

И.В. БЫЧКОВ\*, В.М. НИКИТИН\*\*

\* Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, ivbychkov@mail.ru

\*\* Институт систем энергетики им. Мелентьева СО РАН,  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия, nikitin1310@mail.ru

## РЕГУЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Представлены основные результаты комплексного системного исследования вопросов регулирования уровня оз. Байкал, выполненного в 2021–2023 гг. в рамках научно-исследовательской работы (FWEW–2021–0009) по теме «Влияние изменения уровня воды в озере Байкал на состояние экосистемы озера, определение ущерба объектам экономики и инфраструктуры прибрежной территории Республики Бурятия, Иркутской области в зависимости от уровня озера и сбросов Иркутской ГЭС» (заключительный, третий этап). Анализируются исторические предпосылки возникновения и развития проблемы регулирования уровня оз. Байкал, необходимость учета экологических и социально-экономических факторов, причины и актуальность выполнения данной НИР. Определены критически важные внутригодовые периоды и компоненты экосистемы прибрежной части оз. Байкал, успешная жизнедеятельность которых во многом зависит от сезонных изменений уровня озера. Сформированы экологические и рыбохозяйственные требования при регулировании уровенного режима оз. Байкал. Даны оценка социально-экономических ущербов при разных уровнях озера и расходах Иркутской ГЭС. Определены критические уровни и расходы. Представлены прогнозные изменения составляющих водного баланса и полезного притока в оз. Байкал с учетом ожидаемых климатических изменений на период до 2060 г. Предложен порядок (правила) регулирования уровня оз. Байкал с учетом экологических и социально-экономических факторов для разных условий водности. Определены допустимые максимальные и минимальные отметки, диапазоны колебания уровня озера и расходы Иркутской ГЭС, минимизирующие потенциальные экологические и социально-экономические ущербы. Сформированы предложения по внесению изменений в федеральное законодательство, связанное с вопросами регулирования уровня оз. Байкал.*

**Ключевые слова:** условия водности, расход Иркутской ГЭС, водный баланс, экологические требования, социально-экономические ущербы.

I.V. BYCHKOV\*, V.M. NIKITIN\*\*

\*Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory, Siberian Branch,  
Russian Academy of Sciences, 664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 134, Russia, ivbychkov@mail.ru

\*\*Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 130, Russia, nikitin1310@mail.ru

## LAKE BAIKAL LEVEL REGULATION: RESEARCH RESULTS

*This paper presents the main results of comprehensive systems research into the issues of Lake Baikal level regulation. The research was conducted in 2021–2023 within the framework of State Assignment FWEW–2021–0009 on the theme “Influence of changes in the Lake Baikal water level on the lake’s ecosystem and assessment of the damage to economic facilities and infrastructure of the coastal territory of the Republic of Buryatia and Irkutsk oblast, in the context of the lake’s level and discharges of Irkutsk HPP” (final third stage of FWEW–2021–0009). The research involves analyzing the historical background for the emergence and evolution of the Lake Baikal regulation issue, considering the need to take into account environmental and socio-economic factors, and shedding the light on the reasons and relevance of this research. Critical intra-annual periods and components of the ecosystem are identified for the coastal part of the lake whose successful functioning largely depends on seasonal changes in the lake level. Environmental and fishery requirements are formulated for regulating the level of Lake Baikal. Socio-economic damage is assessed for various lake levels and flow rates of Irkutsk HPP. Critical levels and flow rates are identified. Projected changes in the components of the water balance and net inflow into Baikal are presented considering the expected climate changes for the period into 2060. A procedure (rules) for regulating the level of the lake is proposed with due regard for the environmental and socio-economic factors for various streamflow water conditions. The permissible maximum and minimum levels, ranges for the lake level fluctuations and flow rates of Irkutsk HPP, which could minimize potential environmental and socio-economic damage, are determined. Proposals are formulated to amend federal legislation related to the issues of Lake Baikal level regulation.*

**Keywords:** streamflow conditions, flow rate of Irkutsk HPP, water balance, environmental requirements, socio-economic damage.

## ВВЕДЕНИЕ

Вопросы регулирования уровня оз. Байкал имеют многолетнюю историю — со времени проектирования и строительства Иркутской ГЭС в 1950-х гг. Наиболее активные дискуссии были во второй половине 1990-х гг. в связи с принятием Федерального закона от 01.05.1999 № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал» [1–4]. В соответствии со ст. 7 данного закона, предельно допустимые уровни оз. Байкал должны определяться специальными постановлениями Правительства РФ. В 2001 г. было принято Постановление Правительства РФ от 26.03.2001 № 234 (далее — Постановление № 234), устанавливающее максимальное и минимальное значения уровня воды в оз. Байкал на отметках 457 и 456 м соответственно в Тихоокеанской системе высот (ТО) [5]. Правила использования водных ресурсов Иркутского водохранилища (оз. Байкал) [6] стали действовать только в части, не противоречащей Постановлению № 234. До 2014 г. оно успешно выполнялось благодаря, главным образом, благоприятным гидрологическим условиям (приток воды в озеро в этот период был в пределах среднемноголетних значений), и вопрос изменения законодательства по регулированию уровня оз. Байкал не рассматривался. С наступлением в 2014–2017 гг. экстремального маловодья и последующих многоводных лет (2020, 2021 и 2023 гг.) выполнение Постановления № 234 оказалось невозможным. В 2015–2021 гг. вышло четыре временных постановления, допускающих в условиях высокой и низкой водности превышение и снижение максимальной и минимальной отметки до 457,85 и 455,54 м ТО соответственно [7–10]. Действие последнего временного постановления закончилось 01.01.2024, и с этого дня вновь вступило в силу Постановление № 234. При этом главная проблема регулирования уровня оз. Байкал сохранилась: метровый диапазон (456–457 м ТО) по-прежнему можно поддерживать только в условиях средней и близкой к ней водности. В условиях высокой и низкой водности названное законодательное ограничение невыполнимо. Такой вывод отмечался экспертами еще в 2000 г. при подготовке проекта Постановления № 234. В последующие годы это подтвердили и другие исследования [11–17]. В 2015–2023 гг., в годы низкой и высокой водности, данное заключение прошло проверку на практике. Стало очевидным и то, что при регулировании уровня оз. Байкал, кроме определения предельно допустимых отметок, необходимо обязательно учитывать экологические и социально-экономические факторы.

Однако до настоящего времени специальных комплексных системных исследований по проблеме влияния изменения уровня воды в оз. Байкал на экосистему озера с оценкой возможных социально-экономических последствий на побережье и территории нижнего бьефа в зависимости от уровней и расходов Иркутской ГЭС не проводилось. В 2021–2023 гг. институтами СО РАН, Министерства науки и высшего образования РФ, Росгидромета и Росрыболовства (всего 13 институтов, более 170 чел., ответственный исполнитель — Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова СО РАН) в рамках национального проекта «Экология» (подпроект «Сохранение озера Байкал») была выполнена научно-исследовательская работа по теме «Влияние изменения уровня воды в оз. Байкал на состояние экосистемы озера, определение ущерба объектам экономики и инфраструктуры прибрежной территории Республики Бурятия, Иркутской области в зависимости от уровней озера и сбросов Иркутской ГЭС» (FWEW–2021–0009) [18]. Заказчиками НИР являются Министерство природных ресурсов и экологии РФ и Министерство науки и высшего образования РФ. Работа выполнялась в три этапа. Отдельные результаты исследований первых двух этапов (2021–2022 гг.) были опубликованы в 2022 г. в специальном выпуске журнала «География и природные ресурсы» [19]. Ниже представлены основные результаты исследований заключительного, третьего этапа (2023 г.).

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ОЗ. БАЙКАЛ НА ЭКОСИСТЕМУ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Раздел выполнен Иркутским государственным университетом, Лимнологическим институтом (ЛИН) СО РАН, Институтом общей и экспериментальной биологии СО РАН, Институтом географии им. В.Б. Сочавы (ИГ) СО РАН, Байкальским филиалом Всероссийского НИИ рыбного хозяйства и океанографии Росрыболовства.

Анализ литературных данных, полученных на первом этапе реализации проекта, и эмпирических данных второго этапа по результатам экспедиционных исследований позволил выявить критически важные компоненты биоты (виды, сообщества) прибрежной части оз. Байкал, успешная жизнедеятельность которых в значительной мере зависит от сезонных изменений уровня озера через прямое или опосредованное воздействие. Для успешной жизнедеятельности биоты прибрежной части озера

важным фактором является изменение уровенного режима во втором квартале. В остальные периоды данный фактор существенного значения не имеет. Например, заход омуля в нерестовые реки начинается в конце августа и продолжается, затухая, вплоть до начала ледостава на реках. Как следствие, начало захода омуля на нерест и динамика нерестовой миграции от уровня оз. Байкал не зависят.

На основе результатов исследования реакции основных компонентов экосистемы оз. Байкал (зоопланктон, зообентос, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, водоплавающие и околоводные птицы, млекопитающие) на изменение уровенного режима сформированы следующие экологические и рыбохозяйственные требования при регулировании уровня оз. Байкал:

- минимальные значения уровня оз. Байкал должны достигаться в третьей декаде апреля;
- оптимальный уровенный режим на этот момент должен находиться в диапазоне 455,8–456,0 м, неблагоприятным должен считаться уровень ниже 455,7 м и выше 456,2 м;
- оптимальный уровенный режим на период окончания процесса размножения (третья декада июня – первая декада июля) должен составлять 456,2–456,6 м; неблагоприятный – ниже 456,2 и выше 456,8 м;
- оптимальный прирост уровня с третьей декады апреля по конец июня составляет 0,3–0,6 м;
- оптимальный прирост уровня за декаду в период с третьей декады апреля по конец июня должен составлять от 0,05 до 0,1 м; обязательным (критическим) является условие неснижения уровня озера в названный период;
- максимальные значения уровня озера должны достигаться в третьей декаде сентября;
- оптимальные расходы Иркутской ГЭС в период с начала мая до конца июня составляют 1300–1800 м<sup>3</sup>/с при максимально допустимом суточном колебании воды в нижнем бьефе 20 см;
- оптимальный уровень на третью декаду сентября (максимум наполнения) должен находиться в пределах 457,0 м, неблагоприятным должен считаться уровень выше 457,1–457,2 м;
- оптимальный прирост уровня с третьей декады апреля по третью декаду сентября должен составлять 0,8–0,9 м; неблагоприятным должен считаться прирост уровня ниже 0,7 м и выше 1,0–1,2 м.

### СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ (УЩЕРБОВ) ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УРОВНЯ БАЙКАЛА И РЕГУЛИРОВАНИИ РАСХОДОВ ИРКУТСКОЙ ГЭС

Раздел выполнен при участии Байкальского института природопользования (БИП) СО РАН, ИГ СО РАН, Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева (ИСЭМ) СО РАН, Геологического института им. Н.Л. Добрецова, Института земной коры СО РАН, Института динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова (ИДСТУ) СО РАН.

Реализован следующий подход к учету экологических и социально-экономических требований при регулировании уровня оз. Байкал:

- экологические и рыбохозяйственные требования учитываются в натуральных единицах (метры, дни, декады, даты) в качестве ограничений при назначении порядка (правил) регулирования уровня оз. Байкал;
- все земли (территории), подверженные затоплению, подтоплению, абразии, учитываются в форме площадей затопления, подтопления и абразии в единых натуральных единицах (км<sup>2</sup>);
- социально-экономические факторы (оцениваемые по методике ВИЭМС [20]), абразионные земли (подход к стоимостной оценке данного фактора в настоящее время не согласован), потери лесного хозяйства (оцениваемые по отдельным методикам) учитываются в стоимостных показателях (руб.).

Указанный комплексный подход позволяет обосновать предложения по минимизации рисков и потенциальных ущербов при регулировании уровня оз. Байкал с использованием натуральных и стоимостных показателей.

Доля береговой линии оз. Байкал и Иркутского водохранилища, подверженной абразии, оценивается в 17,6 %. Проблема влияния уровня оз. Байкал на абразионные процессы является наиболее дискуссионной. При этом данные процессы – важный фактор для натуральной и стоимостной оценки, поскольку вызывают потерю земель, в том числе почвы, леса и других экосистемных объектов. Выполнен также анализ волнового режима оз. Байкал, который свидетельствует о максимальном риске развития абразионных процессов при высоком стоянии уровней (выше отметки 457,1 м ТО) в период осенне-зимних штормов (октябрь–декабрь). Исходя из этого, при разработке правил регулирования уровня оз. Байкал рекомендуется предусмотреть завершение периода наполнения (повышения уровня) озера не позднее первой декады октября.

Сформирован перечень (реестр) населенных пунктов, предприятий и организаций, производственных, социальных и жилых объектов, объектов инфраструктуры, рекреации, сельского и лесного хозяйства на территории Республики Бурятия и Иркутской области (в верхнем и нижнем бьефе), подверженных затоплению/подтоплению и абразии. На основании подготовленного реестра объектов капитального строительства и земельных участков произведено уточнение размеров ущерба при различных уровнях воды в верхнем бьефе и разных сбросных расходах Иркутской ГЭС.

При отметке 457,1 м ТО суммарная площадь затопления по верхнему бьефу оценивается в 4,51 км<sup>2</sup>; 457,4 м — 8,42 км<sup>2</sup>; 457,5 м — 9,67 км<sup>2</sup>. Площадь абразии на отметках 457,1–457,5 м ТО составит от 0,24 до 0,71 км<sup>2</sup>. Такие земли являются наиболее рискованными с позиции размещения объектов недвижимости или ведения любой деятельности. Правила и ограничения на данных территориях в случае установления соответствующего статуса земель должны быть утверждены, и все органы управления, хозяйствственные структуры и физические лица обязаны их применять.

Площадь затопления территорий нижнего бьефа при высоких расходах Иркутской ГЭС (до 3600–4000 м<sup>3</sup>/с) составит 36 км<sup>2</sup>, при максимально возможных расходах (до 6000 м<sup>3</sup>/с) — 98 км<sup>2</sup>.

Территория затапливаемых земель в Республике Бурятия на отметках до 457,4 м ТО используется в настоящее время в основном для рекреации, лесного хозяйства и в качестве особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Абрэзионные участки в значительной мере используются как лесные земли. Территории, отнесенные к подтоплению, используются для сельского хозяйства и хозяйственной деятельности.

В стоимостные оценки ущербов и потерь при изменении уровня оз. Байкал включены социально-экономические факторы, потери лесного и сельского хозяйства. Ущербы и потери в верхнем бьефе (побережье Байкала и Иркутского водохранилища) оценивались для диапазона отметок 457,00–457,85 м ТО с шагом 10 см, в нижнем бьефе — для расходов 2800–6000 м<sup>3</sup>/с с шагом 400 м<sup>3</sup>/с. По результатам расчетов суммарный ущерб в верхнем бьефе при отметке 457,1 м ТО составляет 543 млн руб.; 457,20 м — 4,8; 457,3 м — 5,46; 457,4 м — 5,6; 457,5 м — 6,3; 457,85 м — 6,9 млрд руб. Суммарный ущерб в нижнем бьефе при расходах 3200 м<sup>3</sup>/с составляет 387 млн руб.; 4000 м<sup>3</sup>/с — 2,9; 4400–4500 м<sup>3</sup>/с — 5,7–5,9; 4800–5200 м<sup>3</sup>/с — 6,7–9,2; 6000 м<sup>3</sup>/с — 27,2 млрд руб.

При отметке 457,1 м ТО в верхнем бьефе основным является ущерб берегозащитным сооружениям (46 %) и домохозяйствам с учетом приусадебных участков (24 %). На отметке 457,4 м ТО 50 % составляет ущерб рекреационным объектам, 20 % — жилым зданиям и приусадебным участкам, 12 % — упущеная выгода рекреационной сферы.

По нижнему бьефу (Иркутская область) значительный рост ущербов (в геометрической прогрессии) начинается с расходов 4400–4500 м<sup>3</sup>/с. Следует отметить существенные различия в структуре ущербов в верхнем и нижнем бьефе. В структуре ущерба в нижнем бьефе основную долю составляет ущерб зданиям и домохозяйствам. Так, уже при расходах в нижнем бьефе 4000 м<sup>3</sup>/с (с учетом р. Иркут) 85 % составляет ущерб зданиям и домохозяйствам (затрагиваются тысячи объектов) и 14 % хозяйственным объектам, что естественно, поскольку затопление происходит фактически на территории Иркутска.

Вопрос формирования стоимостных оценок ущербов и потерь при изменении уровня оз. Байкал остается дискуссионным. Основная причина в том, что в настоящее время в Российской Федерации отсутствуют специализированные методики оценки ущерба от негативного воздействия вод, утвержденные в установленном порядке. Усиливает неопределенность и отсутствие в принципе методических подходов к оценке ущербов и потерь от воздействия вод в правомерном диапазоне. Именно такая задача стояла в настоящем научном исследовании. Существующие методики не относятся непосредственно к данной задаче и имеют ограниченную область применения. В связи с этим использованные при стоимостной оценке потерь и ущербов методики необходимы главным образом для получения сравнительных сопоставимых результатов — сравнения стоимостной оценки ущербов при различных уровнях затопления как в верхнем, так и в нижнем бьефе, а также для формирования режимов регулирования уровня воды в оз. Байкал, минимизирующих негативное влияние на состояние экосистемы озера и ущербы объектам экономики и инфраструктуры прибрежных территорий Байкала и нижнего бьефа.

## ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ПОЛЕЗНОГО ПРИТОКА ВОДЫ В ОЗ. БАЙКАЛ С УЧЕТОМ НАИБОЛЕЕ ВЕРОЯТНЫХ СЦЕНАРИЕВ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Раздел выполнен Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Войкова (ГГО), Государственным гидрологическим институтом (ГГИ) Росгидромета, ИСЭМ СО РАН.

В последние годы (1996–2020 гг.) наблюдались значительные изменения составляющих водного баланса оз. Байкал относительно предшествующего периода (1960–1995 гг.): снижение средних показателей поверхностного притока, увеличение осадков и испарения с поверхности в связи с повышением температурного режима в летне-осенний период. Основная причина произошедших изменений — глобальные и региональные изменения климата.

Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Войкова были сформированы сценарии изменения климата и пространственные распределения отклонений метеорологических показателей в бассейне оз. Байкал на основе данных международного проекта СМИР6 [21] и выполнена обработка ансамблей данных из 23 моделей на 2021–2060 гг. по сравнению с базовым периодом 1995–2014 гг.

В соответствии с прогнозными климатическими сценариями, разработанными ГГО, ГИИ совместно с ИСЭМ СО РАН, выполнена оценка изменения месячных величин составляющих водного баланса: поверхностного притока речных вод в озеро, испарения с его поверхности и осадков на акваторию озера в 2021–2060 гг.

Оценка изменения годовых величин поверхностного притока в озеро показала, что до середины текущего столетия не следует ожидать каких-либо статистически значимых изменений в годовом притоке речных вод в озеро. Общий характер ожидаемых изменений внутригодового распределения поверхностного притока в Байкал является относительно стабильным для всех сценариев изменения климата на период до 2060 г. С октября по апрель возможно увеличение притока на 2,8–6,4 км<sup>3</sup> в год в зависимости от сценария антропогенного воздействия и прогнозного интервала, что составляет от 20 до 45 % нормы. В мае–сентябре вероятно снижение притока на 2,9–4,8 км<sup>3</sup> в год (на 6,3–10,3 %) от среднемноголетнего значения. Возможное снижение притока в мае–сентябре компенсируется его увеличением в октябре–апреле, в результате чего объем годового притока в озеро практически не изменится.

Анализ изменения месячных величин осадков показал, что наибольшее увеличение количества осадков на поверхность оз. Байкал ожидается в весенние (апрель–май) и осенние (октябрь–ноябрь) месяцы, а наименьшее — в летние (июнь–август). В соответствии с принятыми сценариями возможно увеличение количества осадков на поверхность озера в зимние и смежные месяцы (октябрь–апрель) на 9,5–10,6 % в 2021–2040 гг. и на 13,7–20,4 % в 2041–2060 гг. В теплый сезон года (май–сентябрь) незначительное (на 3,5–7,4 %) их увеличение вероятно только к середине настоящего столетия.

Оценка изменения величины испарения выполнена ГИИ с использованием оценок изменения среднемесячных значений температуры приземного воздуха у подстилающей поверхности (°C), относительной влажности воздуха у подстилающей поверхности (%) и составляющих скорости ветра у подстилающей поверхности (м/с) для всего бассейна оз. Байкал. Сценарные изменения величины испарения связаны в основном с изменением относительной влажности воздуха на фоне повышения температуры, что определяет изменение дефицита влажности. Роль изменения скорости ветра незначительна, так как эти изменения ничтожно малы по сравнению с абсолютными значениями скорости. Показано, что в соответствии со сценариями изменения климата годовая величина испарения увеличится в 2021–2040 гг. на 4–6 %, а в 2021–2060 гг. на 6–8 %. Увеличение испарения ожидается в июле и ноябре, а уменьшение — в мае и декабре. Рост испарения в теплое время года будет определяться ростом дефицита влажности воздуха, определяемым повышением летних температур.

Основной особенностью ожидаемых до середины столетия изменений внутригодового распределения полезного притока в оз. Байкал (интегрального показателя водного баланса) является его увеличение с октября по апрель и снижение с июня по сентябрь. Возможное изменение годового полезного притока в целом в рассматриваемой перспективе незначительно и не превышает 1 км<sup>3</sup> в год. Только для наиболее «жесткого» сценария на 2041–2060 гг. возможно его увеличение на 3,2 км<sup>3</sup>.

## ПОРЯДОК РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ОЗ. БАЙКАЛ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Раздел выполнен ИСЭМ СО РАН. Для определения порядка регулирования уровенных режимов оз. Байкал с учетом экологических, социально-экономических и других факторов и ограничений, установленных по результатам исследований, разработан специальный диспетчерский график управления режимами (расходами) Иркутской ГЭС. Основным положением разработанных правил (порядка) регулирования является поддержание в течение максимально возможного количества лет диапазона регулирования уровня оз. Байкал 1,4 м в интервале 455,8–457,2 м ТО и не превышения

расходов через Иркутскую ГЭС выше  $4500 \text{ м}^3/\text{с}$  (включая расход р. Иркут) всегда, когда это позволяют складывающиеся гидрологические условия. Предложенный диспетчерский график определяет границы условий регулирования озера для всего возможного диапазона обеспеченностей, включая самые редкие 0,01–99,99 % — 1 раз в 10 тыс. лет. При назначении расходов Иркутской ГЭС учитываются данные по объему суммарного притока и уровню воды в оз. Байкал на текущий момент, а также прогноз притока воды в озеро от Иркутского управления гидрометслужбы (УГМС) на предстоящий период (один–три месяца).

В связи с тем что обеспечить поддержание уровня в диапазоне 455,8–457,2 м ТО для всех гидрологических условий по фактическому многолетнему ряду притока (123 года) невозможно, а превышение верхней границы регулирования имеет значительно большие социально-экономические и экологические ущербы относительно нижней границы, предлагается снизить уровень предполоводной сработки (УПС) с принятой в действующих Правилах отметки 456,15 м ТО до отметки 455,90 м ТО. Данная отметка соответствует минимальным социально-экономическим ущербам и оптимальному уровню оз. Байкал на конец апреля — начало мая по экологическим требованиям.

С использованием разработанного диспетчерского графика для оценки возможных изменений уровня озера в различных гидрологических условиях выполнено моделирование режимов Иркутской ГЭС по данным полезного притока в оз. Байкал за весь 123-летний непрерывный период наблюдений (с 1899 по 2021 г.) для разных вариантов УПС.

Выполненные расчеты показывают, что превышение отметки нормального подпорного уровня (НПУ) 457,0 м ТО происходит при обеспеченности 9–11 %, или в 9–11 годах из 100 (при УПС 455,9–456,0 м ТО). Значительное увеличение ущербов в верхнем бьефе (оз. Байкал), как отмечено выше, происходит при повышении уровня выше 457,2 м ТО; в нижнем бьефе — при повышении расходов до  $4500 \text{ м}^3/\text{с}$  (с учетом р. Иркут). Полученные оценки потенциальных ущербов в верхнем и нижнем бьефе позволяют принять эти отметки и расходы в качестве критических (максимально допустимых) по социально-экономическим и экологическим ограничениям. Данные уровень и расход достигаются только в годы экстремально высокой водности с расчетной вероятностью превышения менее 2 % (два раза в 100 лет).

Максимальный расчетный уровень при притоке 1 % обеспеченности, или 1 раз в 100 лет, составляет 457,4 м ТО. Более высокие уровни (457,4–457,5 м ТО и выше — до максимального 457,85 м ТО) возможны только при экстремальных и катастрофически высоких паводках обеспеченностью менее 1 %. Максимально возможный расход в нижнем бьефе в этих условиях составит до  $6000 \text{ м}^3/\text{с}$  (с учетом р. Иркут).

В маловодные годы (периоды) возможно снижение уровня до 455,8–455,6 м ТО. Обеспеченность сохранения отметки 455,8 м ТО — 96 %. При экстремальном маловодье (реже 1 раза в 100 лет) возможно снижение уровня до отметки 455,54 м ТО (уровень мертвого объема). Минимальный расход в нижнем бьефе для всех условий водности принимается в объеме 1300(1250)  $\text{м}^3/\text{с}$  по условиям обеспечения нормальной работы водозаборов.

Сроки начала сработки и наполнения оз. Байкал по режимам диспетчерского графика в основном соответствуют естественному режиму (экологическим требованиям), если позволяют складывающиеся гидрологические условия и не нарушаются установленные ограничения.

Амплитуда (диапазон) внутригодового колебания уровня оз. Байкал как в естественных, так и в зарегулированных условиях значительно отличается в разные по водности (полезному притоку) годы. Максимальная внутригодовая амплитуда составляет 1,35–1,50 м, минимальная — 0,34–0,40 м. В условиях средней водности при целевом показателе УПС 455,90 м ТО внутригодовая амплитуда колебаний составляет 0,85 м (0,81–0,89 м для обеспеченности 40–60 %), что полностью соответствует среднемноголетней внутригодовой амплитуде в естественных условиях (до строительства Иркутской ГЭС). Внутригодовая амплитуда 1,4 м (диапазон 455,8–457,2 м ТО) обеспечивается в 96–98 годах из 100. При экстремальных и катастрофических условиях водности обеспеченностью ниже 1 % неизбежно увеличение внутригодовой амплитуды колебания уровня оз. Байкал до 1,8–1,9 м; межгодовой — до 2,31 м.

## РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ УЩЕРБОВ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ УРОВНЕЙ ИРКУТСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ОЗ. БАЙКАЛ

Раздел выполнен с участием ИГ СО РАН, БИП СО РАН, ИДСТУ СО РАН. Выполненные исследования показали, что прибрежные территории оз. Байкал и Иркутского водохранилища требуют проведения зонирования в соответствии со степенью затопления/подтопления и абразионного раз-

рушения при колебаниях уровня воды оз. Байкал и Иркутского водохранилища, а также в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 18.04.2014 № 360. Многие участки побережий в Иркутской области и Республике Бурятия, потенциально подверженные данным процессам, внесены в «График определения границ зон затопления, подтопления» и должны быть отмечены в планах и схемах территориального развития. Существующие Правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (ПТГЭБ) содержат схемы затопления побережья при различных условиях водности оз. Байкал и режима Иркутской ГЭС, которые необходимо распространить в муниципалитеты и внести в схемы территориального планирования.

Рекомендуется рассмотреть и реализовать предложения, обоснованные в настоящем исследовании, по внесению изменений в федеральное законодательство, методику оценки ущерба от негативного воздействия вод [20], схемы территориального планирования и застройки поселений. Первоочередными мерами при этом являются:

- переработка методики оценки ущерба от негативного воздействия вод для применения ее к регулируемым водным объектам в правомерном диапазоне регулирования;
- внесение сведений о границах зон потенциального негативного воздействия вод (затопления, разрушения) в действующие схемы территориального планирования районных муниципальных образований, схемы рекреационного зонирования территорий, генпланы поселений, правила землепользования и застройки поселений и другие нормативно-правовые документы, в документированные сведения государственного водного реестра, ЕГРН, в градостроительные планы поселений;
- выделение зон с особыми условиями использования территорий, подверженных потенциальной возможности негативного воздействия вод оз. Байкал и Иркутского водохранилища, внесенных в схемы комплексного использования и охраны водных объектов, правила технической эксплуатации и благоустройства водохранилищ Ангарского каскада ГЭС, включая участки абразионного разрушения. Выделение таких зон может базироваться на результатах настоящего исследования.

Предлагается рассмотреть возможность внесения в законодательство РФ нормы о приостановлении выдачи разрешений на строительство в зонах затопления, подтопления и абразии в случае, когда зонирование не внесено в генеральный план поселения, до момента актуализации таких генеральных планов с учетом установления границ зон затопления, подтопления, абразии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлены основные компоненты прибрежной части экосистемы оз. Байкал (зоопланктон, зообентос, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, водоплавающие и околоводные птицы, млекопитающие), успешная жизнедеятельность которых в значительной мере зависит от сезонных изменений уровенного режима озера через прямое или опосредованное воздействие. Важным фактором для успешной жизнедеятельности биоты прибрежной части озера является изменение уровенного режима во втором квартале (с конца апреля по июнь включительно). В этот период при регулировании уровня озера необходимо выполнять экологические и рыбохозяйственные требования, включающие допустимые отметки, месячные, декадные, суточные диапазоны колебания уровня, допустимые расходы Иркутской ГЭС. Следует также учитывать оптимальные сроки достижения максимальных и минимальных значений уровня.

При регулировании уровня, наряду с экологическими требованиями, следует учитывать потенциальные ущербы при высоких уровнях озера и повышенных расходах Иркутской ГЭС. Значительные ущербы в верхнем бьефе (побережье оз. Байкал) возникают при достижении отметки 457,2 м ТО и при расходах в нижнем бьефе Иркутской ГЭС 4500 м<sup>3</sup>/с. Оптимальный минимальный уровень – 455,8 м ТО, минимальный расход в нижнем бьефе Иркутской ГЭС – 1300(1250) м<sup>3</sup>/с. Данные показатели уровня и расхода следует считать критическими по социально-экономическим и экологическим ограничениям. Они достигаются только в годы экстремально высокой и экстремально низкой водности. Расчетная вероятность их превышения составляет менее 2–4 %.

Основной особенностью ожидаемых до середины столетия изменений внутригодового распределения полезного притока в оз. Байкал является его увеличение с октября по апрель и снижение с июня по сентябрь. Возможное изменение годового полезного притока в абсолютном выражении в рассматриваемой перспективе незначительно и не превышает 1 км<sup>3</sup> в год.

Основным положением предлагаемого порядка регулирования уровня озера, позволяющего минимизировать экологические и социально-экономические риски, является поддержание в течение максимально возможного количества лет диапазона регулирования уровня оз. Байкал в интервале

455,8–457,2 м ТО и непревышение расходов через Иркутскую ГЭС более 4500 м<sup>3</sup>/с (включая расход р. Иркут) всегда, когда это позволяют гидрологические условия. В связи с тем что обеспечить поддержание уровня оз. Байкал в диапазоне (амплитуде) 455,8–457,2 м ТО и расходов в нижнем бьефе в пределах 4500 м<sup>3</sup>/с для всех возможных условий водности невозможно, а превышение верхней границы регулирования имеет значительно большие социально-экономические и экологические ущербы относительно нижней границы, предлагается снизить уровень предполоводной сработки с принятой в действующих Правилах использования водных ресурсов отметки 456,15 м ТО до отметки 455,90 м ТО. Данная отметка соответствует минимальным социально-экономическим ущербам и оптимальному уровню оз. Байкал на конец апреля—начало мая по экологическим требованиям.

В маловодные годы (периоды) возможно снижение уровня до отметок 455,8–455,6 м ТО. Обеспеченность сохранения отметки 455,80 м ТО — 96 %. Минимальный расход в нижнем бьефе для всех условий водности принимается в объеме 1300(1250) м<sup>3</sup>/с по условиям обеспечения нормальной работы водозаборов. В условиях экстремального маловодья возможно снижение уровня озера до отметки 455,54 м ТО.

При экстремально высокой и катастрофической водности обеспеченностью от 1 до 0,01 % неизбежно повышение уровня до отметки 457,85 м ТО с увеличением внутригодовой амплитуды колебания уровня оз. Байкал до 1,8–1,9 м; межгодовой — до 2,31 м и расходов в нижнем бьефе до 6000 м<sup>3</sup>/с.

Названные условия и показатели необходимо учитывать при разработке проекта нового Постановления Правительства РФ «О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал», а также новых Правил использования водных ресурсов оз. Байкал и Иркутского водохранилища.

Рекомендуется также рассмотреть и реализовать предложения, обоснованные в настоящем исследовании, по внесению изменений в федеральное законодательство, в том числе в действующие схемы территориального планирования районных муниципальных образований, схемы рекреационного зонирования территорий, генпланы поселений, правила землепользования и застройки поселений, документированные сведения государственного водного реестра, ЕГРН, градостроительные планы поселений и другие нормативно-правовые документы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федеральный** закон от 01.05.1999 № 94-ФЗ «Об охране озера Байкал» [Электронный ресурс]. — <https://base.garant.ru/2157025> (дата обращения 25.01.2024).
2. **Отчет** о НИР «Экологические требования к режиму работы Иркутской ГЭС». — Иркутск: Изд-во Ин-та экологической токсикологии, 1996. — 42 с.
3. **Молотов В.С.** Совершенствование гидравлического режима озера Байкал с учетом экологических требований: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М.: Изд-во Моск. ун-та природообустройства, 1997. — 27 с.
4. **Гидроэнергетика** и состояние экосистемы озера Байкал / Отв. ред. А.К. Тулохонов. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. — 280 с.
5. **Постановление** Правительства РФ от 26.03.2001 № 234 «О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности» [Электронный ресурс]. — <http://gov.garant.ru/-document?id=2057975> (дата обращения 25.01.2024).
6. **Основные** правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского) / Мин-во мелиорации и водного хозяйства РСФСР. — М., 1988. — 64 с.
7. **Постановление** Правительства РФ от 04.02.2015 № 97 «О предельных значениях уровня воды в озере Байкал в осенне-зимний период 2014/2015 года» [Электронный ресурс]. — <http://government.ru/docs/16813> (дата обращения 25.01.2024).
8. **Постановление** Правительства РФ от 01.07.2016 № 626 «О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2016–2017 годах» [Электронный ресурс]. — <http://government.ru/docs/23720> (дата обращения 20.01.2024).
9. **Постановление** Правительства РФ от 27.12.2017 № 1667 «О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2018–2020 годах» [Электронный ресурс]. — <http://government.ru/docs/30850> (дата обращения 20.01.2024).
10. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 27.04.2021 № 654 «О максимальных и минимальных значениях уровня воды в озере Байкал в 2021 году» [Электронный ресурс]. — <http://base.garant.ru/400729221/> (дата обращения 20.01.2024).
11. **Проект** правил использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского водохранилища и озера Байкал, Братского и Усть-Илимского водохранилищ). — М.: Изд-во Моск. ун-та природообустройства, 2013. — 174 с.

12. **Отчет о НИР «Оценка связи (влияния) уровенного режима оз. Байкал (Иркутского водохранилища) с его экологическим состоянием и современными социально-экономическими требованиями региона в условиях экстремально высокой и экстремально низкой водности. Анализ нормативных правовых основ регулирования стока и предложения по их совершенствованию»** (Гос. контракт от 3 сентября 2015 г. № НИР-15-01): В 2 т. — М.: Изд-во Ин-та водных проблем РАН, 2015. — 347 с.
13. **Бычков И.В., Никитин В.М.** Регулирование уровня озера Байкал: проблемы и возможные решения // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 3. — С. 5–16.
14. **Никитин В.М., Савельев В.А., Бережных Т.В., Абасов Н.В.** Гидроэнергетические проблемы озера Байкал: прошлое и настоящее // Регион: экономика и социология. — 2015. — № 3. — С. 273–295.
15. **Никитин В.М., Абасов Н.В., Бережных Т.В., Осипчук Е.Н.** Озеро Байкал: риски маловодных и многоводных периодов // География и природ. ресурсы. — 2016. — № 5. — С. 29–38.
16. **Абасов Н.В., Болгов М.В., Никитин В.М., Осипчук Е.Н.** О регулировании уровенного режима озера Байкал // Водные ресурсы. — 2017. — Т. 44, № 3. — С. 407–416.
17. **Никитин В.М., Абасов Н.В., Бычков И.В., Осипчук Е.Н.** Уровенный режим озера Байкал: проблемы и противоречия // География и природ. ресурсы. — 2019. — № 4 — С. 74–83.
18. **Отчет о НИР «Влияние изменения уровня воды в озере Байкал на состояние экосистемы озера, определение ущерба объектам экономики и инфраструктуры прибрежной территории Республики Бурятия, Иркутской области в зависимости от уровней озера и сбросов Иркутской ГЭС»** (шифр научной темы FWEW-2021-0009). Сводный заключительный отчет 3-го этапа: В 2 т. — Иркутск: Изд-во Ин-та динамики систем и теории управления СО РАН, 2023. — 1084 с.
19. География и природные ресурсы. — 2022. — Т. 43, № 5 (спец. выпуск). — 196 с.
20. Методика оценки вероятностного ущерба от вредного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий. — М.: ВИЭМС, 2006. — 153 с.
21. **Meehl G.A., Senior C.A., Eyring V., Flato G., Lamarque J.-F., Stouffer R.J., Taylor K., Schlund M.** Context for interpreting equilibrium climate sensitivity and transient climate response from the CMIP6 Earth system models // Science Advances. — 2020. — Vol. 6 (26) [Электронный ресурс]. — <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32637602> (дата обращения 20.01.2024).

*Поступила в редакцию 13.03.2024*

*После доработки 01.04.2023*

*Принята к публикации 07.05.2024*