

Моделирование термогидродинамических процессов в озере Чаны

А. Т. Зиновьев^{1}, А. В. Дьяченко¹, О. В. Кондакова¹*

¹ Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул, Российская Федерация

* e-mail: zinoviev@iwep.ru

Аннотация. В статье представлены результаты компьютерного моделирования термодинамических (ТГД) процессов в мелководном водоеме с использованием двумерной горизонтальной модели (2DH) на основе программного пакета с открытым исходным кодом Delft3D. Объект моделирования – бессточное озеро Чаны, крупнейший естественный водоем Западной Сибири. Для построения компьютерной ТГД-модели озера Чаны уточнена цифровая модель рельефа (ЦМР) его котловины и подготовлена база данных, содержащая информацию метеостанций на прибрежных территориях озера и гидрологические данные по озеру и его притокам. Имитационные расчеты ТГД-процессов выполнены для периода открытой воды 2018 г. Анализ полученных результатов показал, что построенная компьютерная 2DH модель озера Чаны позволяет воспроизводить наблюдаемые особенности его термического режима в безледоставный период.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, термодинамические процессы, программный комплекс Delft3D, плановая модель, озеро Чаны, период открытой воды, температура воды

Modeling of thermohydrodynamic processes in Lake Chany

A. T. Zinoviev^{1}, A. V. Dyachenko¹, O. V. Kondakova¹*

¹ Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russian Federation

* e-mail: zinoviev@iwep.ru

Abstract. The paper presents the results of the computer simulation of the thermohydrodynamic (THD) processes in a shallow water body based on the open software package Delft3D. The object of modeling is closed Lake Chany – the largest natural water body in Western Siberia. To construct a computer THD-model of Lake Chany digital elevation model of its basin was refined and a database containing meteorological information from coastal area stations and hydrological data of the lake and its tributaries was prepared. Simulation calculations of THD processes for open-water period in 2018 are performed. The analysis of the results showed that the constructed 2DH computer model of Lake Chany allows to reproduce the observed features of its thermal regime for the ice-free period.

Keywords: computer modeling, thermohydrodynamic processes, Delft3D, 2DH model, Lake Chany, ice-free period, water temperature

Введение

Термический режим озер определяется тепловым стоком рек, внешним теплообменом с окружающей средой – с атмосферой и дном озер, и внутренним теплообменом, обусловленным перераспределением тепла в толще воды за счет конвективно-диффузионных механизмов, которые существенно зависят от морфометрических особенностей водных объектов [1-3]. Изучение и моделирование

ТГД процессов в бессточных озерах с учетом уточненного описания испарения с водной поверхности имеет важное значение для прогнозирования их уровня и экологического состояния.

В данной работе объектом исследования является бессточное озеро Чаны, являющееся крупнейшим естественным водоемом Западной Сибири, и имеющее важное рыбохозяйственное и экологическое значение [4-7]. Чановская озерная система включена в список водно-болотных угодий международного значения (Рамсарские угодья) [8, 9].

Термин «озеро Чаны» в данной работе, как и в других источниках (например, [4-7]) используется для обозначения Чановской озерной системы, имеющей сложную плановую конфигурацию и состоящую из нескольких частей (рис. 1): озеро Чаны (Большие Чаны) включает Яркувский, Тагано-Казанцевский и Чиняихинский плесы, последний соединен с озером Яркуль каналами, и озером Малые Чаны протокой Кожурла. В сентябре 1971 г. от озера системой дамб был отделен Юдинский плес для сокращения потерь на испарение с поверхности и создания условий для повышения уровня воды в оставшейся его части, что позволило сохранить рыбохозяйственное значение озера [4, 6].

Поступление воды в оз. Чаны происходит с атмосферными осадками и притоком впадающих в него рек Каргат и Чулым; расходная часть водного баланса обусловлена испарением с поверхности озера [5-7, 10].

Одной из особенностей озера Чаны является изменение температуры воды по акватории озера, обусловленная рядом факторов: сложным строением озерной котловины, бессточностью, низким водообменом между частями озера и притоком речных вод в его юго-восточной части (оз. Малые Чаны) [6, 7].

Цель работы – выполнить моделирование термического режима озера Чаны (для периода открытой воды) с применением двумерной горизонтальной ТГД модели, позволяющей получить распределение температуры воды по акватории водоема и более точно оценить потери воды на испарение.

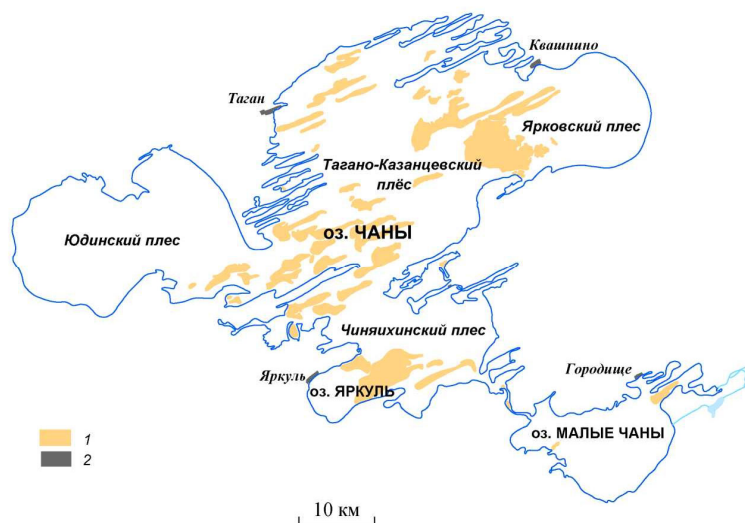


Рис. 1. Схема Чановской озерной системы [10]:

1 – острова, 2 – населенные пункты

Методы и материалы

Компьютерное 2DH-моделирование выполнялось с применением программного пакета с открытым исходным кодом Delft3D [13].

Основой используемой для расчетов цифровой модели рельефа (ЦМР) котловины озера Чаны послужила цифровая модель рельефа [10], созданная в ИВЭП СО РАН в рамках реализации международного (Россия – Голландия) проекта “Сохранение водно-болотных угодий и видового состава их обитателей на юге Западной Сибири” [7, 11, 12]. Данная ЦМР (рис. 2) построена для котловины озера до отметок высот 107,5 м БС-77. Эта ЦМР после вычета той ее части, которая отвечает Юдинскому плесу, была использована для построения компьютерной ТГД-модели озера Чаны.

Для расчетов подготовлена база данных, содержащая информацию с метеостанций в районе озера и сведения по гидрологическим характеристикам озера Чаны и впадающих в него рек Каргат и Чулым. Сбор данных наблюдений выполнялся с использованием источников [14, 15] (данные об уровне воды озер, расходов воды рек, метеорологическая информация), и представленных печатными изданиями Росгидромета [16-17] (температура воды рек и озер на постах и температура воды озер на рейдовых вертикалях). Схема расположения пунктов наблюдений на озерах Чановской озерной системы показана на рис. 2.

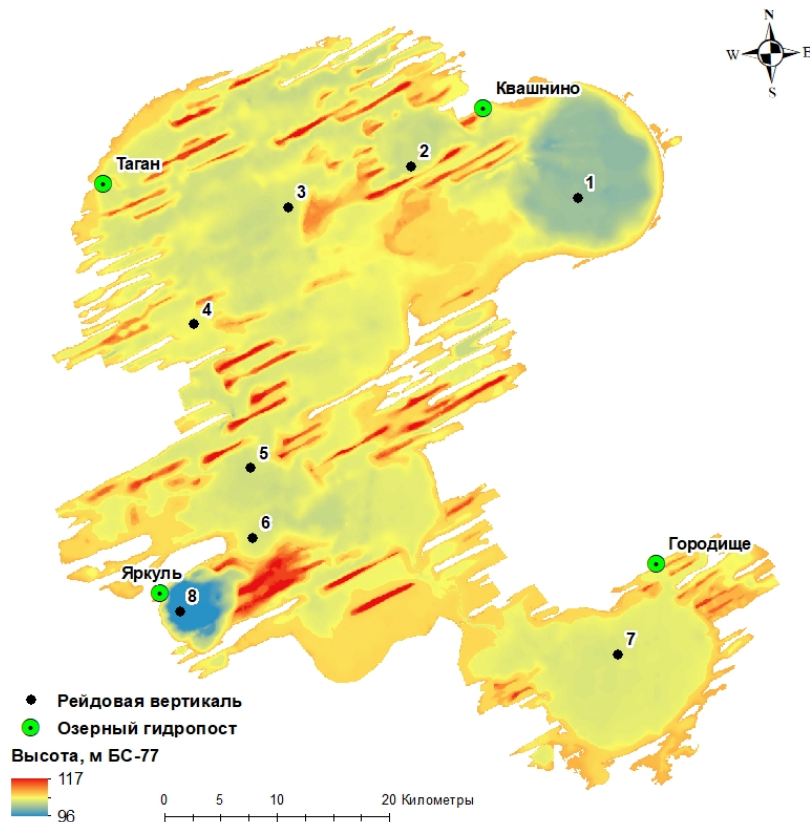


Рис. 2. Цифровая модель рельефа котловины оз. Чаны

Особенности термического режима озера Чаны по данным наблюдений

По термическому типу по классификации Д. Хатчинсона [3] озеро Чаны относится к димиктическому, по классификации Ф.А. Фореля [1] к умеренному – с температурой воды летом выше, а зимой ниже 4°С, с прямой стратификацией летом, обратной стратификацией зимой и состояниями гомотермии весной и осенью.

Поскольку озеро Чаны является мелководным водоемом, прогрев и выхолаживание водной массы идут достаточно интенсивно [5]. Средняя глубина по озеру в целом составляет 2,2 м. Данные о средних и максимальных глубинах отдельных озер и плесов приведены в табл. 1.

Как было сказано выше, для озера Чаны характерно неравномерное распределение температуры воды по акватории озера. Нагревание и охлаждение воды в наиболее глубоководных частях – в оз. Яркуль и Ярковском плёсе, происходит позже, чем в остальных частях озерной системы, что обусловлено большим теплосодержанием их водной массы по сравнению с мелководными участками.

На рис. 3 показан ход температуры поверхностного слоя воды толщиной 0,1-0,5 м, измеренной на береговых постах в 2018 г. Расположение постов приведено на рис. 2.

Таблица 1

Глубина воды в отдельных плесах и озерах [5]

Озеро, плес	Глубина, м	
	средняя	максимальная
Оз.Малые Чаны	1,40	2,0
Оз.Чаны, Ярковский плес	3,04	5,5
Оз.Чаны, Тагано-Казанцевский плес	1,44	3,0
Оз.Чаны, Чиняихинский плес	1,77	3,3
Оз.Яркуль	4,8	9,0

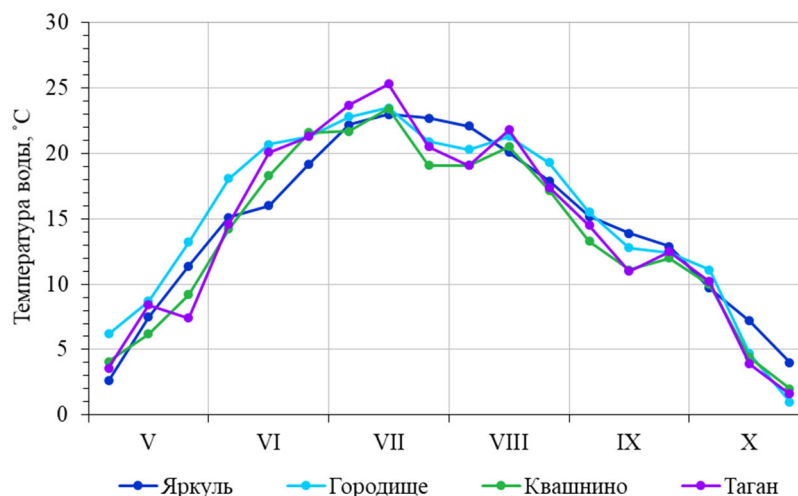


Рис. 3. Среднедекадная температура поверхностного слоя воды оз. Чаны, измеренная на постах у берега, за период открытой воды в 2018 г.

Результаты и обсуждение

Расчеты ТГД-процессов по 2DH модели озера Чаны выполнены для периода открытой воды в 2018 г. Выбранный период проведения расчетов – с 01:00 ч. 15 мая 01:00 по 01:00 ч. 1 ноября 2018 г. На входных створах расчетной области задавались расходы и температура воды рек Чулым и Каргат по данным гидропостов с. Старогорносталево и с. Здвинск. Метеообстановка в расчетный период определялась заданием соответствующих метеопараметров по метеостанции Квашино (скорость и направление ветра, температура и относительная влажность воздуха, атмосферное давление, общая облачность, атмосферные осадки).

По результатам расчетов для рассматриваемого периода построены карты, отражающие неравномерность распределения температуры воды по акватории озера. Для примера на рис. 4 приведено поле температур на 13 ч. 31.07.2018, что соответствует началу периода охлаждения озера. На рисунке видно, что температура воды в наиболее глубоководных частях озерной системы (оз.Яркуль и Ярковский плёс) выше, чем в мелководных плесах. Результаты выполненных расчетов показали, что применение построенной плановой компьютерной модели для описания ТГД-процессов в водоеме позволяет адекватно воспроизводить особенности термического режима оз. Чаны для периода открытой воды.

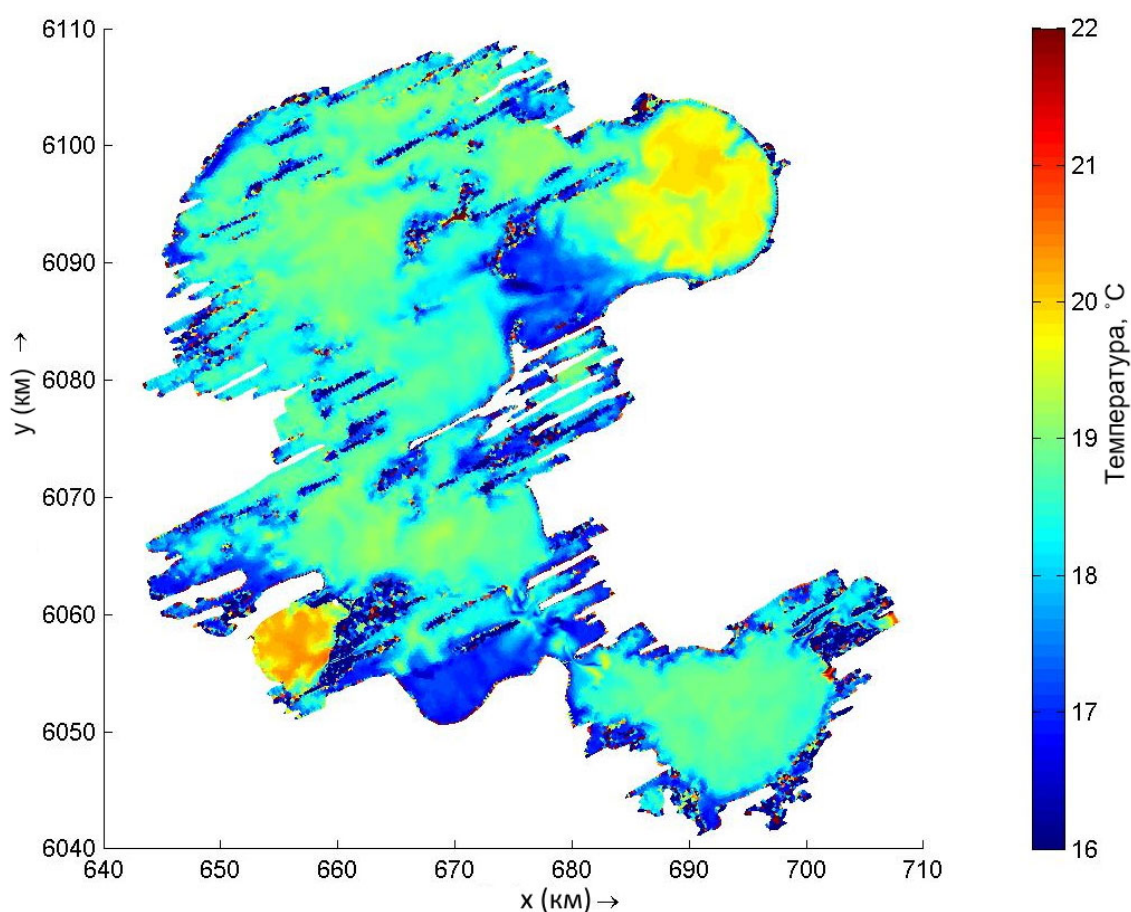


Рис. 4. Распределение температуры воды оз. Чаны по результатам расчетов на 13:00 31 июля 2018 г.

Заключение

Выполнено имитационное компьютерное моделирование ТГД-процессов в озере Чаны в 2018 году для безледоставного периода. По результатам расчетов построены карты распределения температуры воды по акватории озера. Анализ полученных результатов показал, что применение двумерной горизонтальной ТГД-модели водоема позволяет адекватно воспроизводить особенности термического режима оз. Чаны для периода открытой воды. Модель правильно описывает неравномерное распределение температуры воды по акватории водоема и воспроизводит запаздывание прогревания и охлаждения наиболее глубоководных участков озера относительно мелководных.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Показеев К.В., Филатов Н.Н. Гидрофизика и экология озер. Том 1. Гидрофизика. – М.: Физический факультет МГУ, 2002. – 287 с.
2. Богословский Б.Б. Озероведение. – М.: МГУ, 1960. – 336 с.
3. Эдельштейн К.К. Лимнология: учебное пособие для вузов 2021. 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Юрайт, 2021. – 386 с.
4. Экология озера Чаны. Новосибирск: Наука, 1986. 270 с.
5. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Новосибирское водохранилище и озера бассейна Средней Оби / Под ред. В. А. Знаменского, М. Я. Кунявского. – Л.: Гидрометеоздат, 1979. 156 с.
6. Пульсирующее озеро Чаны / Под ред. Н.П. Смирновой и А.В. Шнитникова. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1982. – 304 с.
7. Обзор экологического состояния озера Чаны (Западная Сибирь) / Отв. ред. О.Ф. Васильев, Я. Вейн. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2015. – 255 с.
8. Огурцов Н.Е., Юрлов А.К., Виноградов В.Г. Чановская озерная система // Водно-болотные угодья России. Т. 1: Водно-болотные угодья международного значения. – М.: Wetlands International publication, 1998. – С. 173–176.
9. The List of Wetlands of International Importance [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/sitelist.pdf> (дата обращения: 19.04.2022).
10. Кондакова О. В., Савкин В. М., Двуреченская С. Я., Марусин К. В. Водный баланс и характеристики минерализации бессточного озера Чаны // География и природные ресурсы. – 2020. – № 1. С. 122-129. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2020-1(122-129).
11. Савкин В. М., Двуреченская С. Я., Сапрыкина Я. В., Марусин К. В. Основные гидролого-морфометрические и гидрохимические характеристики озера Чаны // Сибирский экологический журнал. – 2005. – № 2. – С. 183–192.
12. Озеро Чаны. Гидрология, гидрохимия, гидробиология, орнитология (материалы к изучению) / Безматерных Д. М., Двуреченская С. Я., Ермолаева Н. И., Зарубина Е. Ю., Кириллов В. В., Кириллова Т. В., Марусин К. В., Митрофанова Е. Ю., Пестова Л. В., Попов П. А., Юрлова Н. И., Яновский А. П. – Новосибирск: ИВЭП СО РАН, 2007. – 40 с.
13. Delft3D – Open Source Community – [Электронный ресурс]. – URL: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d> (дата обращения 21.04.2022).

14. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения 20.12.2021).
15. RP5.ru. Расписание погоды – [Электронный ресурс]. – URL: <https://rp5.ru> (дата обращения 20.12.2021).
16. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2018 гг. – Часть 1. Реки и каналы. – Том 1. – Выпуск 10. Новосибирск, 2020. – 304 с.
17. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2018 гг. – Часть 2. Озера и водохранилища. – Том 1. – Выпуск 10. – Новосибирск, 2020. – 92 с.

© А. Т. Зиновьев, А. В. Дьяченко, О. В. Кондакова, 2022