

---

---

УДК 556.18

## ИРКУТСКАЯ ГЭС: РЕГУЛИРОВАНИЕ УРОВНЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

© 2025 г. В. М. Никитин<sup>1, \*</sup>, Е. Н. Осипчук<sup>1</sup>, Н. В. Абасов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

\*e-mail: [nikitin1310@mail.ru](mailto:nikitin1310@mail.ru)

Поступила в редакцию 14.12.2024 г.

После доработки 24.02.2025 г.

Принята к публикации 28.02.2025 г.

С начала эксплуатации Иркутской ГЭС прошло 65 лет, но проблема регулирования уровня оз. Байкал продолжает оставаться актуальной, так как непосредственно касается уникального природного объекта и сохранения его экосистемы, учета интересов прилегающих субъектов Российской Федерации, многочисленных водопотребителей и водопользователей. Данная проблема особенно проявилась в последнее десятилетие, с наступлением экстремально маловодного периода 2014–2017 гг. и последующего за ним многоводного периода 2020–2023 гг., потребовавших внесение изменений в законодательную базу по регулированию уровня озера. Для ее решения возникла необходимость выполнения в 2021–2023 гг. комплексной научно-исследовательской работы, позволившей сформировать научно-обоснованные и практически реализуемые принципы регулирования уровня оз. Байкал в разных условиях водности с учетом современных экологических, социально-экономических и водохозяйственных требований и ограничений. Работа выполнена с участием институтов Сибирского отделения РАН, Министерства науки и высшего образования РФ, Росгидромета и Росрыболовства. В статье анализируется действующее законодательство по управлению водными ресурсами озера Байкал. Отмечается, что предусмотренный постановлением правительства РФ допустимый метровый диапазон регулирования уровня озера может быть выполнен только в годы средней и близкой к ней водности. В многоводные и маловодные годы поддержание данного диапазона и допустимых предельных отметок уровня невозможно. На основе модельных расчетов представлены результаты исследований по определению оптимальных и допустимых (критических) изменений уровней, расходов Иркутской ГЭС и диапазонов регулирования оз. Байкал для разных условий водности. С использованием разработанного диспетчерского графика Иркутской ГЭС предложен порядок регулирования уровней режимов оз. Байкал с учетом экологических требований и социально-экономических ограничений.

**Ключевые слова:** режимы ГЭС, уровенные режимы, условия водности, обеспеченность, экологические требования, социально-экономические ограничения, диспетчерский график

DOI: 10.31857/S0002331025020038

## ВВЕДЕНИЕ

Озеро Байкал в настоящее время единственный в мире водоем, границы регулирования уровня которого определяются постановлениями федерального правительства. В 2001 г. для реализации принятого в 1999 г. закона “Об охране озера Байкал” (ст. 7) [1] Правительство Российской Федерации выпустило Постановление от 26.03.2001 г. № 234 “О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности” (далее – Постановление № 234), ограничившее максимальные и минимальные уровни воды в озере Байкал предельными отметками 457.0 и 456.0 м в тихоокеанской системе высот (ТО) [2]. Действующие правила использования водных ресурсов Иркутского водохранилища (оз. Байкал) (далее – ПИВР) [3] в соответствии с законодательством стало возможным использовать только в границах, не противоречащих Постановлению № 234. С этого времени вопрос допустимого диапазона регулирования уровня озера Байкал стал предметом дискуссий научного сообщества, федеральных и региональных органов власти, общественности. Основная причина сложившейся ситуации заключается в том, что допустимый диапазон регулирования уровня озера оказался в 2 раза меньше проектного, предусмотренного Техническим проектом Иркутской ГЭС [4], а также наблюдаемого ранее в естественных условиях (фактический диапазон изменения уровня оз. Байкал в период 1886–1956 гг. составлял 2 м) [5–11].

Следует отметить, что еще в обосновывающих материалах к Постановлению № 234 в период его подготовки и обсуждения экспертами указывалось, что установленные постановлением ограничения колебаний уровней воды в оз. Байкал не могут быть выполнены в условиях водности, отличных от средних и близким к ним, особенно в многоводные и маловодные годы. В такие годы диапазон предельных отметок регулирования уровня воды в озере должен быть более широким [9–11]. Опыт предшествующей и последующей эксплуатации Иркутской ГЭС показал, что основная проблема регулирования уровня озера заключается в обосновании оптимальных и допустимых границ диапазона колебаний уровня воды в оз. Байкал, исходя из компромисса противоречивых интересов различных водопользователей, требований экосистемы и учета социально-экономических ограничений в условиях значительной изменчивости притока. При этом главным фактором, влияющим на диапазон колебаний уровня, является полезный приток воды в озеро, имеющий случайный, природно обусловленный характер. Этот фактор был определяющим в естественных условиях (до строительства Иркутской ГЭС) и остается таким же в зарегулированных. Иркутская ГЭС за счет регулирования расходов может сгладить (скорректировать) диапазон изменения уровня и его динамику, но не изменить условия водности.

В зависимости от условий водности (средние, многоводные или маловодные годы) внутригодовой диапазон колебаний уровня всегда изменялся в широких пределах: в естественных условиях – от 0.41 м (1903 г.) до 1.54 м (1932 г.) при среднем значении 0.82 м, в зарегулированных – от 0.40 м (2017 г.) до 1.69 м (1973 г.) при среднем диапазоне 0.86 м [10, 11]. Принятый в Постановлении № 234 метровый диапазон соответствует среднему (среднемноголетнему) значению и, по сути, не предусматривает появления маловодных и многоводных периодов. В годы средней и близкой к средней водности выполнение требований метрового диапазона регулирования проблем не вызывает и устраивает всех участников. Проблемы возникают в маловодные и многоводные годы. В такие годы становится невозможным выполнение требований Постановления № 234 без значительных ущербов для

других водопользователей и водопотребителей. К тому же, если принять, что метровый диапазон основан на “экологических требованиях”, как это декларируют инициаторы постановления [12, 13], то он противоречит основному правилу экологического подхода – максимальному приближению регулирования к режимам изменения уровня в естественных условиях в разные по водности годы и является противоестественным в периоды экстремальной водности.

За последние десять лет только в трех годах выполнялись требования сохранения метрового диапазона регулирования, что говорит о недостаточной обоснованности Постановления № 234, не учитывающего возможные различные условия водности и существующие современные ограничения. В результате в 2015–2023 гг. Правительство РФ было вынуждено выпустить 5 временных Постановлений, регулирующих уровень оз. Байкал и допускающих превышение границ метрового диапазона. С 1 января 2024 г. вновь вступило в силу и продолжает действовать в настоящее время Постановление № 234.

Проблемы управления водными ресурсами озера Байкал и Иркутского водохранилища, в том числе определение оптимального и допустимого диапазона регулирования, с учетом экологических, социально-экономических и других факторов до сих пор остаются нерешенными. Принятые 37 лет назад ПИВР Иркутского водохранилища (оз. Байкал) устарели и не соответствуют современным требованиям.

Поскольку сохранение экосистемы озера Байкал и природных ресурсов Байкальской территории регулируется специальным федеральным законом, то учет экологических требований, очевидно, должен быть приоритетным и возможно более полным. Наряду с социальными факторами (предотвращение затоплений) такие требования и ограничения должны быть учтены в новом постановлении правительства и ПИВР оз. Байкал (Иркутского водохранилища).

В результате выполненных в 2021–2023 гг. комплексных научных исследований [14] были сформированы экологические требования и социально-экономические ограничения, которые использовались нами при разработке предложений по регулированию уровня озера Байкал.

## 1. ПОРЯДОК РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВЕННОГО РЕЖИМА ОЗ. БАЙКАЛ

Регулирование уровня оз. Байкал относится к большой и чрезвычайно сложной, единой природно-технической и социально-экономической системе, включающей озеро с прилегающими территориями, Иркутское водохранилище, Иркутскую ГЭС и ее нижний бьеф. Поэтому при разработке правил регулирования уровня необходимо учитывать различные факторы и ограничения и, прежде всего, экологические требования и социально-экономические ограничения.

В настоящее время можно выделить следующие требования и ограничения, определяющие порядок регулирования уровня оз. Байкал:

1. Природно-обусловленные (полезный приток воды в озеро) – определяющие ограничения на режимы регулирования уровня озера с учетом природно-климатических факторов;

2. Технические – требования по условиям безопасной работы ГЭС (ограничения напора, уровней верхнего и нижнего бьефов, объема водосброса, режимов гидротурбин и др.);

3. Навигационные – определенные условиями судоходства в нижнем бьефе в период навигации (обеспечение необходимых расходов через гидроузел и судоходных глубин);

4. Энергетические – связанные с энергетической эффективностью функционирования ГЭС и каскада в целом в составе энергосистемы Сибири (обеспечение требуемой мощности и выработки электроэнергии);

5. Экологические – ограничения уровня режима оз. Байкал по условиям выполнения экологических требований;

6. Социально-экономические – связанные с затоплением в прибрежной полосе озера, на Иркутском водохранилище и в нижнем бьефе ГЭС при высокой водности на озере и повышенных расходах Иркутской ГЭС, а также нормального функционирования водозаборов при низкой водности, ледовыми ограничениями в зимний период в нижнем бьефе (предотвращение заторов и зажоров).

Регулирование режимов Иркутской ГЭС и уровня оз. Байкал в рамках действующих ПИВР ориентировано, главным образом, на эффективное управление Ангарского каскада ГЭС с приоритетом энергетических требований. Современные же требования должны учитывать особые условия наполнения и сброски озера с приоритетом экологических и социально-экономических факторов.

**Экологические требования.** На основе результатов исследования реакции основных компонентов экосистемы оз. Байкал (зоопланктон, зообентос, рыбы, земноводные, пресмыкающиеся, водоплавающие и околоводные птицы, млекопитающие) на изменение уровня режима, сформированы следующие экологические требования при регулировании уровня оз. Байкал [14]:

1. Минимальные значения уровня оз. Байкал должны достигаться в третьей декаде апреля; оптимальный уровень на этот момент должен находиться в диапазоне 455.8–456.0 м, неблагоприятным является уровень ниже 455.7 м и выше 456.2 м;

2. Оптимальный уровень 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;

3. Оптимальный прирост уровня в период с третьей декады апреля по конец июня составляет 0.3–0.6 м; оптимальный прирост уровня за декаду с середины (конца) апреля по конец июня должен составлять от 0.05 до 0.1 м; обязательным (критическим) является условие неснижения уровня озера в названный период;

4. 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;

5. Оптимальный прирост уровня с третьей декады апреля по третью декаду сентября должен составлять 0.8–1.0 м; неблагоприятным должен считаться прирост уровня ниже 0.7 м и выше 1.2 м;

6. Максимальные значения уровня озера должны достигаться в третьей декаде сентября; оптимальный уровень озера на конец третьей декады сентября (максимум наполнения) должен находиться в пределах 457.0–457.1 м, неблагоприятным является уровень выше 457.1 м.

**Социально-экономические ограничения.** Основным социально-экономическим фактором при регулировании уровня режима является предотвращение затоплений и связанных с ним ущербов. Формирование стоимостных оценок ущербов

и потерь от затоплений при изменении уровня оз. Байкал является дискуссионным. Основная причина состоит в том, что в настоящее время в Российской Федерации отсутствуют специализированные методики оценки ущерба от негативного воздействия вод, утвержденные в установленном порядке. Для получения сравнительных сопоставимых результатов (сравнение стоимостной оценки при различных уровнях затопления как в верхнем, так и в нижнем бьефе, а также для формирования режимов регулирования уровня воды в оз. Байкал, минимизирующих ущербы объектам экономики и инфраструктуры прибрежных территорий Байкала и нижнего бьефа) использовалась методика ВИЭМС [15, 16].

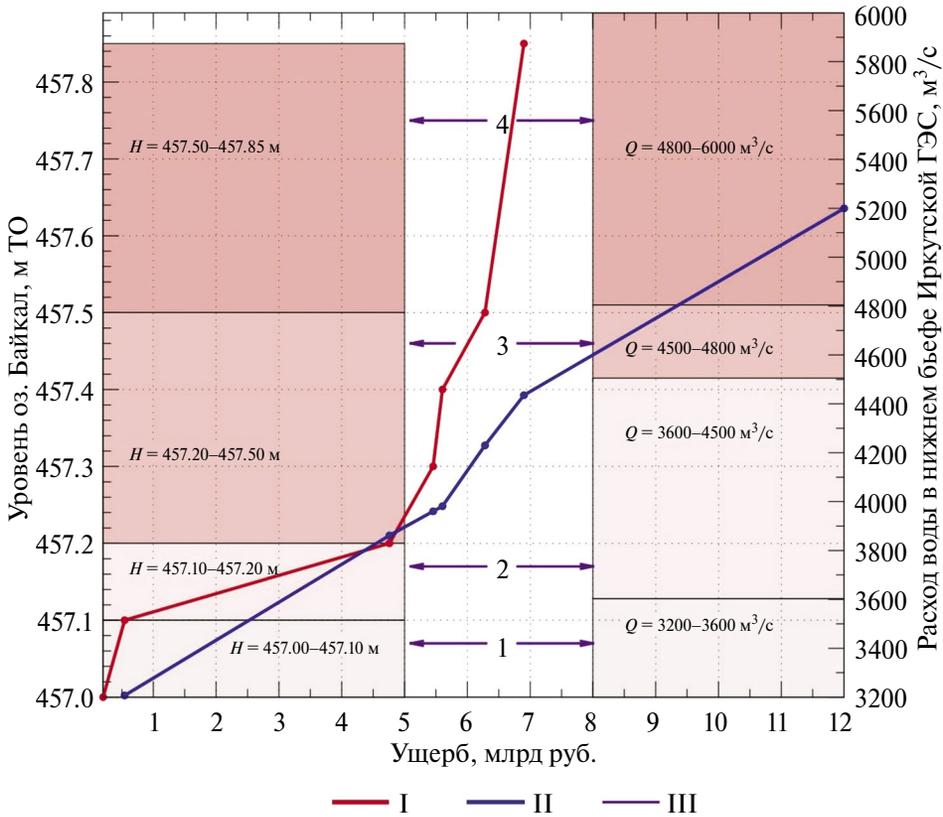
В соответствии с имеющимися оценками [14, 17] экономические ущербы в верхнем бьефе (побережье оз. Байкал) начинаются при повышении уровня выше отметки 457.10 м ТО (социально-экономический ущерб в верхнем бьефе с учетом потерь природных ресурсов при данной отметке составит около 0.5 млрд руб.). Ущерб в нижнем бьефе Иркутской ГЭС происходит при расходах выше 2800 м<sup>3</sup>/с (3200 м<sup>3</sup>/с с учетом р. Иркут). При этих расходах социально-экономический ущерб в нижнем бьефе составит 0.3 млрд руб. Минимальный расход в нижнем бьефе для всех условий водности принимается в объеме 1300(1250) м<sup>3</sup>/с по условиям гарантированного обеспечения нормальной работы водозаборов.

При повышении уровня выше отметки 457.20 м ТО происходит значительное увеличение ущербов в верхнем бьефе (оз. Байкал). Потенциальный социально-экономический ущерб при данной отметке составит 4.8–5.6 млрд руб., при отметке 457.50 м ТО – 6.3 млрд руб., при отметке 457.85 м ТО – 6.9 млрд руб. В нижнем бьефе при повышении расходов с 3200 до 4400–4500 м<sup>3</sup>/с ущерб составит 5.7–5.9 млрд руб., при расходах 4800–6000 м<sup>3</sup>/с – от 6.7 до 27.2 млрд руб.

По результатам оценки границ затоплений, социально-экономических ущербов и стоимостной оценки потерь природных ресурсов в верхнем и нижнем бьефах были определены показатели критических уровней оз. Байкал и расходов Иркутской ГЭС.

На рис. 1 даны зависимости ущербов в верхнем и нижнем бьефах от уровня оз. Байкал и расходов Иркутской ГЭС. В связи с нелинейными зависимостями кривых ущербов одинаковым цветом выделены области (зоны) сопоставимых ущербов для разных уровней оз. Байкал и расходов Иркутской ГЭС.

Расчеты режимов для разных условий водности по фактическому 123-летнему ряду полезного притока показали, что обеспечить поддержание уровня оз. Байкал в диапазоне 456.00–457.00 м ТО, в соответствии с действующим Постановлением № 234, невозможно (возможно только в условиях средней и близкой к ней водности). Для верхнего бьефа (оз. Байкал) критическим уровнем является отметка 457.20 м ТО, для нижнего бьефа к критическим расходам относятся расходы 4000–4500 м<sup>3</sup>/с. Данные уровни и расходы находятся в зоне сопоставимых ущербов в верхнем и нижнем бьефах. При повышении уровня оз. Байкал от отметки 457.20 м до отметки 457.50 м ТО (обеспеченность менее 1%) расход в нижнем бьефе может быть постепенно увеличен до 4800 м<sup>3</sup>/с (включая расход р. Иркут) в зависимости от прогнозного притока предстоящего месяца, достигнутого уровня и пропускной способности истока р. Ангара. При повышении уровня оз. Байкал выше отметки 457.50 м ТО (обеспеченность менее 0.5%) расход в нижнем бьефе может быть постепенно увеличен до 4800–6000 м<sup>3</sup>/с (включая расход р. Иркут). Снижение уровня озера в маловодные годы ниже отметки 455.80 м ТО вызывает негативные последствия для экосистемы.



**Рис. 1.** Зависимость ущербов в верхнем и нижнем бьефах от уровня оз. Байкал и расхода Иркутской ГЭС (зависимости ущербов: I – от повышенного уровня; II – от повышенного расхода, III – сопоставление ущербов при повышении уровня и расхода).

Таким образом, основным положением при разработке правил (порядка) регулирования является поддержание максимально возможного количества лет диапазона регулирования уровня оз. Байкал в интервале 455.80–457.20 м ТО всегда, когда это позволяют складывающиеся гидрологические условия.

## 2. ДИСПЕТЧЕРСКИЙ ГРАФИК ИРКУТСКОЙ ГЭС

Основным инструментом управления водными ресурсами водохранилищ и ключевым элементом ПИВР является диспетчерский график (ДГ), который позволяет назначать величины сбросных расходов ГЭС в зависимости от текущего уровня водохранилища, имеющих прогнозных оценок ожидаемого притока воды и требований водопользователей. Такой ДГ был разработан для Иркутской ГЭС в составе ПИВР 1988 г. (рис. 2). В данном графике очевиден приоритет энергетики. Ключевым показателем является обеспечение мощности Иркутской ГЭС. Экологические, экономические требования и ограничения отсутствуют.

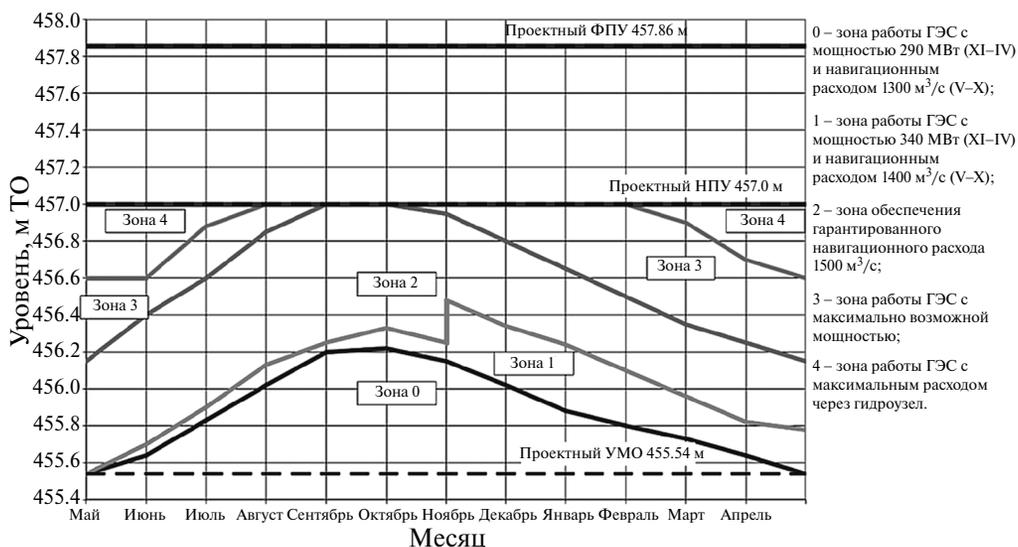


Рис. 2. Диспетчерский график Иркутской ГЭС в ПИВР 1988 г.

ДГ позволяет Регулятору (в настоящее время для рассматриваемого бассейна им является Енисейское бассейновое водное управление Росводресурсов) определять требования к режимам работы ГЭС (расходам) в зависимости от требований водопользователей, временного периода (текущего месяца), уровня воды в озере Байкал и зоны ДГ. В основе использования ДГ при управлении расходами как в российской, так и в зарубежной практике лежит принцип отсутствия надежных долгосрочных прогнозов притока воды в водохранилище на период от 1 до 12 и более месяцев, особенно при условиях их образования дождевыми осадками (современный уровень российской и зарубежной гидрологической науки такой возможности не имеет).

С учетом современных условий существующий порядок регулирования уровня оз. Байкал нуждается в обновлении, включая разработку новых ПИВР и ДГ Иркутской ГЭС. В качестве предложений к порядку регулирования и построению ДГ, на основе результатов выполненных исследований [14], предлагаются следующие положения:

1. Поддержание максимально возможного количества лет диапазона регулирования уровня оз. Байкал в интервале 455.90–457.00 м ТО в условиях средней и близкой к ней водности, диапазона 455.80–457.20 м ТО в условиях пониженной и повышенной водности, не превышение расхода в нижнем бьефе Иркутской ГЭС выше 4000 м³/с (4500 м³/с, включая расход р. Иркут), всегда, когда это позволяют складывающиеся гидрологические условия. Повышение отметки выше 457.20 м ТО допускается только при обеспеченности полезного притока менее 2%. В отдельные годы низкой водности (обеспеченностью 96% и выше) допускается снижение нижней отметки до 455.80 м ТО и ниже (до минимально допустимой отметки 455.54 м ТО — уровня мертвого объема в условиях экстремально маловодья обеспеченностью 99.99%) при минимально допустимых расходах 1300 м³/с. В условиях экстремально

высокой (катастрофической) водности обеспеченностью ниже 2% допускается превышение верхней отметки от 457.20 до 457.50 м ТО при расходах до 4300 м<sup>3</sup>/с (4800 м<sup>3</sup>/с, включая расход р. Иркут). При пропуске катастрофических паводков обеспеченностью 0.01% (с гарантийной поправкой) допускается повышение уровня до отметки 457.85 м ТО и возможных расходах в нижнем бьефе выше 4500–4800 м<sup>3</sup>/с (до 5400 м<sup>3</sup>/с и 6000 м<sup>3</sup>/с, включая расход р. Иркут).

2. Целевым сроком завершения периода ежегодной сработки по экологическим требованиям принимается 3-я декада апреля. Целевым сроком завершения периода наполнения – 3-я декада сентября (при высоком притоке в сентябре – 1-я декада октября), если это позволяют складывающиеся гидрологические условия.

3. При назначении расходов на Иркутской ГЭС учитываются данные по прогнозу полезного притока на предстоящий период, а также суммарный (интегральный) объем притока и уровень на текущий момент времени, в зависимости от которых меняются (уточняются) параметры зон/подзон диспетчерского графика (изменяются диапазоны расходов).

4. В связи с тем, что обеспечить поддержание уровня в диапазоне 455.80–457.20 м ТО для всех гидрологических условий невозможно, а превышение верхней границы регулирования имеет значительно большие социально-экономические и экологические ущербы относительно нижней границы, предлагается снизить уровень принудительной предполоводной сработки (УПС) с принятой в действующих ПИВР 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.

5. При назначении повышенных расходов на Иркутской ГЭС в условиях высокой водности учитывается ограничение на максимально допустимый суммарный расход в нижнем бьефе с учетом границ затоплений и социально-экономических ущербов в верхнем и нижнем бьефах.

Разработанный с учетом названных положений ДГ представлен на рис. 3.

ДГ определяет режимы регулирования озера для всех возможных условий водности с диапазоном обеспеченности от 0.01 до 99.99% и состоит из 5 зон. Каждая из зон имеет свои границы регулирования уровня оз. Байкал в рамках допустимых диапазонов расходов Иркутской ГЭС (ИГЭС). Часть зон разделена на подзоны с учетом различных периодов и ограничений.

Зона 1 – зона минимально допустимых расходов ИГЭС 1300/1250 м<sup>3</sup>/с по требованию обеспечения нормальной работы водозаборов в нижнем бьефе. Снижение уровня воды в озере ниже отметки 455.80 м ТО возможно при наступлении экстремально низкой водности или длительного (многолетнего) маловодного периода.

Зона 2 включает нормальные условия регулирования режимов озера с расходами ИГЭС от 1300 м<sup>3</sup>/с до максимального расхода через турбины – до 3000 м<sup>3</sup>/с. Зона разделена на 8 подзон для снижения рисков выхода в зоны неблагоприятных условий регулирования в летний и зимний периоды. Также она содержит специальную подзону 2.1 с приоритетным выполнением экологических ограничений по уровневому режимам.

Зона 3 (подзоны 3.1 и 3.2) позволяет не допускать возможные превышения критической отметки 457.20 м ТО к окончанию периода наполнения водохранилища (озера Байкал). В случае прогноза экстремально высокой водности в третьем

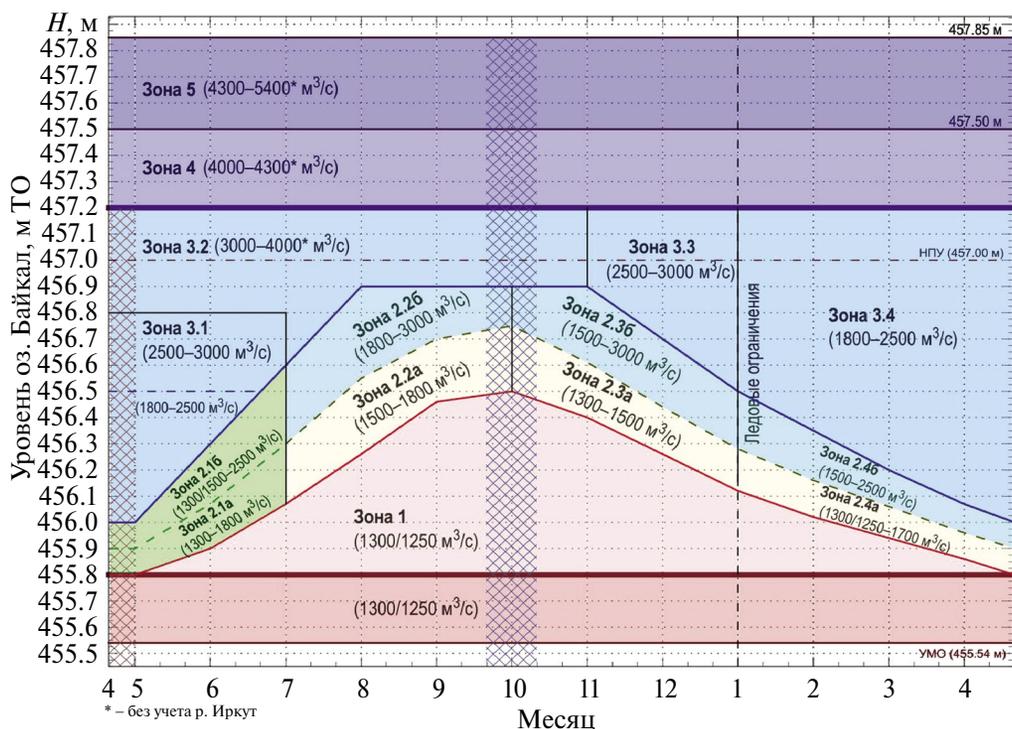


Рис. 3. Разработанный диспетчерский график Иркутской ГЭС.

квартале, позволяет обеспечивать заблаговременные (уже в июле) принудительные повышенные расходы ИГЭС в летний период (до  $4000 \text{ м}^3/\text{с}$ ), не ожидая достижения НПУ, как это предусмотрено действующими ПИВР. В зимний период подзоны 3.3 и 3.4 позволяют обеспечивать повышенные расходы (до  $2500\text{--}3000 \text{ м}^3/\text{с}$ ) для достижения к окончанию периода сработки плановых целевых отметок УПС ( $456.00\text{--}455.80 \text{ м ТО}$ ).

Зона 4 – превышения уровня  $457.20 \text{ м ТО}$  с максимально возможными расходами ИГЭС  $4000\text{--}4300 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $4500\text{--}4800 \text{ м}^3/\text{с}$  в нижнем бьефе с учетом расхода р. Иркут).

Зона 5 – превышения уровня  $457.50 \text{ м ТО}$  при экстремальной (катастрофически высокой) водности (обеспеченностью менее  $1\%$ ) с ведением особых режимов пропуска паводков и приоритетом требований обеспечения безопасности ГТС при максимальных расходах через ИГЭС  $4300\text{--}5400 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $4800\text{--}6000 \text{ м}^3/\text{с}$  в нижнем бьефе с учетом расхода р. Иркут).

Для всех назначаемых режимов ИГЭС (особенно верхних границ) необходимо учитывать ограничения на естественную пропускную способность истока р. Ангара, технические ограничения по допустимому уровню воды у плотины ( $454.00\text{--}454.50 \text{ м ТО}$ ), напору ( $26\text{--}32 \text{ м}$ ), расходу р. Иркут и других притоков, а также колебания уровней Иркутского водохранилища при изменении расходов ГЭС.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ УРОВЕННЫХ РЕЖИМОВ ОЗ. БАЙКАЛ И РАСХОДОВ ИРКУТСКОЙ ГЭС

С использованием разработанного диспетчерского графика, для проверки возможности его применения в различных условиях водности, выполнено моделирование режимов Иркутской ГЭС (ИГЭС). Моделирование проводилось по данным изменения полезного притока в оз. Байкал за весь 123-летний период непрерывных наблюдений (с 1899 по 2021 гг.) в декадном разрешении для каждого водохозяйственного года (с мая по апрель) для разных вариантов уровня предполоводной сработки (УПС) 456.00; 455.90; 455.80 м ТО.

При моделировании уровня режимов оз. Байкал учитывались ограничения на режимы ИГЭС, включая экологические, социально-экономические, водохозяйственные и технические. По результатам моделирования получены расчетные показатели режимов ИГЭС (уровни озера, расходы через ИГЭС и др.), диапазоны их изменений по внутригодовым интервалам времени для всего 123-летнего периода наблюдений при различных условиях водности. Расчеты выполнялись как для нормальных эксплуатационных условий обеспеченностью притока от 1 до 99%, так и экстремальных – обеспеченностью ниже 1% и выше 99% (до 0.01% с гарантийной поправкой – г.п. и до 99.99%).

Для моделирования режимов использовалась разработанная в ИСЭМ СО РАН система моделей, объединяющая различные классы моделей (водохозяйственные, гидрологические, гидравлические и др.) в единый программный комплекс [18–20]. Он позволяет исследовать вопросы управления режимами ГЭС в составе водохозяйственной и энергетической систем с учетом различных ограничений, а также формировать предложения по среднесрочным и долгосрочным режимам, повышению устойчивости, надежности и эффективности работы систем при планировании и управлении. Расходы ИГЭС назначались по каждому интервалу времени (декаде) в зависимости от нахождения уровня оз. Байкал в зоне/подзоне диспетчерского графика.

При моделировании режимов основное внимание уделено многоводным и маловодным годам (периодам) с оценками возможного превышения уровня озера выше отметок 457.00–457.20 м ТО (многоводные годы) и понижения уровня ниже отметок 455,90–455,80 м ТО (маловодные годы). При этом рассматриваются длительности и вероятности (обеспеченности) превышения отметок 457.00 и 457.20 м ТО при высокой водности, а также снижения нижней границы регулирования ниже отметки 455.90 м ТО при низкой водности.

**Особенности и порядок пропуска паводков в многоводные годы.** В табл. 1 и 2 приведены расчетные максимальные уровни озера и расходы ИГЭС при прохождении паводков обеспеченностью 1–30% (соответствуют понятию многоводного года) по фактическим годам при различных начальных уровнях (УПС).

Пропуск максимальных расходов ИГЭС при экстремальной (катастрофической) водности. Обеспеченности ниже 1% (0.5%–0.01% с гарантийной поправкой – г.п.) относятся к экстремальным (катастрофически высоким) притокам. Моделирование экстремальных паводков расчетной обеспеченностью от 1% до 0.1% выполнено на основе гидрографа 1973 г. Для проверки безопасности эксплуатации гидротехнических сооружений (ГТС) при обеспеченности 0.01% и 0.01% + г.п. расчеты выполнялись на основе гидрографа 1932 г. Максимальные уровни оз. Байкал при прохождении экстремальных (катастрофических) паводков обеспеченностью 0.5–0.01% + г.п. с разными ограничениями предельно допустимых расходов ИГЭС представлены в табл. 3.

**Таблица 1.** Максимальные уровни оз. Байкал (м ТО) при прохождении паводков обеспеченностью 1–30% при различных начальных уровнях (УПС)

Начальный уровень, м ТО	Обеспеченность, %					
	1	3	5	10	20	30
456.00	457.40	457.20	457.15	457.03	456.94	456.87
<b>455.90</b>	<b>457.38</b>	<b>457.18</b>	<b>457.14</b>	<b>457.00</b>	<b>456.90</b>	<b>456.84</b>
455.80	457.35	457.15	457.11	456.98	456.88	456.82

**Таблица 2.** Максимальные расходы ИГЭС (м<sup>3</sup>/с) при прохождении паводков обеспеченностью 1–30% при различных начальных уровнях (УПС)

Начальный уровень, м ТО	Обеспеченность, %					
	1	3	5	10	20	30
456.00	4200	4200	3850	3460	3000	2900
<b>455.90</b>	<b>4200</b>	<b>4000</b>	<b>3750</b>	<b>3400</b>	<b>3000</b>	<b>2800</b>
455.80	4200	4000	3650	3390	2960	2800

**Таблица 3.** Максимальные уровни оз. Байкал (м ТО) при прохождении катастрофических паводков с разными начальными уровнями и предельными расходами ИГЭС

Предельный расход в нижнем бьефе ИГЭС*, м <sup>3</sup> /с	Обеспеченность, %				
	0.01 + г.п.	0.01	0.1	0.3	0.5
$H_0 = 456.00$ м ТО					
4500	458.08	<b>457.85</b>	457.72	457.62	457.55
6000	<b>457.85</b>	457.75	457.65	457.57	457.52
$H_0 = 455.90$ м ТО					
4500	458.04	457.83	457.70	457.61	457.53
6000	457.82	457.73	457.63	457.56	457.50
$H_0 = 455.80$ м ТО					
4500	457.98	457.78	457.66	457.57	457.50
6000	457.78	457.70	457.60	457.53	457.47

\* – с учетом р. Иркут.

В зависимости от начального уровня (УПС) и принятых предельно допустимых расходов ИГЭС максимальная отметка уровня оз. Байкал при прохождении паводков экстремально высокой водности обеспеченностью 0.5–0.01% составляет 457.47–457.85 м ТО (457.78–458.08 м ТО для обеспеченности 0.01% + г.п.) при различных ограничениях расходов ИГЭС 4300–5400 м<sup>3</sup>/с (4500–6000 м<sup>3</sup>/с с учетом

р. Иркут). При максимальном расходе  $6000 \text{ м}^3/\text{с}$  в нижнем бьефе продолжительность превышения НПУ, в зависимости от достигнутой отметки, может составлять до 5–6 месяцев.

Из табл. 3 видно, что максимальная отметка регулирования уровня оз. Байкал  $457.85 \text{ м ТО}$  может быть выполнена при учете прогноза притока как при обеспеченности  $0.01\% + \text{г.п.}$  с ограничением на максимальный расход в нижнем бьефе  $6000 \text{ м}^3/\text{с}$  (с учетом р. Иркут), так и при обеспеченности  $0.01\%$  с максимальным расходом в нижнем бьефе  $4500 \text{ м}^3/\text{с}$ . При ограничении расхода в нижнем бьефе  $4500 \text{ м}^3/\text{с}$  (с учетом р. Иркут) возможно повышение уровня оз. Байкал до отметки  $458.08 \text{ м ТО}$  (исторический максимум уровня оз. Байкал до отметки  $458.08 \text{ м ТО}$  зафиксирован в 1988 г. при максимальном среднемесячном расходе  $3030 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

**Особенности и порядок ведения режимов в маловодные периоды.** Для периодов низкой и катастрофически низкой водности рассматривается приток  $95\text{--}99.99\%$  обеспеченности (табл. 4). В маловодные годы и периоды основной задачей регулирования режимов является поддержание уровней, обеспечивающих требования водопользователей с учетом минимально допустимых расходов ИГЭС  $1300(1250) \text{ м}^3/\text{с}$ , не превышения нижних проектных отметок (УМО), а также экологических и социально-экономических факторов (поддержание нормальной работы водозаборов).

В годы катастрофически низких притоков возможно снижение уровня оз. Байкал до уровня мертвого объема – УМО ( $455.54 \text{ м ТО}$ ) при расчетном начальном уровне  $455.90 \text{ м ТО}$ . Снижение уровня ниже УМО возможно при начальном уровне на 1 мая ниже  $455.90 \text{ м ТО}$ .

**Амплитуда колебаний уровня оз. Байкал.** Амплитуда (диапазон) внутригодового колебания уровня оз. Байкал как в естественных, так и в зарегулированных условиях значительно отличается в разные по водности (полезному притоку) годы. В годы высокой водности амплитуда колебания уровня максимальная, в годы низкой водности – минимальная.

В результате моделирования режимов регулирования по 123-летнему ряду наблюдений по предложенному диспетчерскому графику определены обеспеченности внутригодовых амплитуд колебания уровня оз. Байкал при различных начальных уровнях. Максимальная внутригодовая амплитуда составляет  $1.35\text{--}1.55 \text{ м}$ , минимальная –  $0.29\text{--}0.40 \text{ м}$  для уровней  $456.00$  и  $455.80 \text{ м ТО}$  соответственно, включая длительные маловодные периоды. В табл. 5 представлены обеспеченности внутригодовых амплитуд колебаний уровня оз. Байкал в зависимости от начальных уровней и условий водности.

В соответствии с полученными результатами расчетов, оптимальным целевым показателем УПС является отметка  $455.90 \text{ м ТО}$ . Данная отметка, как и амплитуда

**Таблица 4.** Минимальные уровни оз. Байкал для притока разной обеспеченности при различных начальных уровнях (целевой УПС  $455.90 \text{ м}$ )

Начальный уровень, м ТО	Обеспеченность, %				
	95	97	99	99.9	99.99
456.00	455.90	455.87	455.77	455.68	455.63
<b>455.90</b>	<b>455.85</b>	<b>455.80</b>	<b>455.70</b>	<b>455.60</b>	<b>455.54</b>
455.80	455.77	455.72	455.60	455.50	455.44

**Таблица 5.** Внутригодовые амплитуды колебания уровня оз. Байкал и их обеспеченности (%) при различных начальных уровнях (УПС)

Амплитуда, м	Нач. уровень, м ТО	456.00	<b>455.90</b>	455.80
	1.40		0.8	<b>1.2</b>
1.30		1.3	<b>2.2</b>	3.6
1.20		3	<b>4</b>	7
1.10		6	<b>9</b>	15
1.00		11	<b>19</b>	30
0.90		24	<b>38</b>	53
0.85		35	<b>50</b>	64
0.80		47	<b>63</b>	73

внутригодовых колебаний уровня, отвечает требованиям водопользователей и водопотребителей при регулировании уровня и соответствует средней амплитуде колебаний уровня в естественных условиях.

**Выполнение энергетических требований.** В соответствии с действующими ПИВР основным требованием энергетики к режимам Иркутской ГЭС (совместно с другими станциями Ангаро-Енисейского каскада) является обеспечение гарантированной среднемесячной зимней мощности ГЭС Ангаро-Енисейского каскада. За гарантированную мощность каскада ГЭС принимается суммарная среднемесячная зимняя мощность ГЭС 95% обеспеченности. В настоящее время показатели гарантированной среднемесячной зимней мощности ГЭС Ангаро-Енисейского каскада законодательно не установлены. В рамках предложенного подхода и современного законодательства режимы ИГЭС определяются отдельно по собственному диспетчерскому графику с учетом приоритетного выполнения экологических и социально-экономических требований.

В табл. 6 показаны результаты моделирования сценариев режимов ИГЭС по непрерывным многолетним рядам в рамках разработанного диспетчерского графика.

**Таблица 6.** Энергетические показатели режимов Иркутской ГЭС при различных начальных уровнях (УПС)

Начальный уровень, м ТО	Мощность, МВт		Выработка электроэнергии, млн кВт · ч / год	
	средняя многолетняя	средняя зимняя	средняя многолетняя	средняя зимняя
456.15*	487	435	4270	1890
455.90	491	486	4300	2109

\* – в рамках действующих ПИВР.

При понижении УПС и использовании нового диспетчерского графика сохраняются основные энергетические показатели ИГЭС по средним многолетним значениям мощности и выработки электроэнергии. Более того, происходит их существенный прирост (перераспределение) в наиболее востребованный зимний период.

**Границы регулирования уровня оз. Байкал.** В результате расчетов были получены оптимальные и допустимые диапазоны изменения уровня оз. Байкал в зависимости от обеспеченности притока (рис. 4, табл. 7).

Оптимальный диапазон регулирования уровня озера составляет 1.1 м (455.90–457.00 м ТО) в условиях средней водности (обеспеченности нижней и верхней отметок 90 и 11% соответственно). В периоды повышенной и пониженной водности

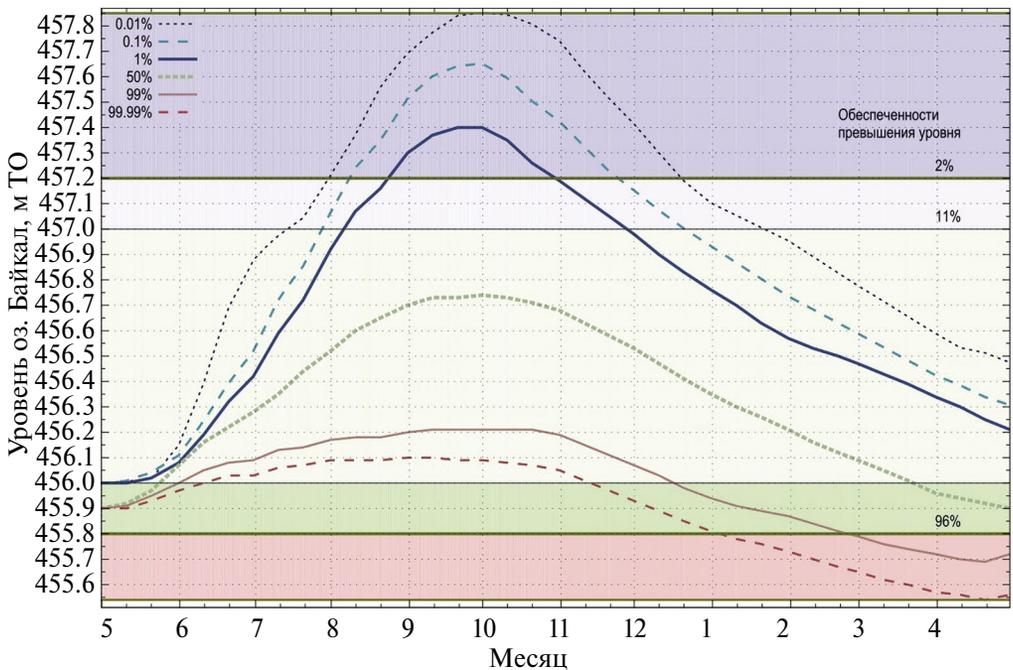


Рис. 4. Границы регулирования уровня оз. Байкал в зависимости от обеспеченности притока.

Таблица 7. Обеспеченности полезного притока и диапазоны регулирования уровня оз. Байкал

Обеспеченность, %	Диапазон уровней, м ТО
90–11	455.90–457.00
95–5	455.85–457.15
<b>96–2</b>	<b>455.80–457.20</b>
99–1	455.70–457.40
99.9–0.1	455.60–457.65
<b>99.99–0.01</b>	<b>455.54–457.85</b>

допускается диапазон 1.4 м (455.80–457.20 м ТО). Отклонение от данного диапазона и предельных отметок возможно только в годы экстремальной водности (при обеспеченности менее 2% в многоводные годы и более 96% в маловодные годы).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предусмотренный действующим законодательством метровый диапазон регулирования уровня оз. Байкал (456–457 м ТО) может быть выполнен только в годы средней и близкой к ней водности. В многоводные и маловодные годы поддержание данных предельных отметок уровня невозможно.

Оценки потенциальных ущербов в верхнем и нижнем бьефах Иркутской ГЭС позволяют принять в качестве критических (максимальных и минимальных) по социально-экономическим ограничениям и экологическим требованиям отметки 457.20 и 455.80 м ТО и расход в нижнем бьефе 4500 м<sup>3</sup>/с (с учетом р. Иркут). Данные уровни и расход достигаются только в годы экстремально высокой водности с расчетной вероятностью их превышения менее 2%.

Разработан порядок регулирования уровенных режимов оз. Байкал с учетом экологических требований и социально-экономических ограничений. Основным положением предлагаемого порядка регулирования является поддержание максимально возможного количества лет диапазона регулирования уровня оз. Байкал в интервале 455.90–457.00 в годы средней и близкой к ней водности и в интервале 455.80–457.20 м ТО – в годы повышенной и пониженной водности при не превышении расходов через Иркутскую ГЭС выше 4500 м<sup>3</sup>/с (включая расход р. Иркут) всегда, когда это позволяют складывающиеся гидрологические условия.

В связи с тем, что обеспечение поддержания уровня в диапазоне 455.80–457.20 м ТО для всех гидрологических условий по фактическому 123-летнему непрерывному ряду наблюдений 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 ПИВР 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 по экологическим требованиям.

Максимальный уровень оз. Байкал при притоке 1% обеспеченности составит 457.35–457.40 м ТО. Более высокие уровни (457.40–457.50 м ТО и выше – до 457.85 м ТО) возможны только при экстремальных (катастрофических) паводках обеспеченностью менее 1% (0.3–0.01%). В маловодные годы (периоды) возможно снижение уровня до 455.80–455.54 м ТО.

Минимальный расход в нижнем бьефе Иркутской ГЭС для всех условий водности должен быть не ниже 1300(1250) м<sup>3</sup>/с по условиям обеспечения нормальной работы водозаборов.

Амплитуда (диапазон) внутригодового колебания уровня оз. Байкал значительно отличается в разные по водности (полезному притоку) годы. Максимальная внутригодовая амплитуда составляет 1.35–1.55 м, минимальная – 0.29–0.40 м. В условиях средней водности при целевом показателе УПС 455.90 м ТО внутригодовая амплитуда колебаний составляет 0.85 м, что соответствует среднегодовой внутригодовой

амплитуде в естественных условиях (до строительства Иркутской ГЭС). В годы повышенной и пониженной водности амплитуда колебаний уровня не превышает 1.4 м. При катастрофических условиях водности обеспеченностью ниже 1% и выше 99% (от 99.99% до 0.01% или 1 раз в 10000 лет) возможно увеличение внутригодовой амплитуды колебания уровня оз. Байкал до 1.8–1.9 м, межгодовой – до 2.31 м (диапазон 455.54–457.85 м ТО) при максимальных расходах в нижнем бьефе Иркутской ГЭС до 6000 м<sup>3</sup>/с.

Внесение соответствующих изменений в законодательство (постановление правительства РФ и ПИВР) позволит снизить экологические и социально-экономические риски при регулировании уровня оз. Байкал и повысить эффективность управления водными ресурсами в бассейнах оз. Байкал и Ангары.

Исследование выполнено в ИСЭМ СО РАН по гос. заданию № 1021102217214-4-15-13 в рамках НИР по теме “Анализ и моделирование уровня озера Байкал на основе различных сценариев полезного притока в озеро, расходов Иркутской ГЭС с учетом влияния на экосистему, социально-экономических рисков в нижнем и верхнем бьефах, вероятных климатических изменений” (FWEU-2021-0008).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон РФ “Об охране озера Байкал” от 01 мая 1999 г. № 94-ФЗ (с изм. 8 августа 2024 г.) [Электронный ресурс] – URL: <https://base.garant.ru/2157025> (дата обращения: 12.12.2024).
2. Постановление Правительства РФ от 26.03.2001 № 234 “О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности” [Электронный ресурс] – URL: <https://base.garant.ru/2157975> (дата обращения: 12.12.2024).
3. Основные правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского) – М: Министерство мелиорации и водного хозяйства РСФСР. 1988. 64 с.
4. Иркутская гидроэлектростанция на р. Ангаре: Технический проект – Изд-во Московского отделения Института “Гидроэнергопроект”. 1951. 220 с.
5. *Афанасьев А.Н.* Водные ресурсы и водный баланс бассейна оз. Байкал – Новосибирск: Наука. 1976. 238 с.
6. *Савельев В.А.* Современные проблемы и будущее гидроэнергетики Сибири – Новосибирск: Наука. 2000. 200 с.
7. *Синюкович В.Н., Чернышов М.С.* Современные проблемы регулирования уровня озера Байкал // Известия ИГУ, серия “Науки о Земле”. 2018, т. 4. С. 99–110.
8. *Синюкович В.Н.* Проблемы регулирования уровня озера Байкал в условиях аномальной водности // Вод. хоз-во России. 2016. № 1. С. 42–51.
9. *Бычков И.В., Никитин В.М.* Регулирование уровня озера Байкал: проблемы и возможные решения // География и природные ресурсы. 2015. № 3. С. 5–16.
10. *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. DOI: 10.7868/S0321059617030026.
11. *Никитин В.М., Абасов Н.В., Бычков И.В., Осипчук Е.Н.* Уровненный режим озера Байкал: проблемы и противоречия // География и природные ресурсы. 2019. № 4. С. 74–83. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-4(74-83).

12. *Молотов В.С.* Совершенствование гидравлического режима озера Байкал с учетом экологических требований: Автореферат дисс... канд. техн. наук. – Изд-во Московского университета природообустройства, 1997. 27 с.
13. *Атутов А.А., Пронин Н.М., Тулохонов А.К. и др.* Гидроэнергетика и состояние экосистемы озера Байкал // Отв. ред. А.К. Тулохонов. – Новосибирск, Изд-во СО РАН. 1999. 280 с.
14. Отчет о научно-исследовательской работе 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 уровней озера и сбросов Иркутской ГЭС”. Сводный итоговый отчет. – Иркутск: ИДСТУ СО РАН, 2023. – 486 с.
15. Методика оценки вероятностного ущерба от вредного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий. – М.: Изд-во Всерос. НИИ экономики минерал. сырья и недропольз., 2006. – 153 с.
16. *Шаликовский А.В., Косарев С.Г., Курганович К.А. и др.* Методология прогноза среднегоголетнего ущерба при экономическом обосновании мероприятий по защите от наводнений // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024, № 4. С. 43–55. DOI: 10.35567/19994508-2024-4-43-55.
17. *Никитин В.М., Осипчук Е.Н., Абасов Н.В. и др.* Риски затопления нижнего бьефа Иркутской ГЭС при регулировании уровня озера Байкал // География и природные ресурсы. 2024, № 4. С. 130–138. DOI: 10.15372/GIPR20240413.
18. *Abasov N.V., Nikitin V.M., Osipchuk E.N.* A System of Models to Study Long-Term Operation of Hydropower Plants in the Angara Cascade // Energy Systems Research. 2019, Vol. 2, No. 2, P. 5–18. DOI: 10.25729/esr.2019.02.0001.
19. *Хмельнов А.Е., Гаченко А.С., Абасов Н.В., Осипчук Е.Н.* Методы и алгоритмы создания моделей рельефа и гидрологического моделирования для оценки влияния колебаний уровня воды на прибрежные объекты и территории // Вычислительные технологии. 2024, Т. 29, № 3. С. 25–37. DOI: 10.25743/ICT.2024.29.3.003.
20. *Gachenko A.S., Hmelnov A.E., Abasov N.V., Osipchuk E.N.* Technology of flood water zones modeling in downstream pool of hydroelectric power station at strong flow through its water abstraction points // CEUR Workshop Proceedings. 2017, Vol. 2033. P. 252–256.

## **Irkutsk HPP: Regulation of Lake Baikal Water Level Within Environmental and Socio-Economic Contexts**

**V. M. Nikitin<sup>1, \*</sup>, E. N. Osipchuk<sup>1</sup>, N. V. Abasov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Melentiev Energy Systems Institute SB RAS, Irkutsk, Russia*

<sup>\*</sup>*e-mail: nikitin1310@mail.ru*

Even after 65 years since Irkutsk hydropower plant (HPP) began operation, the regulation of Lake Baikal water level remains a crucial issue. This matter is important not only for protecting a unique natural object and its ecosystem, but also for considering the interests of adjacent subjects of the Russian Federation, numerous water consumers and water users. This issue has become especially evident in the last decade, with the onset of the extremely low-water period of 2014–2017 and the subsequent high-water period of 2020–2023, which required amendments to the legislative framework for regulating the level of the lake. This situation generated the need to conduct a comprehensive study in 2021–2023,

which made it possible to formulate scientifically grounded and practically implementable principles for regulating the level of Lake Baikal under different water conditions, considering modern environmental, socio-economic, and water management requirements and constraints. The study involved the collaboration among the institutes of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Roshydromet, and Rosrybolovstvo. The paper presents an analysis of the current legislation on the management of water resources of Lake Baikal. The findings reveal that the permissible meter range of lake level regulation, as stipulated by the Decree of the Government of the Russian Federation, can only be achieved in years with average or near-average water content. In high-water and low-water years, maintaining this range and permissible maximum water levels is impossible. This study used model calculations to identify the optimal and permissible (critical) variations in levels and flow rates of the Irkutsk HPP, as well as to establish the regulation ranges for Lake Baikal for varying water conditions. A procedure for regulating the water levels of Lake Baikal is proposed using the developed reservoir operating curve of the Irkutsk HPP. This approach takes into account environmental requirements and socio-economic constraints.

*Keywords:* HPP regimes, water level regimes, water conditions, availability, environmental requirements, socio-economic constraints, operating curve