

В.Н. СИНЮКОВИЧЛимнологический институт СО РАН,
664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия, sin@lin.irk.ru**СЕЗОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ОЗЕРА БАЙКАЛ
В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ЗАРЕГУЛИРОВАННЫХ УСЛОВИЯХ**

На основе регулярных наблюдений за уровнем оз. Байкал исследованы особенности внутригодовых колебаний уровня водоема в естественных условиях и в период после зарегулирования. Выявлены различия в сроках наступления сезонных экстремумов уровня, амплитуды его колебаний и скорости повышения/снижения в разные месяцы. Установлено, что основные различия характеристик уровня озера связаны с форсировками и аномальными по водности периодами. В годы с форсировками на 20–25 % увеличивается внутригодовой размах колебаний уровня, и до 30–40 дней в сторону запаздывания сдвигаются сроки осеннего наполнения озера. Интенсивность повышения уровня после зарегулирования осталась в пределах 6–7 мм/сут, но в августе 1973 г. достигала 18 мм/сут. На изменениях отдельных показателей уровня озера Байкала может сказываться и перестройка внутригодовых колебаний притока поверхностных вод в озеро, обусловленная изменениями климата. В предположении о приспособленности байкальских организмов к существовавшему в естественных условиях уровню озера высказаны соображения о необходимости сохранения его основных параметров в годы после зарегулирования. Отмечены некоторые проблемы соблюдения правил использования водных ресурсов Байкала и обеспечения оптимального уровня озера для его водных биоресурсов. Главными из них являются новые ограничения стока через Иркутскую ГЭС, как по условиям незатопления хозяйственных объектов в нижнем бьефе гидроузла, так и обеспечения бесперебойного водо- и теплоснабжения расположенных здесь городов, а также ограничения верхних предельных уровней Байкала в зоне переменного подпора. Нужно добиться в усовершенствовании и существующее законодательство в части регулирования стока из озера и его уровня.

Ключевые слова: уровень, зарегулирование, экстремальные отметки, сезонное повышение/падение, оптимальный режим, форсировка.

V.N. SINYUKOVICHLimnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
664033, Irkutsk, ul. Ulan-Batorskaya, 3, Russia, sin@lin.irk.ru**SEASONAL CHARACTERISTICS OF THE WATER-LEVEL REGIME OF LAKE BAIKAL
UNDER NATURAL AND REGULATED CONDITIONS**

Based on regular observations of the water-level regime of Lake Baikal, we studied the characteristics of interannual fluctuations in the level of the water body under natural conditions and in the period of the regulated lake. There were differences in the onset of the seasonal water level extremes, the range of its fluctuations and the rate of its increase/decrease in different months. The main differences in the characteristics of the water-level regime of the lake were associated with forcing and anomalous periods in terms of water content. In the forcing years, the interannual range of fluctuations in the water level increased by 20–25 %, and the dates of autumn water filling of the lake delayed up to 30–40 days. The intensity of increase in the water level after the regulation of the lake remained within 6–7 mm/day but reached 18 mm/day in August 1973. The restructuring of interannual fluctuations in the surface water inflow to the lake caused by climate change could also affect the changes in individual indicators of the water-level regime of Lake Baikal. The assumption about the adaptability of Baikal organisms to the water-level regime of the lake, which existed under natural conditions, included concerns about the need to preserve its main parameters in the years after regulation of the lake. Some problems are pointed out regarding the compliance with the rules for the use of the Baikal water resources and maintenance the optimal water-level regime of the lake for its aquatic biological resources. The major problems are the new restrictions of the discharge through the Irkutsk Hydroelectric Power Station both in terms of non-flooding of economic facilities in the downstream of the hydroelectric complex and in terms of ensuring uninterrupted water and heat supply to the cities located there. Also, there are restrictions of the upper limit water level of Lake Baikal in the zone of variable backwater. Moreover, the existing legislation concerning regulation of the lake runoff and its water level needs to be improved.

Keywords: water level, regulation, extremes, seasonal increase/decrease, optimal regime, overload.

ВВЕДЕНИЕ

Повышения уровня оз. Байкал, произошедшее в результате строительства Иркутской ГЭС (1956 г.), длительное время оставалось основным негативным фактором, влияющим на функционирование байкальской биоты в прибрежной зоне озера, связанным с переформированием берегов и потерей привычных мест обитания. Последующее достижение относительной стабилизации береговой линии способствовало постепенной адаптации байкальских организмов к новым условиям обитания на мелководье, а среди неблагоприятных факторов их жизнедеятельности усилилась роль нарушений сезонного хода уровней, не совпадающего с внутригодовыми жизненными циклами водной флоры и фауны. Доминирующими из них являются смещение сроков наступления высших и низших значений уровня, а также изменение скорости наполнения озера в теплое время года и сброски — в холодное. Как известно, в естественных условиях в колебаниях уровня оз. Байкал прослеживался четкий годовой цикл (повышение с весны до осени, а затем снижение до весны следующего года), обусловленный сезонным ходом элементов его водного баланса. При этом внутригодовые изменения уровня, благодаря большой площади водного зеркала озера и ограниченной пропускной способности истока р. Ангары, происходили и происходят достаточно плавно, хотя в отдельных частях водоема проявляются короткопериодные денивеляции, вызванные сгонно-нагонными явлениями, перепадами давления и др. Однако такие искажения происходят без изменения объема воды в озере и не отражаются на средней величине его уровня.

Время наступления внутригодовых экстремумов уровня в естественных условиях из года в год оставалось достаточно стабильным: высшая отметка стояния водного зеркала в среднем приходилась на середину сентября, низшая — на середину апреля. Такая картина внутригодовых колебаний уровня сформировалась, как минимум, несколько тысячелетий назад и определила жизненный цикл населяющих Байкал организмов. Нарушения установившегося ритма в уровненом режиме озера, очевидно, должны неблагоприятно сказываться и на его обитателях.

После строительства Иркутской ГЭС уровень Байкала повысился, но его внутригодовые колебания в целом сохраняют прежние черты. Однако в отдельные периоды сезонная динамика естественных и зарегулированных уровней характеризуется достаточно заметными различиями. В основном это происходит в периоды форсировок, т. е. превышения нормального подпорного уровня (НПУ), а также при сброске озера до отметок ниже уровня мертвого объема (УМО). Оценка изменений основных сезонных показателей уровненого режима оз. Байкал после зарегулирования и составляет цель настоящей статьи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами для исследования послужили сведения Росгидромета о ежедневных уровнях оз. Байкал за период 1898–2021 гг., включающий годы с естественным и зарегулированным водным режимом озера. Для характеристики колебаний уровня в естественных условиях (1898–1958 гг.) использовались результаты регулярных измерений уровня Росгидрометом на станции Байкал Кругобайкальской железной дороги (КБЖД, порт Байкал), а с 1960 г. (1959 г. — переходный период) — средние уровни водоема, рассчитанные по данным наблюдений восьми репрезентативных постов. Отдельные показатели уровненого режима в естественных условиях принимались по данным [1, 2].

Сроки фиксации высших и низших уровней озера в отдельные годы принимались по первой дате достижения экстремальных отметок, а продолжительность подъема или спада — по числу дней между датами соседних максимумов и минимумов уровней. Происходящее сезонное повышение или снижение уровня оценивалось по разнице отметок соседних экстремумов. При этом рост уровня в весенне-летний период соответствует амплитуде его внутригодовых колебаний, а сезонный спад относится к двум смежным годам — начинается осенью одного года и завершается весной следующего. Месячные значения скорости подъема/спада уровня рассчитывались по отметкам уровней на первое число каждого месяца, осредненным (для исключения случайных колебаний) за 10 дней — первые пять дней текущего месяца и пять последних предшествующего.

Сезонные показатели уровненого режима Байкала до зарегулирования представляются, очевидно, наиболее оптимальными для функционирования экосистемы озера, к которым, по возможности, должны быть приближены и соответствующие характеристики уровня озера после его подпора от плотины Иркутской ГЭС. Это условие должно быть доминирующим при управлении внутригодовым уровненым режимом озера, поскольку формально существующие экологические требования к сезон-

ным изменениям уровня [3, 4] получены без проведения специальных исследований, достаточно противоречивы, зачастую невыполнимы [5] и нуждаются в корректировке. При этом должны быть учтены интересы основных участников Байкальского водохозяйственного комплекса, изменения законодательства в этой области, а также новые ограничения по водному режиму р. Ангары в нижнем бьефе Иркутской ГЭС и уровенному режиму оз. Байкал в зоне переменного подпора.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая характеристика проблемы регулирования уровня озера. При создании речных водохранилищ основной экологический ущерб связан с затоплением прибрежных территорий и перестройкой водного режима. На Байкале, перешедшем после строительства Иркутской ГЭС в разряд озерных водохранилищ, подпор от плотины достиг озера осенью 1958 г., вызвав повышение его уровня в среднем на 0,8 м [6, 7]. При этом площадь водного зеркала увеличилась на 600 км² [8], или всего на 2 %.

Но даже столь незначительное повышение уровня вызвало на озере активизацию процессов размыва берегов и переотложения наносов, изменение биоценологических факторов литорали. Наиболее интенсивной переработке подверглись низкие абразионные берега, где береговая линия за 1959–1964 гг. отступила в среднем на 17–20 м, а в последующие 7 лет еще на 3–7 м [9]. Наиболее заметные морфологические изменения прибрежной зоны озера, нанешие экологический ущерб байкальскому природно-биологическому комплексу, произошли на низком восточном берегу [10]. На севере повысилась опасность разрушения островной гряды Ярки, ограждающей Верхнеангарский сор от вод открытого Байкала [3, 11, 12].

Из динамики межгодовых колебаний средних и экстремальных уровней до и после зарегулирования (рис. 1) можно сделать вывод об общем характере произошедших нарушений уровенного режима оз. Байкал. По данным [2], в естественных условиях средний уровень озера у ст. Байкал КБЖД составлял 455,61 м в Тихоокеанской системе высот (ТО), а его колебания происходили в диапазоне от 454,93 (1904 г.) до 456,95 м (1932 г.), что соответствует многолетней амплитуде естественных колебаний уровня 2,02 м (табл. 1). С учетом максимума 1869 г. (457,1 м), установленного по нивелировке засечки Б. Дыбовского и В. Годлевского, она возрастает до 2,17 м.

Близкий размах допустимых колебаний уровня, составляющий 1,96 м (от 455,54 до 457,5 м), предусматривается и проектом Иркутской ГЭС. Фактическая амплитуда уровня с начала регулирования составила 2,15 м (от 455,27 в 1982 г. до 457,42 м в 1988 г.), т. е. практически соответствовала показателям естественных колебаний уровня. При этом превышение НПУ допускалось неоправданно часто, в особенности в период 1982–1993 гг., когда форсированные уровни наблюдались в 10 годах из 12, а всего до 2001 г. форсировки практиковались 17 раз.

В 2001 г. постановлением Правительства РФ [13] предельные значения уровня водоема были установлены на отметках 456 и 457 м, а допустимая амплитуда его колебаний сузилась в два раза. Данная норма соблюдалась почти 20 лет, чему благоприятствовало и отсутствие многоводных лет. Это

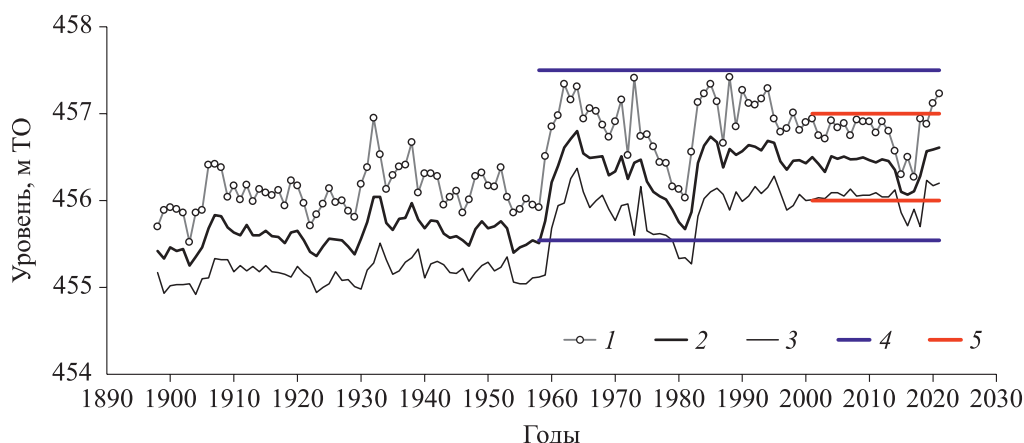


Рис. 1. Динамика уровней оз. Байкал.

Уровни оз. Байкал: 1 — высшие; 2 — средние; 3 — низшие; 4 — предельные по проекту Иркутской ГЭС; 5 — предельные по Постановлению № 234 [13].

Таблица 1

Показатели уровня режима оз. Байкал в разные периоды

Характеристика	Естественные условия	Зарегулированный режим	
	1998–1958	1960–2021	Годы с форсировками
Наивысший уровень, м ТО	456,95	457,42	457,42
Минимальный уровень, м ТО	454,93	455,27	456,04
Средний уровень, м ТО	455,61	456,41	456,60
Диапазон колебаний, м	2,02	2,15	1,82
Годовая амплитуда колебаний, м:			
Средняя	0,93	0,95	1,17
Максимальная	1,67	1,81	1,81
Минимальная	0,48	0,37	0,91
Сезонное повышение:			
Средняя продолжительность, сут	151	151	156
Скорость подъема, мм/сут	6,2	6,3	7,5
Сезонное снижение:			
Средняя продолжительность, сут	214	214	209
Скорость спада, мм/сут	4,3	4,4	5,6

в значительной мере способствовало стабилизации береговой линии озера [14], после чего основным негативным фактором воздействия на природу Байкала стало уже не общее повышение уровня, а особенности его внутригодового хода, а также аномально высокие и низкие отметки. Наиболее ощутимое влияние при этом испытывают прибрежно-соровые и дельтовые системы озера. Повышенные уровни вызывают активное разрушение аккумулятивных форм, ограждающих байкальские соры, что сопровождается их охлаждением из-за повышенного затока холодной байкальской воды. Это же характерно для дельты р. Селенги, где происходит также распространение подпора вверх по протокам и усиление в них процессов аккумуляции взвеси.

При низких уровнях в лагунах ухудшается водообмен, что способствует их прогреву и зарастанию. В дельте Селенги наблюдается врезание дельтовых протоков и устьевое удлинение наиболее многоводных рукавов при изоляции второстепенных протоков. В Посольском и Черкаловском сорах усиливаются процессы заносимости речными наносами и сокращение их акваторий.

Однако соблюдение требований Постановления № 234 в периоды существенного повышения или снижения приточности в озеро становится проблематичным, или вовсе не осуществимым [15, 16], что и подтвердилось в маловодный период 2014–2017 гг., когда уровень Байкала опускался ниже допустимой отметки 456 м (до 30 см в 2018 г.), а также в многоводные 2020–2021 гг. с выходом уровня за верхний допустимый предел 457 м (до 23 см в 2021 г.).

До 2001 г. из-за неоправданно частых форсировок во внутригодовом ходе уровня стали заметны изменения скорости его подъема/спада и смещение экстремальных значений в сторону запаздывания [2, 6, 17], что могло неблагоприятно отразиться на состоянии многих байкальских гидробионтов с генетически закрепленным физиологическим циклом [3, 18].

Оценка сезонных показателей уровня режима. Внутри года изменения уровня, как уже отмечалось, носят выраженный сезонный характер, закономерно меняющийся в зависимости от соотношения между приходом и расходом воды в озере. Поскольку определяющий элемент прихода — это приток речных вод, то и ход уровня в первом приближении соответствует ходу приточности в озеро с запаздыванием в два-три месяца. Их взаимокорреляционная функция на данном сдвиге достигает максимума 0,74–0,75, тогда как без сдвига соответствующий коэффициент корреляции составляет только 0,23.

Анализ исходных данных показывает, что за 1898–1958 гг. внутри отдельных лет колебания уровня изменялись от 0,48 (1903 г.) до 1,67 м (1932 г.), при среднем значении 0,93 м (см. табл. 1). Последний показатель в годы зарегулированного режима практически не изменился (0,95 м), при этом размах колебаний до выхода Постановления № 234 (1960–2000 гг.) также был близким к естественным условиям и составлял 0,56–1,83 м, тогда как в последующие годы уже редко достигал 0,9 м, снижаясь внутри отдельных лет (2017 г.) до 0,37 м. В годы с форсировками заметно повышается внутригодовая амплитуда колебаний уровня, возрастает скорость его сезонных подъемов и спадов с некоторым увеличением общей продолжительности наполнения озера.

В естественных условиях высшие уровни озера наблюдались (рис. 2) в интервале с 14 августа по 9 октября, при средней дате 15 сентября. После зарегулирования — с 21 августа до 29 октября (в среднем 19 сентября). В целом, это указывает на незначительное смещение сроков максимального наполнения водоема в сторону запаздывания, хотя до 2001 г. в связи с более частыми форсировками запаздывание в среднем было на два дня больше, а в отдельные годы достигало одного месяца [2, 3]. Тем не менее самая поздняя дата достижения высшего уровня не связана с форсировками и приходится на 2018 г., в котором приточность в озеро впервые оказалась повышенной после четырех лет маловодья.

Сроки же максимальной сработки озера изменились более значительно: с 17 марта по 9 мая в естественных условиях (в среднем 18 апреля) и с 12 апреля по 22 мая в условиях подпора (в среднем 6 мая), на что указывает и более выраженный положительный тренд этого показателя. Более поздние сроки максимальной весенней сработки озера чаще всего наблюдались вслед за форсировками уровня, что объясняется более длительным опорожнением призмы регулирования после ее заполнения сверх нормы (отчасти указанные различия могут быть связаны и с климатическими изменениями в регионе).

Схожие изменения сроков наступления сезонных экстремумов уровня озера после его зарегулирования приводятся и в [17] с некоторыми различиями, сопряженными, очевидно, со спецификой трактовки исходных данных. К примеру, продолжительность стагнации высших и низших уровней нередко превышает 10 дней, достигая месяца (минимальный уровень 1974 г.), что затрудняет однозначное определение дня последующего снижения или повышения.

Продолжительность фаз внутригодового повышения и снижения уровня до и после зарегулирования осталась без существенных изменений и в среднем составляет 151 и 214 дней соответственно. Наиболее продолжительный подъем, длившийся 198 дней, зафиксирован в 2018 г. Средняя интенсивность подъема уровня в естественных условиях составляла 6,2 мм/сут, а спада — 4,3 мм/сут с максимальной скоростью подъема до 10,5 мм/сут. Приведенные результаты несколько расходятся с оценками скорости сезонного снижения/повышения уровня, полученными в работе [2], так как в ней для определения использованы среднемесячные значения уровня, а не суточные, как в нашем случае.

За годы зарегулированного режима значения интенсивности подъема и спада уровня возросли незначительно и составляют, соответственно, 6,3 и 4,4 мм/сут с максимумами в 1973 г., равными 11,2 и 6,6 мм/сут соответственно.

С 1960 г. среднее превышение зарегулированных уровней над естественными составило 0,81 м, однако в зимние месяцы оно несколько выше (рис. 3) и достигает 0,91 м, а в летние снижается до 0,70 м. Это указывает на некоторое снижение скорости сезонных изменений уровня после зарегулирования.

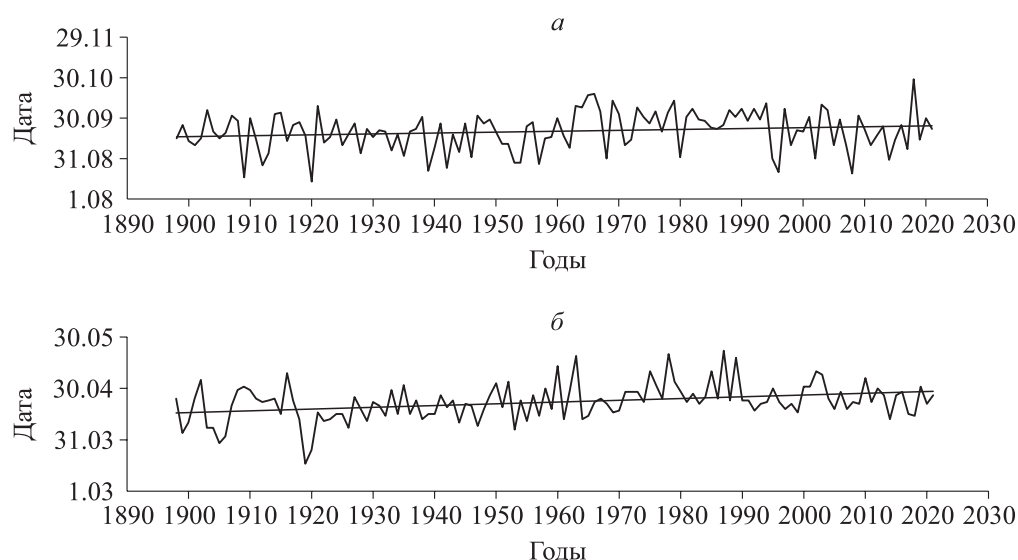


Рис. 2. Сроки достижения высших (а) и низших (б) уровней.

Прямая линия — тренд.

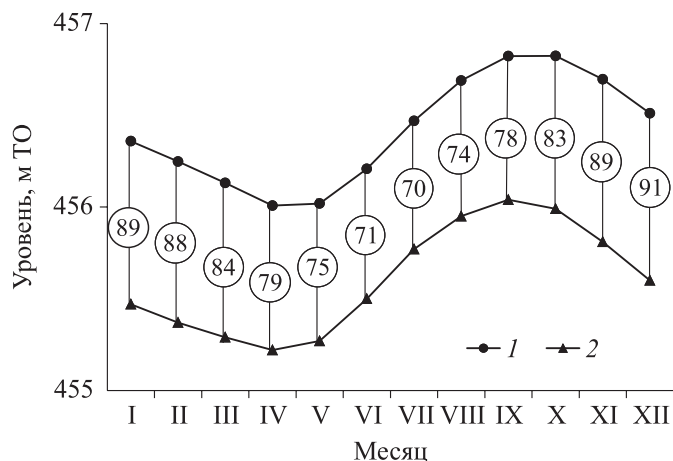


Рис. 3. Среднемесячные уровни оз. Байкал в различных условиях.

Уровни: 1 — в период зарегулированного режима; 2 — в естественных условиях. Цифры в кружках — разница между уровнями в см.

Помесячные значения интенсивности подъемов и спадов уровня в естественных и зарегулированных условиях также несколько различаются (табл. 2). В декабре–апреле, а также в августе–сентябре снижение зарегулированных уровней происходит более интенсивно, а в остальные месяцы его скорость, наоборот, уменьшилась. Наиболее интенсив-

ный спад уровня в среднем приходится на декабрь (6,1 мм/сут), а подъем — на июль (8,7 мм/сут). Однако максимальный месячный прирост уровня, составивший 18,4 мм/сут, наблюдался в августе 1973 г.

Кроме того, в естественных условиях в апреле в 9 годах (из 61) отмечался подъем уровня, тогда как после 1960 г. это наблюдалось только один раз (из 62 лет). Аналогичная трансформация уровня характерна и для сентября, в ходе которого до зарегулирования спад уровня фиксировался в 18 случаях, а в годы с нарушенным режимом лишь однажды.

Оптимальный режим регулирования. Приведенные выше данные указывают на наличие разной степени изменений отдельных сезонных показателей оз. Байкал после зарегулирования, учет которых был бы полезен при планировании работы Иркутской ГЭС для обеспечения оптимального уровня озера, наиболее приближенного к естественным условиям. Однако решение этой задачи осложняется необходимостью учета интересов всех участников Байкальского водохозяйственного комплекса, особенностей законодательства в области использования водных ресурсов, социально-экономических условий прибрежных территорий и др. Предлагаемые рекомендации по оптимизации режима работы Иркутской ГЭС, направленные на приближение уровня оз. Байкал к естественным условиям, пока представляются недостаточно обоснованными и не реализуются. В частности, авторами [19] был сделан акцент на экологически допустимый минимальный уровень озера в период 10–30 апреля на отметке 455,7 м. В развитие этого подхода в проекте новых Правил использования водных ресурсов (ПИВР) оз. Байкал [20] признается невозможность обеспечения экологически оптимальных уровней для всех гидробионтов и околотовдных животных и предлагается в первую очередь создавать условия, благоприятные для размножения ценных промысловых видов рыб. При

Таблица 2

Месячные изменения уровня оз. Байкал в естественных и зарегулированных условиях

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Естественные условия (1898–1958 гг.)												
Среднее, см	–10,7	–8,6	–8,3	–2,8	13,5	27,5	23,6	13,3	2,8	–12,7	–20,7	–17,4
Минимум, см	–19	–24	–13	–10	1	12	7	–1	–13	–27	–37	–34
Максимум, см	–3	–1	–4	9	33	58	54	50	23	–1	–9	–7
Спад/подъем, число случаев	61/0	61/0	61/0	48/9 (4)*	0/58	0/58	0/58	1/57	18/40 (3)	61/0	61/0	61/0
Зарегулированный режим (1960–2021 гг.)												
Среднее, см	–12,6	–10,0	–12,5	–7,7	10,7	24,9	23,6	18,8	6,7	–6,2	–16,4	–18,1
Минимум, см	–20	–16	–20	–15	1	7	5	3	–5	–14	–22	–27
Максимум, см	–8	–6	–7	1	24	48	57	47	21	11	–9	–11
Спад/подъем, число случаев	62/0	62/0	62/0	60/1 (1)	0/62	0/62	0/62	0/62	5/52 (5)	58/1 (3)	62/0	62/0

Примечание. В скобках приведено число случаев с нулевыми изменениями.

этом в случае достижения нижней границы оптимальных уровней разработчики ПИВР предусматривают полную остановку Иркутской ГЭС, а верхней — увеличение расходов воды до 6000 м³/с. И то и другое представляется крайне радикальным и не выполнимым на практике.

Из других подходов следует отметить предложение [21] о снижении уровня Иркутского водохранилища до 454 м и назначении режима стока через Иркутскую ГЭС в соответствии с расходами воды в истоке Ангары. Однако данный вариант регулирования чреват как падением выработки электроэнергии на Иркутской ГЭС из-за уменьшения напора, так и постепенным снижением уровня Байкала.

С принятием в 2006 г. нового Водного кодекса [22] приоритет при использовании водных объектов приобретает охрана их водных ресурсов и использование для питьевых и хозяйственных нужд. Однако для Байкала существует ряд хозяйственных, технических и нормативно-правовых ограничений, сдерживающих разработку оптимального варианта режима регулирования его уровня. Одна из проблем касается предельных значений стока через Иркутскую ГЭС, которые по проекту составляют 1050 и 6000 м³/с, а в действующих ПИВР нижний предел уже соответствует 1300 м³/с (во время ледостава — до 1250 м³/с), что продиктовано требованиями безопасной работы водозаборов, обеспечивающих водо- и теплоснабжение расположенных ниже по течению городов (Ангарск, Усолье-Сибирское, Черемхово). В навигационный период (май—октябрь) минимальный расход воды р. Ангары должен быть не ниже 1500 м³/с, или даже 1600–1700 м³/с [20].

Проектный же попуск через ГЭС в объеме 6000 м³/с также не соответствует реальным условиям из-за застройки пойменной части р. Ангары в нижнем бьефе гидроузла, где затопление и подтопление начинаются при расходах воды 2800 м³/с [17, 23]. Площадь затопления в нижнем бьефе при расходах 3000 м³/с составляет 2728 га, а при максимальных попусках 6000 м³/с она увеличивается до 12 620 га. В свою очередь, сдерживание стока через Иркутский гидроузел в аномально многоводные годы повышает риск выхода уровня Байкала за верхнюю отметку 457 м и затопления его побережья в зоне переменного подпора. Ограничение повышенных сбросов через Иркутскую ГЭС также диктуется и необходимостью поддержания минимально допустимого напора (25 м по проекту), падающего по мере подъема уровня в нижнем бьефе при росте сбросов.

Среди других проблем следует отметить необходимость разработки новых ПИВР, так как, с одной стороны, действующие правила противоречат упомянутому Постановлению № 234, а с другой — не соответствуют современным требованиям их разработки.

Формально существующие экологические требования к уровенному режиму оз. Байкал в основном сформулированы Гидропроектом [4] при подготовке обоснования Постановления № 234. Большинство из них могут быть обеспечены только в условиях водности, близких к средним. В связи с этим в настоящее время по заданию Министерства природных ресурсов и экологии РФ выполняется комплекс научно-исследовательских работ по обоснованию принципов регулирования уровня Байкала в разных условиях водности с учетом современных экологических, социально-экономических и водохозяйственных требований.

Одним из положительных примеров решения подобных проблем может служить оз. Онтарио, где изменения уровенного режима привели к зарастанию прибрежных мелководных участков и ухудшению условий нереста рыбы [24]. Обсуждение улучшения ситуации продолжалось почти 10 лет, а найденное решение заключалось в формировании диапазона колебаний уровня озера в зависимости от водности периода и приближения к режиму водоема в естественных условиях [15]. Подобное решение возможно и для Байкала, так как изменение режима работы Иркутской ГЭС не оказывает существенного влияния на энергоотдачу станций Ангарского каскада в Иркутской области, поскольку на ее долю приходится лишь 7,4 % мощности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных исследований показывают, что после строительства Иркутской ГЭС уровенный режим Байкала претерпевает определенные сезонные изменения, создающие риски нарушения нормальных условий функционирования его экосистемы. Основными из них являются аномально высокие и низкие отметки водного зеркала, а также трансформация внутригодового хода уровней. Если размах межгодовых колебаний и средняя амплитуда внутригодовых колебаний после зарегулирования практически не изменились, то в годы с форсировками, или аномальными условиями водности, различия этих показателей достаточно значимы. В частности, максимальная амплитуда в сравнении с естественными условиями увеличилась на 16 см (10 %), а минимальная, наоборот, на 11 см (23 %) снизилась.

Среднее превышение зарегулированных уровней над естественными составило 0,81 м, изменяясь от 0,70 м летом до 0,91 м в зимние месяцы. Зимой также стал более выраженным спад уровней, а летом — его повышение. После зарегулирования в апреле существенно уменьшилось число случаев с подъемом уровня, а в сентябре — со спадом.

Сроки достижения уровнем высших отметок в среднем изменились незначительно, однако в годы с форсировками их максимальное смещение в сторону запаздывания также на две недели превышает соответствующие даты, зафиксированные в период естественного режима. Но наиболее существенно запаздывание сроков наступления самых низких в году уровней — в среднем на 18 дней. При этом средняя продолжительность сезонных повышений и снижений уровня и в том, и в другом случае составляет 151 и 214 сут соответственно, благодаря чему практически не изменилась и средняя скорость роста или спада в сезонном ходе уровня.

При разработке оптимальных режимов регулирования стока через Иркутскую ГЭС различия отмеченных сезонных характеристик уровня оз. Байкал в естественных и зарегулированных условиях должны быть минимизированы, но решение этой задачи осложняется отсутствием достоверных данных о влиянии уровня озера на экосистему его мелководной зоны и прибрежных территорий. Определенную проблему представляют и невозможность исполнения Постановления № 234 в условиях аномально низкой и высокой водности, отсутствие новых ПИВР, и новые ограничения стока р. Ангара в нижнем бьефе Иркутской ГЭС как по условиям незатопления ее пойменной части, так и водообеспечения расположенных здесь городов и др. Только комплексное решение этих вопросов с учетом складывающихся гидрометеорологических условий позволит подготовить объективные требования к изменениям уровня оз. Байкал и разработать оптимальный режим его регулирования.

Работа выполнена в рамках выполнения госзадания Лимнологического института СО РАН (0279-2021-0005) и договора с ФГБУ «Центр развития ВХК» (FWSR-2021-0016).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Афанасьев А.Н.** Водный баланс озера Байкал // Тр. Байкал. Лимнолог. станции. — 1960. — Т. 18. — С. 155–241.
2. **Афанасьев А.Н.** Водные ресурсы и водный баланс бассейна оз. Байкал. — Новосибирск: Наука, 1976. — 238 с.
3. **Гидроэнергетика** и состояние экосистемы озера Байкал / Под ред. А.К. Тулохонова. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. — 280 с.
4. **Обоснование** экстремальных уровней воды в озере Байкал / Под ред. А.Е. Асарина. — М.: Ассоциация «Гидропроект», 2000. — 62 с.
5. **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 (87). — С. 273–295.
6. **Синюкович В.Н.** Реконструкция естественного уровня режима оз. Байкал после строительства Иркутской ГЭС // Метеорология и гидрология. — 2005. — № 7. — С. 70–76.
7. **Синюкович В.Н., Чернышов М.С.** Современные проблемы регулирования уровня оз. Байкал // Изв. Иркутск. ун-та. Сер. «Науки о Земле». — 2018. — Т. 24. — С. 99–110.
8. **Лимнология** прибрежно-соровой зоны Байкала / Под ред. Н.А. Флоренсова. — Новосибирск: Наука, 1977. — 312 с.
9. **Динамика** берегов озера Байкал при новом уровне режиме / Под ред. Н.А. Логачева. — М.: Наука, 1976. — 170 с.
10. **Безруков Л.А., Никольский А.Ф.** Экономическая оценка ущербов от негативного воздействия Ангарского каскада ГЭС на природу, хозяйство и население Иркутской области // География и природ. ресурсы. — 1995. — № 1. — С. 125–134.
11. **Потёмкина Т.Г., Ярославцев Н.А., Петров В.А.** Гидролого-морфологические особенности устьевой области р. Верхняя Ангара // Водные ресурсы. — 2012. — Т. 39, № 4. — С. 367–376.
12. **Гармаев Е.Ж., Цыдыпов Б.З., Дабаева Д.Б., Андреев С.Г., Аюрганаев А.А., Куликов А.И.** Уровеньный режим озера Байкал: ретроспектива и современное состояние // Водное хозяйство России. — 2017. — № 2. — С. 4–18.
13. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 26 марта 2001 года № 234 «О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности» // Собрание законодательства РФ. — 2001. — № 14. — 1366 с.
14. **Козырева Е.А., Кадетова А.В., Рыбченко А.А., Пеллинен В.А., Светлаков А.А., Тарасова Ю.С.** Типизация и современное состояние берегов озера Байкал // Водные ресурсы. — 2020. — Т. 47, № 4. — С. 453–465.

15. **Бычков И.В., Никитин В.М.** Регулирование уровня озера Байкал: проблемы и возможные решения // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 3. — С. 5–16.
16. **Синюкович В.Н.** Проблемы регулирования уровня озера Байкал в условиях аномальной водности // Водное хозяйство России. — 2016. — № 1. — С. 42–51.
17. **Абасов Н.В., Болгов М.В., Никитин В.М., Осипчук Е.Н.** О регулировании уровня озера Байкал // Водные ресурсы. — 2017. — Т. 44, № 3. — С. 407–416.
18. **Пронин Н.М., Калягин Л.Ф.** О несоответствии сезонной динамики уровня оз. Байкал после зарегулирования стока экологическому оптимуму годового физиологического цикла гидробионтов // Сохранение биологического разнообразия в Байкальском регионе: проблемы, подходы, практика: Тез. докл. I регион. конф. — Улан-Удэ: Изд-во ТОО «Олзон», 1996. — С. 35–37.
19. **Кожова О.М., Павлов Б.К.** Экологические последствия поднятия уровня Байкала в связи со строительством Иркутской ГЭС // Проблемы экологии. Т. 2: Мат-лы междунар. конф. «Чтения памяти профессора М.М. Кожова». — Новосибирск: ВО «Наука», 1995. — С. 145–150.
20. **Правила** использования водных ресурсов Иркутского водохранилища и озера Байкал. Проект. — М.: Изд. Моск. ун-та природообустройства, 2013. — 168 с.
21. **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.
22. **Водный кодекс** Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ [Электронный ресурс]. — <http://www.consultant.ru> (дата обращения 26.03.2018)
23. **Никитин В.М., Абасов Н.В., Бычков И.В., Осипчук Е.Н.** Уровненный режим озера Байкал: проблемы и противоречия // География и природ. ресурсы. — 2019. — № 4. — С. 74–83.
24. **Klein D.F.** Regulation of levels and flows of Lake Ontario and St. Lawrence river // Материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. «Реки Сибири и Дальнего Востока». — Иркутск: Изд-во ИРОО «Байкальская экологическая волна», 2013. — С. 23–24.

Поступила в редакцию 12.06.2022

После доработки 12.07.2022

Принята к публикации 03.10.2022