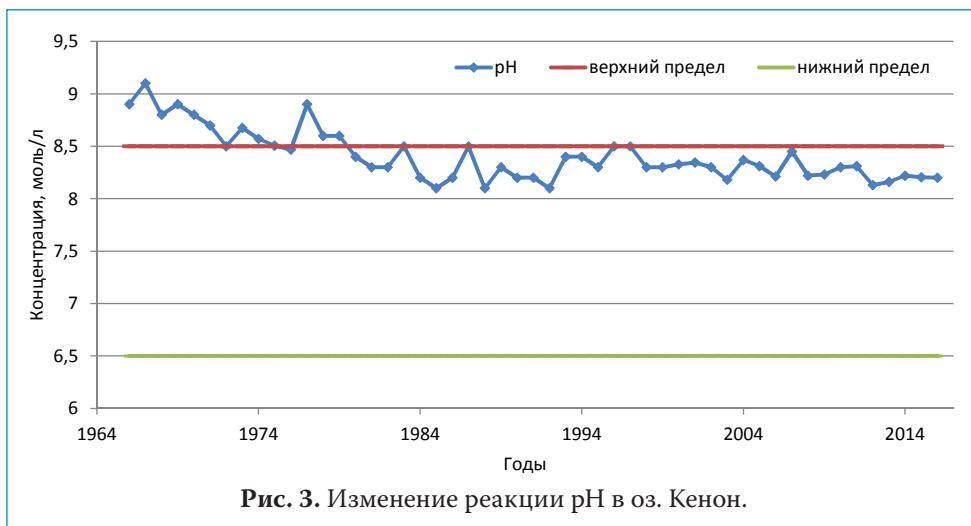
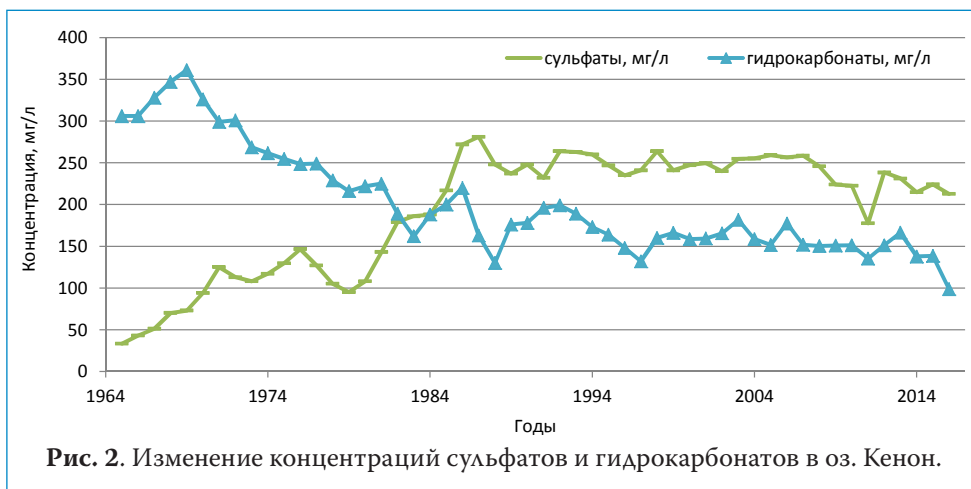


Рис. 1. Расположение точек отбора проб в 2016 г.

Проведенные работы позволили выявить следующее. До строительства ТЭС воды оз. Кенон относились к гидрокарбонатному классу (концентрация гидрокарбонатов в 1966 г. составляла 310 мг/л, сульфатов – 40 мг/л) (рис. 2). С вводом в эксплуатацию ТЭС концентрация сульфатов начала резко расти и в 1970 г. достигла ПДК (100 мг/л), с 1983 г. концентрация сульфатов превысила концентрацию гидрокарбонатов. Концентрация гидрокарбонатов начала падать с 1968 г., что связано с введением подкачки вод из р. Ингоды (не имеющей естественной гидравлической связи с озером) с низким содержанием гидрокарбонатов. С вводом второй очереди насосной станции подкачки в 1972 г. рост концентраций сульфатов замедлился, т. к. происходит разбавление озерной воды водами реки. Наибольшая концентрация сульфатов наблюдается в настоящее время в районе ТЭС, что объясняется выклиниванием фильтрационных вод золоотвала, наименьшая – в районе подкачки.

До строительства ТЭЦ естественная реакция рН находилась в пределах 9,0–9,2 мг/л, что выше допустимого для рыбохозяйственных водоемов предела 6,5–8,5 мг/л. Однако это естественное состояние водоема, вероят-

но, было вызвано щелочной реакцией слагающих дно пород или питающих озеро грунтовых вод. Предполагать отрицательное влияние слабощелочной реакции воды на гидробионтов не следует, т. к. биоценоз озера формировался в этих условиях и адаптировался к ним. Введение в строй ТЭЦ, а вернее подкачка речных вод с  $\text{pH} = 7,0\text{--}7,5$  привело к тому, что щелочность воды стала снижаться и вошла в допустимые пределы с 1980 г. (рис. 3). Увеличение содержания сульфатов также может вызвать снижение  $\text{pH}$ . При этом нельзя считать факт снижения реакции  $\text{pH}$  положительным, в перспективе невозможно предсказать реакцию гидробиоценоза озера на подобное изменение.



Концентрация нефтепродуктов в озере длительный период была стабильно выше ПДК. В период с 1970 по 1973 гг. концентрация нефтепродуктов превышала ПДК в десятки раз (рис. 4). В последние годы содержание нефтепродуктов в воде оз. Кенон находится в пределах ПДК для рыбохозяйственных водоемов.

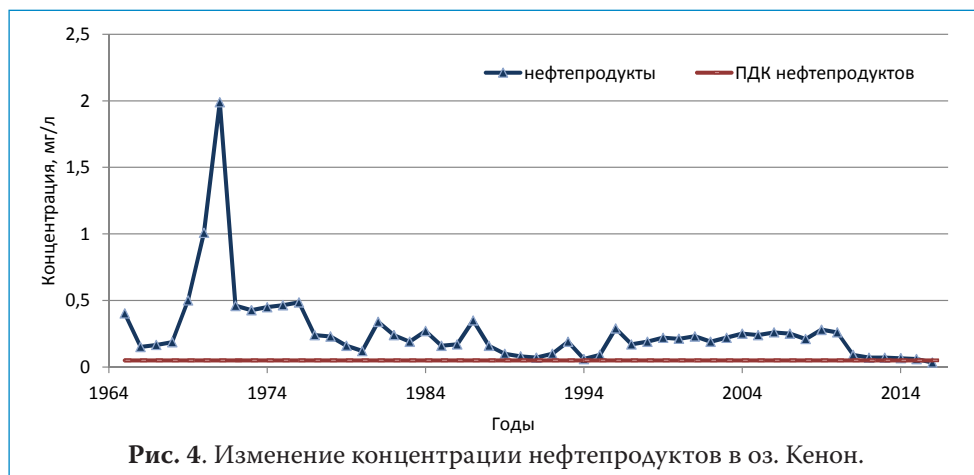


Рис. 4. Изменение концентрации нефтепродуктов в оз. Кенон.

Нефтепродукты нельзя считать естественной составляющей химического состава природных вод, поэтому их повышенное содержание следует полностью отнести на антропогенное загрязнение. На берегу озера расположены промышленные предприятия, населенные территории, железная дорога, нефтебаза. Таким образом, ТЭЦ является не единственным и не самым активным предприятием, загрязняющим озеро нефтепродуктами, что подтверждается данными гидрохимической лаборатории ТЭЦ-1.

В оз. Кенон происходит постоянное увеличение концентраций солей жесткости и общей минерализации, а также концентраций хлоридов, что, несомненно, связано с технологией водоподготовки на ТЭС. На начальном этапе работы станции наблюдалось падение содержания хлоридов, что объясняется разбавлением речными водами, а с 1980 г. отмечен резкий рост их концентраций. Это можно объяснить снижением объема подкачки в три раза (рис. 5).

Отбор проб на р. Кадалинке и фильтрационном ручье золоотвала показал влияние фильтрационных вод на химический состав вод реки. Так, зафиксированы концентрации кальция 156 и 126 мг/л соответственно при среднем по озеру 37,8 мг/л, гидрокарбонатов – 355,1 и 350,3 мг/л при среднем по озеру 98,6; сульфатов – 519 и 516 при среднем по озеру 212 мг/л. Значительное влияние золоотвала на режим стока р. Кадалинки подтверждается и повышенным стоком в апреле-мае, основную часть которого составляет

сток от таяния наледей, образованных постоянным притоком и выходом на поверхность грунтовых вод в зимнее время. Дополнительный приток вод в озеро из золоотвала происходит по следующим путям:

- фильтрационные воды золоотвала, через подземные воды;
- выклинивание фильтрационных вод на поверхность с образованием ручьев, сбегаящих в озеро. В ходе обследования береговой линии в 2000–2003 гг. такой ручей был обнаружен в районе ТЭЦ, в 2016 г. – в районе р. Кадалинки с незначительным стоком в период отсутствия атмосферных осадков;

- увеличение стока р. Кадалинки. Отбор проб в устье р. Кадалинки и в районе федеральной трассы М55 «Байкал» показал значительное ухудшение качества воды между точками 9 и 10: концентрация ионов аммония увеличивается с 0,33 до 0,56 мг/л, гидрокарбонатов – с 79 до 261,8 мг/л, хлоридов – с 2,74 до 30,6 мг/л, сульфатов с 2,79 до 321,1 мг/л (в 115 раз). Результаты отбора проб в устье и среднем течении представлены в таблице.

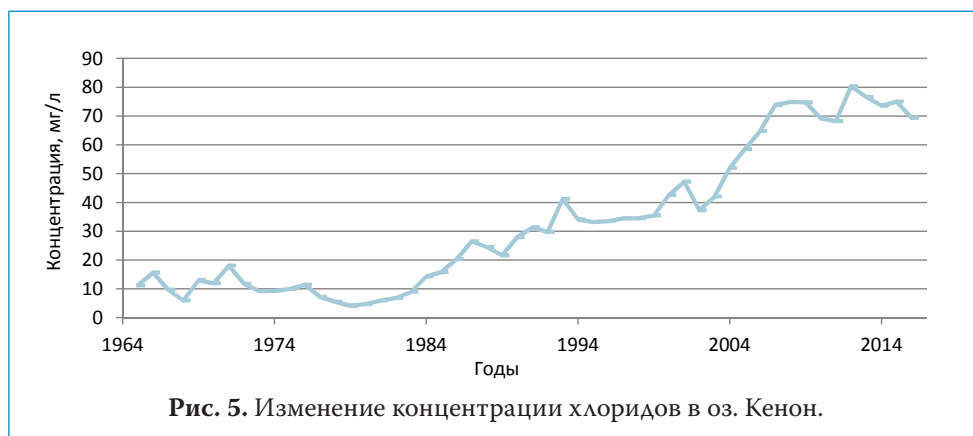


Рис. 5. Изменение концентрации хлоридов в оз. Кенон.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что на участке от трассы до устья (10 км) содержание сульфатов увеличивается в 115 раз, хлоридов – в 11, гидрокарбонатов – в 3 раза, подтверждая влияние золоотвала на химические показатели вод реки. Аналогичные результаты были представлены в отчете о научно-исследовательской работе по теме «Разработка программы по сохранению экосистемы оз. Кенон», выполненной АНО «Центр исследований и разработок» в 2013 г. [5]. Влияние золоотвала на сток р. Кадалинки и химический состав ее вод также подтверждается сравнением химического состава вод реки, фильтрационного ручья, осветленной воды золоотвала, а также пруда в непосредственной близости от золоотвала [6, 7], на всех участках отмечены повышенные концентрации сульфатов, хлоридов, кальция, натрия.

**Таблица.** Сравнительная характеристика химического состава вод р. Кадалинки (в устье и среднем течении) и фильтрационного ручья

Наименование компонента	ПДК, мг/л	Концентрация, мг/л		
		р. Кадалинка (устье)	р. Кадалинка (среднее течение)	Фильтрационный ручей
рН	6,5–8,5	8,31	7,87	8,07
БПК	3	2,15	3,17	2,73
Нефтепродукты	0,05	0,014	0,019	0,037
Ионы аммония	0,5	0,56	0,33	0,31
Нитрит-ионы	0,08	0	0	0
Нитрат-ионы	40	0,162	0,956	0
Фосфат-ионы	0,05	0	0,025	0
Кальций	180	11,3	17,5	15,6
Гидрокарбонаты	–	261,8	79	363,7
Хлорид-ионы	300	30,6	2,74	53,5
Сульфат-анион	100	321,1	2,79	456,1

При разработке мероприятий по восстановлению и охране водных объектов, подверженных комплексному антропогенному воздействию, целесообразно применять такой интегральный показатель, как модуль трансформации (для озера – это массовый расход), рассчитанный по каждому загрязняющему веществу.

Применение для оценки состояния водоема модуля трансформации:

- позволяет наиболее объективно оценить экологическое состояние водосбора и водного объекта;
- является удельной величиной, увязывающей загрязнение водосбора и самоочищение, происходящее как на водосборе, так и в водном объекте.

Для того, чтобы объективно оценить показатели качества воды оз. Кенон, использовалась разработанная в Восточном филиале Российского института комплексного использования и охраны водных ресурсов методика [3, 8]. Оценка современного состояния оз. Кенон произведена по бальной системе, базирующейся на интегральном показателе (соотношение масс химических веществ в озере до строительства ТЭЦ-1 и после начала ее эксплуатации). Данная оценка позволила выявить не только изменения в гидрохимическом состоянии озера, но и основные загрязняющие вещества, значительно влияющие на гидрохимические показатели. Для каждого из загрязняющих веществ  $j$  (кальций, натрий, сухой остаток, нитраты, сульфаты, хлориды, нефтепродукты, нитриты, магний) определена его средняя масса  $M_{0j}$  в озере до строительства ТЭС. Для каждого последующего года  $i$  было рассчитано приращение масс по формулам



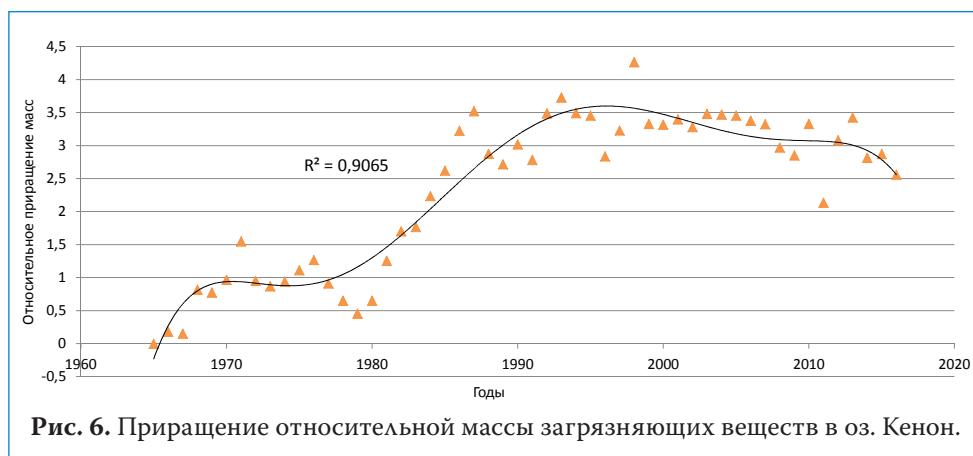
$$\frac{m_i - m_0}{m_0} = B_i, \quad (1)$$

$$m_i = C_i \cdot V_i, \quad (2)$$

где  $C_i$  – концентрация загрязняющего вещества в  $i$ -ом году;

$V_i$  – среднегодовой объем воды в озере в этом же году.

Наглядно изменение состояние озера, оцененное матрицей, представлено на графике в координатах  $B_{\Sigma} = f(\Delta t)$ , где  $\Delta t$  – рассматриваемый год после начала антропогенного освоения водосбора озера. Результаты расчетов приведены на рис. 6.

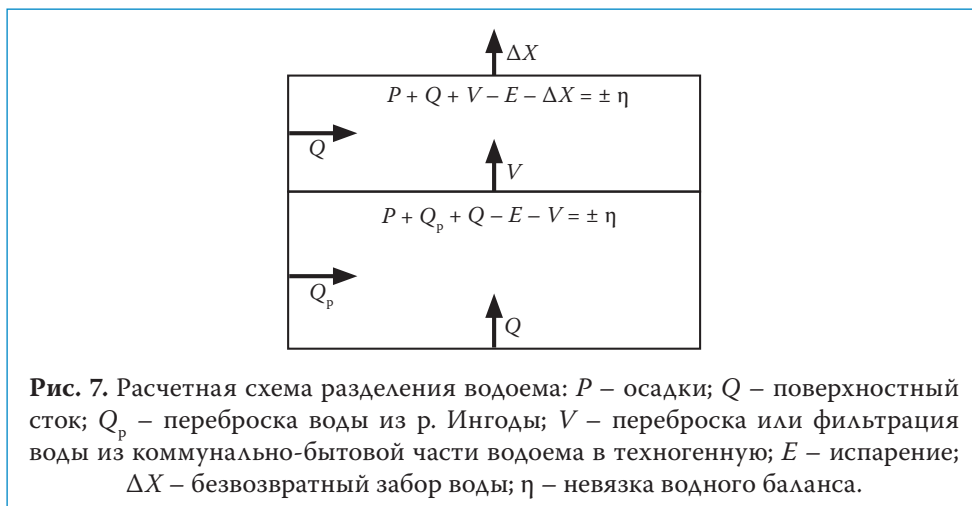


На графике прослеживается, как в озере идет процесс постоянного накопления загрязняющих веществ. С введением в строй ТЭЦ в 1965 г. из-за значительных безвозвратных заборов воды на технические нужды ТЭЦ-1 и других потребителей произошло понижение уровня воды в оз. Кенон и одновременно (рис. 6) увеличился объем поступления загрязняющих веществ. После начала подкачки в 1967 г. вследствие разбавления качественные характеристики воды несколько улучшились. По мере достижения станцией проектной мощности, поступления загрязняющих веществ и увеличения безвозвратных потерь качество воды в озере вновь начало ухудшаться. Кроме того, в этот период производился слив осветленной воды из пруда системы гидрозолоудаления. С вводом в строй золоотвала (1972 г.) и насосной станции № 2 (1977 г.) накопление загрязняющих веществ в озере вновь растет, в последующем идет непрерывное ухудшение его экологического состояния. Период с 2010 по 2016 гг. характеризовался малой водностью, аномальным падением уровня воды в озере и перерывами в подкачке воды. Объем поступающих в озеро грунтовых вод, а, соответственно, и масса загрязняющих веществ, в т. ч. с золоотвала, в маловодье была ниже,

чем в остальное время. Однако с наступлением многоводного периода следует ожидать дальнейшего роста масс загрязняющих веществ в озере. Такой вывод можно сделать также и на том основании, что предыдущий маловодный период приходился на 1970–1980 гг. [9] и выделяется на графике уменьшением приращения масс. В дальнейшем, при наступлении многоводного периода, вновь отмечен значительный рост приращения масс.

Анализ составленной матрицы расчетных значений приращения относительной массы загрязняющих веществ для оз. Кенон по годам показал, что наибольший вклад из рассматриваемых загрязняющих веществ вносят сульфаты, кальций, натрий, хлориды, общее солесодержание, сухой остаток. Практически все перечисленные загрязняющие вещества поступают с золоотвала, некоторые обнаружены также в сбросах ТЭЦ.

Проведенный анализ позволяет наметить мероприятия, имеющие наибольшую эффективность для сохранения качества воды водоема. Основная идея, положенная в основу мероприятий по стабилизации и восстановлению озера – разделение водоема на две части: техногенную, выделенную в обособленное пользование ТЭС, и коммунально-бытовую с перетоком или фильтрацией воды только из второй части в первую [3] (рис 7).



При использовании водоема для охлаждения циркуляционной воды требуется обеспечивать охлаждение воды до температуры, при которой возможно ее повторное использование. Коммунально-бытовая часть водоема в этом случае будет существовать как природный водоем с увеличенным водообменом. В результате, колебания уровня воды будут зависеть практически только от количества осадков, что характерно для большинства водоемов Забайкальского края.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ качества вод р. Ингоды и оз. Кенон [4] показал, что воды реки могут быть использованы для восстановления до природного состояния вод оз. Кенон и химического состава воды за счет разбавления. Данное предложение можно считать реализуемым:

- предлагаемые мероприятия соответствуют СанПиН 3907-85 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ» (водоемы-охладители, предназначенные для приема термальных вод не должны иметь водосбросов в акваторию основного водохранилища. Водоемы-охладители вновь проектируемых ТЭС, ТЭЦ, АЭС, АТЭЦ и др., НПУ которых не превышают НПУ водохранилища, должны быть отделены от основного водохранилища дамбами [10]);

- гидрологические расчеты подтверждают возможность отделения части водоема с сохранением функционирования ТЭС [3];

- прогнозные расчеты показали возможность восстановления качества воды озера за период 7–9 лет [3];

- возможность снижения платы за забор воды из природного водного объекта для ТЭС;

- дополнительная возможность строительства по гребню дамбы удобной транспортной магистрали, соединяющей разделенные акваторией озера районы города;

- оценка стоимости строительства по укрупненным показателям указывает на возможность реализации проекта и его окупаемости в течение 10 лет за счет снижения для ТЭЦ платы за забор и сброс воды из техногенной части озера.

Применение интегральной оценки качества воды водоема позволило выявить и основной источник поступления загрязняющих веществ в оз. Кенон – фильтрационные воды золоотвала. В данной ситуации необходимо закрыть и законсервировать этот объект. Более 10 лет решается вопрос о реконструкции золоотвала с гидроизоляцией чаши и периодическим сбросом осветленной воды после очистки в р. Ингоду [5, 6], но в настоящее время проект не реализован.

Предложенная методика оценки качества воды позволяет выявить из всего комплекса загрязняющие вещества, вносящие наибольший вклад, и наметить мероприятия, направленные на снижение поступления именно этих веществ, что значительно повышает эффект предпринятых действий. Рассмотренный в статье подход к оценке качества воды может быть применен и к другим водоемам, находящимся под комплексным антропогенным воздействием.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаранов Н.М., Токарева О.Ю. Проблемы водоснабжения ТЭС из природного водоема и пути их решения на примере оз. Кенон в г. Чита (Забайкальский край) // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2016. № 3. С. 36–46.
2. Васильев Ю.С., Федоров М.П., Блинов Л.Н. Подготовка кадров СПБТПУ //Безопасность жизнедеятельности. 2003. № 6. С. 38–43.
3. Токарева О.Ю. Комплексный анализ изменения состояния водоема-охладителя ТЭС и возможные пути его восстановления (на примере озера в г. Чите): автореф. ...дис. канд. техн. наук. Чита. 2004. 22 с.
4. Тарасова С.Г., Заслоновский В.Н., Токарева О.Ю. Оценка качества вод реки Ингода выше города Читы. //Кулагинские чтения: Техника и технологии производственных процессов. Мат-лы XVI междунар. научно-практ. конф. Чита: ЗабГУ, 2016. Ч. 3. С. 133–135.
5. Разработка программы по сохранению экосистемы оз. Кенон // Отчет о НИР / АНО «Центр исследований и разработок». 2013.
6. Лапкин Г.И. Усовершенствование эколого-ориентированных технологий для управления водным балансом системы гидрозолаудаления (на примере ТЭЦ-1, в г. Чите): автореф. дис. ... канд. техн. наук. Чита. 2010. 25 с.
7. Цыбекмитова Г.Ц. Качество фильтрационных вод золоотвала ТЭЦ-1 и возможные пути их поступления в оз. Кенон (Забайкальский край) // Вода: химия и экология. 2016. № 2. С. 11–17.
8. Шаранов Н.М. Совершенствование методологии восстановления качества поверхностных вод природных водных объектов на уровне субъекта федерации (на примере Забайкальского края): автореф. дис. ... д-ра. техн. наук. Чита. 2010. 47 с.
9. Экология городского водоема / под ред. М.Ц. Итигилова, А.П. Чечель, Л.В. Замана Новосибирск: СО РАН, 1998. 260 с.
10. СанПиН 3907-85 «Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ». М. 1985.

#### Сведения об авторах:

Заслоновский Валерий Николаевич, д-р техн. наук, профессор, кафедра водного хозяйства и инженерной экологии, ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет» (ЗабГУ), Россия, 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, д. 30; e-mail: vnzaslonskiy@mail.ru

Токарева Ольга Юрьевна, канд. техн. наук, доцент. кафедра техносферной безопасности, ЗабГУ, Россия, 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, д. 30; e-mail: docent75-2004@list.ru

Семенюк Марина Петровна, аспирант, кафедра водного хозяйства и инженерной экологии, ЗабГУ, Россия, 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, д. 30; e-mail: semenyukmarina@mail.ru

Тарасова Софья Геннадьевна, магистрант, ЗабГУ, Россия, 672039, г. Чита, ул. Александрo-Заводская, д. 30; e-mail: sofia122092@mail.ru