

УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ ОЗЕРА БАЙКАЛ

УДК 911.3:627.81

DOI: 10.15372/GIPR20220504

В.М. НИКИТИН*, **Н.В. АБАСОВ***, **Е.Н. ОСИПЧУК***, **Т.В. БЕРЕЖНЫХ***, **В.Ю. ГЕОРГИЕВСКИЙ****,
А.В. ИЗМАЙЛОВА**, **Т.Г. МОЛЧАНОВА****, **Т.В. ФУКСОВА****

*Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,
 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Россия,
 nikitin1310@mail.ru, nva@isem.irk.ru, eugene.os@mail.ru, berejn@isem.irk.ru

**Государственный гидрологический институт,
 199053, Санкт-Петербург, 2-я линия В.О., 23, Россия,
 georg@ggi.nw.ru, ianna64@mail.ru, molch@ggi.nw.ru, fuksova.spb@mail.ru

ВОДНЫЙ БАЛАНС ОЗЕРА БАЙКАЛ ЗА ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ ИРКУТСКОЙ ГЭС

Приводятся результаты исследования изменений составляющих водного баланса озера Байкал за период эксплуатации Иркутской ГЭС (1960–2020 гг.), выполненных на основе анализа их многолетней изменчивости, включая поверхностный приток, расход через Иркутскую ГЭС, осадки на поверхность озера, испарение с его зеркала в месячном, квартальном и годовом разрешении. Поверхностный приток является основной составляющей приходной части водного баланса и определяется по данным наблюдений на 32 постах на впадающих в озеро реках и путем расчета с территории, не освещенной гидрометрическими наблюдениями. Отмечается, что доля наиболее крупных рек (Селенга, Верхняя Ангара, Баргузин) составляет около 2/3 суммарного поверхностного (речного) притока. За последние десятилетия доля притока по р. Селенга уменьшилась по сравнению с предшествующим периодом на 20 %. Анализ многолетних изменений речного и полезного притока показал наличие двух маловодных периодов 1976–1981 и 1996–2017 гг., а также двух продолжительных многоводных периодов 1960–1975, 1982–1995 гг. и увеличение притока с 2018 г. Проведено сопоставление составляющих водного баланса за два одинаковых по длительности периода 1971–1995 гг. и 1996–2020 гг. Отмечается нарушение однородности для расходов Иркутской ГЭС. Выявлено повышение среднегодовой температуры воздуха на 1–2 °С и уменьшение осадков практически по всему бассейну озера. Годовые значения осадков после 1996 г. уменьшились по сравнению с предыдущим периодом на всей территории бассейна озера на 30–60 мм. На примере двух экстремально маловодных периодов (2014–2017 и 1976–1981 гг.) рассмотрена роль Иркутской ГЭС в регулировании уровня режима озера.

Ключевые слова: водный баланс, поверхностный приток, полезный приток, осадки, испарение, расход через ГЭС, климатические изменения.

V.M. NIKITIN*, **N.V. ABASOV***, **E.N. OSIPCHUK***, **T.V. BEREZHNYKH***, **V.Yu. GEORGIEVSKY****,
A.V. IZMAILOVA**, **T.G. MOLCHANOVA****, **T.V. FUKSOVA****

*Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
 664033, Irkutsk, ul. Lermontova, 130, Russia,
 nikitin1310@mail.ru, nva@isem.irk.ru, eugene.os@mail.ru, berejn@isem.irk.ru

**State Hydrological Institute, St. Petersburg, Vtoraya liniya V.O., 23, Russia,
 georg@ggi.nw.ru, ianna64@mail.ru, molch@ggi.nw.ru, fuksova.spb@mail.ru

WATER BALANCE OF LAKE BAIKAL FOR THE OPERATION PERIOD OF THE IRKUTSK HPP

Presented are the results from investigating changes in the water balance components of Lake Baikal for the operation period of the Irkutsk HPP (1960–2020) on the basis of analyzing the long-term dynamics, including the surface inflow, discharge through the Irkutsk HPP, precipitation on the lake surface, and evaporation from the lake surface in monthly, quarterly and

yearly resolutions. The surface inflow constitutes the main component of the inflow portion of the water balance and is determined from observational data obtained at 32 posts on the rivers flowing into the lake and from calculated values of the inflow from the part of the catchment which is not covered by hydrometric observations. It is pointed out that the share of the large rivers (Selenga, Upper Angara, and Barguzin) accounts for about two-thirds of the total surface (river) inflow. Over the last several decades, the proportion of the inflow via the Selenga river has decreased by 20 % against the preceding period. An analysis of the long-term changes in the river and useful inflows showed the existence of two periods with low water: 1976–1981 and 1996–2017 as well as two periods with abundance of water: 1960–1975 and 1982–1995, and an increase in the inflow since 2018. A comparison is made of the water balance components for two periods of equal duration: 1971–1995 and 1996–2020. A disturbance of the uniformity is observed for the discharges through the Irkutsk HPP. The study revealed an increase in mean annual temperature by 1–2 °C and a decrease in atmospheric precipitation almost throughout the lake drainage basin. The annual values of precipitation after 1996, compared with the preceding period, decreased throughout the territory of the lake drainage basin by 30–60 mm. Using two extreme periods of low water (2014–2017 and 1976–1981) we consider the role of the Irkutsk HPP in the regulation of the level regime of the lake.

Keywords: water balance, surface inflow, useful inflows, precipitation, evaporation, discharge through the HPP, climatic changes.

ВВЕДЕНИЕ

Водному балансу оз. Байкал посвящено множество исследований. Наиболее полные и детальные расчеты за разные периоды времени выполнены Б.С. Цейтлиным [1], А.Н. Афанасьевым [2–4], В.И. Верболовым, В.М. Сокольниковым, М.Н. Шимараевым [5], З.А. Викулиной, Т.Д. Кашиновой [6], Т.П. Гронской, Т.Э. Литовой [7], В.Н. Синюковичем [8]. Большая часть названных исследований проведена в 1950–1960-е гг., а также в 1970–1980-е гг., т. е. в период проектирования и строительства Иркутской ГЭС и в первые десятилетия эксплуатации водохранилища, включающего оз. Байкал. Однако в последние десятилетия произошли изменения отдельных составляющих водного баланса озера. Прежде всего, это относится к поверхностному притоку, что во многом связано с уменьшением осадков на его водосборе [9, 10]. Следствием этого стало снижение притока речных вод в озеро. Так, например, за период 1996–2020 гг. доля притока в оз. Байкал по р. Селенге уменьшилась по сравнению с предшествующим периодом (1971–1995 гг.) с 53 до 39 %. Наряду с изменением естественных составляющих водного баланса, в последние годы произошло существенное преобразование стока в нижний бьеф Иркутской ГЭС, что связано с изменением условий регулирования уровня озера, принятых в 2001 г. и предусматривающих сокращение допустимой амплитуды уровня относительно проектного показателя в два раза [11]. Обусловленные климатическими вариациями изменения естественных составляющих водного баланса, а также коррективы, вносимые в правила регулирования уровня озера, оказывают влияние на оперативное планирование сбросов ГЭС, что следует учитывать в процессе управления водными ресурсами [12–15].

Данная статья посвящена анализу многолетних изменений основных составляющих водного баланса Иркутского водохранилища, основной частью которого является оз. Байкал, и их количественным оценкам. Необходимо отметить, что доля естественных составляющих баланса речной части водохранилища не превышает 1 %.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Озеро Байкал представляет собой основную часть Иркутского водохранилища, строительство которого на р. Ангаре было завершено к 1958 г. Наряду с озерной, водохранилище включает также речную часть — от истока р. Ангары до плотины Иркутской ГЭС. Отметим, что площадь и регулирующая емкость озера в пределах амплитуды колебаний его уровня около 2 м превышают площадь и объем речной части водохранилища более чем в 240 и 35 раз соответственно. Как следствие, составляющие водного баланса речной части водохранилища не играют заметной роли в суммарном балансе, но учитываются, так как сток из озера и водохранилища в целом определяется по сбросам Иркутской ГЭС. В данной работе основное внимание уделено водному балансу оз. Байкал, многолетней изменчивости и уточнению его основных составляющих. К последним отнесены: поверхностный приток, сток (расход) через Иркутскую ГЭС, осадки и испарение с поверхности.

Многолетние ряды составляющих водного баланса собраны по материалам месячных и годовых (режимных) водных балансов, подготавливаемым и публикуемым Иркутским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [16–18]. В них предусмотрено разделение составляющих баланса для озерной и речной частей, при этом сток через ГЭС и невязки оцениваются для водохранилища в целом. С 1971 г. месячные водные балансы составляются по единым методикам,

базирующимся на результатах многолетних наблюдений на сети озерных постов, прибрежных метеорологических станций и регулярных гидрометеорологических наблюдений на акватории озера [16]. В их основу положены разработки А.Н. Афанасьева (Лимнологический институт СО РАН) [4] и Государственного гидрологического института Росгидромета [19–21]. При расчете испарения используются материалы наблюдений на 10 прибрежных метеостанциях, а для вычисления количества осадков применяются данные, полученные на 14 береговых и 2 островных метеостанциях. Поверхностный приток определяется на основе данных гидрометрических измерений расходов на 32 реках. Аккумуляционная составляющая определяется по разнице средневзвешенных уровней озера на начало и конец расчетного периода по методике, разработанной Б.С. Цейтлиным [1]. Объем стока воды из оз. Байкал принимается по данным учета сбросов через все сооружения гидроузла Иркутской ГЭС, предоставляемым ПАО «Иркутскэнерго» (АО «ЕвроСибЭнерго») и оперативно размещаемым на сайте ПАО «РусГидро» [22].

В процессе подготовки рядов для анализа многолетних изменений составляющих водного баланса были уточнены объемы осадков на акваторию озера с 1960 по 1970 гг., так как до 1971 г. не вводились поправки на смачивание и ветровой недоучет. За этот же период уточнены и объемы испарения с водной поверхности в соответствии с корректировкой методики расчета, принятой в 1971 г., по которой в осенний период (с октября до установления ледостава, когда температура поверхности воды на 5 °С и более превышает температуру воздуха), расчет испарения выполняется по формуле Рымши–Донченко [19].

Анализ многолетних изменений основных составляющих водного баланса проведен с использованием статистических методов расчета [23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поверхностный приток в оз. Байкал. Несмотря на большое количество рек и ручьев, впадающих в оз. Байкал, на долю основных 11 притоков приходится более 75 % суммарного поверхностного притока. Главные впадающие в озеро реки — Селенга, Верхняя Ангара и Баргузин. Их доли в суммарном притоке за последние годы изменились (табл. 1). Так, доля притока р. Селенги за период 1996–2019 гг. уменьшилась на 13,3 % по сравнению с 1972–1995 гг. и на 20 % — по сравнению с 1960–1971 гг.

Многолетние изменения суммарного годового поверхностного притока за период 1960–2020 гг. показаны на рис. 1. На графике дополнительно приведены сглаженные кривые, полученные методом пятилетнего скользящего осреднения, среднее значение притока за весь период наблюдений и разностная интегральная кривая ($\sum(k-1)/C_v$).

Минимальные значения притока отмечались в 1972 г. (42,9 км³) и 2015 г. (42,6 км³), максимальные — в 1973 г. (92,8 км³). Средний объем годового притока за рассматриваемый период составил 62,5 км³. Разностная интегральная кривая наглядно показывает наличие двух маловодных периодов (1976–1981, 1996–2017 гг.) и двух продолжительных многоводных периодов (1960–1975, 1982–1995 гг.). С 2018 г. наблюдается повышенная водность.

Доли среднего поверхностного притока по кварталам в годовом объеме составляют: 4,6; 34,5; 46,4; 14,5 % соответственно. На второй и третий кварталы приходится более 80 %, что указывает на их основную роль в формировании и общем объеме годового притока.

Анализ изменений месячных значений суммарного притока за многолетний период позволил выявить увеличение притока в холодный период в последние десятилетия, в то время как приток в теплое время снизился.

Таблица 1

Доли главных притоков в суммарном притоке в оз. Байкал за различные периоды, %

Период, гг.	Реки			Сумма
	Верхняя Ангара	Баргузин	Селенга	
1960–1971	15,5	7,0	59,0	81,5
1972–1995	14,3	7,0	52,7	74,0
1996–2019	15,5	6,5	39,4	61,4
1960–2019	14,0	6,2	43,5	63,7

Основные статистические характеристики поверхностного притока по кварталам и году в целом для обеспеченностей от 1 до 99 % приведены в табл. 2 и включают: m — математическое ожидание (среднее значение); C_v , C_s — коэффициенты вариации и асимметрии; r — коэффициент автокорреляции с шагом в один год.

Осадки на поверхность оз. Байкал. Многолетние изменения годовых объемов осадков на поверхность озера показаны на рис. 2.

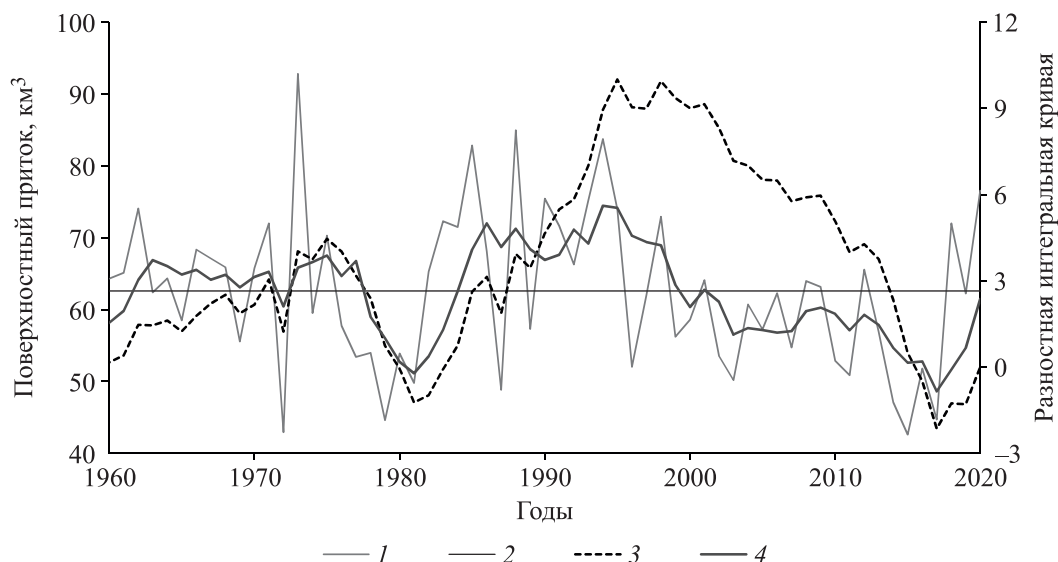


Рис. 1. Многолетние изменения и разностная интегральная кривая годовых объемов поверхностного притока в оз. Байкал.

1 — приток, 2 — среднее, 3 — разностная интегральная кривая, 4 — сглаженный (5 лет).

Таблица 2

Статистические характеристики поверхностного притока в оз. Байкал по кварталам для разной обеспеченности за период 1960–2020 гг., км³

Период	m	C_v	C_s/C_v	r	Обеспеченность, %								
					1	5	10	25	50	75	90	95	99
1 кв.	2,89	0,16	6,05	0,56	4,26	3,75	3,51	3,15	2,82	2,56	2,37	2,28	2,15
2 кв.	21,6	0,17	2,15	0,01	31,1	28,0	26,5	24,0	21,4	19,0	17,1	16,0	14,1
3 кв.	29,0	0,27	3,13	0,11	51,8	43,4	39,4	33,4	27,9	23,2	19,9	18,3	15,6
4 кв.	9,05	0,22	5,06	0,26	15,2	12,8	11,7	10,1	8,70	7,59	6,87	6,53	6,06
Год	62,5	0,17	2,21	0,11	91,0	81,6	77,0	69,4	61,8	54,8	49,0	45,9	40,2

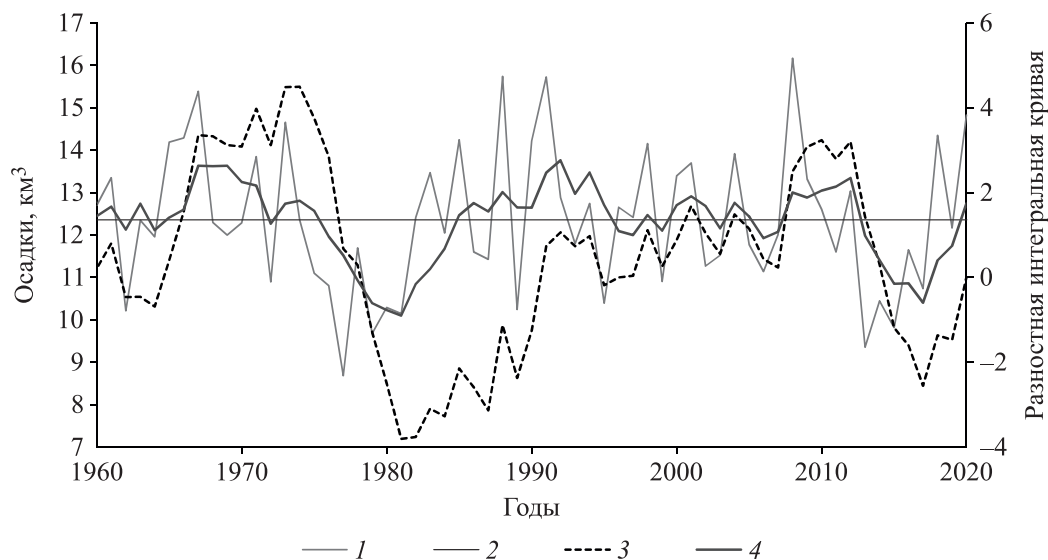


Рис. 2. Многолетние изменения и разностная интегральная кривая годовых объемов осадков на поверхность воды оз. Байкал.

1 — осадки, 2 — среднее, 3 — разностная интегральная кривая, 4 — сглаженный (5 лет).

Минимальные значения осадков отмечались в 1977 г. (8,7 км³) и 2013 г. (9,4 км³), максимальные — в 1988, 1991 гг. (15,7 км³) и 2008 г. (16,2 км³). Средний годовой объем осадков составил 12,4 км³. Разностная интегральная кривая показывает наличие двух фаз с дефицитом осадков: 1975–1981, 2010–2017 гг.

Доли осадков по кварталам составляют в среднем: 6,6; 24,1; 48,6 и 20,7 % соответственно. Осадки второго и третьего кварталов преобладают и составляют около 73 % годового объема. Анализ изменений внутригодового распределения осадков, выпадающих на зеркало озера, свидетельствует об их снижении в середине лета и росте в холодное время года в последние десятилетия.

Основные статистические характеристики годовых и квартальных объемов осадков на поверхность озера, рассчитанные за весь период эксплуатации Иркутского водохранилища, приведены в табл. 3. Коэффициент вариации для квартальных объемов осадков варьирует от 0,23 до 0,28, для годового он равен 0,14.

Испарение с поверхности оз. Байкал. Многолетние изменения годовых объемов испарения с поверхности озера приведены на рис. 3. Среднее многолетнее значение испарения составляет 15,1 км³, максимальный объем — 19,4 км³ (1996 г.), минимальный — 10,9 км³ (1966 г.).

Доли средних показателей испарения по кварталам составляют: 5; 9,7; 21,2; 64,1 % соответственно. Основной объем испарения приходится на четвертый квартал, что связано с интенсивным охлаждением поверхностного слоя воды в Байкале при низкой температуре воздуха перед установлением ледового покрова. В последние десятилетия отмечается рост испарения с поверхности озера.

Объемы стока через Иркутскую ГЭС. Средний годовой объем стока через Иркутскую ГЭС за рассматриваемый период составил 57,6 км³. Минимальные годовые объемы наблюдались в 1982 г. (40,9 км³) и 2015–2017 гг. (41,0 км³), максимальные — в 1974 г. (74,5 км³), 1985 г. (77,9 км³) и 1995 г. (77,2 км³).

Таблица 3

Статистические характеристики осадков на поверхность оз. Байкал за период 1960–2020 гг., км³

Период	m	C_v	C_s/C_v	r	Обеспеченность, %								
					1	5	10	25	50	75	90	95	99
1 кв.	0,81	0,27	4,28	0,01	1,49	1,23	1,10	0,93	0,77	0,65	0,57	0,54	0,49
2 кв.	2,98	0,28	2,19	0,09	5,28	4,48	4,09	3,48	2,89	2,37	1,98	1,77	1,41
3 кв.	6,00	0,25	2,07	0,03	9,97	8,63	7,96	6,92	5,88	4,95	4,21	3,82	3,13
4 кв.	2,56	0,23	1,24	0,01	4,03	3,56	3,32	2,93	2,53	2,15	1,83	1,65	1,32
Год	12,4	0,14	1,76	0,11	16,6	15,3	14,6	13,4	12,3	11,2	10,2	9,69	8,71

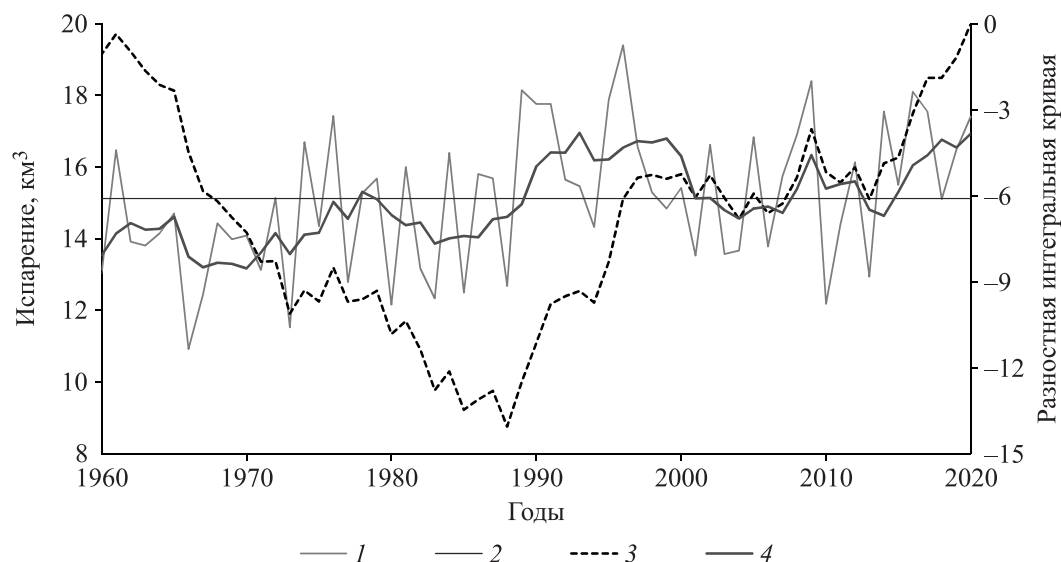


Рис. 3. Многолетние изменения и разностная интегральная кривая годовых объемов испарения с поверхности воды оз. Байкал.

1 — испарение, 2 — среднее, 3 — разностная интегральная кривая, 4 — сглаженный (5 лет).

Доли среднего расхода по кварталам составляют 23,8; 23,5; 25,7 и 27,0 %. В отличие от поверхностного притока и осадков, средние расходы по кварталам различаются незначительно, что связано с особенностями режимов работы Иркутской ГЭС в энергосистеме Сибири.

Полезный приток в оз. Байкал. Важная интегральная характеристика водного баланса оз. Байкал — полезный приток, используемый в оперативной практике управления водными ресурсами Иркутского водохранилища. Нами приведены годовые объемы полезного притока за период 1960–2020 гг., определенные непосредственно как сумма речного притока и осадков за вычетом испарения, а также рассчитанные как сумма объемов стока, сбрасываемого через гидроузел Иркутской ГЭС, и изменения запасов воды в водохранилище (включая озеро) (рис. 4, а), а также график связи между ними (см. рис. 4, б).

В целом, учитывая, что годовые значения полезного притока определены независимыми методами, можно констатировать хорошее соответствие полученных величин, характеризующееся коэффициентом корреляции 0,98. Однако при анализе месячных объемов полезного притока в отдельные годы выявлены значительные расхождения. Их причинами, по нашему мнению, могут быть ошибки в расчете притока речных вод, особенно в месяцы, когда наблюдались максимальные расходы воды. Погрешности в расчетах составляющих водного баланса обуславливают наличие его невязок. Объективная оценка причин расхождений расчета полезного притока разными способами и невязок баланса должны стать предметом специальных исследований.

Особенности многолетних колебаний полезного притока аналогичны изменениям поверхностного притока в озеро (см. рис. 1). Средний многолетний полезный приток составляет 59,7 км³. Как и для поверхностного притока, наблюдается два маловодных периода: 1976–1981 и 1996–2017 гг. (включая экстремально маловодный 2014–2017 гг.), и два продолжительных многоводных: 1960–1975, 1982–1995 гг. а также повышение водности с 2018 г.

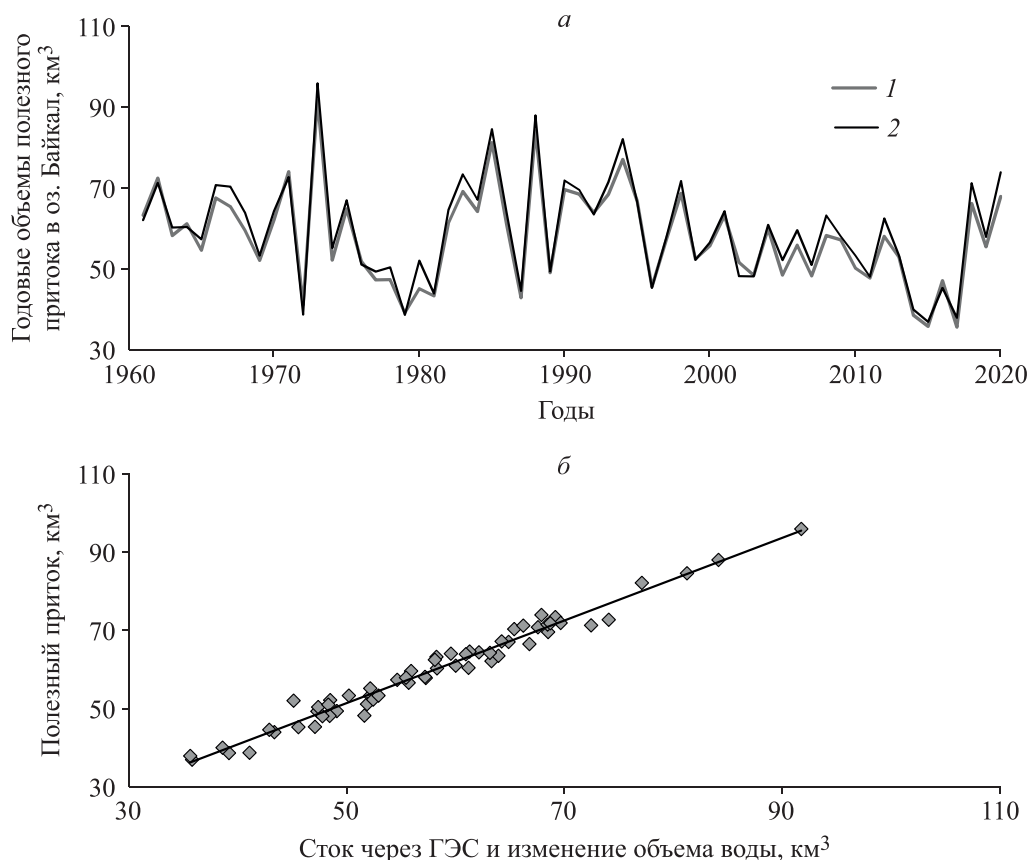


Рис. 4. Годовые объемы полезного притока в оз. Байкал (а) и связь годовых объемов полезного притока, рассчитанных двумя методами (б).

1 — сток через ГЭС и изменение объема воды, 2 — полезный приток.

Климатические изменения в бассейне оз. Байкал. Период 1996–2020 гг. характеризуется заметными изменениями основных метеорологических характеристик в бассейне озера по сравнению с периодом 1956–1995 гг. Расчеты и анализ изменения среднегодовых температур и годового слоя осадков в период после 1996 г., по сравнению с предыдущим периодом, выполнены на основе обработки среднесуточных данных реанализа глобальных климатических моделей NCEP/NOAA [24, 25].

Основная особенность последнего 25-летнего периода — это преобладание отрицательных аномалий годовых сумм осадков, обусловленное климатической изменчивостью. Годовые значения осадков после 1996 г., по сравнению с предыдущим периодом, уменьшились по всей территории бассейна озера на 30–60 мм в год.

Наряду со снижением осадков в этот период произошло значительное повышение температуры воздуха. За последнюю четверть века среднегодовая температура воздуха увеличилась на 1–2 °C в большей части бассейна озера, кроме южных районов бассейна р. Селенги. Как следствие, произошло повышение температуры поверхностного слоя воды в озере. В соответствии с [26], увеличение средней за сезон температуры поверхности воды в период 1988–2016 гг., по сравнению с периодом 1946–1987 гг., составило 1,6 °C в среднем по озеру. Изменились сроки весеннего прогревания озера (на 10–13 сут ранее) и осеннего охлаждения (на 4–7 сут позднее).

Сравнительная оценка составляющих водного баланса оз. Байкал за периоды 1971–1995 и 1996–2020 гг. Анализ изменения составляющих водного баланса выполнен для периодов эксплуатации Иркутской ГЭС до и после 1995 г. Учитывая ограниченность последней выборки (25 лет), оценка однородности была сделана для двух периодов одинаковой продолжительности: I (1971–1995 гг.) и II (1996–2020 гг.) по критериям Стьюдента, Фишера, Манна–Уитни при уровне статистической значимости 0,05 (95 %). С использованием критериев Стьюдента и Манна–Уитни определялись нарушения однородности по средним значениям исследуемых выборок, а критерия Фишера — по дисперсиям.

Выполненный анализ показал, что ряды осадков и испарения по всем критериям оказались однородными. Таким образом, климатические изменения, выразившиеся в повышении температуры воздуха в последние 25 лет в Байкальском регионе, не повлияли на статистическую однородность рядов испарения и осадков.

Нарушение однородности отмечается для расходов Иркутской ГЭС, причем по всем критериям. Режимы Иркутской ГЭС, как правило, оцениваются по четырем кварталам, имеющим различные ограничения со стороны водопользователей. Это связано, прежде всего, с особенностями ее работы в энергосистеме Сибири (накопление гидроэнергоресурсов в весенне-летний период с их последующим расходом в осенне-зимний период) и требованиями водного транспорта в летне-осенний период [27, 28].

Роль и возможности Иркутской ГЭС в регулировании расходов и уровня оз. Байкал становятся особенно значимыми в маловодные периоды. Это наглядно показывает сравнение двух близких по водности экстремально маловодных периодов: 2014–2017 (2018) гг. и 1976–1981 (1982) гг. Их сопоставление выявляет существенно меньшие объемы поверхностного притока и большую величину испарения в период 2014–2017 гг., среднемесячные объемы осадков на поверхность озера при этом были практически одинаковы. Маловодье 2014–2017 гг. было чуть менее продолжительным, но более глубоким относительно нормы. Основное различие между данными периодами заключено в расходах Иркутской ГЭС. В 1976–1981 гг. средний расход составил 1554 м³/с, а в период маловодья 2014–2017 гг. непрерывно (в течение 36 месяцев подряд) он не превышал 1300 м³/с. При этом не выполнялись в полном объеме требования энергетики и водного транспорта. Единственным ограничением было обеспечение нормальной работы водозаборов нижнего бьефа, для которых расход 1300 м³/с является критическим (минимально допустимым) по условиям эксплуатации. До 2013 г. столь низкие расходы зафиксированы только для шести месяцев. Минимальные расходы Иркутской ГЭС в течение рекордно длительного периода предотвратили неизбежное резкое снижение уровня озера. Если в период 1976–1981 гг. уровень в отдельные месяцы (дни) снижался до отметок 455,31–455,27 м ТО, то в 2014–2017 гг. минимальный уровень при относительно меньшем притоке составил 455,71 м ТО.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетние изменения притока речных вод в оз. Байкал, осадков, поступающих на его поверхность, и испарения с акватории характеризуются наличием продолжительных фаз с преобладанием положительных или отрицательных аномалий. Доминирующую роль в формировании водных ресур-

сов и уровня режима озера играет приток речных вод. За период эксплуатации Иркутского водохранилища были выявлены две многоводные (1960–1975, 1982–1995 гг.) и две маловодные (1976–1981, 1996–2017 гг.) фазы водности, когда среднее значение притока существенно отклонялось от нормы. С 2018 г. наблюдается повышенная водность. Основной особенностью изменения внутригодового распределения притока в условиях происходящего повышения приземной температуры воздуха является его увеличение в холодный период года, что характерно для большинства рек России [29].

Наряду с природными факторами на формирование водного баланса оз. Байкал и его уровня режима оказывает влияние регулирование стока Иркутской ГЭС. В экстремально маловодный период 2014–2017 гг. снижение расхода воды через гидроузел в течение этих лет позволило избежать резкого падения уровня озера и значительных социально-экономических и экологических ущербов.

Достоверность используемых в настоящей работе данных об основных составляющих водного баланса оз. Байкал подтверждается хорошим соответствием годовых величин полезного притока, рассчитанных двумя независимыми методами. Однако вопрос точности его определения за отдельные месяцы требует проведения дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цейтлин Б.С. Водный баланс озера Байкал // Тр. III Всесоюз. гидролог. съезда. Т. 4. — Л.: Гидрометеиздат, 1959. — С. 184–192.
2. Афанасьев А.Н. Водный баланс озера Байкал // Тр. Байкальской Лимнологической станции. — 1960. — Т. 18. — С. 155–241.
3. Афанасьев А.Н. Колебания гидрометеорологического режима на территории СССР. — М.: Наука, 1967. — 233 с.
4. Афанасьев А.Н. Водные ресурсы и водный баланс бассейна озера Байкал. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1976. — 238 с.
5. Верболов В.И., Сокольников В.М., Шимараев М.Н. Гидрометеорологический режим и тепловой баланс озера Байкал. — М.; Л.: Наука, 1965. — 273 с.
6. Викулина З.А., Кашинова Т.Д. Водный баланс оз. Байкал // Тр. ГГИ. — 1973. — Вып. 203. — С. 3–33.
7. Гронская Т.П., Литова Т.Э. Краткая характеристика водного баланса озера Байкал за период 1962–1988 гг. // Мониторинг состояния озера Байкал. — Л.: Гидрометеиздат, 1991. — С. 153–158.
8. Синюкович В.Н. Водный баланс озера Байкал в условиях зарегулированного режима // Водное хозяйство России. — 2011. — № 1. — С. 11–22.
9. 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.
10. Никитин В.М., Абасов Н.В., Бережных Т.В., Осипчук Е.Н. Ангара-Енисейский каскад ГЭС в условиях изменяющегося климата // Энергетическая политика. — 2017. — Вып. 4. — С. 62–71.
11. Постановление Правительства РФ от 26.03.2001 г. № 234 «О предельных значениях уровня воды в озере Байкал при осуществлении хозяйственной и иной деятельности» [Электронный ресурс]. — <http://gov.garant.ru/docu-ment?id=2057975> (дата обращения 01.06.2022).
12. Бычков И.В., Никитин В.М. Регулирование уровня озера Байкал: проблемы и возможные решения // География и природ. ресурсы. — 2015. — № 3. — С. 5–16.
13. 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.
14. 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.
15. Никитин В.М., Абасов Н.В., Бычков И.В., Осипчук Е.Н. Уровень режима озера Байкал: проблемы и противоречия // География и природ. ресурсы. — 2019. — № 4. — С. 74–83.
16. Якимова Н.И. Гидрометеорологический мониторинг состояния озера Байкал // Метеорология и гидрология. — 2019. — № 10. — С. 13–17.
17. Материалы наблюдений на озерах и водохранилищах (Дополнения к гидрологическим ежегодникам, т. 7, вып. 2–4) / Ред. Е.В. Осмоловская. — Иркутск: Сов. мин. СССР, Гл. упр. гидромет. службы, Иркутск. упр. гидромет. службы, 1956–1959. — 283 с.
18. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши / Т. 1, вып. 13, 14. Бассейны реки Ангары и озера Байкал. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 174 с.
19. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. — Л.: Гидрометеиздат, 1960. — 83 с.
20. Кузьмин П.П. О расчетном и экспериментальном способах определения испарения с поверхности снежного покрова // Тр. ЗапНИГМИ. — 1974. — Вып. 58. — С. 25–43.
21. Рекомендации по расчетам водного баланса крупных озер и водохранилищ. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 99 с.

22. **Изменения** уровней водохранилищ ГЭС РусГидро. [Электронный ресурс]. — <http://www.rushydro.ru/hydrology/informer> (дата обращения 01.06.2022).
23. **Кокорев А.В., Рождественский А.В., Лобанова А.Г.** Автоматизированная система обобщения основных гидрологических характеристик в пунктах гидрометрических наблюдений за многолетний период // Метеорология и гидрология. — 2012. — № 3. — С. 84–95.
24. **Портал** центра GPCP. [Электронный ресурс]. — <https://www.dwd.de/EN/-ourservices/gpcp/gpcp.html> (дата обращения 01.06.2022).
25. **Национальный** центр климатических данных (NOAA). [Электронный ресурс]. — <https://www.ncdc.noaa.gov> (дата обращения 01.06.2022).
26. **Основные** гидрологические характеристики озер РФ и их многолетние изменения. Науч.-приклад. справочник / Под ред. В.Ю. Георгиевского. — СПб.: Изд-во Гос. гидролог. ин-та, РИАЛ, 2021. — 364 с.
27. **Иркутская** гидроэлектростанция на р. Ангаре. Технический проект. Том «Природные условия», часть 2. Гидрологический очерк. — М.: Гидроэнергопроект, Московское отделение, 1951. — 215 с.
28. **Основные** правила использования водных ресурсов водохранилищ Ангарского каскада ГЭС (Иркутского, Братского и Усть-Илимского). — М.: Министерство мелиорации и водного хозяйства РСФСР, 1988. — 64 с.
29. **Многолетние** колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации: Научно-прикладной справочник / Под ред. В.Ю. Георгиевского. — СПб.: Изд-во Гос. гидролог. ин-та, РИАЛ, 2021. — 190 с.

Поступила в редакцию 27.06.2022

После доработки 11.07.2022

Принята к публикации 03.10.2022