

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата географических наук Терешинной Марии Алексеевны
на тему: «Водный и термический режим водоемов Московского
региона в условиях изменяющегося климата» по специальности
1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Диссертация М.А. Терешинной, несомненно, весьма актуальна. Гидрологический, геохимический и другие режимы водных объектов суши – рек, озер, водохранилищ, ледников – зависят от локальных погодных условий и изменений регионального и глобального климата. Выявление зависимостей между различными показателями состояния атмосферы и водных объектов является одной из важнейших проблем гидроклиматологии, решение которой позволяет объяснять сущность этого взаимодействия, прогнозировать направленность этих процессов, разрабатывать меры к адаптации производств, прежде всего сельского хозяйства и населения, к происходящим, в том числе и негативным, изменениям. Особенно актуально выявление таких закономерностей для староосвоенных регионов, где естественная природная среда практически не сохранилась, а водные объекты испытывают повышенную антропогенную нагрузку. Именно к таким территориям относится Московский регион, где расположены рассмотренные в диссертации М.А. Терешинной 4 водных объекта – 3 озера и Можайское водохранилище, различные по своему водному и практически не изученному термическому режимам. Выявление закономерностей изменения этих режимов, особенно для Можайского водохранилища, являющегося источником питьевого водоснабжения г. Москвы, позволяет оценить тенденции протекания различных процессов в этих водных объектах и планировать различные природо- и водоохранные мероприятия, снижающие риски возникновения в них таких опасных негативных явлений, как аноксия придонных слоев, цветение воды, выбросы парниковых газов и других.

Диссертация М.А. Терешиной состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы, состоящего из 286 источников, включая 118 русскоязычных и 168 на английском языке. Общий объем диссертации – 210 страниц, основной текст изложен на 162 страницах и содержит 15 таблиц и 81 рисунок.

Во **введении** сформулированы: актуальность данного исследования, степень разработки данной темы, цели и задачи работы, объект и предмет работы, приведены сведения о материалах и методах исследования, о научной новизне, значимости и ее практическом применении. Приведен перечень защищаемых положений. Отмечена слабая изученность термического режима как рассматриваемых, так и водных объектов в других регионах мира.

Глава 1 посвящена обзору современного состояния проблемы влияния изменений климата на динамику термического и водного режимов водоемов суши. В *первом разделе* этой главы приведены определения термического и динамических режимов водных объектов суши и их классификации по тепловому режиму. Показана роль температурной стратификации в циркуляции, химизме, газообмене, углеродном балансе и других процессов в водоемах. Большое значение при характеристике термического и динамического режимов озер имеет динамика ледовых явлений. На основе анализа существующих классификаций водоемов с учетом роли в них стратификации воды и ледовых явлений автором выделано 6 этапов их динамического режима, каждый из которых имеет характерные особенности вертикального тепло- и массообмена, которые определяют их гидрофизическое и экологическое состояние. Во *втором разделе* рассмотрены климатические и гидрологические факторы термического и динамического режимов водоемов. Рассмотрено влияние таких климатических факторов на эти режимы, как температура воздуха, показатели Североатлантической осцилляции, индексы атмосферной циркуляции, характеристики ветра, в целом теплового и радиационного балансов. К гидрологическим факторам,

по мнению автора, относятся режимы речного притока и сброса воды, в особенности для придонных горизонтов, поскольку они являются важными факторами снижения опасных проявлений изменений климата. *Третий раздел* посвящен наблюдаемым и ожидаемым изменениям в режиме функционирования озер, вызванных изменениями климата. Приведены оценки изменений температуры воздуха в мире и в России по данным МГЭИК. Показано, что рост температуры воздуха в России заметно опережает таковой по Земному шару, что привело к увеличению в нашей стране повторяемости крупномасштабных волн тепла, сокращению продолжительности залегания снежного покрова, увеличению годовых сумм осадков и количества осадков в весенний период, а также стали отмечаться более высокие суточные максимумы осадков в холодный период. Рассмотрено влияние изменения климата на водный баланс озер, расположенных в разных природных условиях, термический режим озер, характеризующийся тенденцией постоянного повышения температуры верхнего слоя воды в них, образования стратификации для глубоких озер и полного перемешивания – для мелких, снижения продолжительности ледовых явлений и ледостава, на состояние биоты, ихтиофауны и животного мира.

В **главе 2** дана детальная характеристика водного и термического режимов рассмотренных в диссертации водоемов Московского региона и их изменения. Рассмотрены природные условия и озерные водные ресурсы данного региона. Выявлено, что в современный период отмечаются статистически значимые изменения в характеристиках климата Московской области: отмечается увеличение среднегодовой температуры воздуха в среднем на 0,40 °C/10 лет, но начиная с середины 1980-х гг., за период с 1985 по 2023 г. средняя величина линейного тренда составляет уже 0,67 °C/10 лет. Общее потепление сопровождается существенными изменениями зимних условий. Для годовой суммы осадков отмечается только небольшое увеличение – в среднем на 15 мм/10 лет. Количество осадков, выпадающих в

зимний период, увеличивается; в летний период суммы осадков, наоборот, снижаются. В пределах Московского региона не расположено крупных озер: только 18 озер имеют площадь свыше 1 км². Крупные водохранилища Московской области принадлежат двум гидротехническим системам: системе водохранилищ канала имени Москвы и Москворецкой системе водоснабжения г. Москвы. Специальный важный раздел работы посвящен описанию истории изучения водоемов Московской области, организации стационарных наблюдений на озерах Глубоком и Неро, а также крупным ученым, занимающимся изучением водных объектов этого региона. В отдельном разделе приведено интересное описание географического положения и морфометрических характеристик исследуемых озер Глубокое, Белое, Святое и Можайского водохранилища, иллюстрированное красочными картами и космическими снимками. Для описания водного и термического режимов выбранных водоемов использовались данные, опубликованные в трудах гидробиологической станции на оз. Глубоком и Косинской лимнологической станции, других периодических изданиях и монографиях, а также архивные материалы биостанции на оз. Глубоком и Красновидовской УНБ географического факультета МГУ. Приведены подробные характеристики водного и термического режимов этих водных объектов, в том числе полученные с помощью логгеров, сведения о некоторых показателях гидрохимического режима, притоке и сбросе воды через Можайский гидроузел, водном балансе и изменении уровня воды этого водохранилища, ледового режима. Сделан вывод о том, что выполненное обобщение даже разнородных данных о современном режиме выбранных водоемов позволяет сделать вывод о значительном изменении характеристик их термического и ледового режимов по сравнению с первой половиной XX века.

Глава 3 посвящена рассмотрению вопросов моделирования гидротермодинамического режима озер и водохранилищ. Выполнен обзор разработанных и используемых физико-математических моделей водного, уровненного, термического режимов озер и водохранилищ. Показано, что в

большинстве случаев для изучения водного баланса и термической структуры озер и других водоемов суши достаточно использовать одномерные модели гидротермодинамики. Также сделан обзор сценариев по изменению климата, полученных группой экспертов по изменению климата (МГЭИК), которые используются для изучения динамики озер и других водных объектов. Приведено описание одномерной лимнологической модели GLM, которая использована в работе для оценок будущего режима рассматриваемых озер. Модель имеет открытый исходный код, бесплатна и разрешена для использования в научных, коммерческих и других целях. Для адаптации модели к исследуемым озерам и Можайскому водохранилищу использовались преимущественно данные об их режиме, собранные сотрудниками Красновидовской УНБ начиная с 2018 г., а также некоторые архивные данные Красновидовской УНБ и гидробиологической станции на оз. Глубоком. Автор диссертации лично принимала участие в этих работах с 2018 г., т.е. около 7 лет. Основными материалами для калибровки и верификации модели были данные температурных логгеров, устанавливаемых на буйковых станциях. Дано описание калибровки модели методом случайного поиска, а также получена оценка чувствительности модели к используемым входным данным и калибровочным параметрам. Оценка чувствительности модели к используемым метеоданным проводилась на примере воспроизведения термического режима оз. Глубокого, на берегу которого установлена автоматическая метеостанция. Выявлены сходство и различия между данными этой метеостанции и 4 метеостанциями Росгидромета, расположенными на расстояниях 30–50 км от нее. Показано, что использование наблюдений на наземной метеостанции, совмещенных с потоками солнечной радиации, полученными из реанализа, только по реанализу без данных метеостанции позволяет достичь высокого качества моделирования даже при минимальной калибровке, грубом пространственном разрешении и высоких расхождениях с наземными измерениями других метеорологических параметров. По результатам оценки чувствительности

был выделен набор параметров, наиболее сильно влияющих на результат моделирования, и разработан алгоритм адаптации модели к конкретным водоемам, включающий автоматическую оптимизацию этих параметров.

Глава 4 посвящена оценкам изменения водного и термического режимов водоемов Московского региона в XXI веке. Для оценки возможных изменений климата в Московском регионе использовались расчеты по ансамблю 5 климатических моделей, учитываемых при составлении Шестого оценочного доклада МГЭИК. Расчетные сеточные данные были линейно проинтерполированы для координат каждого из исследуемых водоемов. Выявлено, что к концу XXI века средняя годовая температура воздуха увеличится на 2,5 °С относительно значений 1981–2010 гг, влажность воздуха снизится на 5–7%, суммы годовых осадков увеличатся в среднем на 6–7%. Сценарии притока воды в Можайское водохранилище рассчитывались по гидрологической модели, в которой используются средневзвешенные по водосбору атмосферные осадки, температура воздуха и потенциальное испарение, задаваемые с суточным шагом. Полученные сценарии притока воды к водохранилищу показывают небольшое увеличение притока по всем климатическим сценариям в течение века со скоростью 2,9–4,6 млн м³/10 лет. Расчет сбросов через ГЭС гидроузла осуществляется по уравнению водного баланса водохранилища с использованием диспетчерского графика. Получены оценки реакции ряда гидрологических характеристик рассматриваемых озер на возможные изменения климата. Сравнивались результаты моделирования для двух периодов 1951–1980 гг. (до начала отчетливо наблюдаемых климатических изменений в режиме озер) и 1985–2014 гг. (условия современного климата), а также за два других многолетних периода: 2041–2070 гг. (середина XXI века) и 2071–2100 гг. (конец века). Показано, что в первый исторический период ледовый режим этих водных объектов характеризовался высоким постоянством. За период современных изменений климата (1985–2014 гг.) по результатам модельных расчетов уже прослеживается тенденция к сокращению периода ледостава. Итоговая

продолжительность периода ледостава к середине и концу XXI века по всем сценариям оказывается значимо ниже, чем в более ранние рассмотренные периоды. При всех рассмотренных сценариях увеличивается частота «безледных» зим. Сокращение периода ледостава в исследуемых водоемах сопровождается значительным увеличением продолжительности летней термической стратификации. Для температуры поверхностного слоя воды уже за исторический период отмечается статистически значимый тренд к ее увеличению. Выделены наиболее важные изменения в термическом режиме озер при разных сценариях изменения климата к концу XXI века. К ним относятся сокращение периода ледостава, ранее начало весенней циркуляции и увеличение ее продолжительности, увеличение средней и максимальной температуры поверхностной и придонной воды, увеличение испарения. Важным разделом главы является рассмотрение экологических последствий в водном и термическом режимах водных объектов Московского региона и мероприятий по их смягчению. В частности, при возникновении заморных явлений в зимний период рекомендуется аэрация воды. В летний период кислородный режим будет ухудшаться при повышении температуры поверхностного и придонного слоев воды. Будут усиливаться процессы «цветения» воды и высвобождения метана из донных отложений.

В заключении приведены основные выводы работы.

В диссертации М.А. Терешинной впервые выявлены принципиально новые закономерности формирования термического и водного режимов водных объектов Московского региона (трех озер и Можайского водохранилища) на основе высокочастотных наблюдений и их моделирования с помощью усовершенствованной с участием автора математической модели. Полученные в результате исследования результаты обладают значительной новизной и достоверностью.

Научная новизна работы состоит в том, что автором создана уникальная база данных за многолетний период о температурном и уровневом режимах рассматриваемых водных объектов, включая ледовые

явления, усовершенствован отдельный блок лимнологической модели, которая использовалась для описания происходящих в этих водных объектах гидротермодинамических процессов, получены оценки возможных изменений водного и термического режимов водных объектов этого региона при возможных изменениях климата на конец XXI века по сценариям МГЭИК.

Научная и практическая значимость этой работы заключается в том, полученные в ней оценки современных и будущих режимах водоемов Московского региона, а также последствий от их изменений, могут служить основой для планирования и реализации комплекса водоохранных мероприятий, направленных на улучшение их экологического состояния.

Замечания по работе.

1. Остался не ясным вопрос о происхождении рассмотренных в диссертации озер и источниках их питания.

2. Косинские озера в первый период их изучения были окружены деревянными дачами и домами частного сектора. В настоящее время они находятся в плотном кольце жилых высотных домов и, естественно, подвергаются мощной антропогенной нагрузке. Отразилось ли это каким-то образом на их состоянии, что вообще изменилось и как?

3. Учитывалось ли в используемой лимнологической модели время реакции различных характеристик на то или иное изменение внешних параметров? Т.е., например, температура воды изменяется не одновременно с температурой воздуха, а с некоторой задержкой по времени.

4. В диссертации практически ничего не сказано о сетке, на которую разбивалась территория региона, о размерах клеток, о характеристиках климата, которые задавались в узлах сетки.

Вместе с тем указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы,

гидрохимия (по географическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, и оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Терешина Мария Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата географических наук по специальности 1.6.16. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия.

Официальный оппонент:

доктор географических наук,
ведущий научный сотрудник
лаборатории гидрологии
ФГБУН Институт географии РАН

ЯСИНСКИЙ Сергей Владимирович

«21» апреля 2025 г.

Контактные данные:

Тел.: +7(499)129-04-74, e-mail:

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
25.00.27. Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия

Адрес места работы:

119017, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4,
ФГБУН Институт географии РАН, лаборатория гидрологии

Тел.: +7(495)959-00-22, e-mail: direct@igras.ru

Подпись сотрудника лаборатории гидрологии ФГБУН Институт географии РАН
С.В. Ясинского удостоверяю:

