

**Проблемы эксплуатации водоема-охладителя на примере Березовской  
ГРЭС-1**

О. Г. Морозова<sup>а</sup>, Т. Л. Камоза<sup>а</sup>, И. Н. Коюпченко<sup>а</sup>, А. С. Савельев, Р. З.<sup>а</sup>

Пен<sup>б</sup>, Н. С. Веселкова<sup>а</sup>, М. Д. Кудрявцев<sup>а,б</sup>

<sup>а</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования “Сибирский федеральный университет” (ФГАОУ ВО  
“СФУ”), 660041, Россия, г.Красноярск, Свободный просп., д. 79

<sup>б</sup>Государственное образовательное учреждение высшего образования  
“Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф.  
Решетнёва»” (ГОУ ВО “СибГУ”) 660049, Россия, г. Красноярск, просп.

Красноярский рабочий, д. 31

\*e-mail: [ogmorozova45@mail.ru](mailto:ogmorozova45@mail.ru)

\*\*e-mail: [kumid@yandex.ru](mailto:kumid@yandex.ru)

**Водоемы-охладители при тепловых и атомных электростанциях представляют собой природно-техногенные системы, поэтому в программе мониторинга необходим учет влияния элементов технологических циклов ГРЭС на экосистему водоема, в том числе – теплового сброса охлаждающей воды. Задачи настоящего исследования – разработка, реализация программы мониторинга водоема-охладителя Березовской ГРЭС-1 (БГРЭС-1) по химическим и биологическим показателям качества воды и выявление закономерностей формирования термического и гидрохимического режима при работе в условиях последовательного повышения мощности ГРЭС (в 1996 г., 2015 г.). Исследование качества охлаждающей воды водоёма-**

охладителя БГРЭС-1 проводилось в натуральных условиях путём отбора и аналитического контроля проб воды водоема в соответствии с принципами комплексности, систематичности наблюдений, согласованности сроков их проведения с характерными гидрологическими фазами. Обработка полученного массива данных мониторинга методами математической статистики даёт возможность выявить основные факторы, влияющие на качество воды водоёма. Полученные в ходе мониторинга данные по качеству воды и их математическая обработка за длительный временной интервал создаёт научную базу для прогноза экологического состояния водоёма, что является необходимым для обеспечения экономически эффективного производства энергии и безопасности водопользования. Из предложенных авторами частично реализованы рекомендации по предотвращению развития процессов эвтрофирования водоёма-охладителя: сооружение дамбы, отсекающей основной массив торфа, проведение очистки берегов рек, формирующих водоем-охладитель.

*Ключевые слова:* водоем-охладитель ГРЭС, мониторинг, прогноз экологического состояния, гидрохимические, гидробиологические показатели качества воды, математический анализ результатов аналитического контроля воды, водомелиоративные мероприятия.

Наличие водных ресурсов территории являются одним из решающих факторов при планировании и размещении предприятий промышленности, в том числе энергетики. Повышение температуры в водоеме-охладителе атомной или тепловой электростанции приводит к ухудшению характеристик качества воды,

что влечет за собой экономические потери при производстве энергии. При существующих способах подготовки ложа водохранилища возникают серьезные проблемы в водотоках нижнего бьефа, происходит эвтрофирование, ухудшение санитарно-бактериологической обстановки. Подобная ситуация наблюдается на водоемах-охладителях Европейской части России, Дальнего Востока, Украины. В регионах Сибири основная часть территории занята таежными массивами, а сельскохозяйственные угодья преимущественно сосредоточены в поймах рек и при сооружении водохранилищ затопляются обычно полностью. В связи с этим зачастую под ложе водоемов отводят заболоченные торфяные поймы рек. Такова ситуация на Сургутской, Гусиноозерской, Харанорской, Назаровской, Березовской тепловых электростанциях.

Водоем-охладитель Березовской ГРЭС-1 создан зарегулированием стока реки Береш в районе впадения в нее рек Базыр и Кадат в юго-восточной части Кузнецкого Алатау на территории Енисейско-Чулымской котловины. Заполнение водоема началось в 1986 г., регулирование стока – сезонное, уровень воды в водохранилище регулируется сбросом в нижний бьеф через реку Береш. Водообмен в водохранилище в маловодные годы происходит всего один раз в год. Такие условия водообмена – наихудшие из всех действующих в стране водоемов-охладителей тепловых электростанций. Еще на стадии проектирования водоема-охладителя БГРЭС-1 были допущены просчеты, которые способствовали возникновению ситуации экологического риска для экосистемы водоема. Так, в районе верхнего бьефа водоема расположены многие источники загрязнения. Так, в р. Кадат поступают стоки коммунальных очистных сооружений г. Шарыпово, а территория междуречья рек Береш и Базыр занята золоотвалами. Особенность морфометрического строения ложа – наличие мелководной обширной

зоторфованной зоны (объем затопленного торфа составляет 30.7 млн м<sup>3</sup>). Небольшие глубины создали благоприятные условия для существования и сохранения биофонда “цветения” в водоеме. Такие факторы, как преимущественное ветровое направление, естественное течение и циркуляционный поток охлаждающей воды, приводили к скоплению в районе правобережья, где находится водозабор ГРЭС, загрязнений, поступающих с реками. Это способствует эвтрофированию водоема [1], что влечет за собой экономический ущерб техническому водоснабжению тепловых электростанций и создает ситуацию экологического риска для здоровья населения, губительно действуя на водные сообщества [2].

После заполнения водоема акватория покрылась всплывшими торфяными островами. Попадание плавающего торфа в галереи целевого водозабора требовало дополнительных затрат на очистку водоводов. Скопление затонувшего торфа способствовало дополнительному выносу в подводный канал мелких фракций торфа. Они, беспрепятственно преодолевая решетки, интенсивно забивали вращающиеся сетки, а предусмотренные способы очистки были неэффективны. Поэтому для обеспечения надежной работы ГРЭС было принято решение о сооружении дамбы, отсекающей западный, наиболее зоторфованный участок водохранилища.

Задачи настоящего исследования:

разработка и реализация программы мониторинга качества воды для выявления факторов формирования гидрохимического, гидробиологического режима водоема и оптимизации качества воды, используемой в производстве энергии;

составление прогноза экологического состояния экосистемы водоема;

выработка научно-обоснованных практических рекомендаций по рациональному водопользованию.

Программа мониторинга включала инвентаризацию источников поступления загрязнений в водоем, их качественных и количественных характеристик.

Качество охлаждающей воды зависит от большого числа управляемых и неуправляемых факторов: географического положения, гидрометеорологических условий, морфометрии водоема, качественного и количественного состава воды речного стока. Полученные данные по качеству воды и их обработка методами математической статистики [3] позволяют оценить влияние природных и антропогенных факторов на формирование качества воды.

Анализ литературных источников и проведенные гидробиологические исследования в начальный период существования водоема позволили заключить, что такой критерий, как общая численность бактериопланктона, не может быть применен для оценки качества водной среды водоема-охладителя, так как при этом наблюдается несоответствие между оценкой по гидробиологическим показателям и ее фактическим состоянием. На внутренних поверхностях теплообменников в системах охлаждения развиваются сообщества бактерий, поэтому характер распределения, численность бактериопланктона в циркуляционном потоке на водоеме зависит в решающей степени от режима работы тепловой станции.

Программа мониторинга качества воды включала определение:  
температуры, цветности, прозрачности, рН;

содержания растворенных газов и органических веществ, минерализации, концентрации биогенных элементов, фенолов, нефтепродуктов, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), ионов железа, тяжелых металлов;

биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>), видового состава и численности фитопланктона и бактериопланктона, продукционно-деструкционные характеристики, коли-индекс, видовой состав высшей водной растительности. В донных отложениях контролировалось содержание биогенных элементов и тяжелых металлов.

Организация натурных наблюдений на водоеме была проведена в соответствии с рекомендациями Госкомгидромета: комплексность, систематичность наблюдений, согласованность сроков проведения с гидрологическими фазами, определение показателей качества воды стандартными методиками. Процедура отбора проб воды обеспечивала выполнение условий достаточности и репрезентативности результатов контроля. Смешанные пробы воды, усредненные во времени, отбирали батометром Молчанова, пробы донных отложений – дночерпателем Петерсена. В зимний период пробы отбирались из-под льда, в начале февраля, при наибольшей толщине льда.

В весенний период пробы отбирались в конце мая – начале июня, в начале весеннего наполнения водоема. В летний период пробы воды отбирались несколько раз, в том числе в период максимального подъема воды. В осенний период – перед ледоставом при наиболее низком уровне воды. Расстановка точек отбора проб проводилась с учетом циркуляционного потока на водоеме-охладителе. Контрольные точки 1, 2 и 3 (рис.1) расставлены в левобережье, середине и правобережье, в районе устьев рек Базыр, Берешь, Кадат соответственно.

В точке 4 контролируются характеристики воды в районе устья сбросного канала, а в точке 5 – в районе основного торфяного месторождения. Замеры в точке 6 характеризуют качество воды в глубоководной центральной части водоема, здесь происходит усреднение качества воды, поступающей из рек Кадат, Берешь, Базыр. В точке 7 контролируется качество воды в районе водозаборного канала тепловой электростанции. Точка 8 характеризует качество воды в приплотинной части водохранилища, здесь происходит аккумуляция всех загрязнений, как аллохтонного, так и автохтонного происхождения.

Пробы воды отбирали в стеклянные и полиэтиленовые бутылки, пробы донных отложений – в стеклянные банки с полиэтиленовыми крышками (ГОСТ 17.1.5. 04-81). Анализ, хранение и консервация проб воды и донных отложений проводились в соответствии с требованиями (ГОСТ 17.1.5. 04-81). Таким образом, контроль качества воды позволил оценить как качественно, так и количественно поступление загрязняющих веществ в водоем. Полученный статистический массив данных по показателям качества воды позволяет оценить стадии эвтрофирования водоема, установить закономерности процессов самоочищения.

В водоеме-охладителе температурный режим формируется под действием процессов испарения, теплообмена с атмосферой, переноса тепла течением, турбулентным перемешиванием. Сброс охлаждающей воды приводит к образованию в водоеме участков акватории с различным температурным режимом. С введением в строй первого энергоблока БГРЭС-1 естественный термический режим водоема был нарушен тепловыми выбросами на площади около половины акватории водоема. Работа второго энергоблока увеличила тепловую нагрузку на водоем, температура воды в летние периоды превышала естественные показатели. Введение в строй третьего энергоблока началось в 2015

г., его влияние на термический режим водоема предстоит установить. Повышение температуры воды спровоцировало термическое эвтрофирование экосистемы водоема-охладителя. Влияние температуры воды в точке 4 (сбросной канал) видно на линии многолетнего тренда температур в первые десять лет существования водоема (рис. 2). Максимальный размах линии тренда наблюдается в устье сбросного канала. Линии трендов, отображающих изменение температуры в устьях рек и центральной части водоема-охладителя идентичны, что можно объяснить равной удаленностью их от источника возмущения – сбросного канала. В приплотинной части он минимален, что представляется вполне закономерным.

В водоемы-охладители сбрасывается большое количество тепла, представляющего собой значительную часть энергии ископаемого топлива, идущего на выработку электроэнергии. Повышение температуры воды, охлаждающей поверхности нагрева теплоагрегатов станции, происходит, как правило, на 10–12°C. В открытом водосбросном канале происходит незначительное снижение температуры, основная отдача тепла происходит в водоеме, где она охлаждается за счет испарения.

Водоемы-охладители при тепловых электростанциях расположены в различных физико-географических условиях, но нормативы, принятые для всех водоемов-охладителей, “объединяют” водоемы разного трофического уровня, ландшафтно-географического положения и хозяйственного назначения. В этих нормативах предусматривается недопустимость превышения температуры воды в водоеме в зимнее время на 5°C, а в летнее на 3°C выше естественной максимальной температуры [4].



От температуры в значительной мере зависит кислородный режим водоема, определяющий интенсивность процессов самоочищения. Основными источниками поступления кислорода в воду являются процессы абсорбции его из атмосферы и продуцирование в результате фотосинтетической деятельности гидробионтов. В летние периоды при работе двух энергоблоков станции происходит интенсивное продуцирование органического вещества, фотосинтез обеспечивает насыщение кислородом поверхностного слоя воды до 150–230%. Процессы биохимического окисления органических веществ естественного и антропогенного происхождения резко снижают концентрацию кислорода, дефицит кислорода приводит к появлению сероводорода и сульфидов, установлению восстановительного характера среды.

Сброс тепла способствовал снижению уровня кислородного насыщения воды; при вертикальной стратификации кислорода в периоды летней стагнации существовали условия для эвтрофирования. Ухудшение кислородного режима водоема-охладителя привело к сокращению численности стада рыб, замене ценных промысловых пород на сорные, а также возникновению паразитарных заболеваний ихтиофауны. Воздействие многочисленных и мощных источников антропогенного химического, биологического и теплового загрязнения в условиях зарегулированного стока способствовало значительному удлинению первоначального периода формирования кислородного режима водоема.

Данные мониторинга показывают, что образующиеся в водоеме и поступающие по природному и антропогенному каналам органические и биогенные вещества разнообразны по природе и свойствам. Высокие концентрации этих веществ указывали на значительное загрязнение бытовыми сточными водами, промышленными сбросами. Увеличение концентрации этих

веществ наблюдалось и в периоды отмирания водных организмов в конце вегетационного периода. На 15-й год и последующий период функционирования водоема-охладителя БГРЭС-1 процессы эвтрофирования, возникшие в начальный период и усиленные вкладом термической составляющей, стали определяющими в формировании качества воды.

Накопление биомассы водорослей и ее разложение в конце вегетационного периода на ограниченной части акватории водоема приводит к накоплению биогенных веществ. Это, в свою очередь, снижает рН водной среды, что способствует увеличению растворимости и подвижности ионов тяжелых металлов, их десорбции из донных отложений водоема-охладителя, перехода в воду токсичных солей тяжелых металлов. Из донных отложений увеличивается поступление фосфора в водную среду, вследствие чего ускоряется процесс эвтрофикации. В летний период 2001 г. на большинстве контрольных точек водоема наблюдалось увеличение концентрации хлорофилла “а” до стадии “гиперцветения” из-за развития цианобактерий [1].

С началом эксплуатации первого, а вслед за ним второго энергоблока БГРЭС-1 тепловой сброс изменил температуру воды на площади более половины акватории водоема [5], которая равномерно снижалась от устья сбросного канала. Так, в зимний период 1992 г. температура воды поднималась до 4°C. Линии трендов, отображающих многолетние изменения температуры в устьях рек Базыр, Береш и центральной части водоема идентичны. В районе водозабора наблюдалось уменьшение размаха варьирования на линии тренда, в приплотинной части он минимален.

Под действием сброса тепла на водоеме в зимние периоды образовывается незамерзающая полынья. В аномально теплые зимы (1989, 1996 гг.) зеркало

чистой воды распространялось от устья р. Кадат до приплотинной части, с удалением от береговой линии более чем на 500 м. В суровые зимние периоды размеры полыньи сокращались от устья сбросного канала до водозабора ГРЭС. Тепловой сброс изменил термический режим на большей части акватории водоема, исключением явился район основного торфяника (точка 5). Толщина льда достигала 1.4–1.7 м. Центральная часть водоема покрывалась льдом толщиной 10–20 см; температура воды в придонном горизонте центральной части водоема составляла 4°С, в нижнем бьефе – около 2°С.

Введение в строй второго энергоблока ГРЭС и совместная работа двух энергоблоков увеличила нагрузку на водоем, что в итоге привело к изменению температурного режима во всех частях акватории.

Как показали результаты мониторинга качества воды, органические вещества, поступающие из затопленного торфа и повышенная температура воды водоема-охладителя, являются одной из главных причин эвтрофирования водоема, что влечет за собой экономический ущерб техническому водоснабжению теплоэлектростанции.

Кислородный режим в приплотинной части водоема определялся, с одной стороны, поступлением кислорода в результате фотосинтетической деятельности фитопланктона, а с другой – значительным расходом кислорода на разложение органического вещества, накапливающегося в этой части акватории. В результате разработанных авторами и внедренных Дирекцией ГРЭС рекомендаций по очистке береговой линии, возведению дамбы, отделяющей основной торфяник, наблюдалось значительное увеличение содержания кислорода в воде в период после 1991 г., что свидетельствует об улучшении экологической ситуации на водоеме-охладителе.

Тяжелые металлы могут мигрировать и накапливаться в компонентах водных экосистем: воде, донных отложениях, водной растительности, гидробионтах [6]. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях и макрофитах служит важным показателем загрязнения экосистемы водоема. Результаты определения позволили сделать заключение: распределение тяжелых металлов в донных отложениях существенно неоднородно. В районе устьев рек и правобережья наблюдаются значительно большие концентрации металлов, чем в центральной глубоководной части, и существенно отличаются от фоновых. Анализ табл. 1 свидетельствует о минимальном загрязнении в устье р. Береж, в районе водозабора, приплотинной части. Максимальные загрязнения донных отложений тяжелыми металлами регистрируется в районе устья р. Кадат.

Влияние загрязнения, вносимого р. Кадат в водоем, наглядно иллюстрирует картину распространения микробиологического загрязнения акватории водоема с 1986 по 1988 гг. (табл. 2). Микробиологическое загрязнение в августе 1986 г. было локализовано только в районе устья р. Кадат, в 1987 г. оно распространилось на верхнюю часть водоема, с 1988 г. до последней даты наблюдений в 2015 г. вся акватория водоема-охладителя была подвержена микробиологическому заражению.

Отложения на внутренних стенках конденсаторов Березовской ГРЭС-1 в значительных количествах стали обнаруживаться после десяти лет эксплуатации теплоагрегатов. Было проведено качественное и количественное определение отложений, образовавшихся на образцах трубок конденсаторов, установленных на энергоблоках. При прохождении расходного объема  $7 \times 10^3$  м<sup>3</sup>/ч охлаждающей воды через один конденсатор на поверхности нагрева образовывались рыхлые, серо-зеленого цвета, слабо сцепленные с металлической поверхностью

отложения. Органическая часть этих отложений составляла 41.5 %, минеральная – 58.5 %. Минеральная часть отложений состояла из солей кальция и магния (75.0 %), железа (12.8 %) и кремния (7.1%).

Определение органической части проводилось путем прокаливания навески отложений в муфельной печи при температуре 400°C до постоянной массы. Содержание органического вещества определялось по потере массы при прокаливании. Минеральную часть отложений, полученную после прокаливании, растворяли в концентрированной соляной кислоте. Раствор фильтровали через фильтр с синей лентой, в фильтрате определяли наличие ионов железа колориметрическим методом с орто-фенантролином. Суммарное содержание кальция и магния в фильтрате определяли комплексонометрически по стандартной методике. Для определения содержания кремния осадок на фильтре переносили в фарфоровые тигли, прокаливали при 900°C до постоянного веса. Количество кремния в виде  $\text{SiO}_2$  определяли гравиметрически. Коэффициенты зашламливания, рассчитанные для входного и выходного сечений, составили 13.0 г/м<sup>2</sup> и 154.0 г/м<sup>2</sup> соответственно.

Обследование теплообменного оборудования в летний период показало, что частицы торфа, вовлекаемые в оборот охлаждающей воды, могут служить своеобразным абразивным материалом, способным удалять рыхлые отложения на внутренних поверхностях конденсаторных трубок. Для подавления массового развития сине-зеленых водорослей практикуется внесение в воду водоемов-охладителей сернокислой меди, что является неприемлемым, поскольку они опасны для гидробионтов. Применение альгицидов возможно лишь в небольших замкнутых водоемах технического и декоративного назначения [7].

## ВЫВОДЫ

1. Отсутствие должной подготовки ложа при заполнении водоема-охладителя Березовской ГРЭС-1 привело к затоплению массивов древесно-кустарниковой растительности, торфяников.

2. Повышенная температура сбросной воды способствовала тому, что процессы разложения растительных остатков и почв протекали интенсивнее, с большими затратами растворенного в воде кислорода, что создало ситуацию экологического риска для гидробионтов, в том числе и ихтиофауны.

3. Малые объемы водоемов-охладителей по сравнению с водохранилищами ГЭС и высокий уровень антропогенного загрязнения питающих водоемы рек в климатических условиях гумидной зоны уже в первоначальный период существования создают условия для эвтрофирования. Это приводит к значительным экономическим затратам при водопользовании.

#### Список литературы

1. **Формирование** кислородного режима водоема-охладителя БГРЭС-1 / О.Г. Морозова, С.В. Морозов, Р.З. Пен, С.М. Репях // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2002. Т. 45. Вып. 6. С. 185–188.

2. **Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С.** Потребление воды и ее дефицит: экологический аспект. Глобальные экологические проблемы России. М.: Наука, 2008.

3. **Морозова О.Г., Пен Р.З.** Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2012620586. Показатели качества воды водоема-охладителя Березовской ГРЭС-1. 19.06 2012 г.

4. **Топачевский А.В., Пидгайко М.Л.** Цели и задачи гидробиологического исследования водоемов-охладителей тепловых электростанций// Сб. гидрохимия и гидробиология водоемов-охладителей тепловых электростанций СССР. –Киев:

Наукова думка, 1971. С.6–10.

5. Пат. № 2513145 Способ охлаждения циркуляционной воды в водоеме-охладителе / О.Г. Морозова, Р.З. Пен, С.А. Шахматов Регистрация 17.02. 2014 г.

6. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Кочарян А.Г. Тяжелые металлы в донных отложениях Иваньковского водохранилища // Водные ресурсы. 2001. Т.28. №3. С.310–319.

7. Казимрук В.Д. Общая характеристика и особенности гидрохимического режима мелководий Иваньковского водохранилища // Водные ресурсы. 1999. Т. 26. № 3. С. 340–352.

**Таблица 1.** Относительные содержания тяжелых металлов в донных отложениях водоема, мкг/г, и показатель загрязнения, июль 2001 г.

Точки отбора	Zn	Cu	Mn	Pb	Fe	Co	Ni	Cr	ПЗ
1	1.39	0.16	3.00	3.00	0.34	1.00	1.00	1.00	10.89
2	0.48	0.07	2.76	1.00	0.29	1.00	1.20	2.00	8.50
3	1.67	0.40	9.20	6.00	1.00	2.00	1.15	2.00	23.42
4	2.14	0.17	2.17	1.00	0.21	1.00	1.00	1.00	8.69
5	2.47	2.46	2.14	1.00	0.05	1.00	0.50	1.00	10.62
6	1.00	0.16	6.39	1.00	0.07	1.00	1.20	2.00	12.82
7	2.22	0.13	1.89	1.00	0.20	1.00	0.90	1.00	8.34
8	2.21	0.07	0.46	2.00	0.15	1.00	1.50	1.00	8.39

**Таблица 2.** Коли-индекс в пробах воды водоема-охладителя

Точки отбора	Август 1986 г.	Август 1987 г.	Август 1988 г.
Устье р. Береж	Менее 10	350	Более 2400
Устье р. Базыр	50	1600	То же
Устье р. Кадат	Более 2400	Более 2400	”
Центральная часть	Менее 10	180	”
Приплотинная часть	540	1600	”

### Подрисуночные подписи

Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб и изображение Landsat-8 водоема-охладителя БГРЭС-1

Рис. 2. Сезонные колебания и многолетний тренд температуры в устье сбросного канала (т. 4)

Рис. 3. Сезонные колебания и многолетний тренд содержания растворенного кислорода в приплотинной части водоема

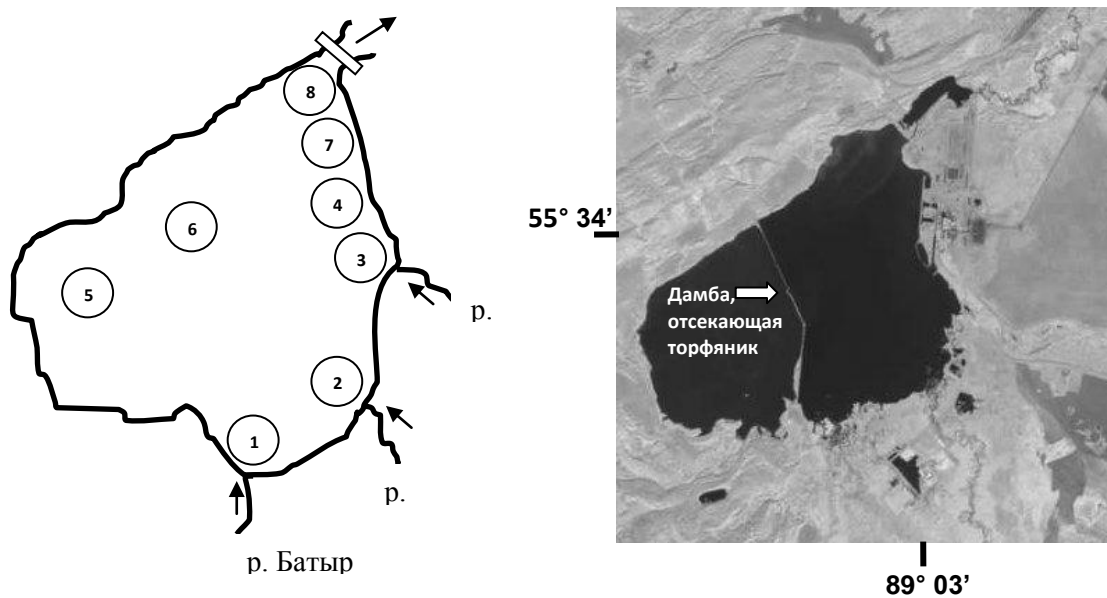


Рис. 1



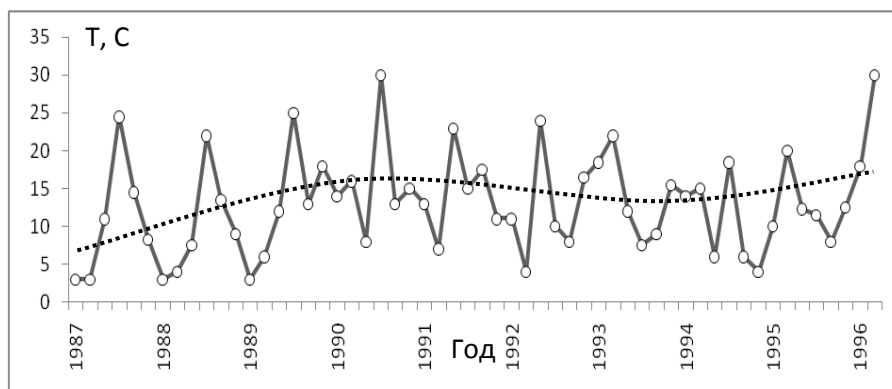


Рис. 2.

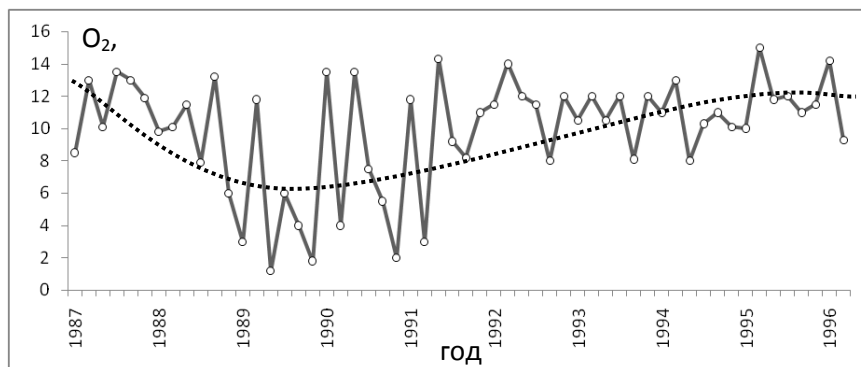


Рис. 3.