

ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО ПОТОКА  
ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ НА ВОДОЕМЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ БГРЭС-1

S.A. Suprun, A.S. Savelyev,  
O.G. Morozova, M.A. Yanova

OPTIMIZATION OF CIRCULATING STREAM OF  
COOLING WATER ON BSDPS-1 RESERVOIR COOLER

**Супрун С.А.** – директор МП МУК «Красноярская», г. Красноярск. E-mail: ogmorozova45@mail.ru

**Савельев А.С.** – канд. техн. наук, доц. каф. геоинформационных систем Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: ogmorozova45@mail.ru

**Морозова О.Г.** – д-р биол. наук, проф. каф. валеологии Торгово-экономического института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: ogmorozova45@mail.ru

**Янова М.А.** – канд. с.-х. наук, доц. каф. товароведения и управления качеством продукции АПК Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: yanova.m@mail.ru

**Suprun S.A.** – Director, MMC “Krasnoyarskaya”, Krasnoyarsk. E-mail: ogmorozova45@mail.ru

**Savelyev A.S.** – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Geographic Information Systems, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: ogmorozova45@mail.ru

**Morozova O.G.** – Dr. Biol. Sci., Prof., Chair of Val-eology, Trade and Economic Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: ogmorozova45@mail.ru

**Yanova M.A.** – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Merchandizing and Product Quality Control of Agrarian and Industrial Complex, Krasnoyarsk State Agricultural University, Krasnoyarsk. E-mail: yanova.m@mail.ru

При оборотной системе водоснабжения, которая принята на Березовской ГРЭС-1, основная масса сбросных вод движется по кругу, большая часть этой массы многократно проходит через конденсаторы систем охлаждения. Для обеспечения эффективной работы теплоэлектростанции в период сооружения и последовательного подключения к генерации трех блоков теплоэлектростанции необходим постоянный мониторинг не только термического, а еще гидрохимического и санитарно-биологического режима водоема. Загрязнение воды, связанное с тепловым сбросом, вызывает нарушение нормальной работы теплоэнергетического оборудования – происходит уменьшение проходных сечений трубок конденсаторов. Это приводит к увеличению температурного напора и повышению коэффициента теплопередачи трубок, что ведет к большому пережогу топлива, в конечном итоге – снижению экономических показателей

работы ГРЭС. Цель исследования – выявление особенностей формирования термического режима водоема-охладителя БГРЭС-1 для оценки и прогноза качества воды, а также корректировки установленной мощности ГРЭС – количества заложенных в проект энергоблоков. Определено, что формирование циркуляционного потока отепленной воды проходит под воздействием следующих трех факторов: сужение потока за счет сформировавшегося скопления взвешенных и сегментированных частиц на выходе из сбросного канала; взаимодействия потока отепленной воды из сбросного канала и потока речной воды, проходящей по дну водоема в районе сброса; воздействие преобладающих ветров, имеющих противоположное направление. Предложены рекомендации по преодолению этих факторов. Морфометрические особенности строения водоема, гидрометеорологические условия и тепловой сброс способствовали со-

зданию условий для существования «биофонда» цветения, реализации условий для эвтрофирования водоема-охладителя. Повышение среднегодовой температуры воды привело к «термическому» эвтрофированию водоема-охладителя БГРЭС-1 уже в первоначальный период существования.

**Ключевые слова:** водоем-охладитель, природно-техногенная система, циркуляционный поток, сбросной, подводный каналы, термический режим.

*In reverse system of water supply accepted at Beryozovskaya SDPS- 1 the bulk of exhaust waters moves around the most part of this weight repeatedly passes through cooling systems condensers. Continuous monitoring is not only thermal and still hydrochemical and sanitary and biological mode of the reservoir is necessary for ensuring effective work of thermal power plant in the period of construction and consecutive connection to generation of three blocks of thermal power plant. Water pollution connected with thermal dumping causes the violation of normal work of the heat power equipment, i.e. there is reduction of sections through passage of condensers tubes. It leads to the increasing in temperature pressure and of the coefficient of heat transfer of tubes conducting to big burnout of fuel, finally – to the decrease in economic indicators of work of state district power station. The research objective was the detection of features of formation of thermal mode of reservoir cooler of BSDPS -1 for the assessment and forecast of water quality and also adjustment of rated capacity of state district power station – the number of power units put in the project. It is defined that the formation of circulating stream of made winter-proof water takes place under the influence of the following three factors: narrowing of the stream at the expense of created congestion of weighed and segmented particles at the exit from waste channel; interactions of the stream of made winter-proof water from waste channel and the stream of river water passing on the reservoir bottom around dumping; the impact of prevailing winds having opposite direction. The recommendations on overcoming these factors are offered. Morphometric features of the structure of the reservoir, hydroweather conditions and thermal dumping promoted creation of conditions for the existence of "biofund" of blos-*

*soming, realization of conditions for a reservoir cooler eutrophication. The increase of average annual water temperature has already led to "thermal" eutrophication of a reservoir cooler of BSDPS-1 during the initial period of existence.*

**Keywords:** reservoir cooler, natural and technogenic system, circulating stream, waste, bringing channels, thermal mode.

**Введение.** Водный фактор играет решающую роль при размещении новых производственных мощностей в нормальном функционировании практически всех видов производств, в том числе предприятий теплоэнергетики.

Водоемы-охладители при тепловых электростанциях представляют собой природно-техногенные системы, в которых необходим учет влияния на природную среду элементов технологических циклов. В водоем-охладитель осуществляется сброс охлаждающей теплоагрегаты воды, поэтому в водоеме существуют участки акватории с различным температурным режимом.

При оборотной системе водоснабжения, которая принята на Березовской ГРЭС-1, основная масса сбросных вод движется по кругу, большая часть этой массы многократно проходит через конденсаторы систем охлаждения. Для обеспечения эффективной работы теплоэлектростанции в период сооружения и последовательного подключения к генерации трех блоков теплоэлектростанции необходим постоянный мониторинг не только термического, а еще гидрохимического и санитарно-биологического режимов водоема.

Загрязнение воды, связанное с тепловым сбросом, вызывает нарушение нормальной работы теплоэнергетического оборудования – происходит уменьшение проходных сечений трубок конденсаторов, это приводит к увеличению температурного напора и повышению коэффициента теплопередачи трубок, что ведет в свою очередь к большому пережегу топлива, в конечном итоге – снижению экономических показателей работы ГРЭС.

Непосредственно с работающей теплоэлектростанции в водоем-охладитель сбрасывается отепленная вода, охлаждающая конденсаторы турбин; вода системы гидрозолаудаления; обмывочные воды хвостовых поверхностей нагре-

ва, отработанные растворы после очистки теплосилового оборудования, стоки от помещений с технологическим и теплосиловым оборудованием.

В проектировании тепловых электростанций [1] имеется ряд недостатков, в частности недоучет в проектах химических и биологических изменений в экосистеме водоемов-охладителей, проявляющихся со временем при эксплуатации в связи с нарушением естественного температурного режима, повышением среднегодовых температур в них.

**Цель исследования:** выявление особенностей формирования термического режима водоема-охладителя БГРЭС-1 для оценки и прогноза качества воды, а также корректировки установленной мощности ГРЭС – количества заложенных в проект энергоблоков.

**Объекты и методы исследования.** Водоем-охладитель Березовской ГРЭС-1 сооружен в 1986 г. зарегулированием стока р. Береш, принадлежащей бассейну Чулыма. Характер регулирования стока водоема сезонный; принята оборотная система технического водоснабжения с охлаждением воды в водоеме-охладителе.

Водоемы-охладители выполняют основную функцию – снижение температуры сбросной воды путем теплообмена инженерными средствами; они имеют специфический термический режим [2], обусловленный тепловым сбросом воды теплоэлектростанции. В открытом водосбросном канале происходит незначительное снижение температуры, основная отдача тепла происходит в водоеме, где она охлаждается за счет испарения и конвекции в акватории, в которой формируется циркуляционный поток охлаждающей воды.

В проектной документации БГРЭС-1 ошибочно предполагалось, что в естественных условиях до начала работы энергоблоков станции термический режим водохранилища должен был иметь более низкие значения температуры воды, так как формировался за счет притока рек Береш, Базыр, Кадат, берущих начало в горной системе Кузнецкого Ала-Тау. Результаты наших натурных наблюдений на водоеме свидетельствовали о величине температуры воды водоема в июне, июле, августе – на десять градусов выше проектных значений. Кроме того, шти-

левая погода, характерная для данной местности в июле – августе, способствовала прогреванию верхних слоев воды водоема до 25–27 °С. Таким образом, проектная мощность БГРЭС-1, предусматривающая установку восьми турбин мощностью по 800 тыс. кВт и расчетным расходом охлаждающей воды – 73 000 м<sup>3</sup>/ч, не могла быть достигнута.

При сооружении водоема-охладителя БГРЭС-1 не были выполнены требования «Санитарных правил по подготовке ложа водохранилища и каналов к затоплению и санитарной охране их», и были затоплены древесные, кустарниковые остатки и торфяное месторождение, объем которого составлял 30,7 млн м<sup>3</sup>. Массовое всплывание торфа, блокирование водозаборных сооружений и сбросного канала, резкое ухудшение качества воды в водохранилище в течение первых лет – эти события потребовали принятия незамедлительных кардинальных мер по удалению торфа. На водохранилище была сооружена дамба, отсекающая район основного торфяного месторождения, что уменьшило рабочий объем воды и площадь акватории водоема-охладителя почти на 40 % [2]. Как следствие, вынужденно было скорректировано количество блоков – не более двух.

Морфометрические особенности строения водоема таковы, что площадь мелководий не более трех метров превышает половину акватории; объем и удлиненность чаши влияют на скорость движения водных масс. Рассчитанный нами коэффициент глубоководности составляет величину 1,05, что характеризует водоем, как незначительно глубоководный. Комплексный морфометрический показатель, или коэффициент открытости акватории составляет величину 0,92, что характеризует большую открытость акватории. В водоемах-охладителях с подобными параметрами гидрометеорологические факторы влияют в решающей степени на гидрологические и гидрофизические процессы [3].

Водоемы-охладители при теплоэлектростанциях расположены в различных физико-географических условиях, но нормативы, принятые для всех водоемов-охладителей, «объединяют» водоемы разного ландшафтно-географического положения, трофического уровня и хозяйственного назначения. Они предусматривают недопустимость превышения

температуры воды в водоеме в зимнее время на 5 °С, а в летнее – на 3 °С выше естественной максимальной температуры [3]. Повышение температуры по отношению к естественному фону и отсутствие замерзания акватории водоема зимой приводят к увеличению испарения воды, усилению растворимости химических соединений.

Натурные наблюдения проводились в соответствии с принципами комплексности, систематичности наблюдений в характерные гидрологические фазы по методикам, обеспечивающим точность определения, качество и надежность информации в соответствии с рекомендациями Госкомгидромета.

Программа контроля качества воды включала определение гидрофизических, гидрохими-

ческих, гидробиологических, санитарно-гигиенических показателей; периодичность проведения контроля и выполнения анализа воды. Отбор проб проводился в характерные гидрологические фазы. Результаты мониторинга гидрохимических и гидробиологических параметров свидетельствуют о высоких концентрациях растворенного органического вещества и биогенных соединений, поступающих с загрязненным стоком р. Кадат и из затопленного торфа [2].

Небольшой объем воды водоемов-охладителей по сравнению с водохранилищами ГЭС, тепловой сброс, повышенное содержание органических и биогенных соединений в воде способствовали созданию условий для существования биофонда «цветения», реализации условий для эвтрофирования водной системы.

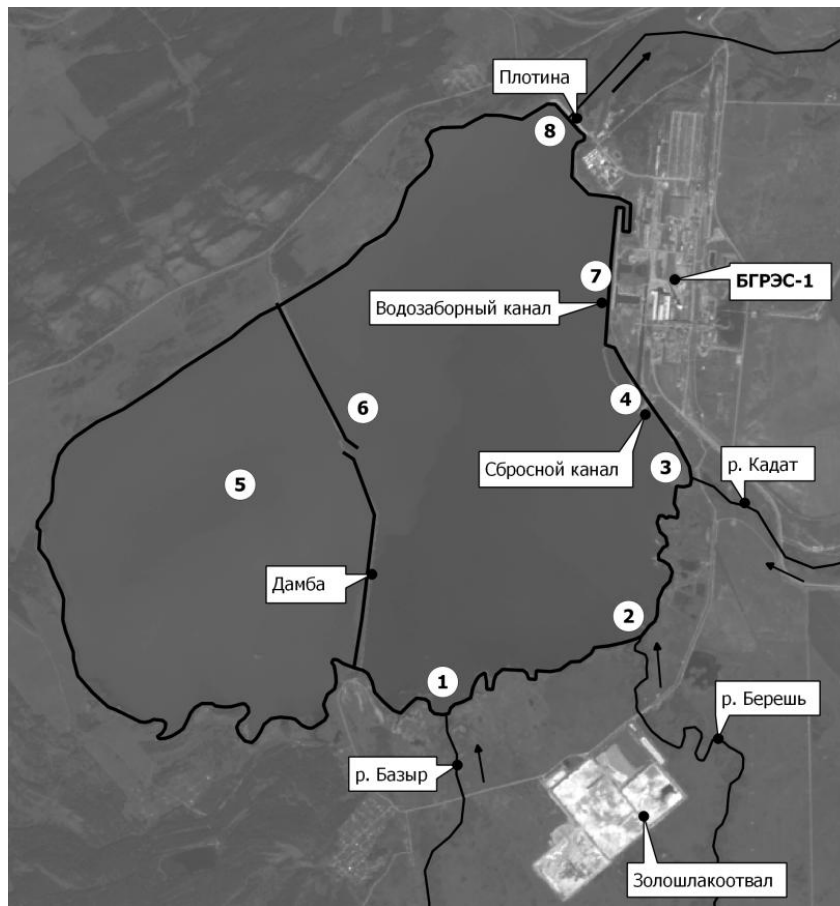


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб воды на водоеме и изображение Landsat-8 водоема-охладителя

**Результаты исследования и их обсуждение.** Тепловой сброс неоднозначно влияет на кислородный режим водоема; в зоне интенсив-

ного подогрева наблюдается инвазия кислорода из поверхностных слоев воды; в зоне умеренного и минимального подогрева интенсифициру-

ются процессы деструкции автохтонного и аллохтонного органического вещества, что видно по повышению величин перманганатной и бихроматной окисляемости, свидетельствующему об увеличении растворенных органических веществ в воде за счет разложения гуминовых веществ затопленного торфа и притока загрязняющей органики со стоками КОС г. Шарыпово, попадающими с водой р. Кадат.

Под действием теплового сброса на водоем в зимние периоды образовывалась незамерзающая полынья; в аномально теплые зимы полынья имела максимальные размеры. Зеркало чистой воды распространялось от устья р. Кадат до приплотинной части с удалением от береговой линии более чем на 500 м. В суро-

вые зимние периоды с температурами ниже  $-20^{\circ}\text{C}$  размеры полыньи сокращались от устья сбросного канала (точка 4) до водозабора ГРЭС (точка 7). Тепловой сброс изменил термический режим на большей части акватории, центральная часть (точка 6) покрывалась льдом мощностью от 10–20 см, мощность ледового покрытия вблизи ГРЭС составляла до 0,8–1,5 м. Введение в строй второго блока ГРЭС, совместная работа обоих увеличили тепловую нагрузку на водоем, о чем свидетельствует повышение линии тренда в районе устья сбросного канала (рис. 2), а также в центральной и приплотинной части, но в верховьях водоема изменение температур почти не заметно, о чем свидетельствует ход многолетнего тренда (рис. 3).

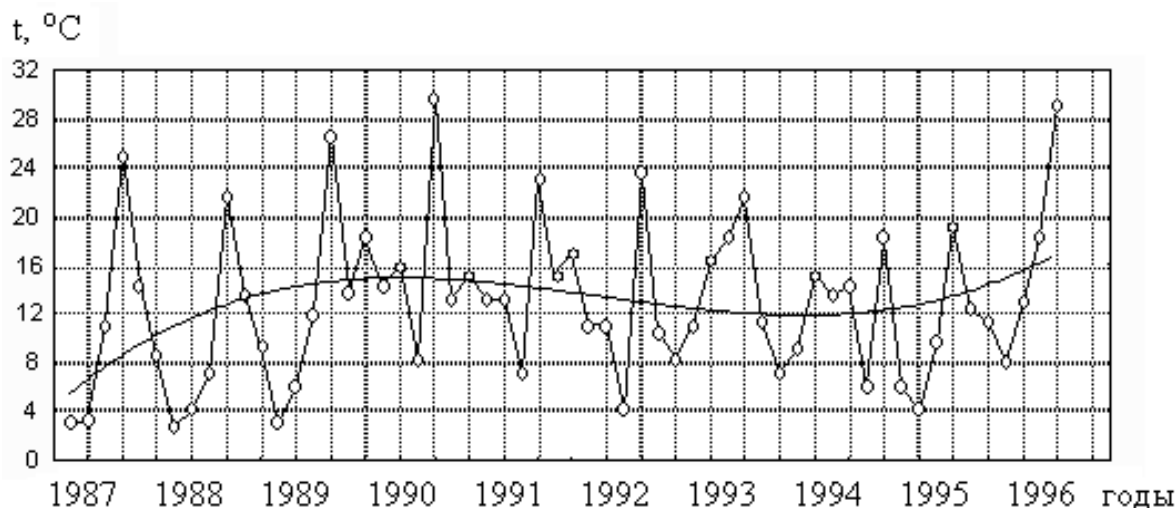


Рис. 2. Сезонные колебания и многолетний тренд температуры в устье сбросного канала

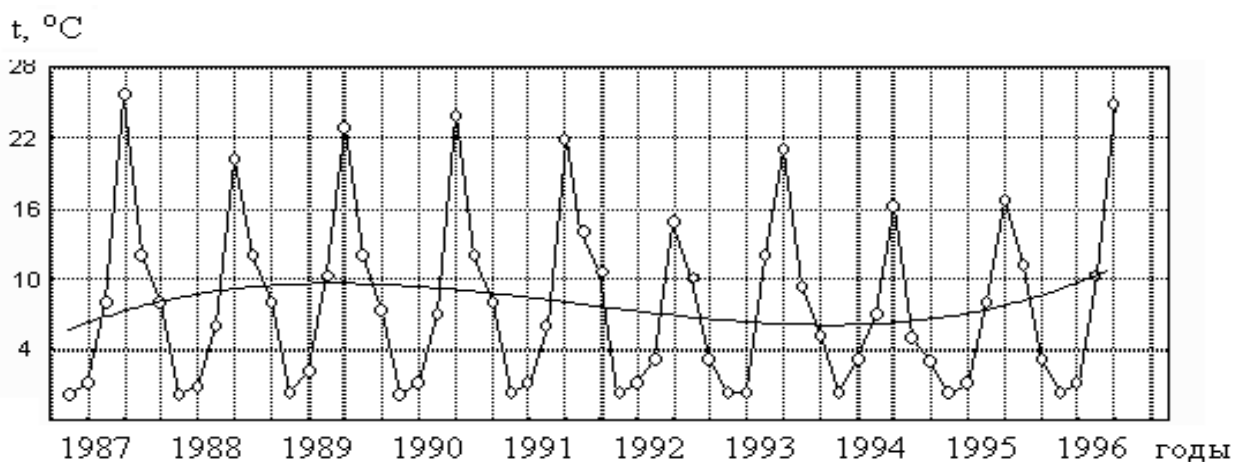


Рис. 3. Сезонные колебания и многолетний тренд температуры в устье р. Базыр

Температурный режим водоема-охладителя формируется под действием процессов теплообмена с атмосферой, испарения, переноса тепла течением и турбулентным перемешиванием. Сброс охлаждающей воды способствует образованию участков акватории с различной температурой. В программе наблюдений была предусмотрена расстановка точек отбора проб воды с учетом существования циркуляционного потока, а также специфики термического режима водоема-охладителя с оценкой части акватории, которая вовлечена в теплообмен.

Исследование термического режима в зимний период 2000–2001 гг. после ввода в эксплуатацию второго блока обнаружило, что в районе водозабора в полынье не происходило выравнивания температуры по глубине, наблюдалось образование областей микроциркуляции отепленной воды.

При обследовании температурного поля в районе водосбросного канала было также обнаружено, что на распределение теплового потока влияет участок твердого наноса на выходе из сбросного канала, поэтому циркуляция воды осуществлялась по минимальной траектории от сбросного к водозаборному каналу. При этом в теплообмен не вовлекалась достаточная для эффективного охлаждения воды часть акватории, что приводило к повышению температуры воды на водозаборе.

Кроме того, распределению теплового потока препятствует встречное естественное течение зарегулированной реки Береш, русло которой проходит по дну водоема и в верхней части водоема достаточно ощутимо [4]. По мере движения от сбросного канала к водозабору температурные различия в потоке воды на глубине составляли 17–20 °С, что свидетельствует о влиянии потока речных вод р. Береш в придонном горизонте, уменьшаясь до 1–2 °С в районе водозабора, где влияние речных вод несущественно.

Распределение и возникновение на акватории пространственных температурных полей связаны не только с циркуляционным движением водных масс, но и влиянием гидрометеорологических факторов, особенно ветров. В районе водоема-охладителя преобладают ветра юго-западного направления, при штормовых погодных условиях чаще повторяются северо-

западные ветра; структура течений под действием этих ветров изменяется в верхнем слое воды. При юго-западных ветрах взаимодействие стокового течения с ветровым приводит к торможению подогретых вод в зоне сбросного канала и «прижимает» поток отепленной воды к правому берегу, не изменяя общего характера циркуляции потока.

В программу мониторинга качества воды водоема-охладителя были включены наблюдения с оценкой части акватории, вовлеченной в теплообмен, что необходимо для обеспечения эффективной работы ГРЭС. Для этого были организованы наблюдения температуры воды от поверхностного до придонного горизонта с шагом измерения в 1 м в радиальных от сбросного канала направлениях. Съёмка проводилась путем измерения глубины и температуры в полынье на шлюпке. Под действием теплового сброса на водоеме в зимние периоды образуется незамерзающая полынья, размеры которой значительно изменяются в зависимости от условий погоды. При исследовании термического режима в зимние периоды в полынье обнаружено, что в акватории возникали температурные поля, образование которых связано не только с циркуляционным потоком, но и с влиянием гидрометеорологических факторов, особенно ветра; структура течений под действием ветра изменяется преимущественно в верхнем слое.

Авторами разработаны практические рекомендации для мероприятий по удалению участков заиления в районе устья сбросного канала, которые были проведены на водоемоохладителе с помощью плавкрана с ковшом, что способствовало повышению экономической эффективности работы теплоэлектростанции.

Для восстановления веерного распределения отепленной воды между сбросным и водозаборным каналами рекомендована установка на дно водоема-охладителя специальных барьеров, которые перенаправят естественный поток циркуляционной воды от берега к центру водоема [5]. Это обеспечит веерное распределение теплового потока и, соответственно, эффективное охлаждение за счет удлинения траектории движения циркуляционной воды в водоеме и увеличения продолжительности времени естественного охлаждения воды. Это кон-

структивное предложение является не единственным вариантом решения проблемы, поэтому исследования особенностей термического режима водоема-охладителя продолжаются.

**Выводы.** Таким образом, определено, что формирование циркуляционного потока отепленной воды проходит под воздействием следующих трех факторов: сужение потока за счет сформировавшегося скопления взвешенных и седиментированных частиц на выходе из сбросного канала; взаимодействие потока отепленной воды из сбросного канала и потока речной воды, проходящей по дну водоема в районе сброса; воздействие преобладающих ветров, имеющих противоположное направление. Предложены рекомендации по преодолению этих факторов.

Морфометрические особенности строения водоема, гидрометеорологические условия и тепловой сброс способствовали созданию условий для существования «биофонда» цветения, реализации условий для эвтрофирования водоема-охладителя. Повышение среднегодовой температуры воды привело к «термическому» эвтрофированию водоема-охладителя БГРЭС-1 уже в первоначальный период существования.

### Литература

1. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Глобальные экологические проблемы России. Потребление воды и ее дефицит: экологический аспект – М.: Наука, 2008.– 202 с.
2. Морозова О.Г., Пен Р.З. Эвтрофикация водоемов-охладителей ТЭС. – Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing Gmbh & Co. KG, 2011.– 138 с.
3. Топачевский А.В., Пидгайко М.Л. Цели и задачи гидробиологического исследования водоемов-охладителей тепловых электростанций // Гидрохимия и гидробиология водоемов-охладителей тепловых электростанций СССР. – Киев: Наукова думка, 1971. – С. 6–10.
4. Морозова О.Г., Пен Р.З., Фоменко Ю.П.: монография.– Красноярск: Изд-во СФУ, 2011. – 185 с.
5. Пат. № 2513145 Российская федерация, ЕОЗВ1/00 ВО5В1/34. 4 с. Способ охлаждения циркуляционной воды в водоемоохладителе / Морозова О.Г., Пен Р.З., Шахматов С.А.; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВО СФУ – № 2513145; заявка № 2012144198, зарегистрирован 17.02 2014 г.; опубл. 20.04.2014, Бюл. № 11. – 5 с.

### Literatura

1. Danilov –Danil'jan V.I., Losev K.S. Global'nye jekologicheskie problemy Rossii. Potreblenie vody i ejo deficit: jekologicheskij aspekt – М.: Nauka, 2008.– 202 s.
2. Morozova O.G., Pen R.Z. monografija: Jevtrofikacija vodoemov-ohladitelej TJeS. – Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing Gmbh & Co. KG, 2011.– 138 s.
3. Topachevskij A.V., Pidgajko M.L. Celi i zadachi gidrobiologicheskogo issledovanija vodoemov-ohladitelej teplovyh jelektrostancij // Hidrohimiya i gidrobiologija vodoemov-ohladitelej te-plovyh jelektrostancij SSSR. – Kiev: Naukova dumka, 1971. – S. 6–10.
4. Morozova O.G., Pen R.Z., Fomenko Ju.P.: monografija.– Krasnojarsk: Izd-vo SFU, 2011. – 185 s.
5. Pat. № 2513145 Rossijskaya federaciya, EO3V1/00 VO5V1/34. 4 s. Sposob ohlazhdeniya cirkulyacionnoj vody v vodoemohladitele / Morozova O.G., Pen R.Z., Shahmatov S.A.; zayavitel' i patentoobladatel' FGAOU VO SFU – № 2513145; zayavka № 2012144198, zaregistrirovan 17.02 2014 g.; opubl. 20.04.2014, Byul. №11. – 5 s.