

*На правах рукописи*



**КАШНИЦКАЯ МАРИНА АЛЕКСЕЕВНА**

**ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ БЕССТОЧНЫХ ОЗЕР В  
СТЕПНОЙ ЗОНЕ ЗАБАЙКАЛЯ (НА ПРИМЕРЕ ТОРЕЙСКИХ ОЗЕР)**

Специальность 25.00.27 – Гидрология суши, водные ресурсы,  
гидрохимия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

**Москва – 2022**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении  
«Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии  
«Планета» (ФГБУ «НИЦ «Планета»)

**Научный руководитель:** **Болгов Михаил Васильевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией моделирования поверхностных вод, главный научный сотрудник ФГБУ Институт водных проблем Российской академии наук

**Официальные оппоненты:** **Измайлова Анна Владиленовна**, доктор географических наук; ФГБУ Государственный гидрологический институт, заведующая лабораторией озер и водохранилищ.  
**Ерина Оксана Николаевна**, кандидат географических наук; ФГБОУ ВО Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, научный сотрудник.

**Ведущая организация:** ФГБУН «Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук»

Защита состоится «    »    2022 г. в    часов на заседании диссертационного совета Д 002.046.04 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт географии Российской академии наук» по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии РАН по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29 и на сайте Института: <http://igras.ru/defences>

Автореферат разослан «    »    2022 г.

Отзывы на автореферат (в электронном виде и на бумажных носителях в двух экземплярах, заверенные подписью и печатью) просим направлять по адресу 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29, ученому секретарю Диссертационного совета Д 002.046.04, Зайцевой И.С.

Факс 8 (495) 959-00-33, e-mail: d00204604@igras.ru.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат географических наук

И.С. Зайцева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** Торейские озера – это система, состоящая из двух соединенных протокой бессточных водоемов Барун-Торей и Зун-Торей, расположенная в южной части Забайкалья на границе с Монгольской Народной Республикой ( $49^{\circ}48'–50^{\circ}18'$  с.ш.,  $115^{\circ}20'–116^{\circ}00'$  в.д., рисунок 1). Водоемы имеют непостоянный гидрологический режим, обусловленный циклическими изменениями климата. Вследствие большой изменчивости уровня воды в озерах значительно меняется состояние экологического региона Торейских озер. Исследуемые озера являются основой государственного природного биосферного заповедника «Даурский», через который проходит Восточно-Азиатско-Австралийский путь миграции десятков видов перелётных птиц. С 2017 года Торейские озера и близлежащая российско-монгольская территория являются объектом Всемирного наследия ЮНЕСКО – «Ландшафты Даурии». Кроме этого, озера имеют статус водно-болотных угодий международного значения в соответствии с Рамсарской конвенцией.



Рисунок 1. Схема расположения Торейских озер, трансграничного водосбора и строящего гидротехнического сооружения

В июле 2020 г. в бассейне Торейских озер, на монгольской части реки Ульдза, являющейся основным притоком Торейских озер, началось строительство водохранилища в рамках программы «Синий конь» (рисунок 1). Программа предусматривает перераспределение стока наиболее полноводных северо-монгольских рек, трансграничных с Россией, на засушливый юг и юго-восток Монголии (регион Гоби). Строительство данного сооружения может вызвать существенное изменение водного баланса Торейских озер. Поэтому проблема оценки и прогноза гидрологического режима Торейских озер, в том числе с учетом антропогенного воздействия, является крайне актуальной.

Настоящее исследование посвящено изучению состояния водных ресурсов и водохозяйственного комплекса бассейна Торейских озер, а также анализу возможного изменения уровня режима Торейских озер с учетом изъятий воды для обеспечения деятельности гидротехнического сооружения, возводимого на трансграничной реке Ульдза.

**Цель работы** – оценить изменения гидрологического режима Торейских озер, в том числе с учетом влияния антропогенных воздействий на основе вероятностного прогноза с использованием измеренных, восстановленных и смоделированных данных.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие научные задачи:

1. Изучить состояние водных ресурсов и водохозяйственного комплекса бассейна Торейских озер;
2. Восстановить многолетний уровень режим Торейских озер на основе данных дистанционного зондирования Земли;
3. Восстановить характеристики водного баланса Торейских озер за максимально возможный период по данным инструментальных наблюдений;
4. Разработать модель водного баланса Торейских озер с использованием измеренных и восстановленных данных составляющих водного баланса;
5. Оценить пространственно-временное изменение морфометрических характеристик Торейских озер за многолетний период на основе созданной модели водного баланса;
6. Смоделировать параметры водного баланса и уровень Торейских озер за период большой продолжительности, позволяющий сделать статистически достоверный вероятностный прогноз;

7. Охарактеризовать водохозяйственный комплекс в бассейне реки Ульдза и проанализировать его влияние на исследуемые озера;
8. Дать вероятностный прогноз гидрологического режима Торейских озёр в виде кривой обеспеченности, в том числе с учетом влияния строящегося водохранилища отдельно для многоводной и маловодной фаз цикла водности.

**Объектом исследования** являются Торейские озера, расположенные в степной зоне Забайкальского края на границе Российской Федерации и Монгольской Народной Республикой.

**Предмет исследования** – современное состояние и динамика гидрологического режима Торейских озер в естественных и нарушенных условиях.

**Степень изученности проблемы.** Работы по изучению Торейских озер велись многими исследователями (Баженов Ю.А., Баженова О.И., Базарова Б.Б., Буторин А.А., Им С.Т., Кирилюк В.Е., Кирилюк О.К., Корнутова Е.И., Кузнецов Н.Т., Курганович К.А., Носкова Е.В., Обязов В.А., Симонов Ю.Г., Ткачук Т.Е., Уфимцев Г.Ф., Чечель А.П., Шамсутдинов В.Х. и др.). Однако большинство исследований посвящены изучению экологических и климатических закономерностей внутри Даурского региона. При этом изучением гидрологических особенностей Торейских озер занимались в меньшей степени, наибольший вклад сделан Обязовым В.А.

Наземные систематические гидрологические наблюдения за озером Барун-Торей проводились с 1965 года, но в 1980 году мониторинг был прекращен в связи с отступлением береговой линии озера. На территории Торейских озер и прилегающей к ним зоне в 1987 году был создан государственный природный заповедник «Даурский», целью которого явилось сохранение природных комплексов Даурии и мирового биоразнообразия. Для аналогичной цели, но для территории, разделенной государственными границами, на базе заповедника «Даурский» в 1994 году создан российско-монгольско-китайский заповедник «Даурия». В рамках научно-исследовательских работ российского заповедника до настоящего времени ведется мониторинг состояния экосистем, а особое внимание направлено на изучение биологии редких охраняемых и особо уязвимых видов организмов. В комплексе с биологическими исследованиями Обязовым В.А. проведена большая работа по изучению изменения климата в данном регионе и выявлению закономерностей его влияния на экологические

процессы, в том числе на гидрологию рек и озер. Однако, не проводились исследования по созданию модели водного баланса Торейских озер и долговременному прогнозированию их уровня режима, которые позволили бы обеспечить комплексный и надежный анализ процессов, происходящих в экологическом регионе озер с учетом климатических или антропогенных изменений в бассейне исследуемых водоемов.

**Материалы и методы исследования.** В исследовании использованы материалы государственной наблюдательной сети Росгидромета, данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), материалы исследований научных организаций и другие источники информации, находящиеся в открытом доступе. Применялись методы статистического анализа данных, математического моделирования, гидрологических расчетов, включая водобалансовый метод, а также методы обработки и дешифрирования спутниковой информации.

**Научная новизна исследования.** С использованием данных ДЗЗ впервые получен непрерывный ряд надежной информации об уровне режима Торейских озер в условиях отсутствия инструментальных измерений. Впервые разработана модель водного баланса Торейских озер, которая позволила эффективно оценить количественные характеристики составляющих водного баланса и их изменение под влиянием антропогенных и климатических воздействий. Впервые дан вероятностный прогноз гидрологического режима Торейских озер, в том числе с учетом влияния строительства гидротехнического сооружения на реке Ульдза, а также для разных фаз гидрологического цикла.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Предложенная модель водного баланса Торейских озер с использованием измеренных, восстановленных и смоделированных рядов составляющих водного баланса позволяет дать оценку возможного изменения гидрологического режима исследуемых водоемов в условиях антропогенных воздействий. Практическая значимость заключается в возможности применения результатов диссертационного исследования для комплексного анализа состояния сохранности объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Ландшафты Даурии», проводимого в рамках научно-исследовательской работы Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «Научные исследования в области влияния регулирования стока реки Ульдза (МНР) на биологическое разнообразие трансграничного

Даурского экорегиона в границах Российской Федерации (бассейн реки Ульдза и Торейские озера в границах Российской Федерации, расположенные на территории Ононского, Борзинского и Нерчинско-Заводского районов Забайкальского края) и подготовка научно-обоснованных предложений по сохранению биологического разнообразия экорегиона».

Результаты исследования в области применения методов ДЗЗ и моделирования гидрологического режима озер могут быть применены для оценки состояния и вероятностного прогноза уровней бессточных озер в условиях недостаточности данных наземных наблюдений.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Метод восстановления уровня Торейских озер по данным ДЗЗ и полученный с его помощью непрерывный пространственно-временной ряд надежной информации об уровненом режиме Торейских озер в условиях отсутствия инструментальных наблюдений.
2. Модель водного баланса, основанная на комплексировании данных наземных наблюдений и спутниковой информации, позволяющая адекватно производить расчет уровней с учетом влияний, обусловленных антропогенной нагрузкой или климатическими изменениями.
3. Вероятностный прогноз гидрологического режима Торейских озер в естественных и нарушенных условиях.
4. Результаты анализа возможного влияния хозяйственной деятельности в результате функционирования планируемого гидротехнического сооружения на реке Ульдза на уровень режим Торейских озер.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность полученных результатов и сделанных выводов обоснована их сравнением с независимыми данными и исследованиями других авторов. Результаты моделирования проверены на достоверном фактическом материале, их соответствие оценивается как отличное. Обоснованность основных результатов подтверждается публикациями в рецензируемых периодических изданиях, обсуждением на конференциях и семинарах.

**Апробация исследования.** Основные результаты исследования обсуждались на конференциях международного и всероссийского уровней: «Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана», сентябрь 2021 г., «Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России», ноябрь 2021 г., «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», ноябрь 2021 г.

**Публикации по теме диссертации.** По теме диссертационной работы опубликовано 3 работы в рецензируемых изданиях рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 2 из них – в журналах, индексируемых Scopus и Web of Science. Выдано свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Федеральной службой по интеллектуальной собственности (№ 2022612170 от 28.02.2022) на разработанную в диссертации программу «Water balance model of the Torey lakes». Кроме того, опубликованы 3 научные статьи в сборниках научных трудов конференций (входят в РИНЦ).

**Личный вклад автора в получение результатов, изложенных в диссертационном исследовании.** Все результаты, изложенные в диссертации, получены автором самостоятельно, либо при его непосредственном участии в соавторстве с научным руководителем.

**Диссертация соответствует паспорту специальности 25.00.27 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия» в части пунктов 3, 4, 11.**

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Исследование изложено на 126 страницах, включая 10 таблиц, 50 рисунков и список литературы, состоящий из 120 источников.

**Благодарность.** Автор выражает благодарность за научное руководство, помощь на всех этапах работы, ценные советы и консультации – Болгову Михаилу Васильевичу. Автор благодарит за оказанную поддержку коллектив НИЦ «Планета», в особенности Асмуса В.В., Иванову Н.П., Тренину И.С. Также автор благодарит коллективы ИПРЭК СО РАН и ЗабГУ, с которыми начинала профессиональную научную деятельность, в том числе обучаясь в аспирантуре, а именно: Кургановича К.А., Обязова В.А., Смахтина В.К., Носкову Е.В., Вахнину И.Л.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практическая ценность работы, приведены защищаемые положения.

**В первой главе** раскрыто физико-географическое и гидрометеорологическое описание бассейна Торейских озер, сделан подробный обзор работ, посвященных их гидрологии, рассмотрены климатические условия и основные особенности их изменения.

**Вторая глава** посвящена методам восстановления уровенного режима Торейских озер по данным ДЗЗ в условиях отсутствия наземных гидрологических измерений.

Рассмотрены существующие методы определения границ водной поверхности по данным ДЗЗ и выбран оптимальный метод для озер степной зоны Забайкалья. Для этого протестированы следующие методы: классификация с обучением, классификация без обучения и применены спектральные водные индексы (парные индексы  $AWEI_{sh}$  и  $AWEI_{nsh}$ , MNDWI, NDWI, WRI) на примере озера Ножий, которое расположено в 90 км от Торейских озер. Данные озера находятся в одной климатической зоне, и имеет однородную подстилающую поверхность окрестностей акваторий. Граница водной поверхности озера Ножий определялась по данным космических аппаратов (КА) серии Landsat, а в качестве эталонной информации о площади использовались данные визуального дешифрирования высокодетальных изображений КА серии Канопус-В. В результате анализа установлено, что все протестированные методы адекватно выделяют водную поверхность, при этом погрешность измеренных величин довольно низкая (до 2,23%). Наименьшая погрешность выделения водной поверхности выявлена для методов: классификация с обучением и вычисление спектральных индексов MNDWI и  $AWEI_{nsh}$ . Из протестированных методов наиболее оптимальным с точки зрения точности результата и временных затрат является использование спектрального индекса MNDWI.

С помощью выбранного метода получена динамика площади водного зеркала Торейских озер по данным КА серий Landsat и Sentinel-2 за период 1989-2020 гг. Выбор спутниковых систем Landsat и Sentinel-2 обоснован наличием длинного однородного ряда данных, высоким качеством калибровки и географической привязки, а также приемлемым для решаемой задачи пространственным разрешением этих данных. Обработаны и проанализированы все находившиеся в открытом доступе за безлеставный период мультиспектральные спутниковые снимки Торейских озер - всего 113 спутниковых сцен. Для сглаживания внутрисезонной изменчивости озер площади водного зеркала, полученные за один год, усреднялись.

Восстановление уровенного режима Торейских озер за период с 1989 по 2020 гг. выполнено с помощью площади водной поверхности, полученной по данным ДЗЗ, и цифровой модели рельефа (ЦМР) местности. Рассмотрены

особенности строения котловины исследуемых озер и установлено, что при уровнях ниже 595 м для Барун-Торей и 593 м для Зун-Торей озера могут считаться высохшими. Построены графики зависимости уровня воды озер от их площади водной поверхности и объема  $H=f(S)$ ,  $H=f(W)$ . В результате восстановлены уровни водоемов за период с 1989 по 2020 гг. (рисунок 2). Точность определения уровня воды данным методом составила в среднем 4,2 см.

**В третьей главе** представлена модель водного баланса Торейских озер и с ее помощью восстановлены пространственно-временные характеристики данных водоемов. В основе модели лежит уравнение водного баланса для бессточных водоемов за годовой интервал времени:

$$P+Y-E-Z=\Delta H,$$

где  $P$  – осадки на водную поверхность,  $Y$  – суммарный приток рек Ималка и Ульдза в озеро Барун-Торей,  $E$  – испарение,  $Z$  – дополнительные потери, учитывающие рассеивание стока. Исходные данные для расчета составляющих водного баланса приняты по данным наблюдений на станциях сети Росгидромета (оз. Барун-Торей – с. Кулусутай (1965-1978 гг.), р. Ульдза – с. Соловьевск (1965-2018 гг.), р. Ималка – н.п. Красная Ималка (1965-2018 гг.), с. Соловьевск (1965-2019 гг.)). Испарение рассчитано по методике ГГИ (Указания, 1969).

Модель реализована в виде программы для ЭВМ на языке Python. В качестве исходных данных программа использует сведения об осадках, испарении и притоке. Выходными результатами ее работы являются данные об уровнях, площадях и объемах Торейских озер в формате Excel. Для калибровки балансовой модели озер использовались данные об уровнях озер, полученные в результате наземных измерений, восстановленные по информации ДЗЗ и график изменения уровня озера Барун-Торей за период 1965-2009 гг., полученный Обязовым В.А. Также учитывалось, что исследуемые озера и нижнее течение реки Ульдза расположены в зоне «рассеивания» стока, в которой потери воды на фильтрацию из русел и испарение существенно превышают местный сток. В процессе калибровки модели установлены поправочные коэффициенты, которые заключаются в увеличении испарения на 5 % и уменьшении притока на 28 %, что хорошо объясняется характерной для исследуемой территории потерей воды на рассеивание стока.

С помощью разработанной модели получен уровенный режим Торейских озер (рисунке 2).

Смоделированные многолетние изменения уровня воды Торейских озер имеют высокий коэффициент корреляции с измеренными уровнями на гидрологическом посту Кулусутай за 1965-1978 гг. (коэффициент корреляции 0,99) и уровнями, восстановленными по данным ДЗЗ за 1989-2020 гг. (коэффициент корреляции 0,98), и хорошо согласованы с полученным Обязовым В.А. ходом изменения уровня озера Барун-Торей за 1965-2009 гг.

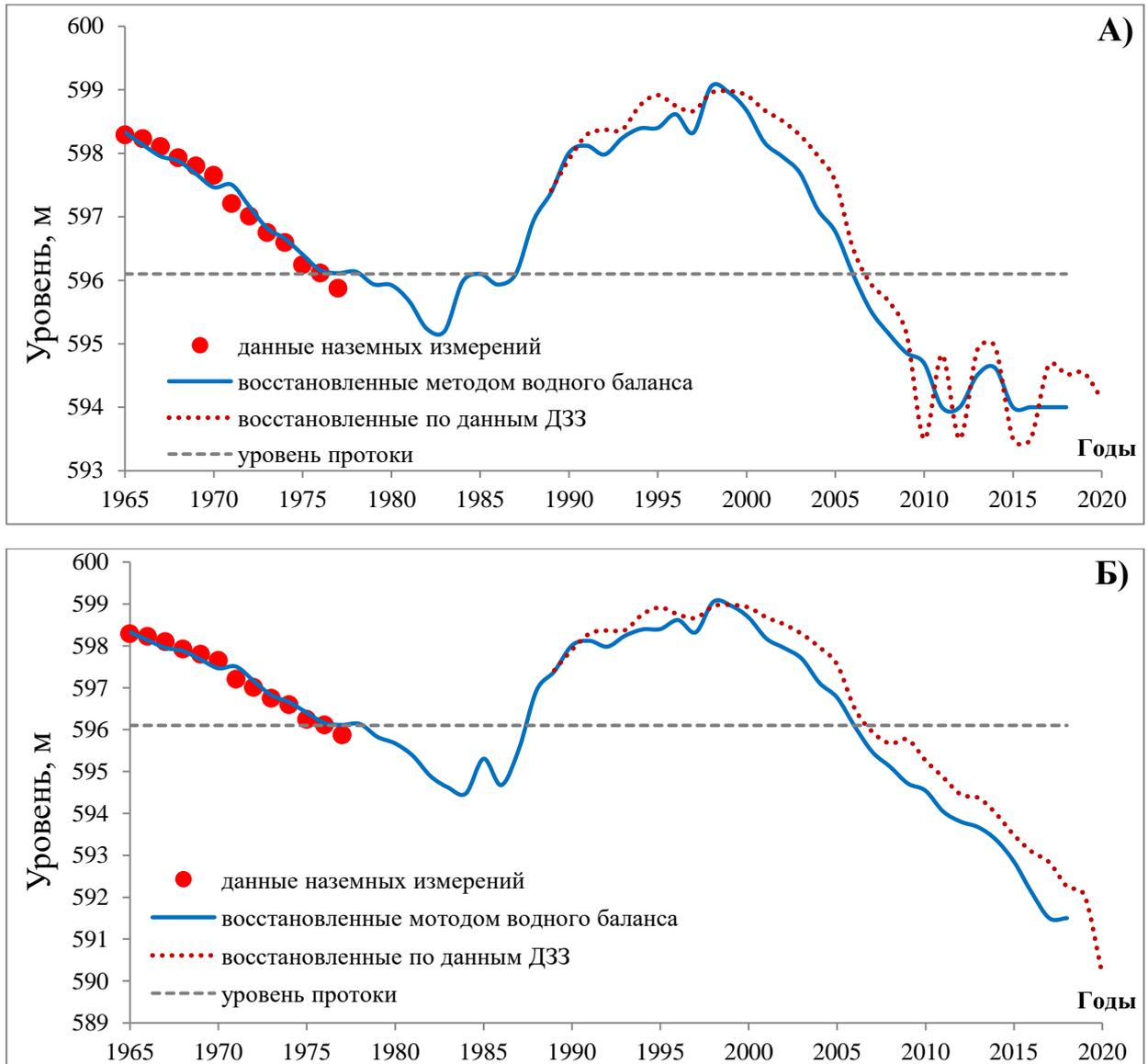


Рисунок 2. Изменения уровней озер Барун-Торей А) и Зун-Торей Б), восстановленные по данным ДЗЗ и модели водного баланса. Графики дополнены данными наземных наблюдений

Согласно полученным данным максимальная наполненность котловины Торейских озер наблюдалась в 1999 г. Минимальные уровни воды наблюдались за этот период дважды: для озера Барун-Торей в 1982-1983 гг., и с 2009 года до настоящего времени. На озере Зун-Торей минимальный

уровень воды в озере наблюдался в 1984-1986 гг., однако уровень в эти годы был выше, чем в последний сухой период увлажнения, наблюдающийся на озерах в настоящее время.

Анализ смоделированного ряда уровней воды Торейских озер показал, что он содержит менее двух полных циклов водности. Поэтому было принято решение восстановить уровень Торейских озер за максимально возможный период. Параметры водного баланса (осадки, испарение, приток) Торейских озер были восстановлены с помощью регрессионного анализа по данным пунктов аналогов за период 1897-1965 гг. Пункты-аналоги выбирались по методике, разработанной ГГИ (СП-33-101-2003). Для притока использовалась станция р. Шилка – г. Сретенск, для осадков и испарения – данные метеорологических станций Борзя, Акша, Чита, Агинское, Оловянная, Кайластуй. С использованием полученных параметров водного баланса и разработанной модели получены уровни Торейских озер с 1897 года. На рисунке 3 показаны восстановленные уровни озера Барун-Торей за период 1897-2018 гг. Полученные значения уровней в 1897-1965 гг. (период отсутствия измерений на озерах) соответствует качественным описаниям и отчетам экспедиций исследователей.

Адекватность модели водного баланса Торейских озер оценена на примере сокращения притока на заданную величину: 10 и 20 % от притока, а также при дополнительном сокращении притока на величину испарения с поверхности, равной 10 км<sup>2</sup> (рисунок 3). Анализ значений показывает, что модель адекватно производит расчет уровней исследуемых водоемов, в том числе с учетом влияний, обусловленных антропогенной нагрузкой или климатическими изменениями.

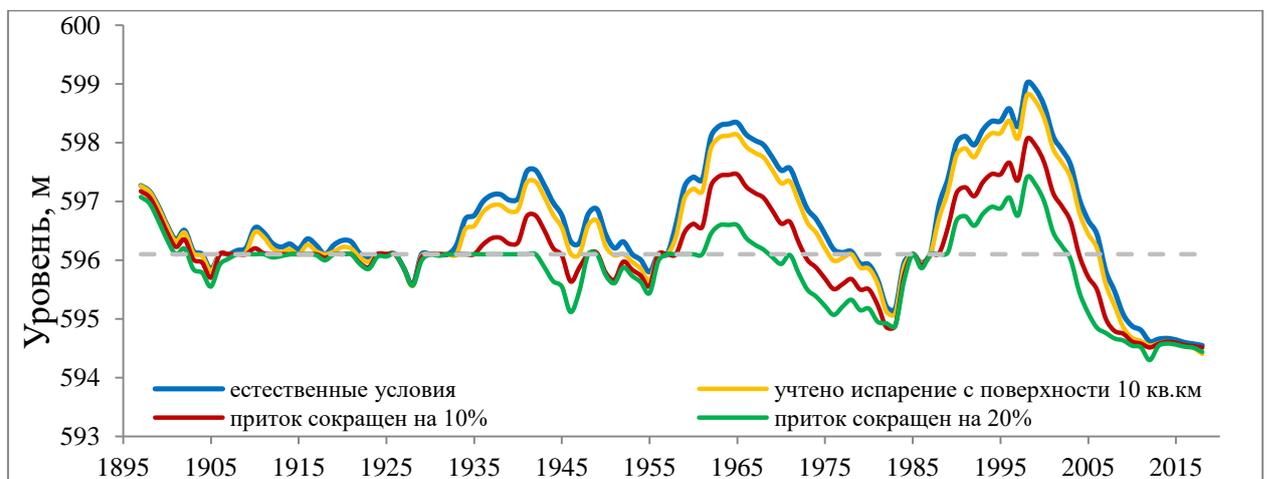


Рисунок 3. Многолетнее изменение уровня озера Барун-Торей за период 1897-2018 гг., в том числе с учетом сокращения притока на 10 и 20% и при дополнительном сокращении притока на величину испарения с поверхности 10 км<sup>2</sup>

В четвертой главе приведены расчет и результаты анализа гидрологического режима Торейских озер в естественных и нарушенных условиях. *Первый раздел четвертой главы* посвящен прогнозу уровня режима озер. Прогноз дан в виде кривой обеспеченности на основе имитационного моделирования по искусственным временным рядам составляющих водного баланса большой продолжительности. Для моделирования искусственных рядов осадков, испарения и притока продолжительностью 10000 лет использованы данные за период 1965-2018 гг. Так как в бассейне Торейских озер значимая корреляционная связь между притоком, осадками и испарением с водной поверхностью отсутствует (таблица 1), то данные процессы смоделированы как независимые последовательности. В результате анализа параметров распределения основных гидрологических характеристик (таблица 2) принято решение моделировать искусственные ряды осадков и испарения методом имитационного моделирования с помощью Марковской цепи первого порядка. Для моделирования притока использована схема, учитывающая маловодную (19 лет) и многоводную (16 лет) фазы цикла водности Торейских озер. Для каждой фазы определены параметры распределения (таблица 3) и методом имитационного моделирования с использованием Марковской цепи первого порядка получены независимые искусственные ряды значений. Образование ряда данных притока длиной 10000 лет осуществлено путем комбинации этих двух последовательностей.

Таблица 1. Матрица парных коэффициентов корреляции между параметрами водного баланса Торейских озер за период 1965-2018 гг.

	Осадки	Приток	Испарение
Осадки	1		
Приток	0,5	1	
Испарение	-0,4	-0,3	1

Таблица 2. Параметры распределения вероятностей основных гидрологических характеристик за период с 1965 по 2018 гг. в бассейне Торейских озер

Гидрологическая характеристика	Параметры распределения			
	Среднее	$Cv$	$Cs$	$r(1)$
Приток к Торейским озерам	$186,4 \cdot 10^6 \text{ м}^3$	1,39	2,02	0,60
Осадки на поверхность озер	291,7 мм	0,27	0,27	0,01
Испарение с поверхности озер	573,6 мм	0,17	1,13	0,25

Смоделированные таким образом ряды осадков, испарения и комбинированный ряд данных притока были поданы на вход водобалансовой модели и осуществлен расчет уровня режима Торейских озер за период в

10000 лет. На основе результатов модельных расчетов построены кривые обеспеченности уровней воды Торейских озер (рисунок 4).

Таблица 3. Параметры распределения вероятностей рядов годового притока Торейских озер за разные фазы цикла водности

Приток Торейских озер	Параметры распределения				
	N, лет	Среднее, м <sup>3</sup>	Cv	Cs/Cv	r(1)
Весь ряд данных	54	186,4*10 <sup>6</sup>	1,39	1,45	0,60
Многоводный период	16	490,0*10 <sup>6</sup>	0,60	1,1	0,00
Маловодный период	38	58,4*10 <sup>6</sup>	1,13	1,1	0,85

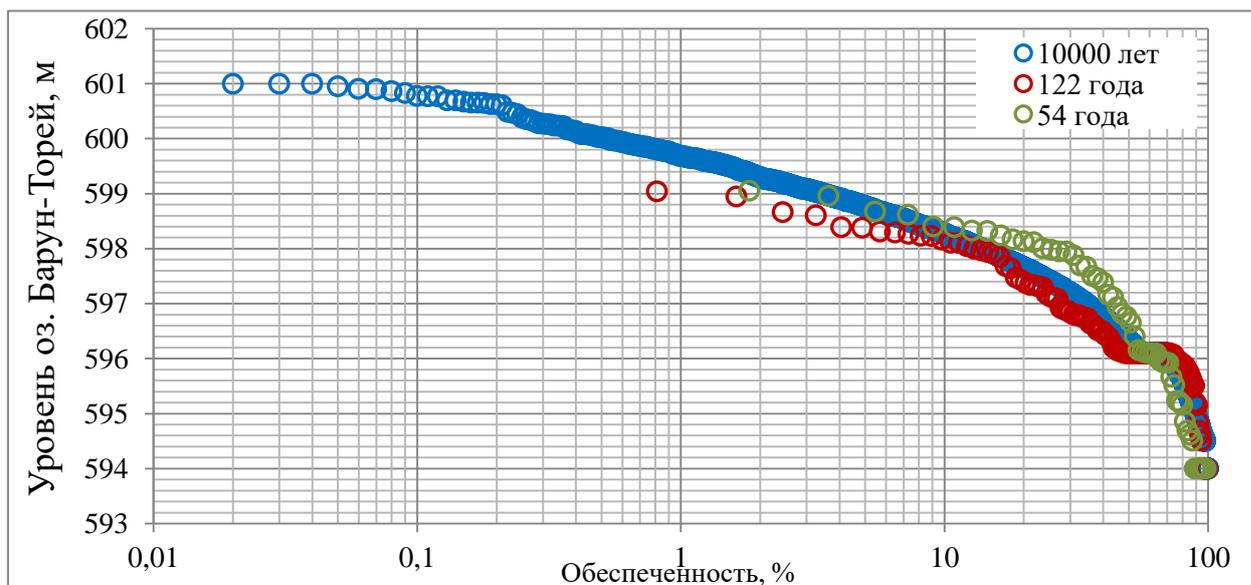


Рисунок 4. Совмещенные кривые обеспеченности по наблюдаемым, восстановленным и смоделированным данным уровней озера Барун-Торей

Анализ результатов моделирования показал, что предложенная имитационная модель хорошо воспроизводит распределение уровней воды в диапазоне, охваченном наблюдениями. Хорошее качество модели позволяет использовать ее для различных гидрологических расчетов, а также выполнения исследований по оценке антропогенного влияния на составляющие водного баланса озер.

**Во втором разделе четвертой главы** количественно оценено влияние антропогенной нагрузки на водные ресурсы бассейна Торейских озер. Как было указано в обосновании актуальности работы, основная часть антропогенной нагрузки обусловлена строительством водохранилища на реке Ульдза на территории Монголии и последующими изъятиями воды. При этом в открытом доступе отсутствует информация о планах по изъятию воды из реки Ульдза. Поэтому водохозяйственные изъятия оценены косвенно по литературным источникам и сведениям Монгольского статистического управления. Для модельных расчетов рассмотрены два сценария (варианта)

изменения водохозяйственной обстановки в бассейне Торейских озер, учитывающих безвозвратные потери воды (таблица 4).

Таблица 4. Возможные сценарии изменения водохозяйственной обстановки в бассейне Торейских озер

Вариант расчета	Условия функционирования водохозяйственной системы и оценка безвозвратных потерь
вариант № 1	Естественные условия
вариант № 2	Водохранилище наполнено. Водные ресурсы затрачиваются на фильтрацию и испарение с поверхности водохранилища. Дополнительные расходы осуществляются для поддержания санитарных попусков в размере 0,018 км <sup>3</sup> /год; для орошения сельскохозяйственных полей площадью 2100 га с учетом нормы орошения равной 1630 м <sup>3</sup> /га и возвратных вод; для нужд скотоводческого хозяйства в количестве 26,7 тыс. голов крупного рогатого скота при норме суточного потребления 51,3 л/сут.
вариант № 3	Расчет уровней производится для маловодной фазы цикла. Учитываются изъятия воды, предусмотренные во втором варианте.

*В третьем разделе четвертой главы* приведена оценка последствий реализации комплекса водохозяйственных мероприятий в бассейне реки Ульда на гидрологический режим Торейских озёр. С помощью имитационного моделирования осуществлен расчет рядов уровней Торейских озер за продолжительный период в 10000 лет в соответствие с представляемыми сценариями. Результаты статистической обработки полученных рядов представлены в таблицах 5, 6 и рисунке 5. Статистическая обработка выполнялась для двух вариантов: полный ряд, получаемый в результате водобалансовых расчетов, и отдельно рассматривался ряд наполнений озера в маловодные по притоку периоды.

Таблица 5. Уровень озера Барун-Торей (средний за год) в годы различной обеспеченности при рассмотрении представленных вариантов

Уровень	Обеспеченность												
	0,1	0,5	1	5	10	20	50	75	90	95	97	99	99,9
вариант 1	601,0	601,0	599,7	598,8	598,3	597,7	596,3	595,9	595	594,6	594,5	594	594
вариант 2	600,9	600,6	599,1	598,1	597,7	597,1	596,1	595,4	594,7	594,5	594	594	594
вариант 3	600,0	599,2	598,9	597,9	597,3	596,6	595,5	594,8	594,5	594	594	594	594

Таблица 6. Уровень озера Зун-Торей (средний за год) в годы различной обеспеченности при рассмотрении представленных вариантов

Уровень	Обеспеченность												
	0,1	0,5	1	5	10	20	50	75	90	95	97	99	99,9
вариант 1	600,8	600,0	599,7	598,8	598,3	597,7	596,3	594,6	593,2	592,3	591,5	591,5	591,5
вариант 2	600,2	599,4	599,1	598,1	597,7	597,1	595,5	593,8	592,3	591,5	591,5	591,5	591,5
вариант 3	600,0	599,2	598,9	597,9	597,3	596,6	595	593,5	592	591,5	591,5	591,5	591,5

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. При реализации монгольской стороной новых водохозяйственных проектов, сопровождаемых дополнительными безвозвратными потерями стока, уровень воды в Торейских озерах будет ниже, чем при естественных условиях. Уменьшение уровня воды составит в озере Барун-Торей в среднем 0,4 м (составляет 8,5 % от значений максимального уровня), в Зун-Торее – 0,5 м (7,7 %). Наибольшее влияние изъятий воды будет проявляться в периоды маловодной фазы водности: в озере Барун-Торей понижение уровня составит в среднем 0,7 м (14,9 %), в Зун-Торее – 0,8 м (12,3 %). При этом наблюдается более быстрое высыхание озер, в среднем на 2-3 года. После окончания маловодной фазы наполнение озер происходит в тот же год, что и при естественных условиях.

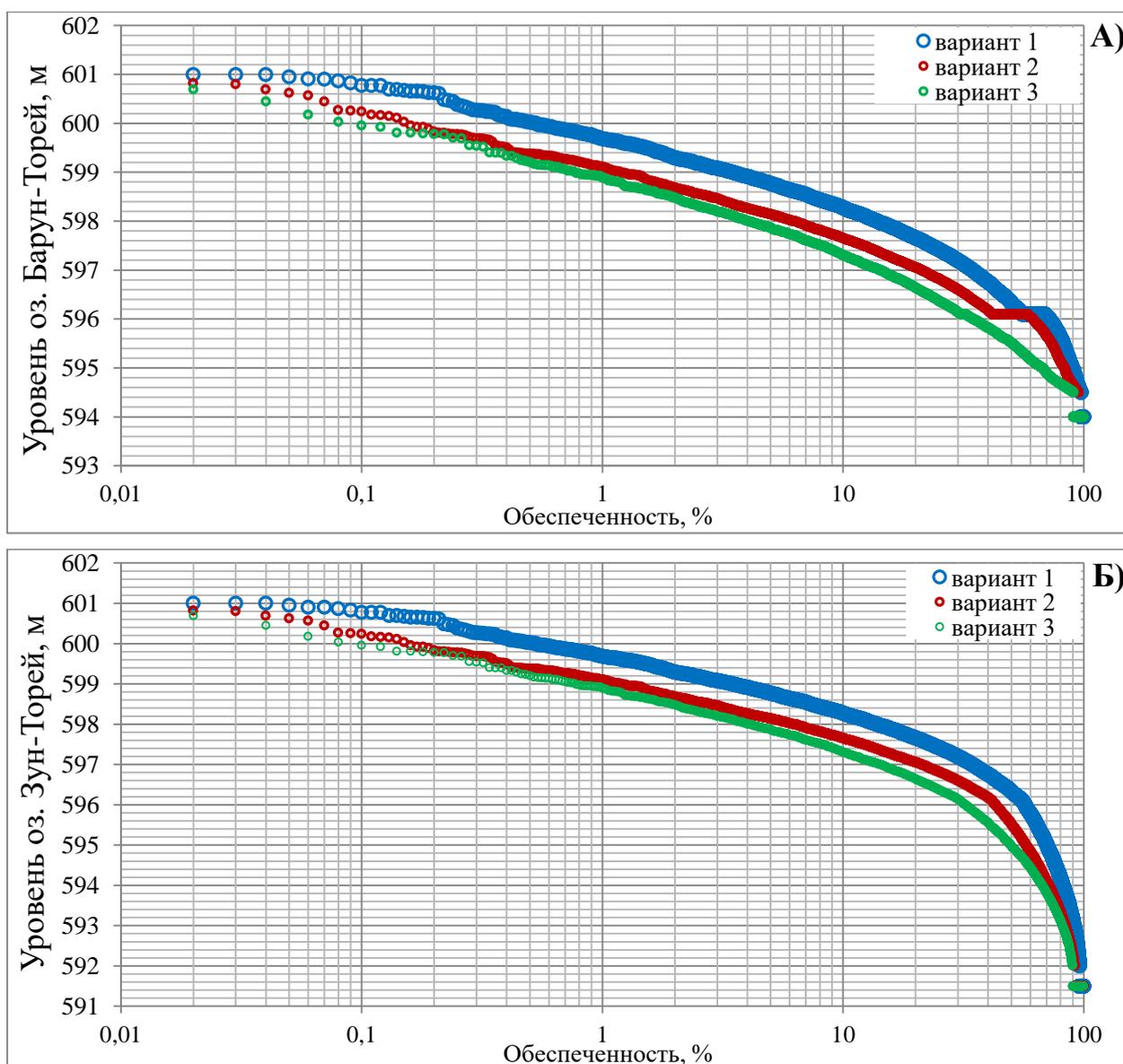


Рисунок 5. Кривые обеспеченности уровней озер Барун-Торей (А) и Зун-Торей (Б) в соответствии со сценариями развития водохозяйственной деятельности

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ научных публикаций и данных наблюдений сети Росгидромета по изученности Торейских озер показал, что их гидрологический режим недостаточно изучен для целей его прогнозирования.
2. На основе совместного использования спутниковой информации и цифровой модели рельефа (ЦМР) дна исследуемых озер получен непрерывный ряд надежной информации об уровненом режиме Торейских озер в условиях отсутствия регулярных наземных гидрологических наблюдений. Для этой цели обоснован оптимальный метод дешифрирования площади водного зеркала озер степной зоны Забайкалья с точки зрения точности результата (погрешность измерений равна 1,07 %) и временных затрат – MNDWI.
3. Учет цикличности уровненого режима Торейских озер и выявленных различий в потерях стока на рассеивание в многоводные и маловодные периоды, позволил обосновать поправочные коэффициенты к компонентам уравнения водного баланса, заключающиеся в увеличении испарения на 5 % и уменьшении притока на 28 %.
4. Разработана модель водного баланса Торейских озер, основанная на комплексировании данных наземных наблюдений и спутниковой информации. Многолетнее изменение уровненого режима Торейских озер, полученное по результатам расчетов созданной в работе модели, хорошо согласуется с данными гидрологических наблюдений и уровнями воды водоемов, восстановленных с помощью спутниковой информации, коэффициент корреляции составляет 0,99 и 0,98, соответственно.
5. Оценены безвозвратные изъятия воды при функционировании строящегося гидротехнического сооружения на реке Ульдза, включающие потери воды на орошение сельскохозяйственных полей и нужды животноводства. Предложен сценарный план развития проектируемой на территории МНР водохозяйственной системы, в том числе независимо рассмотрены маловодный и многоводный периоды, характерные для исследуемых озер. Установлено, что безвозвратные потери воды на обеспечение рассмотренного водопотребления в бассейне реки Ульдза могут быть сопоставимы с естественным стоком реки в маловодную фазу цикла водности.

б. С помощью метода имитационного моделирования на основе Марковской цепи первого порядка выполнен вероятностный прогноз гидрологического режима Торейских озер в естественных и нарушенных условиях. При реализации монгольской стороной планируемых водохозяйственных проектов, сопровождающихся дополнительными безвозвратными потерями стока, уровень воды в Торейских озерах будет ниже, чем при естественных условиях. Уменьшение уровня воды составит в озере Барун-Торей в среднем 0,4 м (составляет 8,5 % от значений максимального уровня), в Зун-Торее – 0,5 м (7,7 %). Наибольшее влияние изъятий воды будет проявляться в периоды маловодной фазы водности: в озере Барун-Торей понижение уровня составит в среднем 0,7 м (14,9 %), в Зун-Торее – 0,8 м (12,3 %). При этом наблюдается более быстрое высыхание озер, в среднем на 2-3 года. После окончания маловодной фазы наполнение озер происходит в тот же год, что и при естественных условиях.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### *Статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК*

1. Кашницкая М.А. Исследование динамики площадей водной поверхности озёр степной зоны Восточного Забайкалья на основе данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 3. С. 242-253. (Web of Science, Scopus)
2. Кашницкая М.А., Болгов М.В. Бессточные Торейские озера: можно ли дать прогноз изменений гидрологического режима? // Метеорология и гидрология. 2021. № 5. С. 95-98. (Web of Science, Scopus и Springer)
3. Кашницкая М.А. Водный режим Торейских озер в условиях антропогенного влияния // «Известия Иркутского государственного университета». Серия «Науки о Земле». 2022. Т. 39. С. 45-55.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022612620. «Water balance model of the Torey lakes»: № 2022612170: заявл. 17.02.2022 / Кашницкая М.А., Болгов М.В.; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-Исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета».

### *Статьи в других изданиях*

5. Кашницкая М.А., Болгов М.В. Оценка влияния строительства гидротехнического сооружения на гидрологический режим трансграничной

реки Ульдза (Российская Федерация и Монгольская Народная Республика) // Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана: статья в сборнике трудов конференции / Редакционная группа: Беспалова Л.А., Болгов М.В., Косолапов А.Е., Трофимчук М.М., Фролова Н.Л. Новочеркасск, 2021. С. 179-185.

6. Кашницкая М.А., Болгов М.В. Уровенный режим Торейских озер на основе спутниковых данных за период 1989-2020 гг. // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2021. С. 91.

7. Кашницкая М.А., Болгов М.В. Оценка изменения гидрологического режима Торейских озер в результате антропогенных воздействий // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: статья в сборнике трудов IV Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск, 2021. С. 196-201.

*выходные данные типографии*