

УДК: 528.94, 556.5

DOI: 10.35595/2414-9179-2024-2-30-299-308

Т. Ю. Выручалкина^{1,2}

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА ПО ТЕНДЕНЦИЯМ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ ВОДЫ ОЗЕР

АННОТАЦИЯ

Уровень водоемов является интегральным показателем изменения климата в региональном масштабе. В Евразии располагается самая большая зона с бессточными водоемами, в т. ч. несколькими крупными озерами и Каспийским морем, уровень воды в которых в последние десятилетия был подвержен значительным колебаниям. Чтобы определить закономерности этих колебаний и их связь с изменениями климата, была исследована изменчивость уровней воды озер Казахстана и Каспийского моря. На основе архива данных наблюдений за уровнями озер Казахстана в период с 1936 по 2021 г. проанализированы характеристики и тенденции изменений уровней воды. Из рассмотренных озер почти 50 % — бессточные и соленые. Основные результаты этого исследования показали, что на территории Казахстана присутствует региональная неоднородность изменений уровня озер. Выделяются две крупнорегиональные группы: периферическая и центральная. Графики уровней озер в первой и второй группах имеют разную межгодовую изменчивость: ярко выраженные периоды спада и подъема уровня, аналогичные колебаниям Каспийского моря, в первом случае и разрозненные тенденции — во втором. В последние десятилетия для всей территории Казахстана отмечается общая тенденция сначала на подъем (до 2016–2018 гг.), а затем на спад уровней воды в озерах. Почти одновременный и последовательный разворот от повышения уровня воды к понижению в этом случае можно рассматривать как признак крупномасштабного изменения гидрологического режима в аридной зоне Центральной Азии. Приведенный анализ позволяет представить озера бессточной области как потенциальные индикаторы множественных климатических изменений. Колебания уровня воды в этих озерах могут дать ценную информацию как о региональных гидрологических режимах, так и об изменениях глобальной циркуляции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Казахстан, озеро, уровень воды, изменение климата, районирование

¹ Институт водных проблем Российской академии наук, ул. Губкина, д. 3, Москва, Россия, 119333, *e-mail: vyruchi@list.ru*

² Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова, Кропоткинский пер., д. 6, Москва, Россия, 119034, *e-mail: vyruchi@list.ru*

Tatiana Y. Vyruchalkina^{1,2}

ZONING OF THE TERRITORY OF KAZAKHSTAN ACCORDING TO TRENDS IN CHANGES IN THE WATER LEVEL OF LAKES

ABSTRACT

The level of reservoirs is an integral indicator of climate change on a regional scale. Eurasia has the largest area with drainless reservoirs, including several large lakes and the Caspian Sea, the water level in which has been subject to significant fluctuations in recent decades. In order to determine the patterns of these fluctuations and their relationship to climate change, the variability of water levels in the lakes of Kazakhstan and the Caspian Sea was studied. Based on the archive of observations of lake levels in Kazakhstan in the period from 1936 to 2021. The characteristics and trends of changes in water levels are analyzed. Of the lakes considered, almost 50 % are drainless and salty. The main results of this study showed that there is a regional heterogeneity of lake level changes on the territory of Kazakhstan. Two large regional groups are distinguished: peripheral and central. The graphs of lake levels in the first and second groups have different interannual variability: pronounced periods of decline and rise, similar to fluctuations in the Caspian Sea in the first case and scattered trends in the second. In recent decades, there has been a general trend for the entire territory of Kazakhstan, first to rise (until 2016–2018) and then to decrease water levels in lakes. In this case, an almost simultaneous and consistent reversal from an increase in the water level to a decrease can be considered as a sign of a large-scale change in the hydrological regime in the arid zone of Central Asia. The above analysis allows us to present the lakes of the drainless region as potential indicators of multiple climatic changes. Fluctuations in the water level in these lakes can provide valuable information about both regional hydrological regimes and changes in global circulation.

KEYWORDS: Kazakhstan, lake, water level, climate change, zoning

ВВЕДЕНИЕ

Бессточные области Евразии представляют значительный научный интерес, поскольку они являются замкнутыми или внутренними дренажными системами без оттока в океан или море. Замкнутый характер гидрологического цикла делает бессточные бассейны особенно чувствительными к колебаниям климата [Панин и др., 2015; Выручалкина и др., 2020]. Одной из самых обширных бессточных областей является территория Казахстана. Уровни его озер представляют собой «конечные точки», аккумулирующие множественные реакции водного баланса в масштабе бассейна, и поэтому считаются одним из наиболее чувствительных индикаторов региональной реакции на изменение климата.

Озера Казахстана имеют важное значение для местного сельского хозяйства и рекреации [Никитин, 1987; Мякишева, Жумангалиева, 2014; Рянжин и др., 2015; Аятхан, Мырзабек, 2021; Мадибеков и др., 2021; Valeyev et al., 2019; Akhmedenov et al., 2020; Zhang et al., 2021]. Почти треть территории Казахстана занимают пустыни. Климат страны континентальный, с недостаточным увлажнением; исключения представляют горные районы. Годовое количество осадков с запада и юга от 100–200 мм/год возрастает на востоке страны до 300–600 мм/год. Влага поступает с воздушными массами атлантического и арктического

¹ Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, 3, Gubkina str., Moscow, 119333, Russia, e-mail: vyruchi@list.ru

² N. N. Zubov's State Oceanographic Institute, 6, Kropotkinsky ln., Moscow, 119034, Russia, e-mail: vyruchi@list.ru

происхождения, с территории стран южнее Казахстана происходит заток сухого жаркого воздуха. По этой причине можно ожидать, что уровни воды в озерах обширной бессточной области будут неоднородно реагировать на глобальные изменения.

Всего в Казахстане насчитывается около 48 тыс. естественных озер, из которых приблизительно 45 тыс. условно относятся к малым и 21 озеро — к большим [Никитин, 1987]. Озера встречаются в различных частях страны; их размеры, соленость и преобладающие типы седиментации варьируются чрезвычайно широко. Вместе с тем нужно отметить, что разные районы страны отличаются по степени изученности как отдельных озер, так и их систем. Период СССР отмечен началом и развитием гидрологических наблюдений на озерах.

Цель исследования — анализ изменений уровня воды озер и выявления их региональных закономерностей. При этом решались следующие задачи: выявление особенностей колебаний уровня отдельных озер, поиск общих тенденций изменения уровней, районирование территории согласно установленным общим закономерностям изменения уровня озер. За последние десятилетия не предпринималось попыток сравнить изменения уровня озер на всей территории Казахстана на основе современных данных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленных в работе целей сформирован объединенный архив данных морфометрических характеристик и многолетних наблюдений за уровнем 26 озер (табл. 1). Расположение озер показано на рисунке 1.

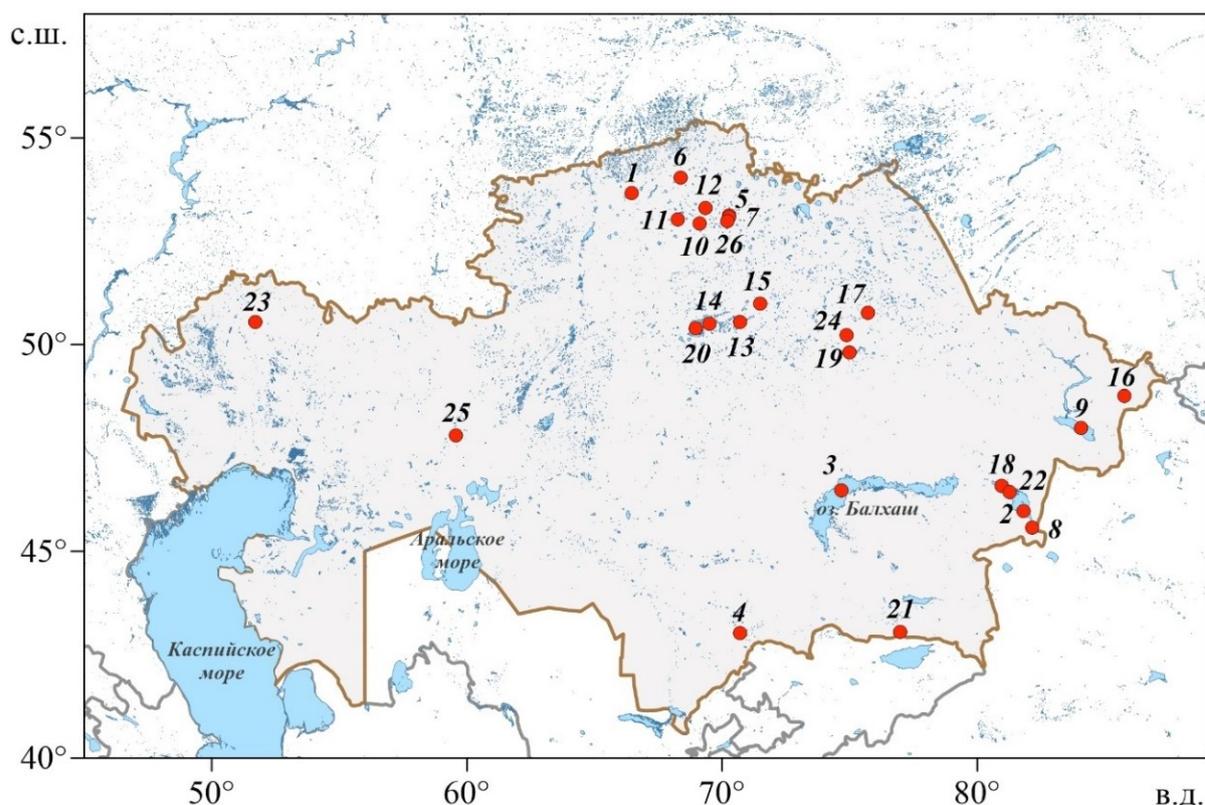


Рис. 1. Схема расположения озер. Красные точки — места расположения озер, цифры — номера озер согласно табл. 1

Fig. 1. The layout of the lakes. Red dots — the lakes locations, numbers — the numbers of lakes according to Table 1

Табл. 1. Сведения об исследуемых озерах
Table 1. Information about the lakes under study

№ оз.	Название	Координаты		Площадь, км ²		Высота н. у. м., м БС	Объем, км ³	Глубина, м		Длина, км	Макс. ширина, км	П*	С**
		шир.	дол.	водосбора	водоема			средн.	макс.				
1	Аксаут	53.67	66.45	4750	123	120.44		1	2.8	30	11	2	2
2	Алаколь	45.98	81.81	65200	2650	346.79	58.6	22.1	54	104	52	2	2
3	Балхаш	46.47	74.68	413000	18200	341.4	106	5.8	26.5	614	70	2	2
4	Бийлюколь	43.02	70.70	5170	86.9	438.28	0.17	6	7.7	19	10.5	1	2
5	Улькен Шабакты	53.12	70.27	150	26	294.54	–	–	–	–	–	2	1
6	Большой Тарангул	54.04	68.37	2000	40	151.88	81.2	2.2	2.9	10	4.9	2	1
7	Боровое	53.08	70.28	164	10.5	319.99	–	–	–	–	–	1	1
8	Джаланашколь	45.57	82.15		40.6	367.58	0.1	2.45	3.4	8.78	6.32	1	2
9	Зайсан	47.98	84.06	142000	5490 (3750)	390.81	–	–	–	–	–	1	1
10	Зеренда	52.92	69.12	97.7	10.7	373.55	–	4.2	6.8	5.3	3.5	2	1
11	Имантау	53.02	68.27	483	48.9	323.35	279	5.7	10	13.3	4.4	1	1
12	Копа	53.31	69.35	3860	13.1	223.53	0.9	1.5	2.5	5.08	3.29	1	1
13	Жыландышалкар	50.55	70.70	111000	10.5	356.44	36.4		2.8	6.5	3.6	2	2
14	Кургальджино	50.50	69.51	299	34	308.82	0.05		3	14.5	4.8	1	2
15	Майбалык	50.99	71.50	15.9	1.3	153.51	0.4	1.5	3–3.5	1.5	1	2	1
16	Маркаколь	48.75	85.77	1180	449	144.93	4.2	2.1	3.5	1.5	1	1	1
17	Сабундыколь	50.77	75.71	95.9	7.4	450.14	1.9	1.7	2.2	1.3	1.2	2	1
18	Сасыкколь	46.59	80.94	55000	736	368.54	2.43	3.32	4.7	49.6	19.8	1	1
19	Сумальколь	49.81	74.99		4.7	626.57	7.54		3.5	2.8	2.2	2	2
20	Тенгиз	50.39	68.95		1590	305		2.5	7.75	74.4	40.2	2	2
21	Улькен Алматы	43.05	76.98		0.5	2504.6	13.5		40	1.6	0.6	1	1
22	Уялы	46.43	81.27	5264	120	349.77	0.5	4.07	5.8	18.3	9.6	1	1
23	Челкар	50.55	51.70	3646	242	18.7				18.4	14.7	2	2
24	Шалкарколь	50.23	74.88	–	3	659.95	–	–	–	1.6	1	2	2
25	Шелкар	47.80	59.58	2460	5.65	167.48	16.1		3.8	7	1.8	1	2
26	Щучье	52.98	70.21	64.4	18.6	45.87	–	–	–	–	–	2	1

*П — проточность: 1 — проточное, 2 — бессточное

**С — степень минерализации воды: 1 — пресное, 2 — соленое, солоноватое

Архив данных наблюдений состоит из среднемесячных значений уровня 26 озер в период с 1936 по 2021 г. Из них 14 озер — бессточные, 12 — соленые/солончатые (рис. 2). Минимальная высота над уровнем моря имеет значение 18.7 м БС, максимальная — 2 504.6 м БС. Архив формировался из данных Гидрологических ежегодников Главного управления Гидрометслужбы при совете министров СССР (1936–1991 гг.) и Гидрологических ежегодников Казахстана (1992–2021 гг.). С середины 1950-х гг. отмечается резкий рост числа озер, охваченных наблюдениями. Максимум наблюдений приходится на середину 1980-х гг. В последние 30 лет количество наблюдений существенно изменялось. С 1991 по 2000 гг. произошло резкое сокращение числа озер в наблюдательной сети, т. к. многие станции были закрыты после распада Советского Союза. К 2010 г. на значительной части из них наблюдения были восстановлены (рис. 3). Построение пространственных карт изменений различных параметров осуществлялось в Surfer 15 Golden Software.

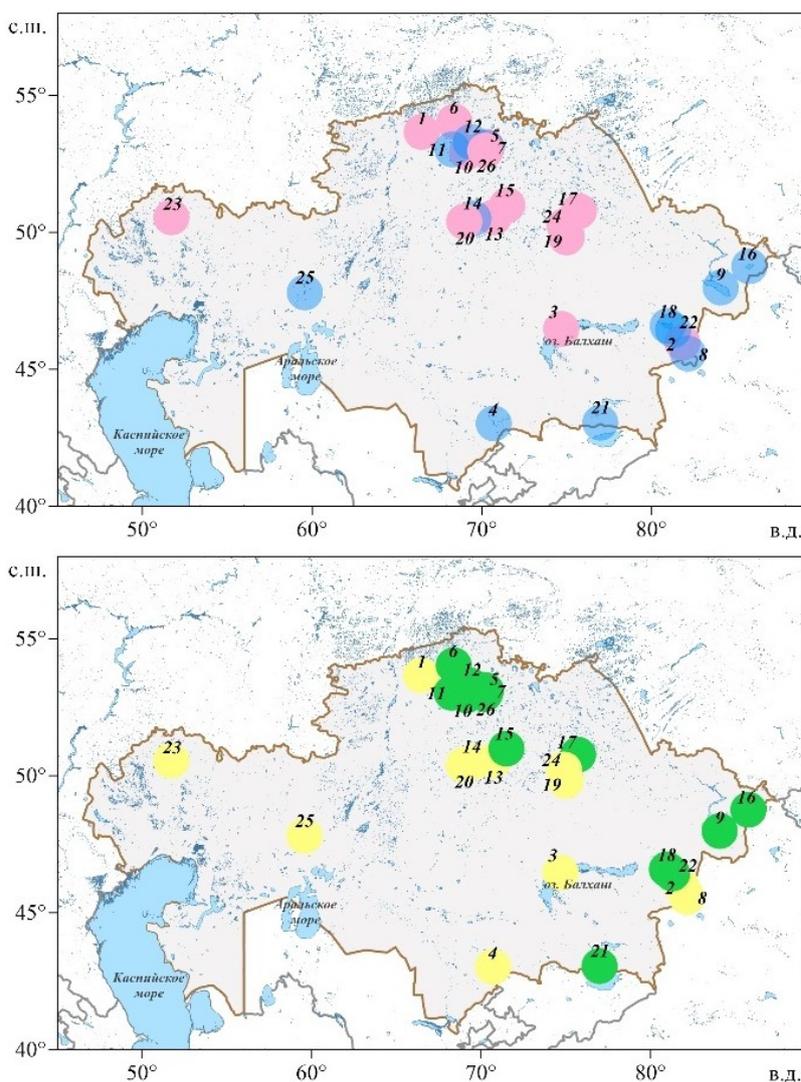


Рис. 2. Озера по проточности (слева) и минерализации (справа).
 Голубой круг — проточное, розовый — бессточное, зеленый — пресное,
 желтый — соленое, цифры — номера озер согласно табл. 1
 Fig. 2. The lakes by flow (left) and mineralization (right).
 Blue circle — flowing, pink — drainless, green — fresh, yellow — salty,
 numbers — the numbers of lakes according to Table 1

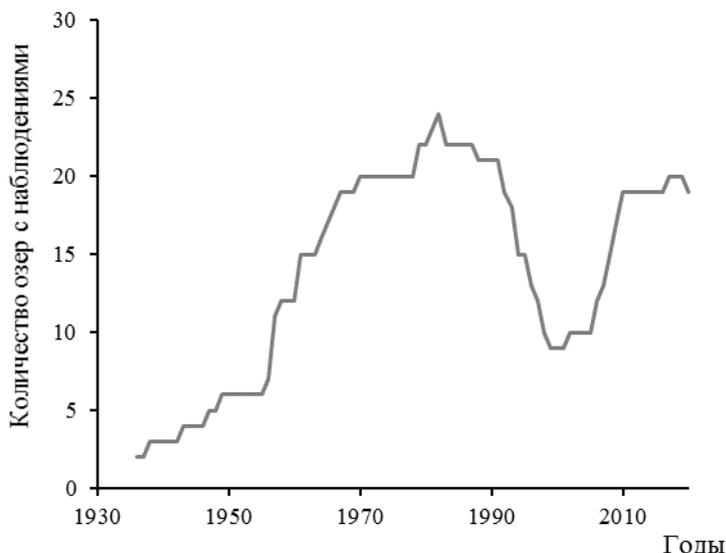


Рис. 3. Количество озер с наблюдениями по годам
 Fig. 3. The number of lakes with observations by year

Продолжительность наблюдений за уровнем озер составляет от 16 до 86 лет. Это внесло некоторые затруднения в исследование, поэтому были использованы различные методики обобщения материалов наблюдений и результатов анализа. Для озер с продолжительностью наблюдений более 30 лет были рассчитаны взаимные корреляции. Дополнительно ряды данных были разделены на 30-, 15- и 5-летние периоды. Для этих периодов рассчитаны средние значения и линейные тренды. На основе этих данных были сформированы тепловые карты (таблицы) и построены карты распределения величин по территории Казахстана. Примеры этих карт представлены на рис. 4. Помимо этого в исследовании использовалось визуальное сравнение графиков колебания уровня озер.

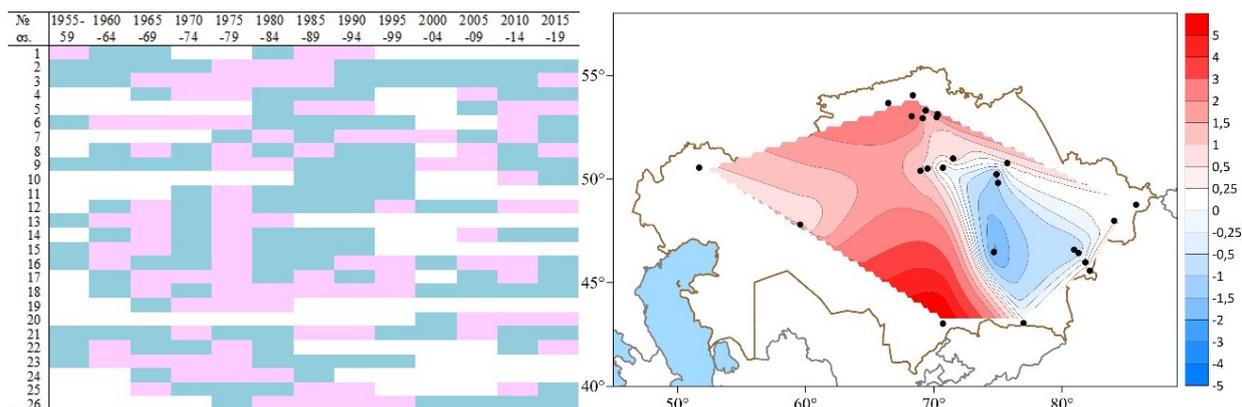


Рис. 4. Примеры карт тепловых (слева) и пространственных (справа). Слева — изменение среднегодовых величин уровня воды по пятилеткам, справа — тренды уровня озер за 1966–1995 гг., в м
 Fig. 4. Examples of thermal (left) and spatial (right) maps. On the left — the change in the average annual values of the water level over five years, on the right — trends in lake levels for 1966–1995 in meters

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изменения уровня воды выбранных озер за период 1936–2021 гг. неоднородны (рис. 5). Уровень воды озер запада и севера Казахстана повторяет колебания Каспийского моря. Взаимная корреляция между годовыми величинами уровня моря и уровней оз. Большой Тарангул ($h_{\text{ср}} = 152$ м БС), Копа ($h_{\text{ср}} = 224$ м БС) и Имантау ($h_{\text{ср}} = 324$ м БС) на севере страны составляет $r = 0.75 \dots 0.95$, оз. Челкар ($h_{\text{ср}} = 47$ м БС) на западе $r = 0.5$ и на юге страны для оз. Бийлюколь ($h_{\text{ср}} = 152$ м БС) $r = 0.95$ (группа озер периферийных областей). Взаимная корреляция между уровнями перечисленных озер >0.7 . При этом выделяется альтернативная область (группа озер центральной области), расположенная на Казахском мелкосопочнике и простирающаяся на юг до хр. Джунгарский Алатау. Колебания уровней воды здесь имеют отличные тенденции от первой группы озер. Здесь не наблюдается локального минимума 1978–1980 гг. Минимум либо присутствует во второй половине 1980-х гг., либо не выражен значительно. Можно выделить три подгруппы со схожими колебаниями уровней озер: 1 — группа Алакольских озер и оз. Балхаш, 2 — группа озер Тенгиз-Коргалжынской впадины, 3 — группа озер, расположенная северо-восточнее г. Караганда, северный склон Казахского мелкосопочника по направлению к Павлодару (рис. 6). В отдельную группу выделяется оз. Маркаколь (область 4 на рис. 6), поскольку график среднегодовых величин уровня отличается ото всех других озер и не отмечается значительных корреляционных связей с группами озер. Выделяется также оз. Зайсан — колебания уровня озера имеют схожий характер с уровнем Каспия до 1995 г., но в последние десятилетия тенденции отличаются (за период 1936–2021 гг. $r = 0.38$). Различную реакцию уровней озер на климатические изменения (температура воздуха и осадки) можно объяснить влиянием таких дополнительных факторов, как ледниковой сток и соленость вод озер. Поверхностный сток от атмосферных осадков оказывает непосредственное влияние на колебания уровня озера, но повышение температуры воздуха увеличивает сток талых вод с ледников и снега в озера с ледниковым питанием, а также поверхностный сток от атмосферных осадков. Для группы озер центрального Казахстана, не питаемых ледниками, колебания уровня больше соответствуют годовому изменению количества осадков, чем температуре воздуха, что указывает на прямое воздействие осадков на уровень воды. В свою очередь, озера, имеющие и ледниковое питание, имели достоверную положительную корреляцию между весенней температурой воздуха и уровнем озера [Zhang et al., 2021]. Изменение солености вод оказывает влияние на испарение с акватории озер [Панин и др., 2006].

В подавляющем большинстве озер Казахстана с 1990-х гг. произошли резкие колебания уровня воды. Присутствовал и резкий рост, и падение уровней. С 2009–2012 гг. на территории Казахстана уровень воды озер в целом имел тенденцию к повышению. Однако в 2016–2019 гг. он перестал расти, началось очередное снижение. Над Центральной Азией в это время отмечается явное повышение температуры воздуха и рост атмосферных осадков 2012–2019 гг. [Zhang et al., 2021].

Согласованные изменения уровня воды в озерах за последние 15 лет, охватывающие крупнейшую внутриконтинентальную бессточную территорию, дают важное представление о влиянии изменения климата на засушливые регионы Евразии. Смена тренда уровня воды озер от многолетнего снижения к последовательному повышению свидетельствует о кардинальных изменениях региональной атмосферной циркуляции и водного баланса.

Дальнейшие исследования будут направлены на расширение архива данных за счет включения озер сопредельных государств и изучения пространственной картины колебаний уровней воды озер в связи с климатическими факторами, такими как осадки и температура воздуха, а также с влиянием солености.

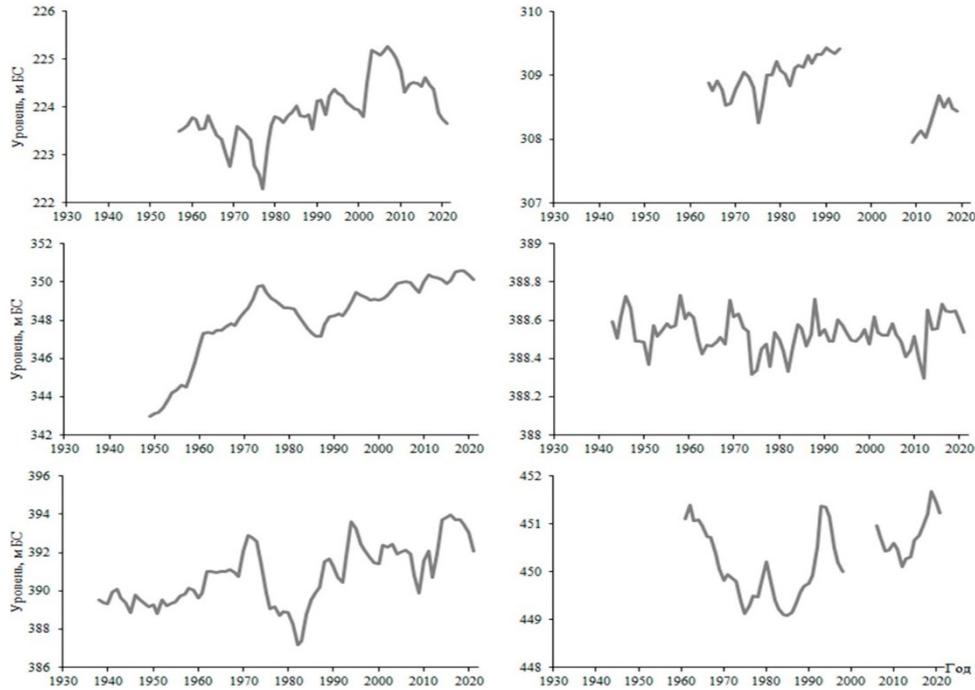


Рис. 5. Среднегодовые уровни озер. Слева направо сверху вниз: Копя, Кургальджино, Алаколь, Маркаколь, Зайсан и Сабундыколь
 Fig. 5. Average annual lake levels. From left to right from top to bottom: Kopa, Kurgaldzhino, Alakol, Markakol, Zaisan and Sabyndykol

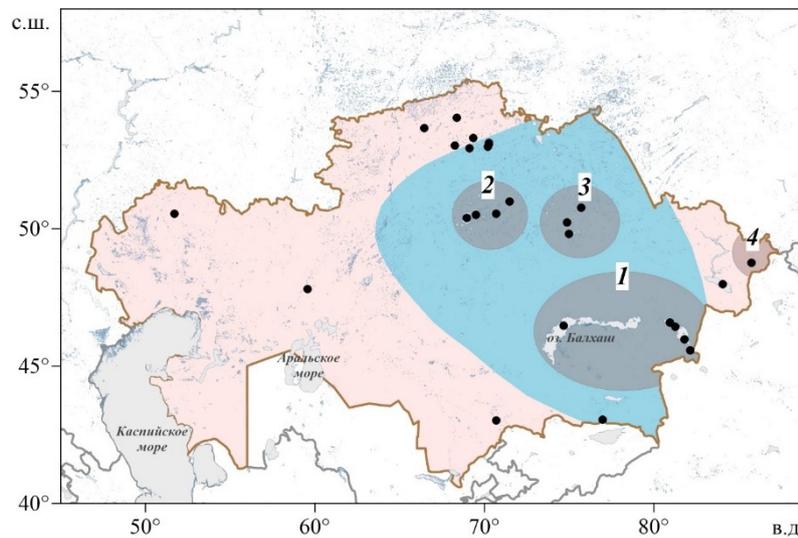


Рис. 6. Районирование Казахстана по однородности колебаний годовых величин уровней озер. Розовая область — группа периферийных озер, голубая область — группа озер центральной области, 1 — группа Алакольских озер и оз. Балхаш, 2 — группа озер Тенгиз-Коргалжынской впадины, 3 — группа озер, расположенная северо-восточнее г. Караганда, 4 — оз. Маркаколь, черные точки — места расположения озер
 Fig. 6. Zoning of Kazakhstan according to the uniformity of fluctuations in annual values of lake levels. The pink region is a group of peripheral lakes, the blue region is a group of lakes in the central region, 1 — group of Alakol lakes and Balkhash, 2 — a group of lakes of the Tengiz-Korgalzhyn depression, 3 — a group of lakes located northeast of Karaganda, 4 — Markakol, black dots — the lakes locations

ВЫВОДЫ

На основе архива данных наблюдений за уровнями озер Казахстана проанализированы характеристики и тенденции изменений уровней воды. Из рассмотренных озер почти 50 % — бессточные и соленые. Синергетический сравнительный анализ изменчивости уровней озер включал корреляционный анализ и тепловые карты (таблицы) величин трендов, визуальный анализ графических материалов и выявил связи внутри групп озер. Основные результаты этого исследования показали, что на территории Казахстана выделяются две крупнорегиональные группы: периферическая и центральная. Графики уровней озер в первой и второй группах имели разную межгодовую изменчивость: ярко выраженные периоды спада и подъема уровня, аналогичные колебаниям Каспийского моря, в первом случае и разрозненные тенденции — во втором. В последние десятилетия для всей территории Казахстана отмечается общая тенденция сначала на подъем (до 2016–2018 гг.), а затем на спад уровней воды в озерах. Почти одновременный и последовательный разворот от повышения уровня воды к понижению в этом случае можно рассматривать как признак крупномасштабного изменения гидрологического режима в аридной зоне Центральной Азии. Приведенный анализ позволяет представить озера бессточной области как потенциальные индикаторы множественных климатических изменений. Колебания уровня воды в этих озерах могут дать ценную информацию как о региональных гидрологических режимах, так и об изменениях глобальной циркуляции.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема FMWZ-2022-0001).

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was carried out within the framework of the State assignment of the IWP RAS (topic FMWZ-2022-0001).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аятхан М. А., Мырзабек А. Б.* Экологические проблемы озера Копа. Наука и реальность, 2021. № 1(5). С. 30–33.
- Выручалкина Т. Ю., Дианский Н. А., Фомин В. В.* Влияние на эволюцию уровня Каспийского моря многолетних изменений режима ветра над его регионом в 1948–2017 гг. Водные ресурсы, 2020. Т. 47. № 2. С. 230–240. DOI: 10.31857/S0321059620020194.
- Мадибеков А. С., Исмуханова Л. Т., Кулбекова Р. А.* Общая характеристика и современное гидрохимическое состояние озера Жасылколь. География и водные ресурсы, 2021. № 3. С. 45–51.
- Мякишева Н. В., Жумангалиева З. М.* Современное состояние антропогенно нагруженных пресноводных озер северного Казахстана. Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета, 2014. № 34. С. 63–70.
- Никитин А. М.* Озера Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 105 с.
- Панин Г. Н., Выручалкина Т. Ю., Соломонова И. В.* Воздействие северной Атлантики на гидрологический режим бассейна Каспийского моря. Водные ресурсы, 2015. Т. 42. № 4. С. 442. DOI: 10.7868/S0321059615040100.
- Панин Г. Н., Насонов А. Е., Фокен Т.* Испарение и теплообмен водоема с атмосферой при наличии мелководий. Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2006. Т. 42. № 3. С. 367–383.
- Рянжин С. Н., Мякишева Н. В., Жумангалиева З. М.* Морфометрические и гидрохимические характеристики озер Казахстана. Водные ресурсы, 2015. Т. 42. № 5. С. 510. DOI: 10.7868/S0321059615050144.

Akhmedenov K. M., Sapanov M. K., Sergaliev N. Kh., Imashev E. Zh., Sarsenova B. B. Impact of climate change and anthropogenic activities on the water and biological resources of lake Shalkar in western Kazakhstan. *Bulletin WKU*, 2020. No. 3(79). P. 206–228. DOI: 10.37238/1680-0761.2020.79(3).22.

Valeyev A., Abitbayeva A., Uxukbayeva S., Bektursynova A., Sharapkhanova Z., Karatayev M. Monitoring coastline dynamics of Alakol lake in Kazakhstan using remote sensing data. *Geosciences (Switzerland)*, 2019. V. 9. No. 9. P. 404. DOI: 10.3390/geosciences9090404.

Zhang X., Kirillin G., Kurbaniyazov A. Changing pattern of water level trends in Eurasian endorheic lakes as a response to the recent climate variability. *Remote Sensing*, 2021. V. 13. No. 18. P. 3705. DOI: 10.3390/rs13183705.

REFERENCES

Akhmedenov K. M., Sapanov M. K., Sergaliev N. Kh., Imashev E. Zh., Sarsenova B. B. impact of climate change and anthropogenic activities on the water and biological resources of lake Shalkar in western Kazakhstan. *Bulletin WKU*, 2020. No. 3(79). P. 206–228. DOI: 10.37238/1680-0761.2020.79(3).22.

Ayatkhani M. A., Myrzabek A. B. Ecological problems of Lake Kopa. *Science and Reality*, 2021. No. 1(5). P. 30–33 (in Russian).

Madibekov A. S., Ismukhanova L. T., Kulbekova R. A. General characteristics and current hydrochemical condition of lake Zhasylkol. *Geography and Water Resources*, 2021. No. 3. P. 45–51 (in Russian).

Myakisheva N. V., Zhumangaliyeva Z. M. The current state of anthropogenically loaded freshwater lakes in northern Kazakhstan. *Scientific Notes of the Russian State Hydrometeorological University*, 2014. No. 34. P. 63–70 (in Russian).

Nikitin A. M. Lakes of Central Asia. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 105 p. (in Russian).

Panin G. N., Nasonov A. E., Foken T. Evaporation and heat exchange of a body of water with the atmosphere in a shallow zone. *Izvestiya RAN. Physics of the atmosphere and ocean*, 2006. V. 42. No. 3. P. 337–352. DOI: 10.1134/S0001433806030078 (in Russian).

Panin G. N., Vyruchalkina T. Yu., Solomonova I. V. Effect of the north Atlantic on the hydrological regime of the Caspian Sea basin. *Water Resources*, 2015. V. 42. No. 4. P. 525–534. DOI: 10.1134/S0097807815040090 (in Russian).

Ryanzhin S. V., Myakisheva N. V., Zhumangaliyeva Z. M. Morphometric and hydrochemical characteristics of Kazakhstan lakes. *Water Resources*, 2015. V. 42. No. 5. P. 658–669. DOI: 10.1134/S0097807815050139 (in Russian).

Valeyev A., Abitbayeva A., Uxukbayeva S., Bektursynova A., Sharapkhanova Z., Karatayev M. Monitoring coastline dynamics of Alakol lake in Kazakhstan using remote sensing data. *Geosciences (Switzerland)*, 2019. V. 9. No. 9. P. 404. DOI: 10.3390/geosciences9090404.

Vyruchalkina T. Yu., Dianskii N. A., Fomin V. V. effect of long-term variations in wind regime over Caspian Sea Region on the evolution of its level in 1948–2017. *Water Resources*, 2020. V. 47. No. 2. P. 348–357. DOI: 10.1134/S0097807820020190 (in Russian).

Zhang X., Kirillin G., Kurbaniyazov A. Changing pattern of water level trends in Eurasian endorheic lakes as a response to the recent climate variability. *Remote Sensing*, 2021. V. 13. No. 18. P. 3705. DOI: 10.3390/rs13183705.