

ИССЛЕДОВАНИЕ экологического СОСТОЯНИЯ ВОДОЕМОВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ в условиях теплового ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Работа посвящена проблеме теплового загрязнения водоемов урбанизированных территорий. Выявлено тепловое загрязнение оз. Теплое, расположенного на территории г. Уфа. Получена модель для расчета концентрации растворенного кислорода в оз. Теплое, основанная на математической модели Стритера-Фелпса. Проведена апробация разработанной модели путем сравнения расчетных и экспериментальных данных. Выполнена оценка экологического состояния оз. Теплое, определены класс качества, трофический статус и характер сапробности.



Введение

В настоящее время средой обитания большей части населения стали урбосистемы – динамично развивающиеся природно-антропогенные системы, состоящие из архитектурно-строительных объектов и трансформированных компонентов природной среды. Важнейшим и образующим элементом урбосистем являются водные объекты, экологическое состояние которых во многом определяет социальную привлекательность городской территории и ее эстетическое восприятие. Вместе с этим внутригородские водные объекты подвергаются значительному качественному и количественному истощению. В последнее время с ростом производства электроэнергии тепловыми электростанциями (около 75 % от общего объема) обострилась проблема изменения экологического состояния водных объектов в условиях теплового загрязнения. Сброс нагретых вод негативно отражается на экологическом состоянии водных объектов. В первую очередь изменяется динамика растворенного кислорода за счет одновременного действия нескольких факторов: при повышении температуры заметно снижается растворимость газов в воде и возрас-

А.Н. Кутлиахметов,

кандидат географических наук, министр природопользования и экологии Республики Башкортостан, Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан

Н.Н. Красногорская*,

доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Безопасность производства и промышленная экология», ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный технический университет

тает активность микроорганизмов, что приводит к росту потребления кислорода и к общему снижению его содержания [1].

На территории РФ расположено приблизительно равное количество водотоков и водоемов (около 2,8 млн.), при этом более половины водоемов находятся на урбанизированной территории и как следствие часть из них подвергается тепловому загрязнению. В то же время, по данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды общее количество гидропостов на водоемах (354) в 7 раз меньше, чем на реках (2731), т.е. около 87 % водоемов выпадают из общей системы мониторинга экологического состояния водных объектов [2]. В этой связи выявление теплового загрязнения водных объектов урбанизированных территорий и оценка их экологического состояния актуальны.

Объект исследования

Г. Уфа является характерным примером урбанизированной территории с интенсив-

* Адрес для корреспонденции: ElinaSagitovna@yandex.ru

ным развитием промышленности, транспорта и ростом численности населения и, как следствие, ростом производства энергии. Естественная гидрографическая сеть в пределах территории г. Уфа насчитывает порядка 20 малых рек и ручьев и 90 озер естественного и искусственного происхождения. Основную массу городских водных объектов, подверженных антропогенному прессу, составляют водоемы от 0,1 до 84,0 га. Одним из водных объектов, подверженных тепловому загрязнению, является оз. Теплое, расположенное в Калининском районе г. Уфа и используемое в качестве водоема-охладителя Уфимской ТЭЦ-2 [3] (рис. 1).

Уфимская ТЭЦ-2 мощностью 500 МВт введена в эксплуатацию в 1940 г. и имеет прямоточную систему водоснабжения, что обусловлено близостью к водосточнику – р. Уфа. Как видно из рис. 1, сброс подогретых вод осуществляется через систему закрытых железобетонных и открытых земляных каналов в оз. Теплое с последующим поступлением в р. Уфа. Температура сбрасываемых сточных вод непосредственно в оз. Теплое (в точке 4, рис. 1) в июле 2011 г. составила 27,1 °С (Т1).

Материалы и методы исследования

В работе применялся комплекс методов исследования, включающий методы интеллектуального анализа данных, математического и 3D моделирования, качественные и количественные методы системного анализа, а также ГИС технологии. Отбор точечных проб воды в оз. Теплое проводился с ноября 2010 г. по октябрь 2011 г. (исследуемый период) в основные фазы водного режима: весна (26.04.11), начало (16.06.11) и конец лета (17.08.11), осень (18.11.10, 14.10.11). Зимой отбор проб не проводился. В целях определения точек отбора оз. Теплое разбито на секторы. Точки отбора проб располагались в центральных узлах секторов. Установлен один горизонт отбора проб у поверхности воды – 0,3 м от поверхности воды.

Рис. 1. Схема забора и охлаждения воды ТЭЦ-2.

1 – ТЭЦ-2; 2 – точка сброса подогретых вод с ТЭЦ-2 в охладительный канал; 3 – охладительный канал; 4 – точка соединения охладительного канала с оз. Теплое; 5 – оз. Теплое; 6 – шахтный водосброс; 7 – канал, соединяющий оз. Теплое и р. Уфа; 8 – р. Уфа; 9 – точка забора воды из р. Уфа →

А.Н. Елизарьев,
кандидат
географических наук,
ФГБОУ ВПО
Уфимский
государственный
авиационный
технический
университет

Э.С. Хаертдинова,
аспирант,
ФГБОУ ВПО
Уфимский
государственный
авиационный
технический
университет

Р.Р. Муллаянов,
студент, ФГБОУ ВПО
Уфимский
государственный
авиационный
технический
университет

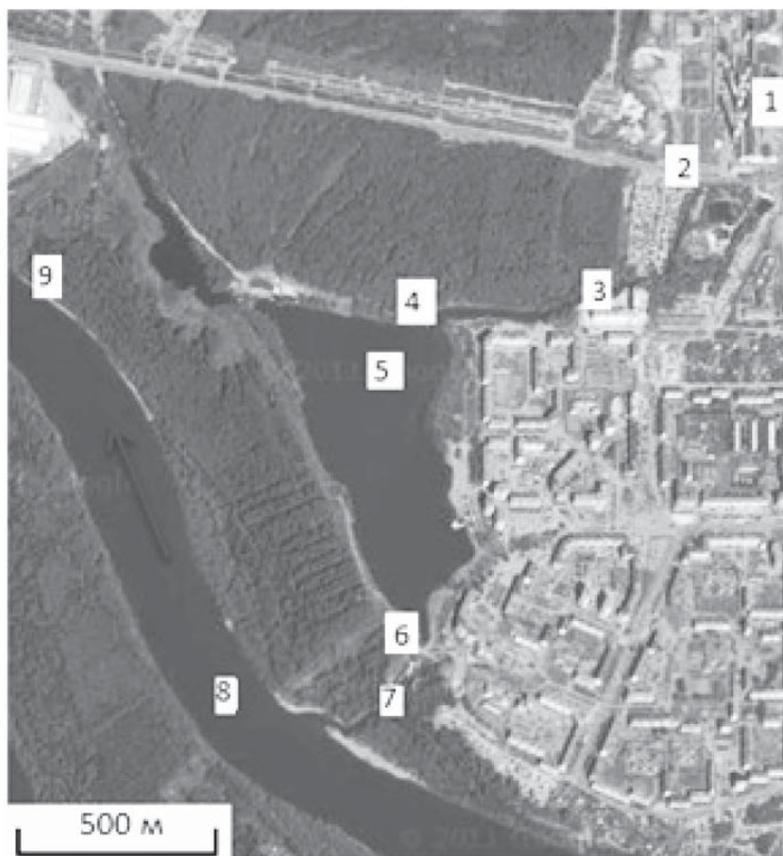
Отбор и анализ проб воды осуществлялся в соответствии с действующими нормативными требованиями. Все работы проводились в аккредитованной лаборатории на поверенном оборудовании с применением аттестованных методик.

Выявление теплового загрязнения оз. Теплое

Для оценки физико-географических особенностей территории оз. Теплое построена трехмерная модель объекта в ГИС программе Surfer 9.0 (рис. 2).

Загрязнение оз. Теплое происходит за счет сброса подогретых вод, смыва загрязняющих веществ с ливневыми и тальными водами, что обусловлено особенностями рельефа местности (рис. 2) и рекреационной нагрузки (на берегу имеется оборудованный пляж и расположена база отдыха «Райский берег»). Оз. Теплое является старицей р. Уфа, поэтому в период половодья река соединяется с озером, что приводит к частичному затоплению прибрежной части и обновлению воды в водоеме.

В соответствии с СанПиНом 2.1.5.980-00 [4] критерием теплового загрязнения является повышение летней температуры воды в результате сброса сточных вод более чем на 3 °С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет.



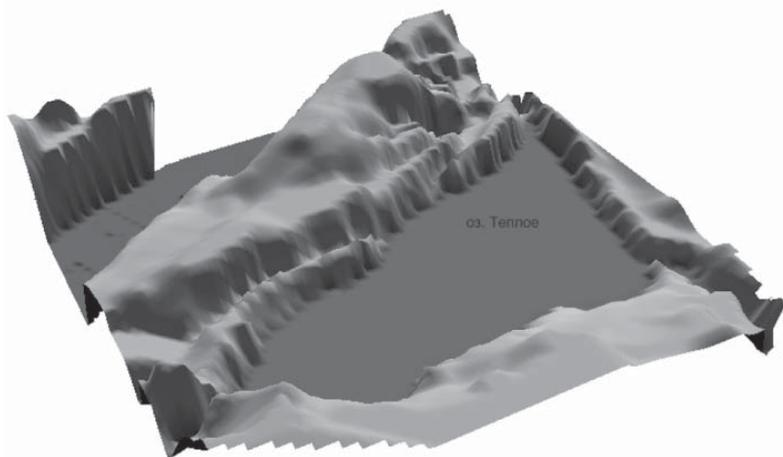


Рис. 2. Трехмерная модель оз. Теплое.

На территории г. Уфа отсутствуют гидропосты на водоемах, поэтому для выявления теплового загрязнения оз. Теплое фоновым объектом выбрано оз. Асликуль (Республика Башкортостан), расположенное на расстоянии 110 км от объекта исследования. Данные о температуре в поверхностном слое воды оз. Асликуль в июле месяце представлены в табл. 1.

Таблица 1

Температура воды в оз. Асликуль в июле месяце [5]

Год	Температура воды, °С (T ₂)	T ₁ -T ₂ , °С
2003	17,2	9,9
2004	18,0	9,1
2007	21,4	5,7
Средняя	18,9	8,2

Если сравнивать температуру воды в оз. Асликуль в июле месяце с температурой сбрасываемых сточных вод в оз. Теплое, можно сделать вывод о тепловом загрязнении водоема, т.к. наблюдается превышение температуры более чем на 3 °С. В связи с этим проведена качественная оценка экологического состояния оз. Теплое, в целях выявления влияния теплового загрязнения на состояние водоема.

Комплекс показателей оценки экологического состояния водоемов

Оценка экологического состояния оз. Теплое проводилась по предложенному авторами [6] минимально достаточному комплексу показателей качества воды в водоеме: глубина, температура, растворенный кислород, электропроводность, pH, ХПК, состояние

Ключевые слова:

водоем, теплое загрязнение, экологическое состояние

высшей водной растительности. Взаимосвязь предложенных показателей с другими показателями экологического состояния водоемов представлена на рис. 3.

Как видно из рис. 3, с помощью данного комплекса показателей можно определить класс качества воды, трофический статус и класс сапробности, что дает комплексное представление об экологическом состоянии водоема.

Результаты и их обсуждение

В июне 2011 г. проведено флористическое описание водоема. Исследование состояния высшей водной растительности оз. Теплое проводилось по видовому и количественному составу флоры путем натурных исследований фитоценозов в естественных границах на наиболее однородных участках основных сообществ. В соответствии с полученными результатами исследования фитоценозов, степень зарастания оз. Теплое по схеме Штармаха является равномерной и составляет 1 балл, т.е. 2 % от общей площади водоема. Флористический состав объекта включает 12 видов высших растений, принадлежащих к 11 семействам (Рдестовые, Роголистниковые, Водокрасовые, Рогозовые, Осоковые, Сусаковые, Ежеголовниковые, Злаки, Частуховые, Рясковые и Астровые). Пространственное распределение видов по территории прибрежной зоны оз. Теплое представлено на рис. 4.

На основе данных флористического описания оз. Теплое проведена оценка степени загрязнения воды путем определения индикаторных видов высших водных растений по системе Кольквитца – Марссона (табл. 2).

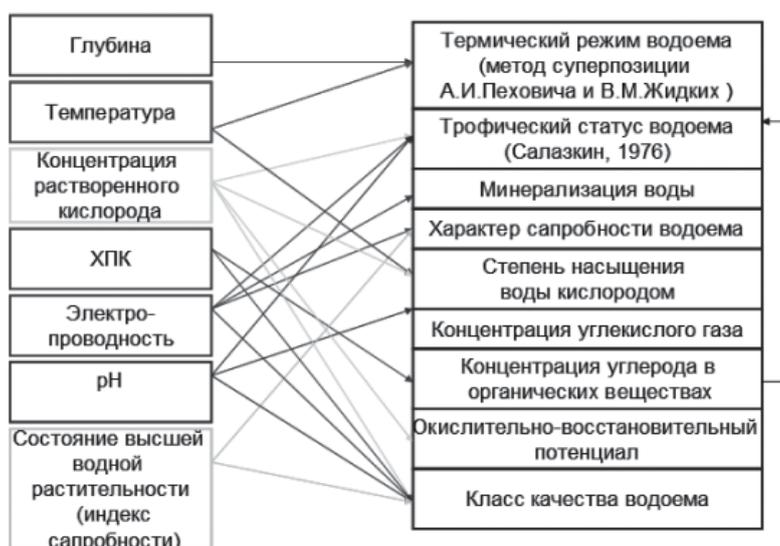


Рис. 3. Предложенный комплекс показателей качества воды в водоеме.



Рис. 4. Пространственное распределение высших водных растений по территории прибрежной зоны оз. Теплое.

Таблица 2

Индикаторные виды по системе Кольквитца – Марссона, произрастающие в прибрежной зоне оз. Теплое

Вид	Условное обозначение	Сапробность	Индикаторная значимость (S)	Частота встречаемости (h)
Роголистник погруженный (<i>Ceratophyllum demersum</i> L.)		β-мезасапроб	2	7
Водокрас обыкновенный (<i>Hydrócharis mórsus-ránae</i>)		олиго и β-мезасапроб	1,5	2
Стрелолист обыкновенный (<i>Sagittaria sagittifolia</i> L.)		олиго и β-мезасапроб	1,5	2

Сапробиологический анализ выполнен по методике Р. Пантле и Н. Букк в модификации В. Сладечека. В соответствии с методикой индекс сапробности рассчитан по формуле [7]:

$$S = \frac{\sum s \cdot h}{\sum h}, \quad (1)$$

Таким образом, в соответствии с полученным значением индекса сапробности ($S=1,8$) вода в оз. Теплое β-мезасапробная (1,5...2,5), т.е. является слабозагрязненной.

Температура воды и глубина оз. Теплое определялись с помощью ручного эхолота JJ-Connect Fisherman 130. Глубинная стратификация озера получена с помощью программы ArcGis 9.3.1 (Spatial Analyst) и представлена на рис. 5.

Как видно из рис. 5, по величине максимальной глубины оз. Теплое, в соответствии с классификацией водоемов по глубине, малое (5...10 м).

Для гидрохимического анализа состава воды, а также для расчета концентрации растворенного кислорода воды проводилось измерение температуры воды в оз. Теплое, результаты которого графически интерпретированы на рис. 6.

Как видно из рис. 6, за исследуемый период максимальная температура воды составила 29,2 °С, минимальная 9,92 °С. В зимний период вода в оз. Теплое не замерзает, что обусловлено круглогодичным сбросом подогретых вод с ТЭЦ-2.

На основе данных температуры воды, сбрасываемой в оз. Теплое, и с учетом морфометрических характеристик получена модель, позволяющая определить концентрацию растворенного кислорода. Исходные данные, используемые в модели, отображены на рис. 7 [1].

В целях апробации полученной модели проводилось сравнение расчетных данных с экспериментальными. Концентрация растворенного кислорода определялась с помощью кислородомера АЖА-101М, её изменение в оз. Теплое за исследуемый период представлено на рис. 8.

Как видно из рис. 8, в общем оз. Теплое классифицировано как умеренно загрязненное в осенний период и как чистое в летний период. Результаты сопоставления экспериментальных и расчетных данных, полученных с помощью модели, представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, расхождение расчетных (полученных с помощью модели Стритера-Фелпса) и экспериментальных данных не превышает допустимую погрешность измерений концентрации растворенного кислорода (40 %) [8]. Данная модель может

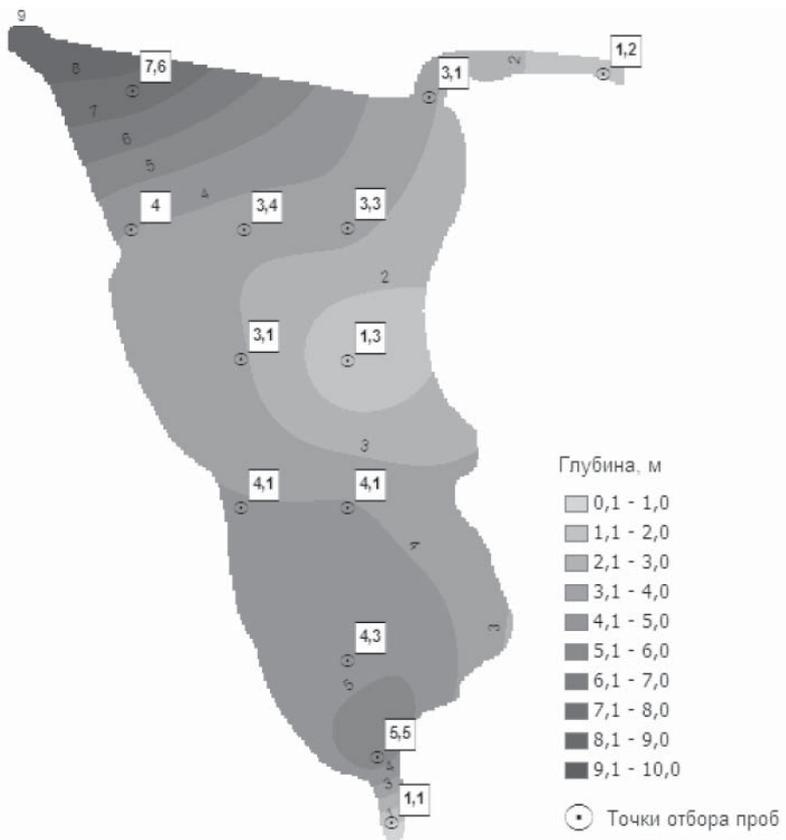


Рис. 5. Глубинная стратификация оз. Теплое.

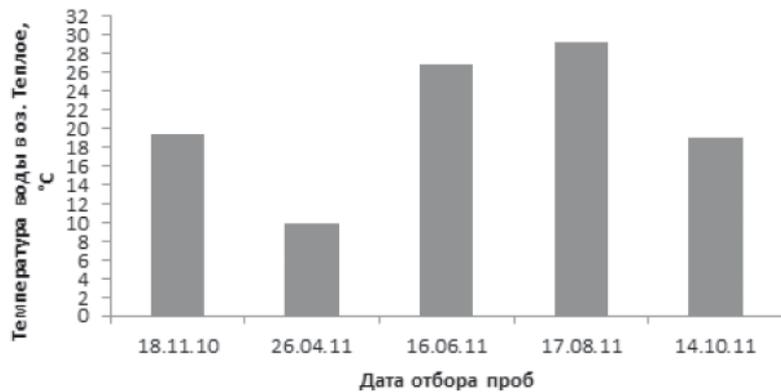
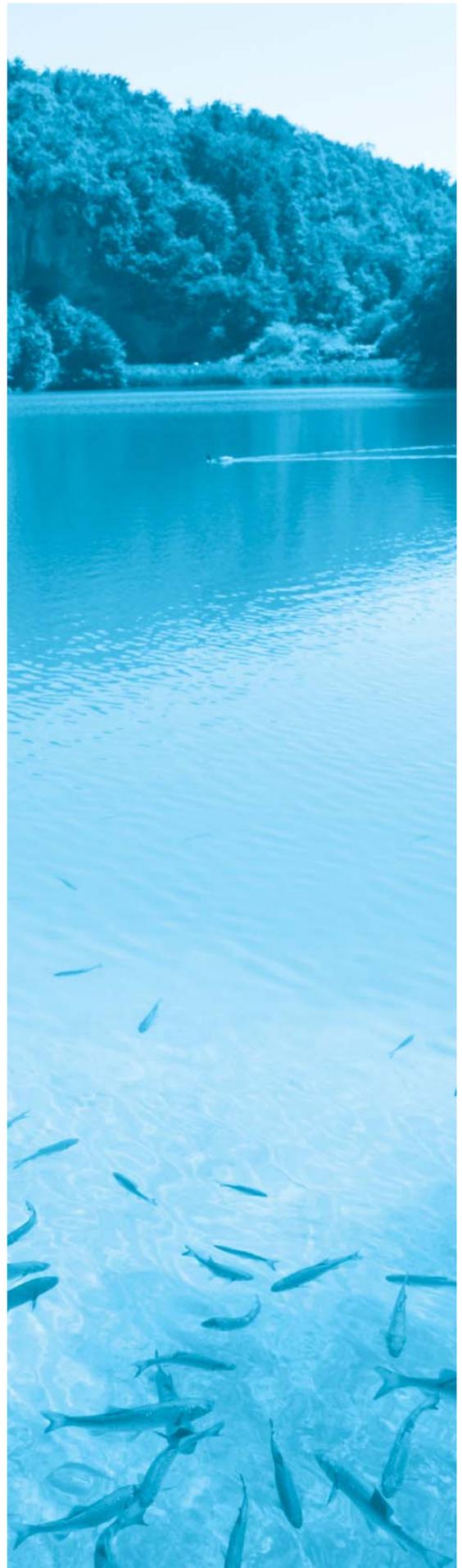


Рис. 6. Изменение температуры воды в оз. Теплое за исследуемый период.



Рис. 7. Схематичное изображение модели Стригера-Фелпса.



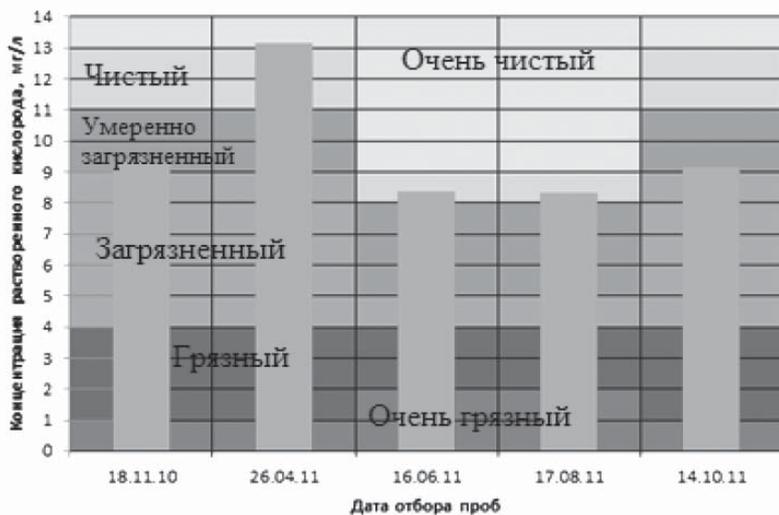


Рис. 8. Изменение концентрации растворенного кислорода в оз. Теплое за исследуемый период.

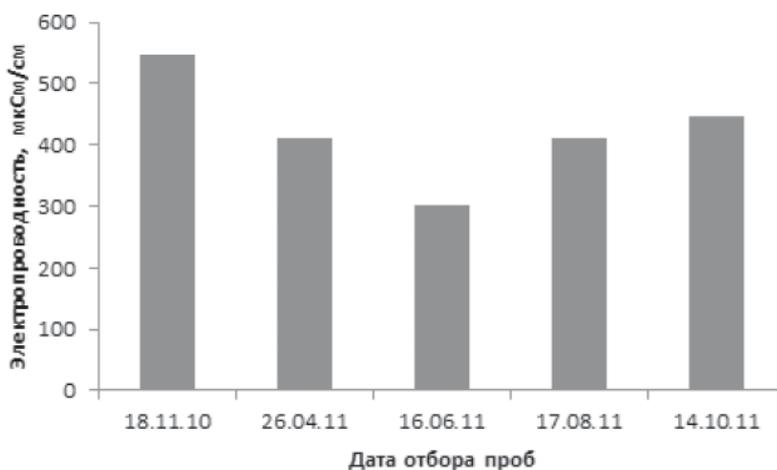


Рис. 9. Изменение электропроводности воды в оз. Теплое за исследуемый период.

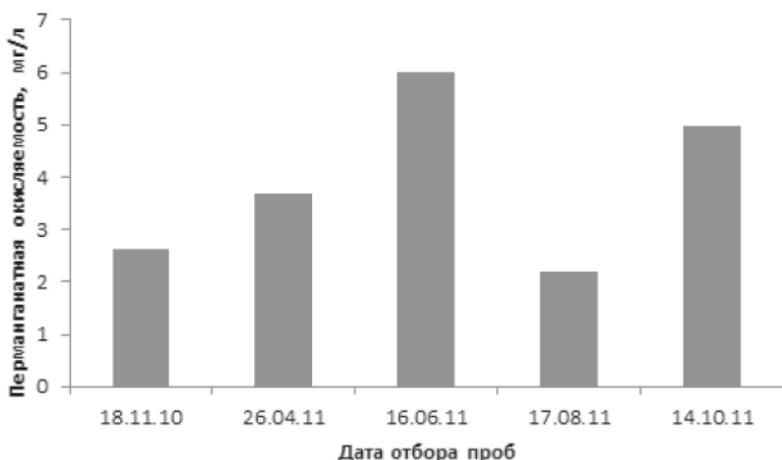


Рис. 10. Изменение перманганатной окисляемости в оз. Теплое за исследуемый период.

быть использована в практических целях для расчета концентрации растворенного кислорода в оз. Теплое.

Величина pH определялась с помощью pH-метра Эксперт-001-1рН. По показателю pH вода оз. Теплое за весь исследуемый период отнесена к слабощелочной (6,5...8,5), т.е. в водах присутствуют $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Для измерения электропроводности использовался кондуктометр inoLab Cond Level1. Изменение электропроводности воды за исследуемый период представлено на рис. 9. Как видно из рис. 9, среднее значение удельной электропроводности воды в озере за исследуемый период колеблется от 302,2 до 546,0 мкСм/см, что соответствует общему содержанию солей, равному 0,3 и 0,5 г/л, т.е. вода является пресной (0,2...0,5 г/л). По-видимому, накопление солей в водоеме не происходит, потому что оз. Теплое является проточным.

Перманганатная окисляемость определялась методом Кубеля. Её изменение за исследуемый период в оз. Теплое приведено на рис. 10.

За весь исследуемый период, как видно из рисунка 10, оз. Теплое по перманганатной окисляемости классифицировано как умеренно загрязненное органическими веществами (3...5), в июне водоем характеризуется как грязный. Загрязнение обусловлено смывом органических веществ с ливневыми и тальными водами с прилегающей территории. Основные результаты оценки экологического состояния оз. Теплое за исследуемый период 2011 г. представлены в табл. 4.

Согласно полученным результатам величина растворенного кислорода соответствует нормативу и оз. Теплое может быть использовано для питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водоснабжения, для рыбохозяйственных целей. По показателям pH и перманганатной окисляемости норматив не превышен как для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, так и для рекреационного водопользования.

Заключение

Таким образом, в условиях теплового загрязнения в оз. Теплое не наблюдается существенных изменений в экологическом состоянии водоема, непосредственно обусловленных сбросом подогретых вод с ТЭЦ-2. По-видимому, это обусловлено отсутствием сброса промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод. В соответствии с полученными результатами предлагается проводить отбор и анализ проб воды

Таблица 3

Результаты сопоставления экспериментальных и расчетных данных

Дата	Концентрация растворенного кислорода, мг/л		±δ, %
	Расчетная	Экспериментальная	
18.11.2010	8,88	9,36	5,06
26.04.2011	11,5	13,14	12,52
16.06.2011	7,81	8,35	6,43
17.08.2011	8,03	8,3	3,18
14.10.2011	9,88	9,14	7,51
Среднее	9,22	9,66	6,94

**Таблица 4**

Основные результаты оценки экологического состояния оз. Теплое за исследуемый период

Показатель	Дата	Класс качества	Трофический статус	Характер сапробности
Концентрация растворенного кислорода, мг/л	18.11.2010	Умеренно загрязненный	–	–
	26.04.2011	Очень чистый	–	–
	16.06.2011	Чистый	–	–
	17.08.2011	Чистый	–	–
	14.10.2011	Умеренно загрязненный	–	–
рН	18.11.2010	Слабозагрязненный	Эвтрофный	–
	26.04.2011	Вполне чистый	Мезотрофный	–
	16.06.2011	Достаточно чистый	Эвтрофный	–
	17.08.2011	Достаточно чистый	Эвтрофный	–
	14.10.2011	Достаточно чистый	Эвтрофный	–
Электропроводность, мкСм/см	18.11.2010	Очень чистый	Олиготрофный	Ксено-сапробность
	26.04.2011	Очень чистый	Олиготрофный	Ксено-сапробность
	16.06.2011	Очень чистый	Олиготрофный	Ксено-сапробность
	17.08.2011	Очень чистый	Олиготрофный	Ксено-сапробность
	14.10.2011	Очень чистый	Олиготрофный	Ксено-сапробность
Перманганатная окисляемость, мг/л	18.11.2010	Умеренно загрязненный	–	–
	26.04.2011	Умеренно загрязненный	–	–
	16.06.2011	Грязный	–	–
	17.08.2011	Умеренно загрязненный	–	–
	14.10.2011	Умеренно загрязненный	–	–
Индекс сапробности	18.11.2010	–	–	–
	26.04.2011	–	–	–
	16.06.2011	Слабозагрязненный	–	Бетамезо-сапробность
	17.08.2011	–	–	–
	14.10.2011	–	–	–

Примечание: – классификация по данному параметру отсутствует

оз. Теплое только в конце года и использовать модель Стритера-Фелпса как метод экспресс-диагностики экологического состояния водоема.

Литература

1. Гидрофизические факторы формирования кислородного режима водоемов/ под ред. Бреховских В.Ф. М.: Наука, 1988. 168 с.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 августа 2009 г. № 1235-р «Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года».
3. Башкортостан. Краткая энциклопедия / под ред. Р.З. Шакурова. Уфа: Башкирская энциклопедия, 1996. 456 с.
4. СанПиН 2.1.5.980-00. «Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов».

5. Гидрологические ежегодники за 2000... 2010 гг. Уфа: БашУГМС, 2001...2011. Т.1, Выпуск 24,25.
6. Красногорская Н.Н. Оценка экологического состояния лентических водных объектов в пределах урбанизированных территорий / Н.Н. Красногорская, А.Н. Елизарьев, Э.С. Хаертдинова, Р.Р. Муллаянов // Современные проблемы науки и образования: сетевой журн. 2011. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/100-4890>.
7. Ходоровская Н.И. Физико-химические и гидробиологические методы исследования экологического состояния водоемов / Н.И. Ходоровская, О.Н. Кандерова. Уч. пос. Челябинск: ЮУрГУ, 2002. 70 с.
8. ГОСТ 27384-2002. Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств. М.: Госстандарт, 2004. 14 с.



A.N. Kutliahmetov, N.N. Krasnogorskaya, A.N.Elizariyev, E.S. Haertdinova, R.R. Mullayanov

ECOLOGICAL STATE OF WATER RESERVOIRS UNDER THERMAL POLLUTION

The thermal pollution of water reservoirs in urban areas has been overviewed in the work. Thermal pollution of lake Teploye located in the city of Ufa has been established. A calculation model based on Streeter-Phelps

model for determination of dissolved oxygen in lake Teploye has been developed. The model was tested by comparison of calculated and experimental data. The estimation of ecological state of lake Teploye was carried out, quality class trophic

status and saprobic character being identified.

Key words: pond, thermal pollution, environmental status

