

Гидрология и водное хозяйство

Гидрология және су шаруашылығы

Hydrology and water management

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2025-1-3-13.1>

МРНТИ 39.23.15
УДК 556

А. Р. Медеу¹, А. А. Турсунова², Л. К. Махмудова³, К. М. Кулебаев*⁴,
А. А. Нурбаcina⁵, Л. М. Биримбаева⁶

¹ Д. г. н., профессор, академик НАН РК, председатель правления
(АО «Институт географии и водной безопасности», Алматы, Казахстан; ingeo_2009@mail.ru)

² К. г. н., ведущий научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; ais.tursun@bk.ru)

³ К. г. н., ведущий научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; mlk2002@mail.ru)

^{4*} Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; kairat.kulebayev@mail.ru)

⁵ Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; aliya.nurbatsina@gmail.com)

⁶ Научный сотрудник (АО «Институт географии и водной безопасности»,
Алматы, Казахстан; birimbayeva_l@mail.ru)

ПРОГНОЗ ВОДНОСТИ ОЗЕР ГОСУДАРСТВЕННОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКА «БУРАБАЙ» ДО 2050 ГОДА С УЧЕТОМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

Аннотация. Работа посвящена оценке современного состояния и долгосрочному прогнозу внутривековых колебаний воды озер Государственного национального природного парка «Бурабай» (ГНПП «Бурабай»). На основе данных реанализа и результатов численного моделирования изучено влияние климатических изменений в бассейнах озер Шортанды, Бурабай, Улкен Шабакты, Киши Шабакты, Катарколь, Жукей. Оценены связи ряда индексов атмосферной и океанической циркуляции, описывающих климатическую изменчивость в регионе, с водным режимом озер. Исследованы причинно-следственные связи между климатическими характеристиками и гидрологическим режимом водосборов и водным балансом озер: динамики осадков, температуры, стока и испарения на водосборе в ретроспективе и перспективе. Результаты расчетов показывают возможное сокращение транспорта влаги и уменьшение атмосферных осадков в исследуемом районе в ближайшие 15–25 лет, в результате которого с задержкой в несколько лет будет продолжаться падение уровня воды озер. Приблизительно с 2030 до 2050 г. ожидается увеличение испарения, что должно привести к понижению уровня этих водоемов.

Ключевые слова: прогноз, объем воды, озера, климат, изменчивость.

Введение. Долгосрочный прогноз уровня воды озер остается важной, но до сих пор одной из не решенных фундаментальных и практических проблем не только в Казахстане, но и в мире. Знание закономерностей внутривековой изменчивости уровня воды озер важно для обеспечения экономической деятельности на водосборе озер: безопасной работы водного транспорта, проведения берегозащитных работ, разработки мероприятий по адаптации экономики региона к дальнейшим изменениям уровня, которые прогнозируются в этой работе до середины XXI века.

В ходе исследований предприняты первые попытки по расчету транспорта влаги с Атлантики и ее влияния на формирование климатической изменчивости озер ШБКЗ (Шучинско-Боровская курортная зона). Выполнены расчеты в рамках совместного анализа уравнения водного баланса озер и уравнения баланса влаги региона, включающего водоем и его бассейн, а также проведены эксперименты по воспроизведению циркуляции Мирового океана и ее климатической изменчивости с помощью МОЦАО (Модели общей циркуляции атмосферы и океана), разработанной АО «Институт географии и водной безопасности». Этот подход позволяет дать физическое объяснение изменению водности озер и, следовательно, сформировать прогноз уровня и объемов воды.

Материалы и методы. *Методика оценки водности озер.* Изменения климата оказывают значительное влияние на водные ресурсы озер, которые играют ключевую роль в экологических системах. В условиях потепления климата и изменения режима атмосферных осадков необходима разработка методик оценки водного баланса озер на основе современных гидрологических моделей и сценарных прогнозов климатических изменений. Оценка водности озер является важным инструментом для анализа изменений гидрологического режима и управления водными ресурсами. Методика оценки водности озер позволяет определить текущий и прогнозируемый уровни водности, выявить тенденции многолетних изменений и оценить влияние климатических и антропогенных факторов на водохозяйственный баланс озер [1-13].

Цель методики – предложить комплексный подход к оценке водности озер, включающий анализ климатических параметров, стока, испарения, антропогенных нагрузок и прогнозирование изменений в будущем.

Этапы оценки водности озер. Первый этап – сбор и анализ исходных данных (метеорологические данные – температура воздуха, атмосферные осадки, испарение, скорость ветра и т.д.; гидрологические данные – уровни воды, приток; морфометрические характеристики озер – площадь водного зеркала, глубина, объем; антропогенные факторы – водозаборы, сбросы и т.д.). Источники данных – база данных РГП «Казгидромет», архивные материалы, спутниковые снимки и картографические материалы.

Второй этап – определение основных гидрологических характеристик озер – на основе собранных исторических данных рассчитываются среднегодовой уровень воды, коэффициент вариации уровня воды, коэффициент асимметрии распределения уровня воды. По формуле водного баланса озера определяются изменение уровня воды, атмосферные осадки, приток воды, отток воды, испарение.

Третий этап – моделирование многолетних изменений водности (для прогнозирования изменений водности озера используются климатические и гидрологические модели). Основные этапы моделирования: анализ многолетних трендов климатических параметров; расчет изменения уровня воды при различных сценариях климатических изменений; определение вероятности наступления маловодных и многоводных периодов; оценка рисков маловодных и многоводных периодов. Используемые модели: SWIM (Soil and Water Integrated Model) [14, 15], SWAT (Soil and Water Assessment Tool) [16], HBV (Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning) [17].

Четвертый этап – построение батиграфических кривых уровней воды для определения вероятности достижения определённых уровней воды в озере. Расчет проводится с применением данных батиметрии.

Пятый этап – прогнозирование водности озер в условиях изменения климата на основе долгосрочного сценарного прогнозирования водных ресурсов с применением климатических моделей CMIP6.

Шестой этап – практические рекомендации по управлению водными ресурсами озер.

Методология оценки водного баланса озер на перспективу. Основные этапы:

1. Сбор и анализ данных (метеорологические данные – температура воздуха, атмосферные осадки, испарение; гидрологические данные – уровни воды в озерах, сток воды, инфильтрация; морфометрические характеристики озер – площадь водного зеркала, глубина, объем, площадь водосбора).

2. Выбор подходящей модели (SWIM, VIC – Variable Infiltration Capacity, MIKE SHE – Modelling system for Integrated water resources management System Hydrology and Environment, HYPE – Hydrological Predictions for the Environment) в зависимости от задач исследований и доступности исходных данных. Модель SWIM предназначена для анализа водного баланса и стока

в бассейнах рек и озер с учетом климатических изменений и изменений землепользования. SWIM позволяет моделировать процессы испарения, инфильтрации и стока воды, а также прогнозировать влияние различных сценариев изменений климата на водные ресурсы. Применение: оценка водного баланса озер и прогнозирование изменений уровня воды, анализ воздействия климатических сценариев на водные ресурсы, выявление факторов, влияющих на колебания уровня озер. Модель VIC предназначена для анализа изменений водного баланса на больших территориях с учетом различных климатических сценариев. Она позволяет моделировать процессы испарения, инфильтрации и стока воды на основе климатических данных. Модель MIKE SHE используется для детального моделирования всех компонентов гидрологического цикла, включая поверхностный и подземный сток, испарение и инфильтрацию. Она позволяет моделировать процессы, влияющие на уровень воды в озерах. Модель HYPE применяется для прогнозирования уровня воды и оценки водных ресурсов на региональном уровне, позволяет анализировать изменения уровня воды в озерах и водоемах в зависимости от климатических условий.

3. Калибровка и верификация модели (калибровка модели на основе исторических данных, верификация точности модели путем сравнения с фактическими данными уровня воды в озере).

4. Прогнозирование (проведение сценарного моделирования изменений уровня воды в озере на основе климатических сценариев до 2050 г.).

5. Анализ результатов и рекомендации (анализ полученных результатов и разработка рекомендаций по управлению водными ресурсами).

Методика оценки водности озер на основе современных гидрологических моделей позволяет прогнозировать долгосрочные изменения уровня воды под воздействием климатических факторов. Применение моделей SWIM, VIC, MIKE SHE, HYPE обеспечивает всесторонний анализ и поддержку принятия решений в управлении водными ресурсами [14-19].

Математическим выражением водного баланса на перспективу является уравнение баланса. В общем виде это уравнение для многолетнего периода, представленного в объемных единицах, имеет вид

$$V_{\text{пр.прог.2030,2040,2050}} + V_{\text{упр}} + V_{\text{ос. прог. 2030,2040,2050}} - V_{\text{ст}} - V_{\text{уст}} - V_{\text{ис.прог.2030,2040,2050}} = \pm \Delta V, \quad (1)$$

где $V_{\text{пр.прог.2030,2040,2050}}$ – прогнозный поверхностный приток в озеро; $V_{\text{упр}}$ – подземный приток в озеро; $V_{\text{ос.прог.2030,2040,2050}}$ – прогнозные атмосферные осадки на водную поверхность; $V_{\text{ст}}$ – сток воды из озера по реке; $V_{\text{уст}}$ – подземный отток из озера; $V_{\text{ис.прог. 2030,2040,2050}}$ – прогнозируемое испарение с поверхности водоема; $\pm \Delta V$ – изменение запасов (накопление или расходование) воды в озерной котловине.

Для бессточных озер, которых на территории исследуемого региона много, $V_{\text{ст}} = 0$. Очень часто при увеличении числа лет, за которые составляется баланс, сумма приходных составляющих равна сумме расходных, тогда $\Delta V = 0$ и баланс становится равновесным. Для бессточного озера уравнение, характеризующее его водный баланс за многолетний период, состоит всего из трех членов:

$$V_{\text{пр. прог. 2030,2040,2050}} + V_{\text{ос. прог. 2030,2040,2050}} = V_{\text{ис. прог. 2030,2040,2050}} \cdot \quad (2)$$

Величина $V_{\text{ис.прог.2030,2040,2050}}$ получается из уравнения баланса как его остаточный член и включает в себя погрешности, вызванные любой разницей $V_{\text{упр}}$ и $V_{\text{уст}}$.

Результаты и их обсуждение. Прогнозы СМIP6 по обоим сценариям показывают рост температуры, но по сценарию SSP2 (4.5) ожидается повышение средней температуры на 1,5-2 °С к 2050 г., тогда как для SSP5 (8.5) этот показатель может достигать 3,5-4 °С. Это подтверждается трендом на глобальное потепление, усиливающимся с увеличением выбросов.

Изменение глобального распределения осадков. За период 2015-2030 гг. для сценария SSP5 (8.5) количество осадков возрастает на 11 % по сравнению с показателями сценария SSP2 (4.5). Это связано с повышением температур, что приводит к увеличению испарения и конденсации влаги в атмосфере, а также большей вероятности интенсивных осадков в отдельных регионах. За период 2031-2050 гг. ожидается противоположная тенденция: количество осадков по сценарию SSP5 (8.5) уменьшается на 8 % по сравнению с SSP2 (4.5). Такое поведение может быть связано с перераспределением влаги в атмосфере, усилением засушливых условий в ряде регионов и изменением глобальных атмосферных циркуляционных процессов [20, 21].

Увеличение испарения (данные испарения с поверхностей, полученные из модели ERA5) коррелирует с повышением температуры воздуха, что подтверждает усиление испарительных процессов при глобальном потеплении (рисунок 1).

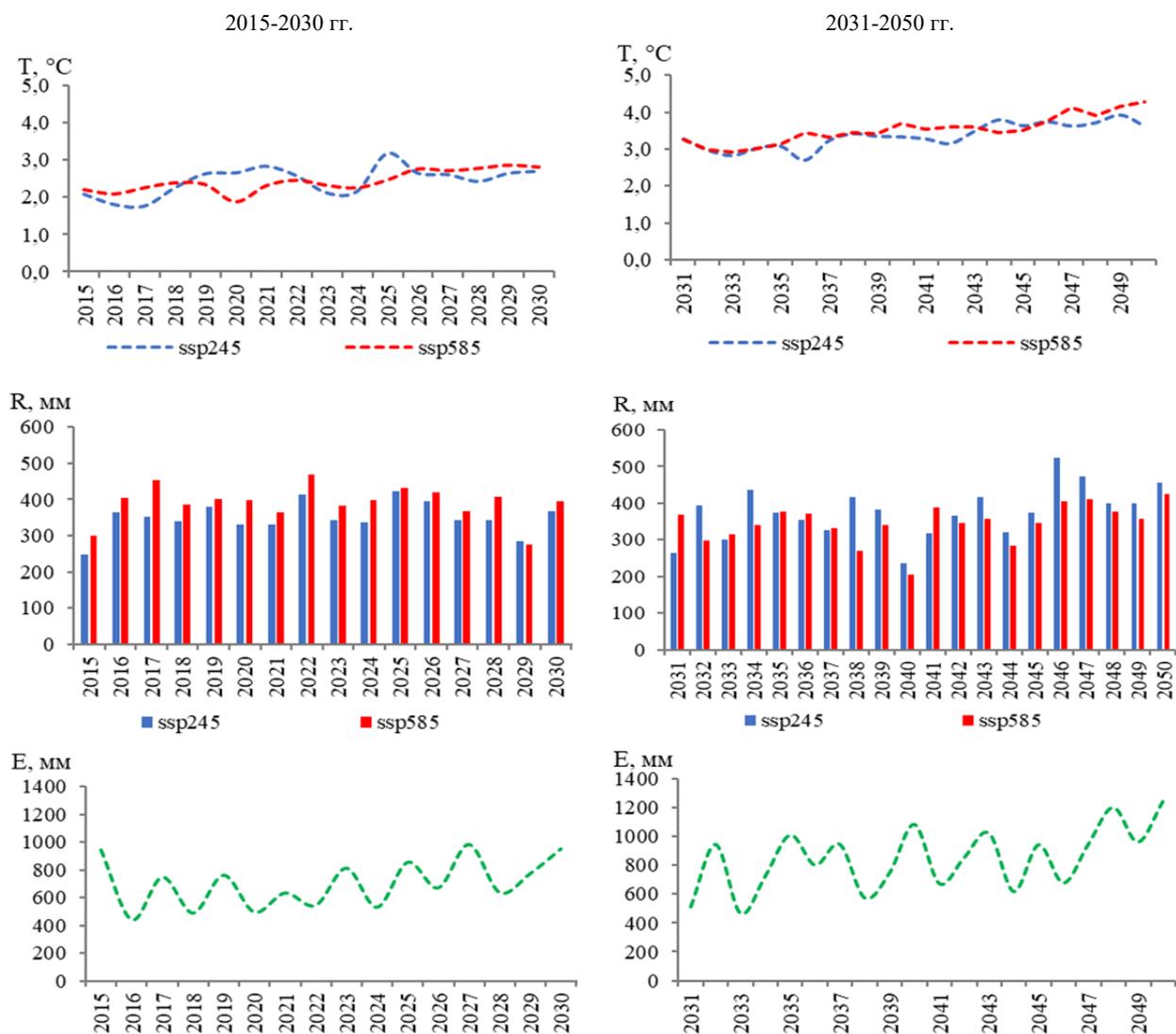


Рисунок 1 – Прогноз изменения метеорологических характеристик (Т – температура воздуха, R – атмосферные осадки, E – испарение) для некоторых озер региона согласно сценариям SSP2 (4.5), SSP5 (8.5) по CMIP6 до 2050 г.

Figure 1 – Forecast of changes in meteorological characteristics (T – air temperature, R – precipitation, E – evaporation) for some lakes in the region, according to scenarios SSP2 (4.5), SSP5 (8.5) by CMIP6 until 2050

Графики демонстрируют связанный процесс изменения осадков и испарения в зависимости от значений температуры воздуха. Рост температуры особенно в сценарии SSP5 (8.5) приводит к увеличению интенсивности испарительных процессов, что оказывает влияние на водный баланс озер исследуемой территории. Рост осадков в ряде регионов в сценарии SSP5 (8.5) может сопровождаться усилением их вариативности [22], что создает условия для частых экстремальных гидрометеорологических явлений. Эти данные согласуются с предыдущими исследованиями, подтверждающими, что глобальное потепление усиливает гидрологический цикл [23].

Озера Шортан, Бурабай, Улкен Шабакты, Киши Шабакты, Катарколь, Жукей, Текеколь расположены на севере Акмолинской области Республики Казахстан, они входят в систему озер Щучинско-Боровской курортной зоны. Кроме указанных водоемов в эту систему входят Майбалык,

Карасье и Сулуколь. В 1956 году семь из десяти озер, включая Шортан, Бурабай и Улкен Шабакты, были обследованы экспедицией во время работы освоения целинных и залежных земель Кокшетауской области Казахстана [24]. По данным этих обследований впервые проведена оценка элементов их водного баланса в естественных условиях.

В результате исследований и расчетов получены суммарные характеристики элементов водного баланса озера Бурабай в естественных условиях: расчетная площадь озера составляла 9,4 км², приток в озеро – 1,54 млн м³ в год, осадки, выпадающие на поверхность озера, – 4,02 млн м³, подземный приток в озеро – 2,31 млн м³ в год. Таким образом, суммарная приходная составляющая водного баланса озер равна 7,87 млн м³, эта величина соответствует расходной составляющей водного баланса – испарению с водной поверхности озера – 7,87 млн м³.

Из озера, в его северо-восточной части, в многоводные годы вытекает р. Громотуха длиной 1,5 км, сбрасывающая излишние воды в соседнее озеро Улкен Шабакты. Эти величины водного баланса будут приниматься нами для дальнейшей оценки и анализа на перспективу.

Систематические наблюдения за уровнем озер ШБКЗ в начале XXI века проводились только на озерах Шортан, Бурабай и Улькен Шабакты. Для определения изменения элементов водного баланса этих озер была проведена их оценка за 2020 г. и на перспективу на 2030, 2040, 2050 гг. Расчеты основных характеристик водного баланса с середины XX века до середины XXI века приведены в таблице 1.

Таблица 1– Основные характеристики водного баланса главных озер ШБКЗ в условно-естественный 1956 г., на 2020 г. и в перспективе на 2030, 2040 и 2050 гг.

Table 1– Main characteristics of the water balance of the main lakes of the ShBRA in the conditionally natural year of 1956, for 2020 and in the future for 2030, 2040 and 2050

Год	Приход, млн м ³				Расход, млн м ³			
	Поверхностный приток	Атмосферные осадки	Подземный приток	Всего	Поверхностный отток	Испарение	Подземный отток	Всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Озеро Бурабай								
1956	1,54	4,02	2,31	7,87	0	7,87	0	7,87
2020	1,29	3,37	2,31	6,97	0	6,94	0	6,94
2030	1,26	3,31	2,31	6,88	0	6,97	0	6,97
2040	1,17	3,06	2,31	6,54	0	7,96	0	7,96
2050	1,26	3,28	2,31	6,85	0	8,96	0	8,96
Озеро Улкен Шабакты								
1956	1,94	7,68	6,1	14,7	0	15,7	0	15,7
2020	1,68	7,56	6,1	15,3	0	15,4	0	15,4
2030	1,29	7,01	6,1	14,4	0	14,4	0	14,4
2040	1,42	6,49	6,1	14,0	0	16,9	0	16,9
2050	1,29	6,89	6,1	14,3	0	17,4	0	17,4
Озеро Киши Шабакты								
1956	1,80	6,04	5,46	13,3	0	13,3	0	13,3
2020	1,68	6,29	5,46	13,4	0	15,4	0	15,4
2030	1,56	7,41	5,46	14,4	0	13,1	0	13,1
2040	1,44	7,56	5,46	14,5	0	14,7	0	14,7
2050	1,32	7,47	5,46	14,3	0	16,4	0	16,4
Озеро Катарколь								
1956	2,03	1,70	0	3,73	0	3,21	0,52	3,73
2020	1,89	1,46	0	3,35	0	2,95	0,52	2,95
2030	1,74	1,65	0	3,39	0	3,75	0,52	3,75
2040	1,60	1,57	0	3,17	0	3,87	0,52	3,87
2050	1,45	1,89	0	3,34	0	4,57	0,52	4,57

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Озеро Жукей								
1956	2,18	6,04	2,61	10,8	0	10,8	0	10,8
2020	2,03	5,79	2,61	10,4	0	10,4	0	10,4
2030	1,89	5,91	2,61	10,4	0	11,2	0	11,2
2040	1,74	5,48	2,61	9,8	0	11,1	0	11,1
2050	1,60	5,25	2,61	9,5	0	11,4	0	11,4
Озеро Щучье								
1956	0,69	7,27	5,99	14,0	0	14,0	0	14,0
2020	0,64	7,07	5,99	13,7	0	14,4	0	14,1
2030	0,71	7,37	5,99	14,1	0	14,0	0	14,0
2040	0,60	6,84	5,99	13,4	0	16,9	0	16,9
2050	0,55	6,57	5,99	13,1	0	16,5	0	16,5

В таблице 1 показано, что осадки, выпадающие на поверхность озер, будут уменьшаться в перспективе.

По прогнозным оценкам, в перспективе ожидается повышение температуры приземного слоя атмосферы в среднем на 1,0-2,3 °С. Это указывает на то, что в будущем произойдет рост испарения с поверхности озер с 690 до 904 мм. Например, испарение с поверхности оз. Бурабай увеличится с 695 до 904 мм, с поверхности оз. Киши Шабакты – с 690 до 864 мм, а с поверхности оз. Улкен Шабакты – с 706 до 826 мм.

Для определения взаимосвязи между изменениями уровня, объема и площади озера рассчитаны площади поверхности озер при различных уровнях и оценены объемы озер (таблица 2). По данным расчетов построены батиграфическая и объемная кривые (рисунки 2-6). Эти кривые наглядно показывают зависимость площади зеркала и объема озера от глубины.

Таблица 2 – Объемы основных озер ШБКЗ в ретроспективе и перспективе
Table 2 – Volumes of the main lakes of the SHBRA in retrospect and prospectively

Объем озер, млн м ³						
Годы	Бурабай	Жукей	Катарколь	Киши Шабакты	Улкен Шабакты	Щучье
1956	36,2	91,0	11,8	141	250	265
Прогнозные объемы озер, млн м ³						
2030	36,1	90,2	11,4	141	249	265
2040	34,8	89,7	10,7	140	247,1	262
2050	34,1	89,0	9,51	138	246,9	262

Размеры озера Бурабай при различном наполнении

Глубина, м	Площадь водной поверхности, км ²	Объем водной массы, млн м ³	h _{ср}
6,7	10,9	46,9	4,30
5,7	10,5	36,2	
5,0	9,90	29,0	
4	9,00	19,6	
3	7,50	11,3	
2	6,60	4,30	
1	1,00	0,50	
0	0	0	

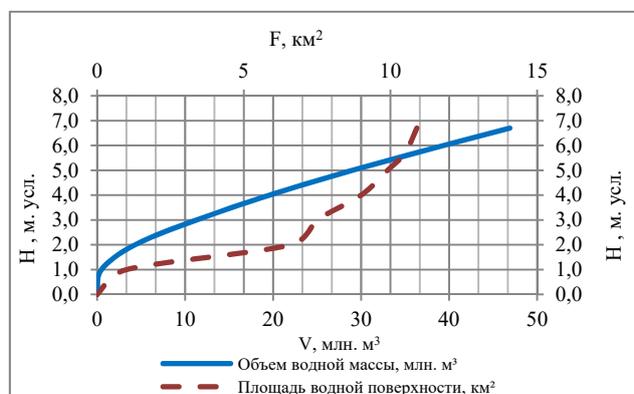


Рисунок 2 – Батиграфическая и объемная кривые оз. Бурабай

Figure 2 – Bathymetric and volumetric curves of the lake Burabay

Размеры озера Жукей при различном наполнении

Глубина, м	Площадь водной поверхности, км ²	Объем водной массы, млн м ³	h _{ср}
9,6	19,6	153	7,81
6,4	19,1	91,0	
5,0	18,6	64,6	
4	17,7	46,4	
3	16,2	29,4	
2	14,1	14,2	
1	7,20	3,60	
0	0	0	

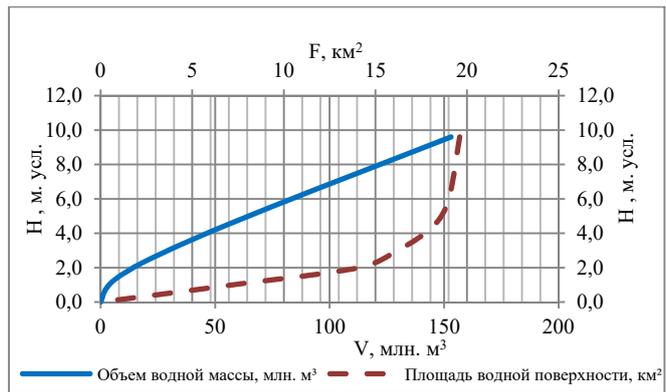


Рисунок 3 – Батиграфическая и объемная кривые оз. Жукей
Figure 3 – Bathographic and volumetric curves of the lake Zhukey

Размеры озера Улкен Шабакты при различном наполнении

Глубина, м	Площадь водной поверхности, км ²	Объем водной массы, млн м ³	h _{ср}
37,7	25,1	356	14,18
33,3	22,5	250	
32,9	22,2	240	
28	17,9	144	
24,0	13,1	81,5	
20,0	8,30	38,7	
16	4,00	14,1	
12	1,10	3,8	
8	0,30	0,80	
4	0,10	0,20	
0	0	0	

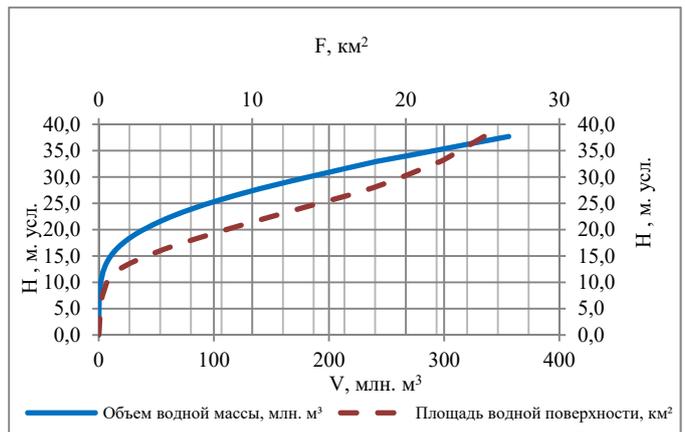


Рисунок 4 – Батиграфическая и объемная кривые оз. Улькен Шабакты
Figure 4 – Bathographic and volumetric curves of the lake Ulken Shabakty

Размеры озера Киши Шабакты при различном наполнении

Глубина, м	Площадь водной поверхности, км ²	Объем водной массы, млн м ³	h _{ср}
15,6	21,8	184	8,44
12	21,4	141	
11,5	20,8	131	
10,0	17,8	102	
8	15,8	68,5	
6	13,9	38,9	
4	10,8	14,2	
2	1,7	1,7	
0	0	0	

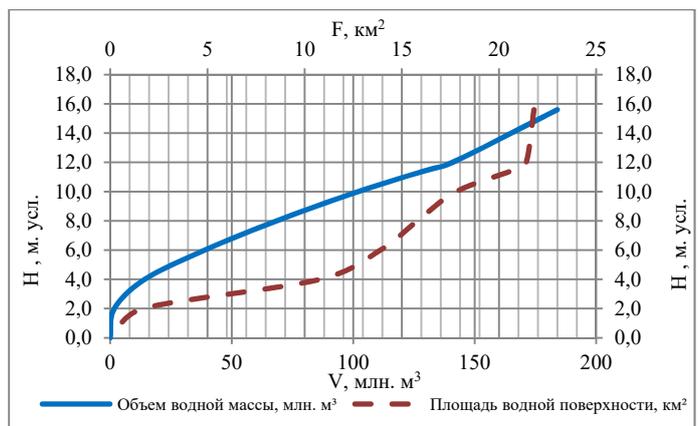


Рисунок 5 – Батиграфическая и объемная кривые оз. Киши Шабакты
Figure 5 – Bathographic and volumetric curves of the lake Kishi Shabakty

Размеры озера Щучье
при различном наполнении

Глубина, м	Площадь водной поверхности, км ²	Объем водной массы, млн м ³	h _{ср}
33	21,2	357	16,8
30	19,9	295	
28,4	18,6	265	
27,9	18,1	255	
25	15,5	207	
20	13,1	135	
15	10,2	76,9	
10	7,70	32,1	
8	6,40	17,9	
6	3,50	8,0	
4	1,80	2,70	
2	0,50	0,50	
0	0	0	

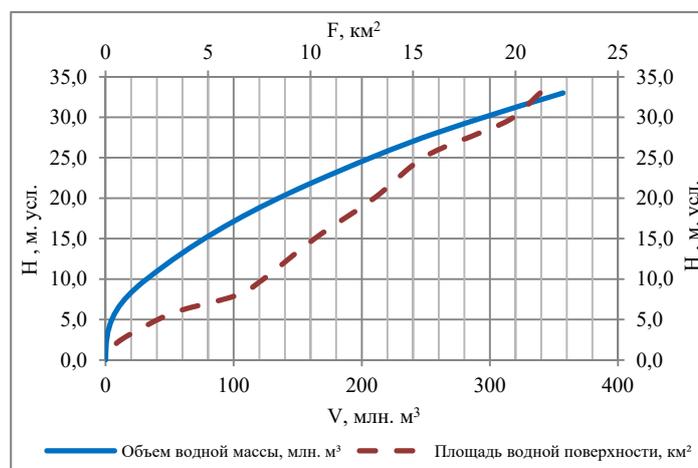


Рисунок 6 – Батиграфическая и объемная кривые оз. Щучье
Figure 6 – Bathymetric and volumetric curves of the lake Shchuchye

Полученные результаты могут служить надежной основой углубленного исследования водного режима озер.

Заключение. Исследования озер показали, что к середине XXI века в их водном балансе произойдут существенные изменения, а именно увеличится испарение с поверхности озер, уменьшится количество выпадающих осадков и соответственно приток в озера с водосборов. Для восстановления озер в размерах, наблюдавшихся в середине XX века, необходима подача в Щучинско-Боровскую курортную зону более 10 млн м³ и до середины XXI века до 20 млн м³ воды из внешних источников для компенсации увеличивающихся расходных и уменьшающихся приходных статей водного баланса и роста водопотребления на хозяйственные нужды в рассматриваемом регионе.

Практические мероприятия по управлению водными ресурсами системы озер:

1. Организация регулярного мониторинга гидрологических и климатических параметров (установка дополнительных гидрологических постов для постоянного мониторинга уровня воды в озерах; внедрение автоматизированных станций сбора данных для измерения режимных характеристик температуры, осадков, испарения и уровня подземных вод; разработка системы раннего предупреждения об экстремальных гидрологических явлениях, таких, как засухи или подтопления).

2. Прогнозирование и моделирование изменений водного баланса (использование гидрологических моделей для построения долгосрочных прогнозов изменения уровня воды и водного баланса озер; составление сценарных прогнозов при различных климатических изменениях до 2050 г. с учетом экстремальных явлений; обновление прогнозов каждые 5 лет с учетом новых климатических и гидрологических данных).

3. Управление водным режимом озер (создание системы регулирования уровня воды, включая использование гидротехнических сооружений для поддержания оптимального уровня воды; регулирование поступления воды в озера в периоды засухи; проведение очистки русел притоков для обеспечения максимального притока воды в озера).

4. Адаптация к изменению климата (разработка мер по адаптации к засухам и повышению температуры, включая проекты по снижению испарения, такие, как создание растительных зон и укрепление берегов; создание системы накопления и перераспределения воды в засушливые периоды; стимулирование использования экологически чистых технологий для минимизации воздействия на водные ресурсы).

5. Интегрированное управление водными ресурсами (создание интегрированной системы управления водными ресурсами, включающую государственные органы, местные сообщества и

научные учреждения; внедрение системы принятия управленческих решений на основе данных прогнозов и моделей, включая разработку планов действий в чрезвычайных ситуациях).

6. Экологические мероприятия (создание водоохраных зон и полос вокруг озер, ограничивающих хозяйственную деятельность вблизи водоемов; проведение мероприятий по восстановлению прибрежной растительности, что будет способствовать снижению испарения и защите берегов от эрозии; ликвидирование стихийных свалок и предотвращение попадания бытовых загрязнений в озеро).

7. Разработка нормативных и законодательных мер (внесение изменений в законодательство, регулирующее использование и охрану водных ресурсов; установление квот на водопользование в зависимости от текущих гидрологических условий и прогнозов; разработка планов действий на случай чрезвычайных ситуаций, связанных с изменением уровня воды).

8. Создание базы данных и информационной платформы (разработка открытой цифровой платформы для хранения и анализа данных мониторинга; внедрение системы визуализации данных, таких, как интерактивные карты, показывающие изменения уровня воды и прогнозы).

Реализация практических мероприятий поможет поддерживать устойчивое состояние системы озер в условиях изменения климата для обеспечения долгосрочного эффективного управления водными ресурсами исследуемого региона.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках проекта с ГУ «ГНПП “Бурабай”» Управления делами Президента Республики Казахстан. Разработать мероприятия по проекту «Восстановление и сохранение экосистемы ГНПП “Бурабай”». Договор №83 от 29 февраля 2024 года.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Болгов М. В., Коробкина Е. А. О моделировании колебаний уровня озера Чаны для управления его гидрологическим режимом // *Водные ресурсы*. – 2012. – № 39. – С. 555-564.
- [2] Фролов А. В., Выручалкина Т. Ю. Моделирование многолетних колебаний уровня озера Байкал и его водного баланса // *Гидрология и экология: исследования и практика*. – 2021. – № 3. – С. 45-58.
- [3] Фролов А. В., Выручалкина Т. Ю. О прогнозе многолетних изменений уровня воды крупных озер // *Водные ресурсы*. – 2021. – № 48(6). – С. 789-798.
- [4] Kalbus E., Binley A., Krause S. (2006). Estimating water balance dynamics for lakes: A comprehensive review of hydrological and hydrogeological methods // *Journal of Hydrology*, 329 (3-4), 368-385.
- [5] Stepanek P., Zahradníček P., Huth R. (2016). Projected changes in lake water levels in Central Europe based on climate change scenarios // *Climatic Change*, 137(1-2), 343-357.
- [6] Magnuson J. J., Benson B. J., Kratz T. K. (2000). Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere // *Science*, 289(5485), 1743-1746.
- [7] Gao H., Tang Q., Dai S. (2012). Understanding lake dynamics in response to climate change: A case study in the Tibetan Plateau // *Nature Climate Change*, 2(6), 456-460.
- [8] Zhang G., Yao T., Shum C. K., Ye Q. (2013). Lake volume and water level changes on the Tibetan Plateau during 1976-2010 // *Geophysical Research Letters*, 40 (3), 482-486.
- [9] Lehner B., Döll P. (2004). Development and validation of a global database of lakes, reservoirs, and wetlands // *Journal of Hydrology*, 296(1-4), 1-22.
- [10] Cohen S., Miller K. A. (2001). Climate change and sustainable water management in transboundary river basins // *International Journal of Water Resources Development*, 17 (4), 441-451.
- [11] Peeters F., Straile D., Lorke A., Livingstone D. M. (2007). Modeling the impact of climate change on the thermal structure of lakes // *Limnology and Oceanography*, 52 (2), 487-498.
- [12] Crétau J. F., Birkett C. (2006). Lake studies from satellite altimetry // *Comptes Rendus Geoscience*, 338 (14-15), 1098-1112.
- [13] Klein I., Dietz A. J., Gessner U. (2014). Monitoring lake level fluctuations using satellite imagery // *Remote Sensing of Environment*, 152, 1-9.
- [14] Krysanova V., Hattermann F. F. (2009). Integrating climate change impacts into water resources management: SWIM model applications // *Water Resources Management*, 23 (3), 467-490.
- [15] Huang S., Krysanova V., Hattermann F. (2010). Projections of climate change impacts on river flood conditions in Germany using a regional climate model and the SWIM model // *Hydrological Sciences Journal*, 55 (5), 916-931.
- [16] Abbaspour K. C., Vejdani M., Haghight S. (2007). SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT // *Hydrological Processes*, 21 (3), 327-346.
- [17] Lindström G., Johansson B., Persson M., Gardelin M., Bergström S. Development and Test of the Distributed HBV-96 Hydrological Model // *Journal of Hydrology* 1997, 201 (1-4), 272-288.
- [18] Thompson J. R., et al. (2004). Application of the MIKE SHE models to flood simulation in a small lowland catchment // *Water and Environment Journal*, 18 (1), 16-24.

- [19] Lindström G., Pers C., Rosberg J., Arheimer B. (2010). Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales // *Hydrology Research*, 41 (3-4), 295-319.
- [20] Современные особенности распределения потоков влаги на территории Евразии // *Киберленинка*. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-osobennosti-raspredeleniya-potokov-vlagi-na-territorii-evrazii>, свободный.
- [21] Элементы общей циркуляции и распределение влагозапаса атмосферы Земли // Институт космических исследований Российской академии наук. – Режим доступа: <https://www.iki.rssi.ru/books/2008astafieva.pdf>, свободный.
- [22] Trenberth K. E., Dai A., Rasmussen R. M., Parsons D. B. (2003). The changing character of precipitation // *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84 (9), 1205-1218.
- [23] Allen M. R., Ingram W. J. (2002). Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle // *Nature*, 419 (6903), 224-232.
- [24] Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. 3. Кокчетавская область Казахской ССР / Под общей редакцией В. А. Урываева. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 563 с.

REFERENCES

- [1] Bolgov M. V., Korobkina E. A. (2012). On modeling fluctuations in the level of Lake Chany to control its hydrological regime // *Water Resources*, 39 (5), 555-564 (in Russ.).
- [2] Frolov A.V., Vygachalkina T. Y. (2021). Modeling of long-term fluctuations in the level of Lake Baikal and its water balance // *Hydrology and Ecology: Research and Practice*, 3 (1), 45-58 (in Russ.).
- [3] Frolov A.V., Byvachalkina T. Y. (2021). About the forecast of long-term changes in the water level of large lakes. *Water Resources*, 48 (6), 789-798 (in Russ.).
- [4] Kalbus E., Binley A., Krause S. (2006). Estimating water balance dynamics for lakes: A comprehensive review of hydrological and hydrogeological methods // *Journal of Hydrology*, 329 (3-4), 368-385.
- [5] Stepanek P., Zahradníček P., Huth R. (2016). Projected changes in lake water levels in Central Europe based on climate change scenarios // *Climatic Change*, 137(1-2), 343-357.
- [6] Magnuson J. J., Benson B. J., Kratz T. K. (2000). Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere // *Science*, 289(5485), 1743-1746.
- [7] Gao H., Tang Q., Dai S. (2012). Understanding lake dynamics in response to climate change: A case study in the Tibetan Plateau // *Nature Climate Change*, 2(6), 456-460.
- [8] Zhang G., Yao T., Shum C. K., Ye Q. (2013). Lake volume and water level changes on the Tibetan Plateau during 1976-2010 // *Geophysical Research Letters*, 40 (3), 482-486.
- [9] Lehner B., Döll P. (2004). Development and validation of a global database of lakes, reservoirs, and wetlands // *Journal of Hydrology*, 296(1-4), 1-22.
- [10] Cohen S., Miller K. A. (2001). Climate change and sustainable water management in transboundary river basins // *International Journal of Water Resources Development*, 17 (4), 441-451.
- [11] Peeters F., Straile D., Lorke A., Livingstone D. M. (2007). Modeling the impact of climate change on the thermal structure of lakes // *Limnology and Oceanography*, 52 (2), 487-498.
- [12] Crétaux J. F., Birkett C. (2006). Lake studies from satellite altimetry // *Comptes Rendus Geoscience*, 338 (14-15), 1098-1112.
- [13] Klein I., Dietz A. J., Gessner U. (2014). Monitoring lake level fluctuations using satellite imagery // *Remote Sensing of Environment*, 152, 1-9.
- [14] Krysanova V., Hattermann F. F. (2009). Integrating climate change impacts into water resources management: SWIM model applications // *Water Resources Management*, 23 (3), 467-490.
- [15] Huang S., Krysanova V., Hattermann F. (2010). Projections of climate change impacts on river flood conditions in Germany using a regional climate model and the SWIM model // *Hydrological Sciences Journal*, 55 (5), 916-931.
- [16] Abbaspour K. C., Vejdani M., Haghightat S. (2007). SWAT-CUP calibration and uncertainty programs for SWAT // *Hydrological Processes*, 21 (3), 327-346.
- [17] Lindström, G. Johansson, B. Persson, M. Gardelin, M. Bergström, S. Development and Test of the Distributed HBV-96 Hydrological Model // *Journal of Hydrology* 1997, 201 (1-4), 272-288.
- [18] Thompson J. R., et al. (2004). Application of the MIKE SHE models to flood simulation in a small lowland catchment // *Water and Environment Journal*, 18 (1), 16-24.
- [19] Lindström G., Pers C., Rosberg J., Arheimer B. (2010). Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales // *Hydrology Research*, 41 (3-4), 295-319.
- [20] Modern peculiarities of moisture fluxes distribution on the territory of Eurasia // *Cyberlenninka*. – Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-osobennosti-raspredeleniya-potokov-vlagi-na-territorii-evrazii>, free. (Date of circulation: 15.01.2025.) (in Russ.).
- [21] Elements of general circulation and distribution of the Earth's atmospheric moisture reserve // Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences. – Access mode: <https://www.iki.rssi.ru/books/2008astafieva.pdf>, free. (Date of circulation: 20.01.2025.) (in Russ.).
- [22] Trenberth K. E., Dai A., Rasmussen R. M., Parsons D. B. (2003). The changing character of precipitation // *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84 (9), 1205-1218.
- [23] Allen M. R., Ingram W. J. (2002). Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle // *Nature*, 419 (6903), 224-232.
- [24] Surface water resources of virgin and fallow lands development areas. Issue 3. Kokchetav region of the Kazakh SSR / Under the general editorship of V. A. Uryvaev. L.: Gidrometeoizdat, 1959. 563 p. (in Russ.).

A. P. Medeu¹, A. A. Tursunova², L. K. Makhmudova³, K. M. Kulebayev^{*4},
A. A. Nurbatsina⁵, L. M. Birimbayeva⁶

¹Г. ғ. д., профессор, ҚР ҰҒА академигі, басқарма төрағасы

(«География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; ingeo_2009@mail.ru)

²Г. ғ. к., ЖҒК («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; ais.tursun@bk.ru)

³Г. ғ. к., ЖҒК («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; mlk2002@mail.ru)

^{4*}ҒК («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; kairat.kulebayev@mail.ru)

⁵ҒК («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; aliya.nurbatsina@gmail.com)

⁶ҒК («География және су қауіпсіздігі институты» АҚ, Алматы, Қазақстан; birimbayeva_l@mail.ru)

КЛИМАТТЫҚ ӨЗГЕРІСТЕРДІ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, "БУРАБАЙ" МЕМЛЕКЕТТІК ҰЛТТЫҚ ТАБИҒИ ПАРКІНІҢ 2050 ЖЫЛҒА ДЕЙІНГІ КӨЛДЕР СУЫНЫҢ БОЛЖАМЫ

Аннотация. Жұмыс "Бурабай" мемлекеттік ұлттық табиғи паркінің ("Бурабай"МҰТП) көлдерінің суының қазіргі жай-күйін бағалауға және ғасыр ішіндегі ауытқуларының ұзақ мерзімді болжамына арналған. Реализ деректері мен сандық модельдеу нәтижелері негізінде Шортанды, Бурабай, Үлкен Шабакты, Кіші Шабакты, Катаркөл, Жукей көлдерінің бассейндеріндегі климаттық өзгерістердің әсеріне талдау жасалды. Аймақтағы климаттық өзгерістікті сипаттайтын бірқатар атмосфералық және мұхиттық айналым индекстерінің көлдердің су режимімен байланысын бағалау жүргізілді. Климаттық сипаттамалар мен су жинаудың гидрологиялық режимі мен көлдердің су балансы арасындағы себеп-салдарлық байланыстар зерттелді. Жауын-шашын, температура, ағынды сулар және су жинау алабындағы булану динамикасы ретроспективада және перспективадағы жағдайы. Есептеу нәтижелері алдағы 15-25 жылда зерттелетін ауданда ылғал тасымалының ықтимал төмендеуін және жауын-шашынның азаюын көрсетеді, бұл көлдердің су деңгейінің бірнеше жыл кешігуімен төмендеуіне әкеледі. Шамамен 2030 жылдан 2050 жылға дейін буланудың жоғарылауы күтілуде, бұл осы су объектілерінің деңгейінің төмендеуіне әкеледі деп болжамдылады.

Түйін сөздер: болжам, су көлемі, көлдер, климат, өзгерістік.

A. R. Medeu¹, A. A. Tursunova², L. K. Makhmudova³, K. M. Kulebayev^{*4},
A. A. Nurbatsina⁵, L. M. Birimbayeva⁶

¹Doctor of Geographical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Chairman of the Board

(JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; ingeo_2009@mail.ru)

²Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; ais.tursun@bk.ru)

³Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; mlk2002@mail.ru)

^{4*}Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; kairat.kulebayev@mail.ru)

⁵Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; aliya.nurbatsina@gmail.com)

⁶Researcher (JSC «Institute of Geography and Water Security», Almaty, Kazakhstan; birimbayeva_l@mail.ru)

FORECAST OF LAKE WATER AVAILABILITY IN THE STATE NATIONAL NATURAL PARK "BURABAI" UP TO 2050. TAKING INTO ACCOUNT CLIMATIC CHANGES

Abstract. The work is devoted to the assessment of the current state and long-term forecast of intra-century water fluctuations in the lakes of the State National Natural Park "Burabai" hereinafter (SNNP "Burabai"). On the basis of reanalysis data and results of numerical modeling, the analysis of the influence of climatic changes in the basins of lakes Shortandy, Burabai, Ulken Shabakty, Kishi Shabakty, Katarkol, Zhukey has been carried out. The linkage of a number of atmospheric and oceanic circulation indices describing climatic variability in the region with the water regime of lakes was assessed. Causal relationships between climatic characteristics and hydrological regime of catchments and water balance of lakes were investigated. Dynamics of precipitation, temperature, runoff and evaporation in the watershed in retrospect and prospect. The results of calculations show a possible reduction in moisture transport and precipitation reduction in the study area in the next 15-25 years, resulting in a delayed decline in lake water levels. Approximately from 2030 to 2050, an increase in evaporation is expected, which should lead to a lowering of the level of these water bodies.

Keywords: forecast, volume of water, lakes, climate, variability.