

*А. Т. Зиновьев<sup>1</sup>, А. В. Дьяченко<sup>1</sup>, О. В. Кондакова<sup>1\*</sup>, А. Н. Семчуков<sup>1</sup>*

## **К оценке влияния солености озера Чаны на испарение**

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (ИВЭП СО РАН), г. Барнаул, Российская Федерация  
\* e-mail: kondakova.o.v@mail.ru

**Аннотация.** В работе представлены результаты численных экспериментов, выполненных для оценки влияния солености воды бессточного озера Чаны на испарение с его поверхности в безледоставный период с применением компьютерной двумерной горизонтальной (2DH) термогидродинамической (ТГД) модели на основе программного комплекса с открытым исходным кодом Delft3D и нульмерной гидроледотермической (0D) модели (ИВЭП СО РАН). Сравнение результатов расчетов испарения по модели на основе Delft3D при разной солености воды не показало каких-либо значимых отличий. В расчетах с применением 0D-модели снижение испарения при невысокой солености, соответствующей в среднем солености озера Чаны, по отношению к испарению с поверхности пресной воды составило незначительную величину, что несущественно отразилось на уровне водоема.

**Ключевые слова:** озеро Чаны, компьютерное моделирование, соленость воды, испарение, уровень воды, безледоставный период

*A. T. Zinoviev<sup>1</sup>, A. V. Dyachenko<sup>1</sup>, O. V. Kondakova<sup>1\*</sup>, A. N. Semchukov<sup>1</sup>*

## **On estimation of impact of Lake Chany water salinity on evaporation**

<sup>1</sup>Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IWEP SB RAS), Barnaul, Russian Federation  
\* e-mail: kondakova.o.v@mail.ru

**Abstract.** The paper presents the results of numerical experiments performed to estimate the influence of water salinity of closed Lake Chany on evaporation from its surface during the ice-free period using a computer two-dimensional horizontal (2DH) thermohydrodynamic (THD) model based on the open source software package Delft3D and a zero-dimensional (0D) hydro-ice-thermal model (IWEP SB RAS). A comparison of Delft3D-based calculations of evaporation for different water salinity does not show any significant differences. When applying the 0D-model, the decrease in evaporation at low salinity (corresponding to the average salinity of Lake Chany) relative to that from the fresh water surface was insignificant and had a negligible effect on the lake level.

**Keywords:** Lake Chany, computer modeling, water salinity, evaporation, water level, ice-free period

### ***Введение***

Уровеньный режим бессточного озера Чаны, и связанные с ним колебания солености воды, являются важнейшими факторами, влияющими на его водно-экологическое состояние [1–3]. Одной из особенностей озера (Чановской озерной системы) является неоднородность распределения солености воды по его ак-

ватории, что объясняется сложным строением озерной котловины (рис. 1), обуславливающим низкий водообмен между частями озера, отсутствием стока и распресняющим действием вод рек Каргат и Чулым, впадающих в оз. Малые Чаны с юго-востока [1, 2].

Вода в озере является солоноватой [1–3]. В различных частях оз. Чаны соленость воды в разные годы в безледоставный период составляла: от 0,5 до 5,5 г/дм<sup>3</sup> при высоком уровне в озере в июле 2004 г. (106,7 м БС-77) [1, 5], от 1,2 до 8,0 г/дм<sup>3</sup> при низком уровне (105,74 м БС-77) в августе 1978 г. [3]; в период ледостава: в марте 1976 г. (при уровне 105,79 м БС-77) – от 5,3 до 19,7 г/дм<sup>3</sup> [3].

Изменение уровня воды в озере определяется соотношением приходной (атмосферные осадки и речной приток) и расходной (испарение с водной поверхности) статей его водного баланса [1–4]. В бессточных водоемах с небольшими глубинами, к которым относится оз. Чаны, потери воды на испарение по отношению к объему озера весьма значительны [5].

Высокое содержание в воде солей приводит к значительному снижению испарения по сравнению с испарением с поверхности пресной воды [6–9]. Для водоемов с содержанием солей менее 25–30 г/л в указаниях [6] рекомендуется рассчитывать испарение с водной поверхности как для пресных водоемов.

Ранее в расчетах испарения с поверхности оз. Чаны [1–5, 10–14], в том числе при моделировании уровня озера [10–14], соленость воды не учитывалась.

Цель данной работы – выполнить численные эксперименты для оценки влияния солености воды оз. Чаны на испарение с его поверхности и, следовательно, на уровень в озере в безледоставный период с применением компьютерных моделей.

### ***Методы и материалы***

В работе применены двумерная горизонтальная (2DH) термогидродинамическая (ТГД) модель озера Чаны [13, 14], построенная на основе программного пакета с открытым исходным кодом Delft3D с нерегулярной расчетной сеткой [15] и нульмерная (0D) гидроледотермическая модель водоема (ИВЭП СО РАН) [16–17], основанная на уравнениях водного, теплового и солевого балансов, позволяющая описывать ход основных гидрологических процессов в водоеме.

Использована цифровая модель рельефа котловины оз. Чаны, созданная в ИВЭП СО РАН [5] и впоследствии адаптированная для построения 2DH ТГД-модели озера (рис.1). Для расчетов по 0D-модели получены общие зависимости объема воды в озере и площади поверхности от уровня воды по данным ЦМР.

Входными данными являлись среднесуточные расходы воды и среднедекадная температура воды впадающих в озеро рек Каргат и Чулым по постам с. Здвинск и с. Старогорносталево [18–19] и метеопараметры по станции Квашнино [20] с трехчасовой дискретностью (для модели на основе Delft3D) и их среднесуточные значения (для 0D-модели). В качестве начальных данных задавались уровень [19, 22], температура [22] и соленость воды в озере.

Численные эксперименты проводились с использованием гидрометеорологической информации за 2018 год. Расчетный период – с 15.05.2018 13:00 по

27.10.2018 13:00. В начальный момент времени соленость воды задавалась одинаковой для всего озера.

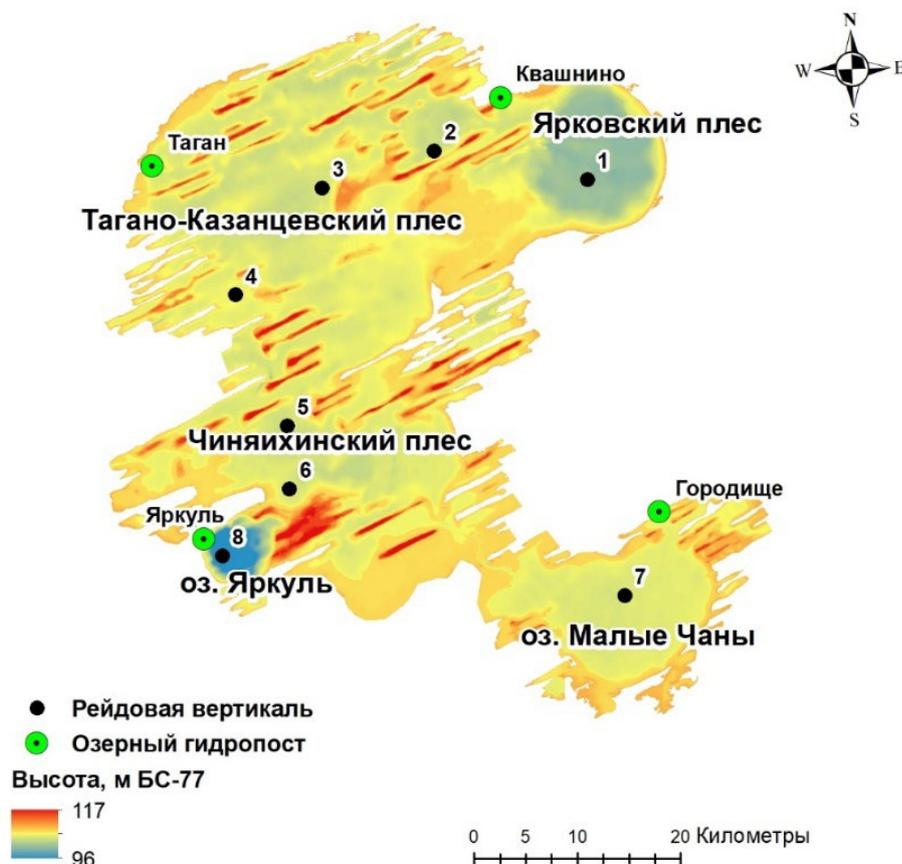


Рис. 1. Цифровая модель рельефа котловины оз. Чаны и схема расположения пунктов наблюдений

### *Результаты и обсуждение*

Для оценки влияния солености озера Чаны на испарение с его поверхности в период открытой воды проведены численные эксперименты при различных значениях солености с применением компьютерных моделей.

#### *Численный эксперимент №1*

Расчеты испарения с поверхности озера Чаны выполнены с применением 2DH-модели на основе Delft3D. Соленость воды в озере (в начальный момент времени) и в реках (постоянная в течение всего расчетного периода) в разных вариантах расчета принималась равной: 0, 1, 5, 10, 20 г/л.

Сопоставление результатов расчетов при различных значениях солености воды не показали каких-либо значимых различий. Для примера на рис. 2 показаны графики плотности воды по в/п Квашнино (средней по глубине) и суммарного объема испарения с поверхности озера для пресной воды и для варианта расчета с начальной соленостью 20 г/л. На рис. 2б полученные результаты визуально неразличимы.

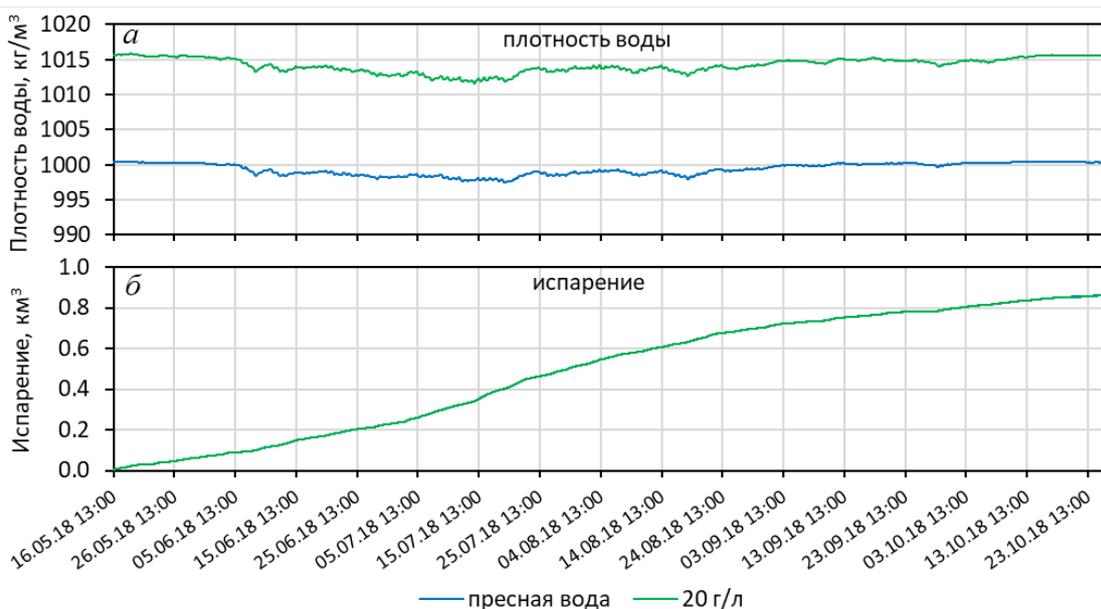


Рис. 2. Изменение плотности воды в п. Квашнино и суммарный объем испарения с водной поверхности оз. Чаны в расчетах по модели Delft3D для пресной воды и с начальной соленостью воды 20 г/л

### Численный эксперимент №2

Сценарные расчеты испарения с поверхности озера Чаны проведены с применением 0D-модели (ИВЭП СО РАН). Значения солености воды в озере (в начальный момент времени) и в реках (в течение всего расчетного периода) задавались более высокие, чем в эксперименте №1: 0, 1, 5, 10, 50, 100 г/л.

Анализ полученных результатов показал, что при бóльших значениях солености воды испарение с водной поверхности меньше (рис. 3), что обусловлено учетом в данной модели уменьшения давления насыщенного водяного пара над соленой водой по сравнению с давлением над пресной водой.

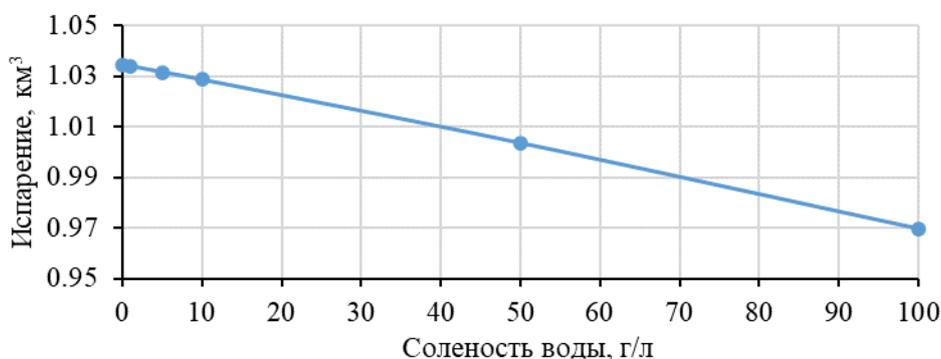


Рис. 3. Суммарное испарение за расчетный период с поверхности оз. Чаны по результатам численных экспериментов с применением 0D-модели

Величины снижения испарения при разной солености по отношению к испарению с поверхности пресной воды приведены в табл. 1. Снижение испарения при невысокой солености воды (5 г/л), соответствующей в среднем солености озера Чаны, составило незначительную величину (0,3%), что несущественно отразилось на уровне водоема (рис. 4).

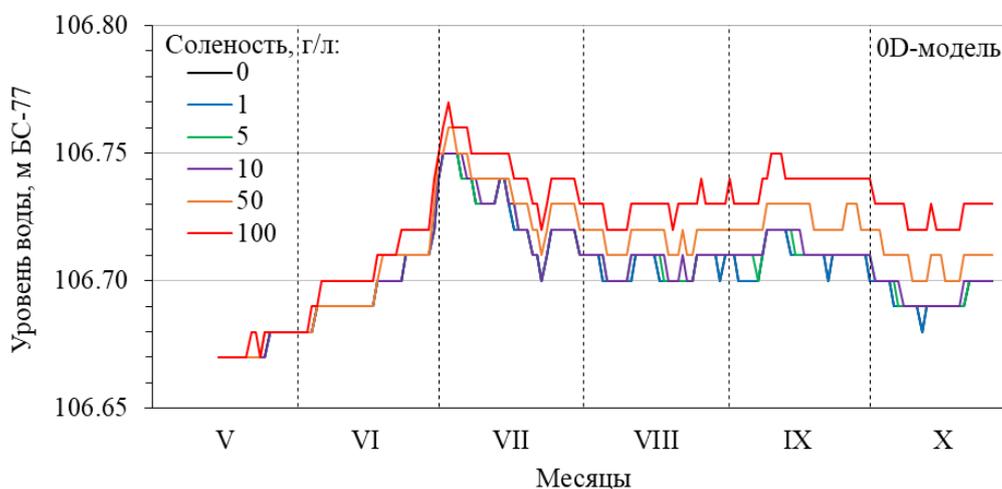


Рис. 4. Результаты сценарных расчетов уровня воды оз. Чаны при разной солености воды с применением 0D-модели

Таблица 1

Снижение испарения при различной солености воды по результатам численных экспериментов с использованием 0D-модели

Соленость, г/л	Снижение испарения
0	—
1	0.1%
5	0.3%
10	0.6%
50	3.0%
100	6.3%

### Заключение

Проведены численные эксперименты для оценки влияния солености воды озера Чаны на испарение с его поверхности в безледоставный период, и, следовательно, на уровень воды в нем с применением компьютерных моделей.

Сопоставление результатов сценарных расчетов по модели на основе Delf3D при разных значениях солености не показало каких-либо значимых отличий. В расчетах с применением 0D-модели (ИВЭП СО РАН) при больших значе-

ниях солености воды величины испарения с поверхности воды меньше, а уровень воды в озере, следовательно, – выше. Снижение испарения с водной поверхности при невысоком содержании солей (5 г/л), соответствующем в среднем солености озера Чаны, составило незначительную величину (0,3%) по сравнению с испарением с поверхности пресной воды, что несущественно отразилось на уровне водоема.

### *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 / Под ред. Б. Г. Иоганзена, Г. М. Кривошекова. – Новосибирск: Наука, 1986. – 270 с.
3. Пульсирующее озеро Чаны / Под ред. Н. П. Смирновой и А. В. Шнитникова. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1982. – 304 с.
4. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Новосибирское водохранилище и озера бассейна Средней Оби / Под ред. В. А. Знаменского, М. Я. Кунявского. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 156 с.
5. 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.
6. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 84 с.
7. Хорн Р. А. Морская химия (структура воды и химия гидросферы). – М: Мир, 1972. – 400 с.
8. Панин Г. Н., Брезгунов В. С. О влиянии солености воды на ее испарение // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 43. – № 5. – С. 718–720.
9. Фролов А. В., Выручалкина Т. Ю., Саркисян С. Г. Моделирование водно-солевого баланса Большого Яшалтинского озера // Водные ресурсы. – 2018. – Т. 45. – № 3. – С. 235–243.
10. Понько В. А., Завалишин Н. Н. Фоновая модель уровня оз. Чаны // Пульсирующее озеро Чаны. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1982. – С. 60–67.
11. Галахов В. П. Оценка увлажнения юга Западной Сибири с помощью палеолимнологических реконструкций озера Чаны. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2011. – 152 с.
12. 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.
13. Зиновьев А. Т., Дьяченко А. В., Кондакова О. В. Моделирование уровня озера Чаны // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2023. – Т. 4. – № 1. – С. 70–76.
14. Зиновьев А. Т., Кондакова О. В., Дьяченко А. В., Семчуков А. Н. Моделирование уровня бессточного озера Чаны (Западная Сибирь) // Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова «Пятые Виноградовские чтения. Гидрология в эпоху перемен» / Под ред. О. М. Макарьевой, П. А. Никитиной. – СПб.: Изд-во ВВМ, 2023. – С. 207–211.

15. Delft3D FM – Open Source Community [Электронный ресурс]. – URL: <https://oss.deltares.nl/web/delft3dfm> (дата обращения 20.12.2023).
16. Bulk Model of Water Level, Temperature and Salinity Change in a Water Body // The rehabilitation of the ecosystem and bioproductivity of the Aral Sea under conditions of water scarcity. INTAS Project – 0511 REBASOWS. Final report. Coordinator: H. P. Nachtnebel. IWHW-BOKU. Vienna – Tashkent, 2006. P. 181–189 [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.cawater-info.net/library/eng/intas\\_2006\\_en.pdf](http://www.cawater-info.net/library/eng/intas_2006_en.pdf) (дата обращения 20.12.2023).
17. Семчуков А. Н., Овчинникова Т. Э. Опыт применения объемной и вертикальной одномерной моделей для описания гидрологического режима западной части Аральского моря // Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе. Труды Международной научной конференции. Отв. ред. Болгов М. В. – 2006. – С. 75–78.
18. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения 20.12.2023).
19. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2018 гг. – Часть 1. – Реки и каналы. – Том 1. – Выпуск 10. – Новосибирск, 2020. – 304 с.
20. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2018 гг. – Часть 2. – Озера и водохранилища. – Том 1. – Выпуск 10. – Новосибирск, 2020. – 92 с.
21. RP5.ru. Расписание погоды [Электронный ресурс]. – URL: <https://rp5.ru> (дата обращения 20.12.2023).

© А. Т. Зиновьев, А. В. Дьяченко, О. В. Кондакова, А. Н. Семчуков, 2024