

А. Т. Зиновьев¹, А. В. Дьяченко¹, О. В. Кондакова^{1}*

Моделирование уровня озера Чаны

¹ Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук, г. Барнаул, Российская Федерация
* e-mail: kondakova@iwep.nsc.ru

Аннотация. Приведены результаты моделирования уровня воды бессточного озера Чаны, самого крупного по площади естественного водоема Западной Сибири, имеющего важное рыбохозяйственное значение. Уровненный режим озера Чаны является одним из важнейших факторов, влияющих на его водно-экологическое состояние. Для описания изменения уровня воды в озере в безледоставный период применена компьютерная двумерная горизонтальная (2DH) термогидродинамическая (ТГД) модель водоема, построенная на основе программного комплекса с открытым исходным кодом Delft3D. Расчеты выполнены с использованием входной информации для 2018 года. Результаты моделирования согласуются с данными наблюдений. Построенная 2DH-модель может быть использована для прогнозирования изменения уровня озера Чаны в период открытой воды под влиянием природных и антропогенных факторов.

Ключевые слова: озеро Чаны, уровень воды, компьютерное моделирование, плановая термогидродинамическая модель, безледоставный период

A. T. Zinoviev¹, A. V. Dyachenko¹, O. V. Kondakova^{1}*

Modeling of lake Chany level

¹ Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russian Federation
* e-mail: kondakova@iwep.nsc.ru

Abstract. The paper presents the results of modeling of water level of closed Lake Chany, the largest natural water body in Western Siberia (in terms of its water area), of great fisheries importance. Water level of Lake Chany is one of the main factors influencing its water-ecological state. To describe the lake water level dynamics during the ice-free period a computer two-dimensional horizontal (2DH) thermohydrodynamic (THD) model constructed on the base of the open software package Delft3D is implemented. Calculations of water level were performed using data for 2018. The results of modeling show agreement with the observation data. The constructed 2DH-model can be used to predict changes in the Lake Chany water level under the impact of natural and anthropogenic factors for the open water period.

Keywords: Lake Chany, water level, computer modeling, two-dimensional horizontal thermohydrodynamic model, ice-free period

Введение

Оз. Чаны является самым крупным по площади естественным водоемом Западной Сибири, имеющим важное экологическое и рыбохозяйственное значение [1 – 3]. Озеро Чаны и прилегающая к нему территория входят в список водно-болотных угодий международного значения (Рамсарские угодья) по критериям

«типичная озерная система сибирской лесостепи» и «место массовых скоплений водоплавающих птиц» [4, 5]. Природной особенностью озера является цикличность колебаний уровня воды и площади его акватории, обусловленная изменениями общей увлажненности территории [1, 6 – 9]. Уровненный режим оз. Чаны является одним из важнейших факторов, влияющих на его водно-экологическое состояние [1 – 3].

Термин «озеро Чаны» в данной работе, как и в [1 – 3, 6 – 16], используется для обозначения Чановской озерной системы, состоящей из нескольких частей, различных по глубине (рис. 1): оз. Малые Чаны, оз. Яркуль и оз. Чаны (Большие Чаны), включающего плесы Чиняихинский, Тагано-Казанцевский и Ярковский. В 1971 г. для сохранения рыбохозяйственного значения озера системой дамб был отделен западный Юдинский плес (площадью около 700 км²), что позволило создать условия для повышения уровня воды в оставшейся части за счет стока впадающих в оз. Малые Чаны рек Каргат и Чулым [7]. Площадь озера Чаны после отделения Юдинского плеса (за 1971–2018 гг.) в среднем составила 1580 км² (с колебаниями от 1285 км² до 1925 км²) [10]. Площадь водосборного бассейна озера – 27 340 км².

Изменение уровня воды в озере определяется соотношением приходных и расходных статей его водного баланса. В зависимости от того, какая из статей – поступление или расходование воды – преобладает, уровень озера повышается или понижается [17]. Приходными статьями водного баланса оз. Чаны являются атмосферные осадки и речной приток; расходная статья – испарение с поверхности озера [1, 6 – 16]. Для бессточных мелководных озер, каким является оз. Чаны, потери воды на испарение весьма значительны [12] и существенно зависят от температуры водной поверхности [6, 7].

За период 1971–2018 гг. (после отделения Юдинского плеса) средние годовые величины элементов водного баланса оз. Чаны составили: речной приток – 298 мм или 0,47 км³ (48% от приходной части), атмосферные осадки на поверхность озера – 324 мм или 0,51 км³ (52%); суммарное испарение – 571 мм или 0,90 км³ [10].

Ранее моделирование уровня воды оз. Чаны выполнялось В.А. Понько и Н.Н. Завалишиным [14], В.П. Галаховым [15], М.В. Болговым и Е.А. Коробкиной [16]. В этих работах рассматривались колебания среднегодового уровня воды озера.

Цель данной работы – выполнить моделирование уровня воды озера Чаны в безледоставный период с применением двумерной горизонтальной (2DH) термогидродинамической (ТГД) модели водоема.

Методы и материалы

Построение двумерной горизонтальной (2DH) термогидродинамической (ТГД) модели оз. Чаны выполнено на основе программного комплекса с открытым исходным кодом Delft3D [18].

Для проведения расчетов создана база данных, содержащая метеорологическую информацию со станций в районе озера [19] и сведения по гидрологическим характеристикам оз. Чаны и впадающих в него рек [20–22]. Информация

должным образом структурирована и загружена в реляционную базу данных на основе СУБД PostgreSQL [23], что позволяет проводить программную обработку, анализ и подготовку входных данных и верификацию полученных результатов данными наблюдений.

Основой цифровой модели рельефа (ЦМР), используемой в работе, послужила ЦМР котловины оз. Чаны, созданная в ИВЭП СО РАН [13]. Данная ЦМР за исключением той части, которая соответствует отделенному Юдинскому плесу, была адаптирована для построения компьютерной ТГД-модели озера (рис. 1).

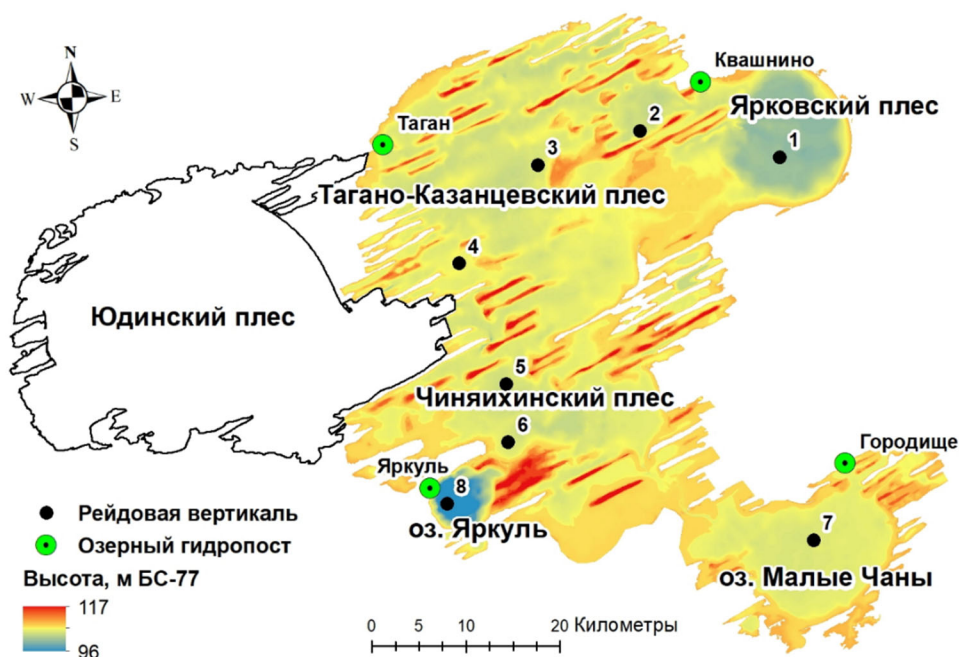


Рис. 1. Цифровая модель рельефа котловины оз. Чаны и схема расположения пунктов наблюдений

Результаты и обсуждение

С использованием описанных выше данных построена компьютерная 2DH ТГД-модель озера Чаны для безледоставного периода, учитывающая сложное строение озерной котловины и перераспределение тепла в толще воды за счет динамических процессов, существенно зависящих от морфометрических особенностей озера. Результаты моделирования термического режима оз. Чаны по построенной 2DH-модели, в т.ч. карты неравномерного распределения температуры воды по акватории озера, обусловленного различием по глубине отдельных частей водоема, приведены в [24, 25].

В данной работе представлены результаты моделирования уровня озера Чаны для периода открытой воды с применением 2DH-модели водоема (с использованием входной информации для 2018 г.). По данным наблюдений на береговых постах, очищение ото льда в 2018 г. произошло 7 мая, первые осенние ледовые явления появились 31 октября [22]. Для расчетов выбран период с 13:00 ч. 15.05.2018 по 13:00 ч. 27.10.2018.

Для всего рассматриваемого периода задавались среднесуточные расходы воды и среднедекадная температура воды впадающих в озеро рек Каргат и Чулым по постам с. Здвинск и с. Старогорносталево [20, 21] и метеопараметры по данным восьмисрочных наблюдений по станции Квашнино (атмосферные осадки, температура воздуха, скорость и направление ветра, общая облачность, относительная влажность воздуха, атмосферное давление) [19].

Полученные результаты моделирования уровня воды оз. Чаны согласуются с данными наблюдений. На рис. 2 приведены выходные данные модели с трехчасовой дискретностью и средние за сутки уровни воды по данным наблюдений по посту Квашнино. На рис. 3 сопоставлены уровни средние по постам (среднесуточные значения).

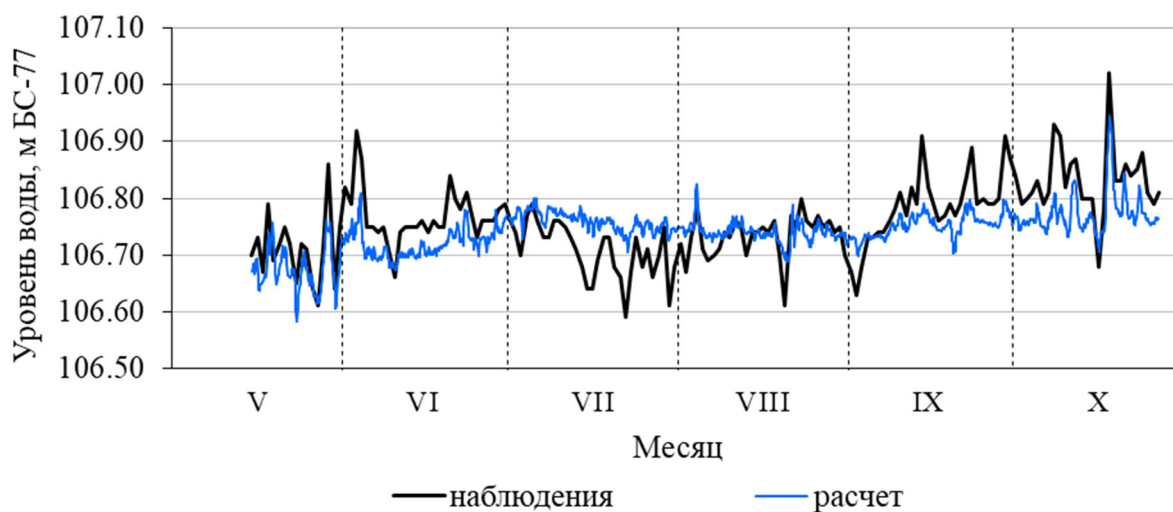


Рис. 2. Уровень оз. Чаны за расчетный период 2018 г. по Квашнино

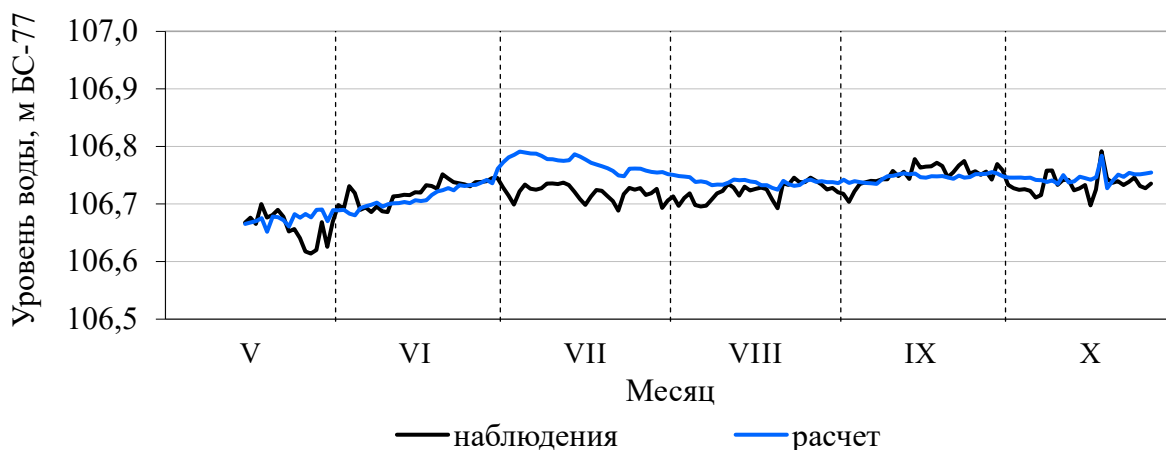


Рис. 3. Уровень оз. Чаны за расчетный период 2018 г. (средний по береговым постам)

Выполнены сценарные расчеты уровня оз. Чаны при изменении температуры воздуха и атмосферных осадков. На рис. 4 приведены результаты модели-

рования уровня озера за рассматриваемый период при изменении температуры воздуха на -2° и $+2^{\circ}\text{C}$, на рис. 5 – при изменении атмосферных осадков на -20% и $+20\%$.

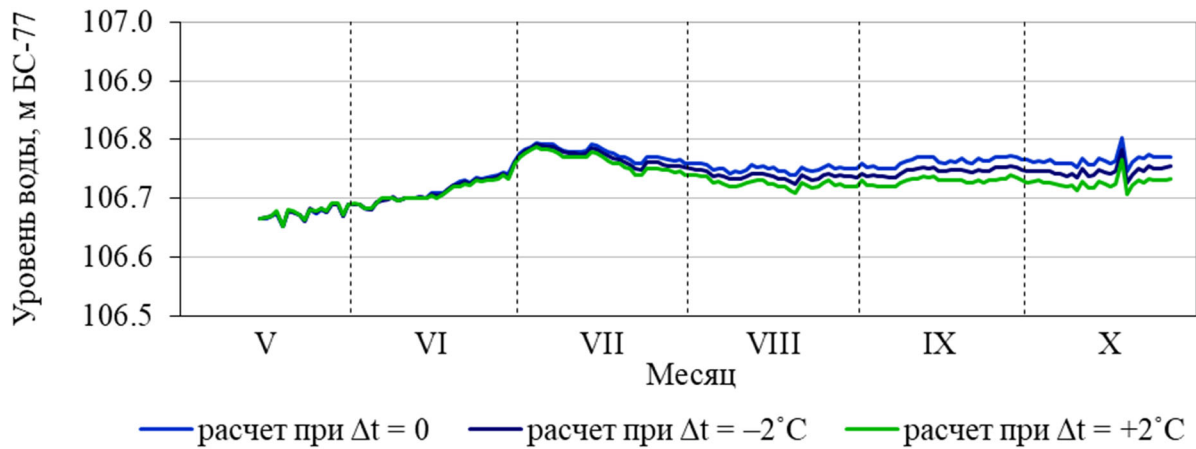


Рис. 4. Уровень оз. Чаны (средний по береговым постам) за расчетный период 2018 г. при изменении температуры воздуха

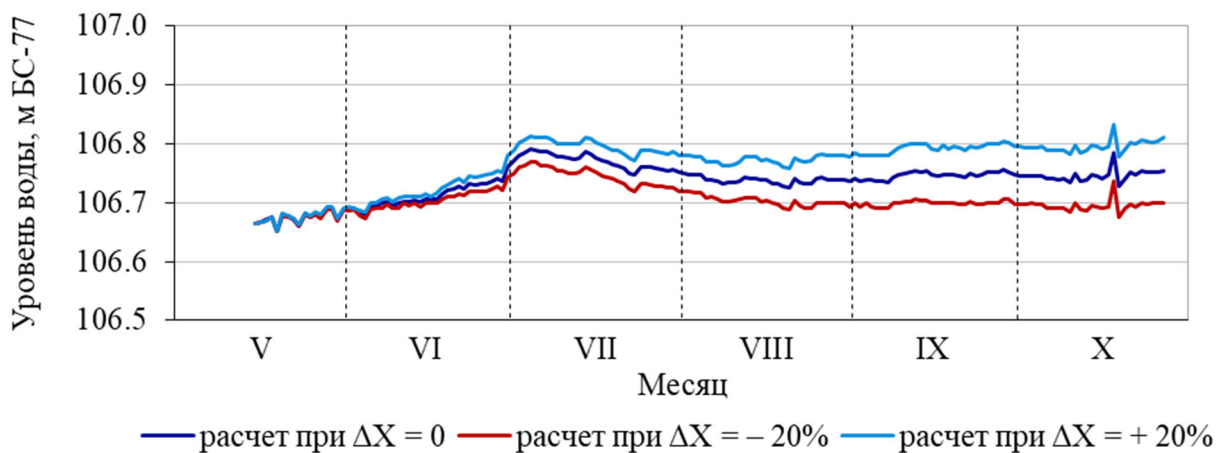


Рис. 5. Уровень воды оз. Чаны (средний по береговым постам) за расчетный период 2018 г. при изменении атмосферных осадков

Заключение

Выполнено моделирование уровня оз. Чаны в безледоставный период с применением двумерной горизонтальной ТГД-модели, построенной в ИВЭП СО РАН на основе программного пакета с открытым исходным кодом Delft3D. Модель учитывает сложное строение озерной котловины и позволяет описывать неравномерное распределение температуры воды по акватории. Расчеты уровня воды озера проведены с использованием входной информации для 2018 г. Полученные результаты согласуются с данными наблюдений. Построенная модель может быть использована для прогнозирования изменения уровня оз. Чаны в период открытой воды под влиянием природных и антропогенных факторов.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (проект «Изучение механизмов природных и антропогенных изменений количества и качества водных ресурсов Сибири с использованием гидрологических моделей и информационных технологий»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обзор экологического состояния озера Чаны (Западная Сибирь) / Отв. ред. О. Ф. Васильев, Я. Вейн. – Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2015. – 255 с.
2. Экология озера Чаны. – Новосибирск: Наука, 1986. – 270 с.
3. Ермолаев В. И., Визер Л. С. Современное экологическое состояние озера Чаны (Западная Сибирь) // География и природ. ресурсы. – 2010. – № 2. – С. 40–46.
4. 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.
5. The List of Wetlands of International Importance [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/sitelist.pdf> (дата обращения: 05.04.2023).
6. Шнитников А. В. Большие озера Срединного региона и некоторые пути их использования // Озера Срединного региона. – Л.: Наука, 1976. – С. 5–133.
7. Пульсирующее озеро Чаны / Под ред. Н. П. Смирновой и А. В. Шнитникова. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1982. – 304 с.
8. 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.
9. Васильев О. Ф., Савкин В. М., Сапрыкина Я. В. Анализ колебаний уровня озера Чаны // Доклады Академии наук. – 2006. – Т. 407. – №4. – С. 533–536.
10. Кондакова О. В. Водный баланс озера Чаны в многоводные и маловодные периоды // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды VIII Всерос. научно-практич. конф. с междунар. участием. – Пермь, 2021. – С.125–129.
11. 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.
12. Савкин В. М., Орлова Г. А., Кондакова О. В. Современный водный баланс бессточного озера Чаны // География и природ. ресурсы. – 2006. – №1. – С. 123–130.
13. 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.
14. Понько В. А., Завалишин Н. Н. Фоновая модель уровня оз. Чаны // Пульсирующее озеро Чаны. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1982. – С. 60–67.
15. Галахов В. П. Оценка увлажнения юга Западной Сибири с помощью палеолимнологических реконструкций озера Чаны. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2011. – 152 с.
16. Болгов М. В., Коробкина Е. А. О моделировании колебаний уровня оз. Чаны для управления его гидрологическим режимом // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2012. – №1. – С. 4–22.
17. Крицкий С. Н. Методика анализа и расчета колебаний уровня замкнутых водоемов // Водные ресурсы. – 1973. – № 6. – С. 9–26.
18. Delft3D 4 – Open Source Community [Электронный ресурс]. URL: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d> (дата обращения 05.04.2023).

19. RP5.ru. Расписание погоды [Электронный ресурс]. – URL: <https://rp5.ru> (дата обращения 15.12.2022).
20. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения 05.04.2023).
21. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2018 гг. – Часть 1. – Реки и каналы. – Том 1. – Выпуск 10. – Новосибирск, 2020. – 304 с.
22. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2018 гг. – Часть 2. – Озера и водохранилища. – Том 1. – Выпуск 10. – Новосибирск, 2020. – 92 с.
23. PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.postgresql.org> (дата обращения: 05.04.2023).
24. Зиновьев А. Т., Дьяченко А. В., Кондакова О. В. Моделирование термического режима бессточного озера Чаны // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. Материалы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием: в 3 т. Барнаул, 2022. – Т. 1. – С. 129–134.
25. Зиновьев А. Т., Дьяченко А. В., Кондакова О. В. Моделирование термогидродинамических процессов в озере Чаны // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2022. – Том 4. – С. 86–92.

© А. Т. Зиновьев, А. В. Дьяченко, О. В. Кондакова, 2023