

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 532.88+551.55

doi: 10.17223/25421379/26/9

МНОГОЛЕТНЯЯ КЛИМАТОГЕННАЯ ДИНАМИКА ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОЗЕР УЛУГ-ХЕМСКОЙ КОТЛОВИНЫ (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)



Леонид Васильевич Замана¹, Елена Викторовна Носкова²,
Ольга Ивановна Кальная³, Ирина Леонидовна Вахнина⁴, Марина Алексеевна Кашницкая⁵

^{1,2,4} Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия

³ Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия

⁵ Федеральное государственное бюджетное учреждение «НИЦ «Планета»», Москва, Россия

¹ l.v.zamana@mail.ru

² elena-noskova-2011@mail.ru

³ kalnaja@mail.ru

⁴ vahnina_il@mail.ru

⁵ marina-sosnina1993@yandex.ru

Аннотация. С использованием данных дистанционного зондирования Земли определены ежегодные площади водной поверхности озер центральной части территории Республики Тыва за период 1989–2020 гг. Анализ связи динамики их акваторий с изменениями основных характеристик климата показал, что наиболее высокие значимые связи получены с температурой воздуха ($r = -0,63$) и индексом Педя ($r = -0,64$) для условий текущего и предшествующего года. По результатам гидрохимического опробования исследуемые озера являются солеными с минерализацией рапы 15,1–159,8 г/дм³, наибольшая минерализация воды в оз. Дус-Холь.

Ключевые слова: соленые озера, космические снимки, водный индекс, площади акваторий, температура воздуха, атмосферные осадки, показатели засушливости и увлажнения, гидрохимия озер

Источник финансирования: статья подготовлена в рамках бюджетных исследований учреждений, указанных в аффилиациях авторов.

Для цитирования: Замана Л.В., Кальная О.И., Носкова Е.В., Вахнина И.Л., Кашницкая М.А. Многолетняя климатогенная динамика водной поверхности озер Улуг-Хемской котловины (Республика Тыва) // Геосферные исследования. 2023. № 1. С. 118–131. doi: 10.17223/25421379/26/9

Original article

doi: 10.17223/25421379/26/9

LONG-TERM CLIMATOGENIC DYNAMICS WATER SURFACE OF THE ULUG-KHEM KOTLOVINA LAKES (TYVA REPUBLIC)

Leonid V. Zamana¹, Elena V. Noskova², Olga I. Kalnaya³, Irina L. Vakhnina⁴, Marina A. Kashnitskaya⁵

^{1,2,4} Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

³ Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, Russia

⁵ Federal State Budgetary Institution "Research Center" Planet"

¹ l.v.zamana@mail.ru

² elena-noskova-2011@mail.ru

³ kalnaja@mail.ru

⁴ vahnina_il@mail.ru

⁵ marina-sosnina1993@yandex.ru

Abstract. The annual water surface areas of five lakes (Kak-Khol, Dus-Khol, Khadyn, Bezymyannoe, Cheder) in the central part of the territory of the Tyva Republic for the period 1989–2020 were determined using Earth remote sensing data from the Landsat-5, Landsat-7, Landsat-8, Sentinel-2A, Sentinel-2B. The areas of the lakes are calculated based on the modified normalized difference water index (MNDWI) obtained as a result of processing satellite images using the ArcGIS program. Characteristics of climatic conditions (surface air temperature, atmospheric precipitation) and calculations of the hydrothermal moisture coefficient G.T. Selyaninov and D.A. Peda were performed according to the Kyzyl weather station data for 1943–2020. Palmer Drought Severity Index values are taken for the coordinates of this weather station from public electronic archives. The investi-

gated lakes, depending on the area of the water surface at the maximum filling, are categorized as very small, small and medium. During the period under consideration, none of the lakes dried up. The water surface area of the smallest of them during the study period varied from 0.09 (2015) to 0.14 (1993) km², the largest – from 0.24 (2009) to 25.1 (1998) km². The dynamics of the water areas for the period under consideration has multidirectional trends – for three lakes, the trends are negative (Lake Kak-Khol, Khadyn, Bezymyanoe), Cheder – positive, at the lake Dus-Khol with short-period fluctuations, the area for the analyzed period remains stable, however, a significant trend was revealed only for the lake Khadyn. Analysis of changes in the main climatic parameters over the past 78 years has shown that they are characterized by significant positive linear trends. So, for the average annual air temperature it was 0.61 C/10 years or 4.8 °C for the entire period, and for the annual amount of atmospheric precipitation – 4.82 mm/10 years or 37.6 mm for the entire period. In the mode of atmospheric precipitation, significant high-frequency cycles with a duration of 2–8 years were revealed. According to the Selyaninov hydrothermal coefficient, the conditions are defined as arid, according to the Pedy and Palmer indices, the climatic humidity of the territory is estimated mainly as optimal. Analysis of the relationship between the dynamics of the water areas of the studied lakes with changes in the main characteristics of the climate showed that the highest significant relationships were obtained with the air temperature ($r = -0.63$) and the Pedy index ($r = -0.64$) for the conditions of the current and previous year. The stability of the water surface area of the considered lakes to climatic fluctuations is influenced by the feeding characteristics of the lakes, for example, for the lake. Khadyn there is no significant correlation with climatic indicators, which is due to the predominance of river runoff in its water supply, which is formed in mountainous areas with climatic characteristics different from the steppe zone. According to the results of hydrochemical testing, the investigated lakes are saline with brine mineralization 15.1–159.8 g/dm³, the highest water mineralization in the lake. Dus-Khol. The non-susceptibility of the main lakes to drying out is a reliable basis for their therapeutic and recreational use.

Keywords: salt lakes, satellite images, water index, water areas, air temperature, precipitation, indicators of aridity and moisture, hydrochemistry of lakes

Source of financing: The article was prepared as part of the budget studies of the institutions indicated in the affiliations authors.

For citation: Zamana L.V., Noskova E.V., Kalnaya O.I., Vakhnina I.L., Kashnitskaya M.A. (2023) Long-term climatogenic dynamics water surface of the Ulug-Khem kotlovina lakes (Tyva Republic). *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 1. pp. 118–131. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/26/9

Введение

Одна из характерных особенностей степной зоны Сибири – широкое распространение соленых озер, многие из которых подвержены периодическому высыханию. Происходящие изменения климатических условий имеют региональные особенности и по-разному влияют на изменение компонентов природной среды, особенно озер степной зоны, которые играют важную экологическую роль в расселении и сезонных миграциях орнитофауны, а некоторые являются объектами рекреации и бальнеотерапии. Анализ ситуации с озерами в Забайкалье, к примеру, показал, что за последние 20–30 лет в отдельные годы существенно сокращалась их суммарная площадь, а общее количество уменьшалось до 10 раз, практически полностью высыхали не только мелкие, но и такие крупные водоемы, как Барун-Торей, Зун-Торей, Малое Еравное, площади которых в периоды наполнения достигали 580, 300 и 60 км² соответственно [Голятина и др., 2018; Вахнина и др., 2020; Zamana et al., 2020; Кашницкая, 2021; Кашницкая, Болгов, 2021]. На территории Республики Тыва небольшая группа соленых озер находится в южной части Улуг-Хемской котловины, являющейся составной частью Центрально-Тувинской котловины и расположенной в центре региона. Два из них относятся к особо охраняемым природным территориям и имеют статус региональных памятников природы,

при этом одно (оз. Дус-Холь (Сватиково)) активно используется как рекреационный водоем, а второе (оз. Хадын) включено в Каталог ключевых орнитологических территорий России (КОТР) международного значения [Кальная и др., 2015]. На третьем (оз. Чедер) до недавнего времени существовал бальнеологический курорт. Отсюда очевидна экологическая и социальная значимость стабильного существования этих, по крайней мере, трех водоемов.

В настоящей статье изложены результаты определения ежегодных площадей водной поверхности пяти озер данной группы за три последних десятилетия, а также анализ связи динамики их акваторий с изменениями основных характеристик климата (температуры воздуха, количества атмосферных осадков) и трех показателей увлажненности территории. В рекреационном и особенно в бальнеологическом отношении важны гидрохимические характеристики водного объекта. В этой связи рассмотрены данные по гидрохимии трех основных озер группы, полученные в последние годы.

Материалы и методы исследования

Выбранные в качестве объектов исследования озера (рис. 1) расположены в замкнутых бессточных понижениях Улуг-Хемской котловины, которая представляет собой волнистую равнину с обширными плосковершинными одиночными холмами и не-

высокими сопочными грядами, разделенными широкими ложбинами, суходолами и плоскими мелкими котловинами (западинами) разных размеров. Абсолютные отметки поверхности котловины изменяются от 1 250–1 280 м на юге в пределах отрогов хр. Западный Танну-Ола до 600–630 м в долине р. Енисей. Ландшафт котловины в центральной ее части засушливо-степной, с изреженной травянистой растительностью, с участием кустарниковых караган и незначительным присутствием в районе озер древесных форм, в частности, небольшого колка леса у оз. Чедер. Значительные площади в

котловине заняты эоловыми песками, которые в ряде мест сильно развеваются, образуя дюнно-бугристые массивы, почти лишенные растительности. Геологический разрез в районе озер представлен юрскими терригенно-осадочными породами (конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, аргиллиты, углистые сланцы), перекрытыми неогеновыми глинами с прослоями валунно-галечного и линзами песчано-гравийного материала и четвертичными делювиально-пролювиальными супесями, суглинками с дресвой и щебнем и эоловыми песками [Кальная и др., 2015].

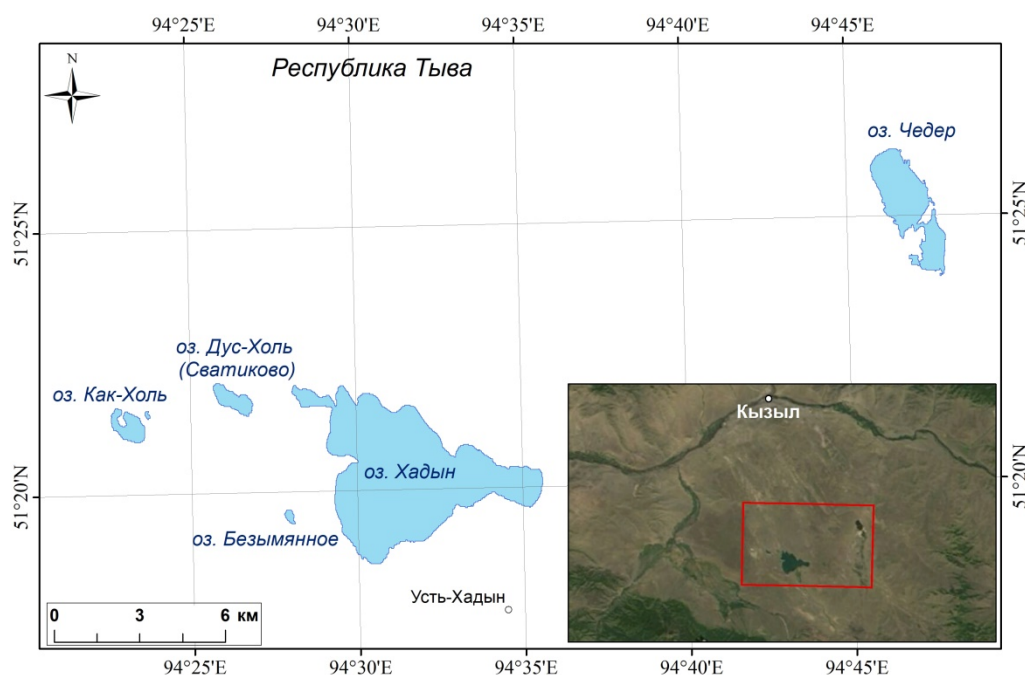


Рис. 1. Карта-схема расположения озер Улуг-Хемской котловины на территории Республики Тыва

Fig. 1. Schematic map of the lakes location of the Ulug-Khem depression on the Republic of Tuva territory

Исследуемые озера в зависимости от площади водной поверхности при максимальном наполнении относятся к категориям очень малых (0,1–1,0 км²) – Безымянное и Дус-Холь, малых (1,0–10 км²) – Как-Холь и Чедер, средних (10,1–100 км²) – Хадын. Соответственно, разнятся озера и по другим морфометрическим характеристикам. Так, длина оз. Хадын доходит до 10 км, ширина – до 6 км, а глубина в наиболее глубоководной части – до 10 м. Аналогичные показатели второго по величине оз. Чедер имеют значения 4,5 км, 1,8 км и 1,5 м, а оз. Дус-Холь вытянуто на 1,6 км при ширине 0,3–0,7 км, глубина его достигает 3,5 м. Наиболее мелким является оз. Как-Холь с глубиной не более 0,5 м. В питании исследуемых озер кроме атмосферных осадков участвуют подземные

воды, а в питании оз. Хадын и Чедер еще и речной сток. Все озера бессточные, практически единственной расходной частью водного баланса является испарение с водной поверхности, исключая оз. Хадын, из которого, как мы полагаем, часть воды уходит на подземный сток.

Для анализа пространственно-временной динамики площадей водной поверхности озер использовались данные дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов Landsat-5, Landsat-7, Landsat-8, Sentinel-2A, Sentinel-2B за период с мая 1989 г. по по сентябрь 2020 г. Пространственное разрешение спутниковых изображений аппаратов серии Landsat составляет 30 м, периодичность съемки – 16 дней, серии Sentinel – 10 м, периодичность 2–3 дня. Для каждого года выбирался наилучший

снимок с минимальным покрытием облачностью, преимущество отдавалось снимкам, полученным в весенний и летне-осенний периоды во время межени (май, август, сентябрь). Таким образом, минимизировалось влияние обильных атмосферных осадков на площадь водного зеркала озер.

Подбор спутниковых изображений и их первоначальная обработка, включая вычисление модифицированного нормализованного разностного водного индекса (MNDWI) [Xu, 2006], производились в веб-сервисе Vega-Science [VEGA-Science...], который является составной частью Центра коллективного пользования ИКИ-Мониторинг Института космических исследований РАН. По данным изучения озер в степной зоне юго-востока Забайкалья, вычисление индекса MNDWI признано наилучшим способом распознавания водных поверхностей [Курганович, Носкова, 2015]. Для дальнейшего расчета площади акваторий озер использовалась программа ArcGIS, по которой осуществлялась конвертация растровых индексных изображений в векторный формат. Всего было отобрано и обработано 35 спутниковых изображений за временной интервал в 32 года.

Характеристика климатических параметров (температура приземного воздуха, количество атмосферных осадков) и расчет показателей засушливости и увлажненности территории выполнены по данным ВНИИГМИ-МЦД [Булыгина и др. (электронный ресурс); Булыгина и др. др. (электронный ресурс); Булыгина и др. др. (электронный ресурс)] по метеорологической станции Кызыл (51,72° с.ш., 94,50° в.д., 626 м н.у.м), расположенной в 40 км к северу от наиболее крупного в системе оз. Хадын, за период с начала инструментальных наблюдений (1943 г.) до 2020 г. Метеостанция входит в состав реперной климатической сети Росгидромета.

Для определения типа увлажненности применяли известные количественные показатели:

- гидротермический коэффициент увлажнения Г.Т. Селянинова (*ГТК*);
- индекс засушливости Д.А. Педя (*SI*);
- индекс суровости засухи Палмера (*PDSI* – Palmer Drought Severity Index).

Гидротермический коэффициент характеризует увлажнение по соотношению влаги и тепла и определяется как $ГТК = P/0,1T$, где T – сумма средних суточных температур воздуха за период с температурами их более 10 °С, P – количество осадков за тот же период, мм [Переведенцев и др., 2008]. Индекс Педя определяет засуху по разности отношений месячных аномалий температур (T) и осадков (P) к их среднеквадратичным отклонениям и рассчитывается по формуле $SI = dT/vT - dP/vP$ [Педь, 1975]. Индекс *PDSI* [Palmer, 1965] отражает региональные запасы

влаги, стандартизированные по отношению к климатической норме для данной территории, и рассчитывается по эмпирическим зависимостям. Он является одним из основных показателей, используемых для характеристики засушливых условий в США, но редко используется в России [Черенкова, 2013]. Порядок расчетов, раскрывающих содержание *PDSI*, приведен в этой же ссылке. Нами ежемесячные значения *PDSI* взяты для координат метеостанции Кызыл из архивов [KNMI Climate Explorer], находящихся в свободном доступе.

Аномалии среднемесячных температур воздуха и количества атмосферных осадков рассчитаны относительно климатических норм – средних за период 1961–1990 гг., рекомендованный в качестве базового Всемирной метеорологической организацией [BMON1203, 2017]. Влагообеспеченность территории по значениям *ГТК* и индекса *SI* классифицировалась в соответствии с [Галимова и др., 2019], классификация значений *PDSI* для засушливых и влажных периодов проводилась на основе [Newman, Oliver, 2005]. Тренды во временных рядах выделялись методом наименьших квадратов. Оценка их значимости выполнялась с использованием *t*-критерия Стьюдента.

Анализ химического состава водных проб выполнены по общепринятым нормативным методикам в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск (пробы 2018 г.) и Институте природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита (проба 2015 г.).

Результаты и их обсуждение

Определенные в результате обработки спутниковых изображений площади акваторий озер по годам представлены в табл. 1.

В рассматриваемый период ни одно из озер не пересыхало, максимальное наполнение трех малых озер произошло в один год, тогда как минимальные площади всех озер пришлись на разные годы (табл. 2). Наиболее устойчивым во времени оказалось самое крупное оз. Хадын, амплитуда экстремальных размеров которого всего лишь на 4,3 % отличается от среднего. Этот факт может быть обусловлен морфометрическими особенностями озера, а именно узкой полосой мелководий (латерали), или увеличением подземного оттока при повышении уровня воды в озере. Маловероятно, чтобы с ростом приходной составляющей водного баланса (увеличением количества осадков, речного стока в озеро) одновременно пропорционально росло испарение как основная расходная часть.

Наибольшей амплитудой площади водной поверхности по отношению к среднесуточному ее значению характеризуется оз. Как-Холь (табл. 2). Просмотр спутниковых изображений за 1975–1977 гг. показал, что в последнем из этих лет озеро полностью высохло, высохшим было и оз. Безымянное. На приведенном в [Кальная и др., 2015] фрагменте топокарты, отража-

ющем ситуацию на начало-середину 1960-х гг., на месте оз. Как-Холь показан солончак. В большинстве случаев значения площадей водного зеркала исследуемых озер значимо коррелируют между собой (табл. 3). Несмотря на то, что динамика площадей характеризуются разнонаправленными трендами (рис. 2), значимый тренд выявлен лишь для оз. Хадын.

Таблица 1

Площади водной поверхности озер, км², по годам за период 1989–2020 гг.

Table 1

Water surface areas of lakes, km², by years for the period 1989–2020

Год	Озеро					Год	Озеро				
	Как-Холь	Дус-Холь	Хадын	Безымянное	Чедер		Как-Холь	Дус-Холь	Хадын	Безымянное	Чедер
1989	0,87	0,80	24,2	0,11	5,18	2005	0,94	0,80	24,3	0,11	5,70
1990	0,89	0,80	24,2	0,11	5,15	2006	0,96	0,83	24,3	0,11	5,82
1991	0,92	0,79	24,2	0,11	5,12	2007	0,67	0,80	24,1	0,10	5,73
1992	1,07	0,82	24,4	0,13	5,38	2008	0,71	0,80	24,1	0,11	5,20
1993	1,21	0,85	24,6	0,14	5,65	2009	0,90	0,80	24,0	0,11	5,31
1994	1,11	0,81	24,5	0,12	6,50	2010	1,15	0,81	24,1	0,12	7,19
1995	1,14	0,83	24,8	0,11	7,15	2011	1,04	0,81	24,3	0,12	7,25
1996	1,05	0,82	24,9	0,12	6,63	2012	0,88	0,79	24,1	0,11	6,51
1997	1,13	0,82	24,7	0,13	7,03	2013	0,70	0,82	24,2	0,10	6,74
1998	1,06	0,78	25,1	0,13	7,06	2014	0,95	0,81	24,2	0,12	6,53
1999	0,98	0,81	24,6	0,11	6,06	2015	0,84	0,80	24,1	0,09	6,47
2000	0,79	0,79	24,3	0,10	5,50	2016	0,86	0,80	24,1	0,10	5,57
2001	0,71	0,80	24,4	0,11	5,65	2017	1,00	0,81	24,1	0,12	5,87
2002	0,63	0,81	24,5	0,11	5,81	2018	1,02	0,81	24,1	0,12	5,66
2003	0,85	0,81	24,4	0,11	5,14	2019	0,97	0,82	24,2	0,10	5,72
2004	1,02	0,80	24,3	0,12	6,34	2020	1,07	0,83	24,2	0,12	6,83

Примечание. Полу жирным выделены минимальные и максимальные значения.

Note. Minimum and maximum values are in bold.

Таблица 2

Площади водной поверхности озер Улуг-Хемской котловины в 1989–2020 гг.

Table 2

The area of the water surface of the lakes of the Ulug-Khem depression in 1989–2020

Озеро	Максимальная площадь, км ²	Год	Минимальная площадь, км ²	Год	Средняя площадь, км ²	Max – min среднее, %
Как-Холь	1,21	1993	0,63	2002	0,94	62,0
Дус-Холь	0,85	1993	0,78	1998	0,81	8,8
Хадын	25,1	1998	24,0	2009	24,33	4,3
Безымянное	0,14	1993	0,10	2015	0,11	39,4
Чедер	7,25	2011	5,12	1991	6,04	35,2

Таблица 3

Коэффициенты парной корреляции ($r_{cr} = |0,361|$) между площадями водной поверхности озер Улуг-Хемской котловины

Table 3

Pair correlation coefficients ($r_{cr} = |0,361|$) between the areas of the water surface of the lakes of the Ulug-Khem depression

Озеро	Как-Холь	Дус-Холь	Хадын	Безымянное
Дус-Холь	0,45	1		
Хадын	0,43	0,23	1	
Безымянное	0,69	0,47	0,49	1
Чедер	0,46	0,18	0,40	0,27

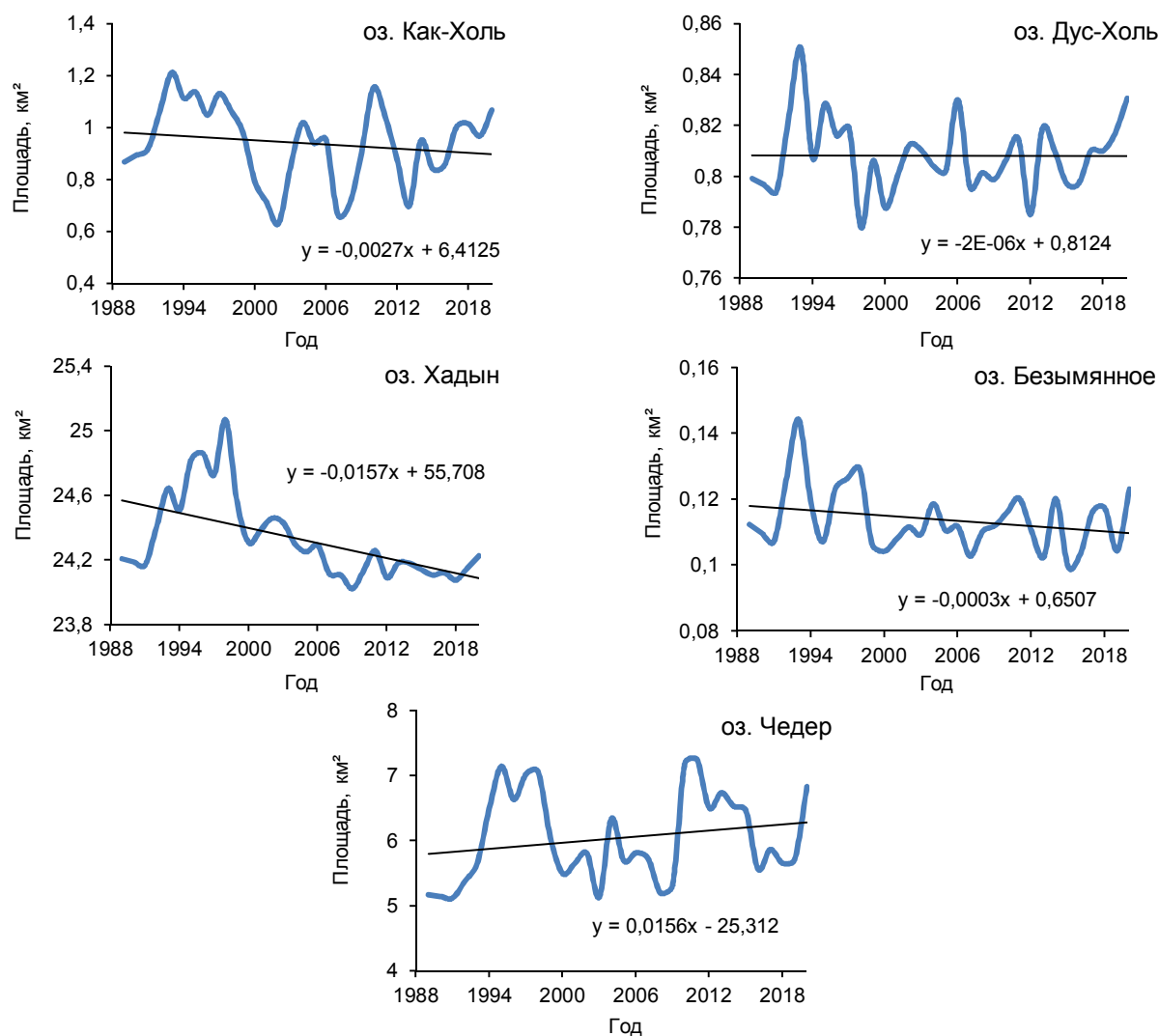


Рис. 2. Динамика изменения площадей водной поверхности озер Улуг-Хемской котловины за период 1989–2020 гг.

Fig. 2. Curves of changes in the areas of the water surface of lakes Ulug-Khem depression for the period 1989–2020

Основными климатическими показателями, определяющими общую увлажненность территории и динамику акваторий бессточных озер, являются температура приземного воздуха и атмосферные осадки.

Средняя годовая температура воздуха в районе расположения метеостанции Кызыл отрицательная (рис. 3), в среднем за период метеонаблюдений она составляет $-2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (климатическая норма за базовый период $-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$). Самым теплым был 2015 г. ($+0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), самым холодным – 1943 г. ($-5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$). Средняя температура воздуха самого холодного месяца (январь) равна $-30,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, самого теплого (июль) – $+20,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Атмосферных осадков на рассматриваемой территории выпадает в среднем около 220 мм в год при норме за базовый период 210 мм, минимум их отмечен в 1975 г. (137,2 мм), а максимум – в 2020 г. (340,6 мм). Наибольшее количество

осадков отмечается летом (59 % от годовой суммы), при этом на июль–август приходится в среднем 44 % от их среднегодовой суммы.

За последние 78 лет среднегодовая температура воздуха увеличивалась в среднем на $0,61\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет ($4,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ за весь период) (линейный тренд). При этом среднегодовая температура воздуха выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ фиксировалась только с 1998 г. (отмечено семь случаев за 23 года). Рост температуры характерен для всех месяцев года: наибольшее увеличение выявлено в марте – $1,46\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет ($11,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ за весь период), наименьшее – в сентябре на $0,24\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет ($1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ за весь период). Все тренды статически достоверны при уровне значимости $\alpha = 5\%$.

Анализ многолетнего хода аномалий среднемесячных значений температуры воздуха показал, что

превышение среднегодовой нормы характерно для последних 35 лет (рис. 4). Положительные аномалии, превышающие $2,5^{\circ}\text{C}$, были отмечены в 1998, 2002, 2007, 2013–2015, 2017, 2019 и 2020 гг.

В многолетнем ходе атмосферных осадков на метеостанции Кызыл годы с положительными аномалиями чередуются с годами с отрицательными аномалиями, при этом количество лет с положительными аномалиями превышает 50 % за весь период (рис. 5). За последние 5 лет отрицательные аномалии не фиксировались. В режиме увлажнения южной части Улуг-Хемской котловины значимая цикличность в чередовании влажных и засушливых лет не превышает 2–8 лет, в то время как для территории Забайкалья, сходной по климатическим условиям, характерны более продолжительные квази-тридцатилетние циклы [Вахнина и др., 2018; Носкова, Вахнина, Курганович, 2019; Zamana et al., 2020]. С 1943 по 2020 г. величина линейного тренда годовой суммы атмосферных осадков составила $4,82\text{ мм}/10\text{ лет}$ ($37,6\text{ мм}$ за весь период). Тренд статически достоверен при уровне значимости $\alpha = 5\%$.

По значениям ГТК, рассчитанным за теплый период года (май–сентябрь), влагообеспеченность территории низкая (ГТК = $0,67$ – слабая засуха). За рассматриваемый период достаточная (оптимальная) влагообеспеченность (ГТК = $1,11$ – $1,40$) была отмечена лишь дважды – в 1970 и 1985 гг. (рис. 6). Исключительно низкой (сильная засуха) (ГТК = $0,21$ – $0,40$) она была в 1945, 1975, 2007, 2012 и 2015 гг.

Средние за май–сентябрь величины индекса Педя по исследуемой территории составляют около 0, что по принятым для этого показателя значениям определяет условия увлажнения как нормальные. Засушливые условия (слабая засуха) по значениям индекса SI отмечались в 1953, 1990, 1999–2002, 2007, 2012 и 2015 гг. (рис. 7). Погодно-климатические условия в 1985 г., когда выпало $325,1\text{ мм}$ осадков (второе по величине значение за период метеонаблюдений), характеризуются как слабое избыточное увлажнение (влажные условия), а значение SI в 2020 г., когда отмечался абсолютный максимум осадков ($340,6\text{ мм}$), попадает в градацию «нормальные условия увлажнения», что обусловлено более высокой температурой воздуха.

По среднегодовым значениям индекса Палмера ($-0,28$) условия увлажнения на территории исследований классифицируются как нормальные. В многолетнем их ходе 1952, 1955, 1961, 1985, 1994 и 2020 гг. по этому индексу были умеренно влажными, а 1972, 1973, 1979, 1980, 1989, 1996, 2002, 2005 и 2008 гг. – годами с сильной засухой (рис. 8).

Корреляционный анализ площадей водного зеркала озер с рассматриваемыми климатическими характеристиками показал влияние условий текущего и предшествующего года (табл. 4). Для более ранних лет (2–5) достоверных связей выявлено не было. Наиболее высокие значимые коэффициенты корреляции (обратная связь) получены с температурой воздуха и индексом Педя.

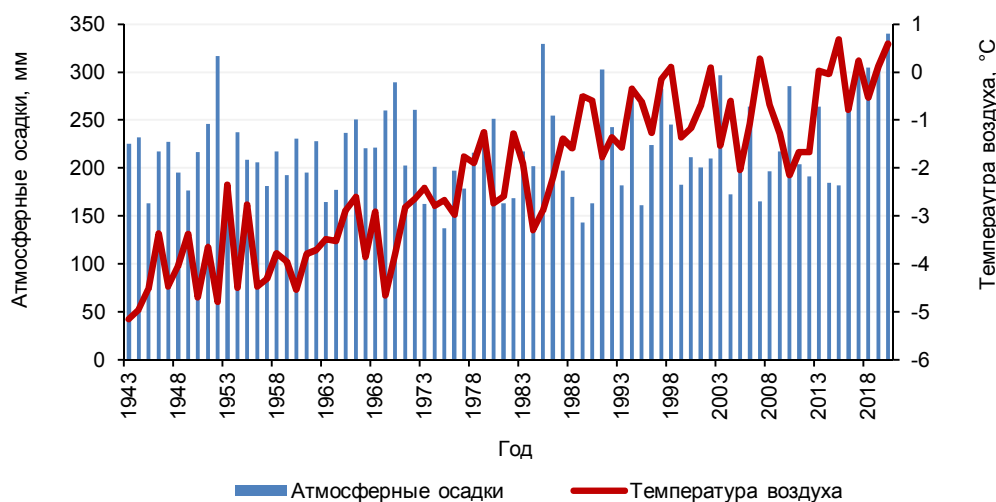


Рис. 3. Среднегодовые температуры воздуха и суммы атмосферных осадков за год за период наблюдений по метеостанции Кызыл

Fig. 3. Average annual air temperatures and the amount of precipitation for the year for the observation period at the Kyzyl meteorological station

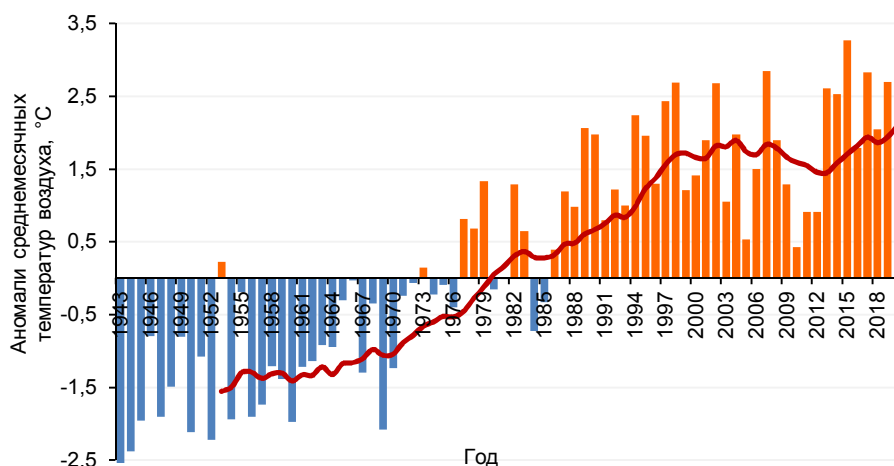


Рис. 4. Среднегодовые аномалии среднемесячных значений температуры воздуха по метеостанции Кызыл. Кривая – скользящие 11-летние средние значения

Fig. 4. Average annual anomalies of average monthly air temperature values at the Kyzyl meteorological station. Curve – 11-year moving averages

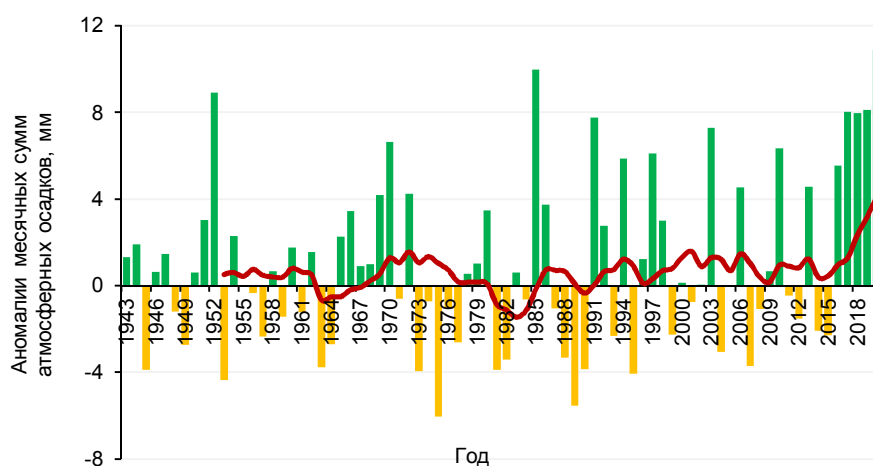


Рис. 5. Среднегодовые аномалии месячных сумм атмосферных осадков по метеостанции Кызыл. Кривая – скользящие 11-летние средние значения

Fig. 5. Average annual anomalies of monthly amounts of atmospheric precipitation at the Kyzyl meteorological station. Curve – 11-year moving averages

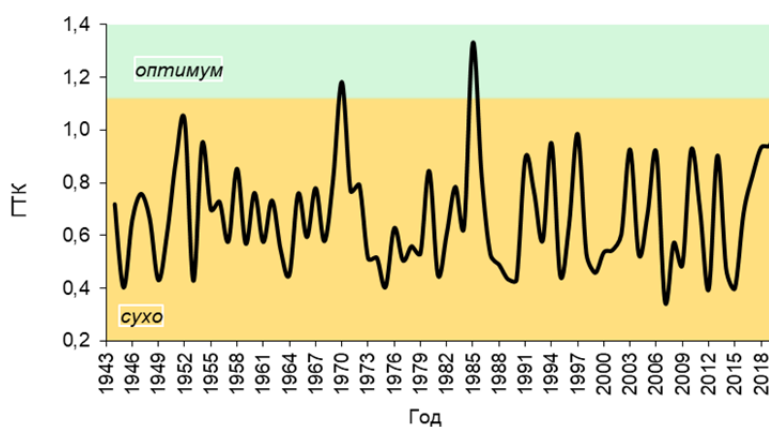


Рис. 6. Средние значения гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова за май–сентябрь по данным метеостанции Кызыл

Fig. 6. Average values of the hydrothermal coefficient of G.T. Selyaninov for May–September according to the Kyzyl weather station

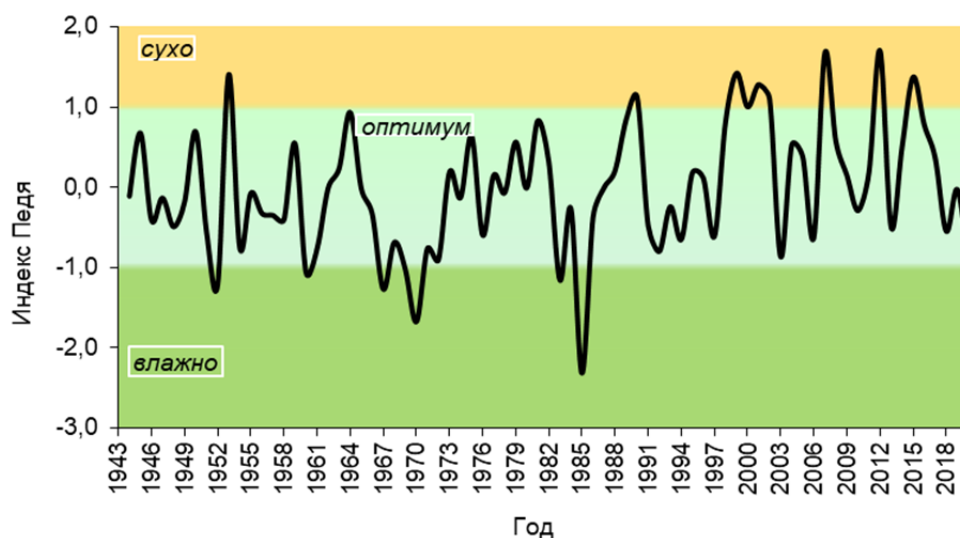


Рис. 7. Средние значения индекса засушливости Д.А. Педя за май–сентябрь по данным метеостанции Кызыл

Fig. 7. Average values of the drought index D.A. Pedy for May–September according to the Kyzyl weather station

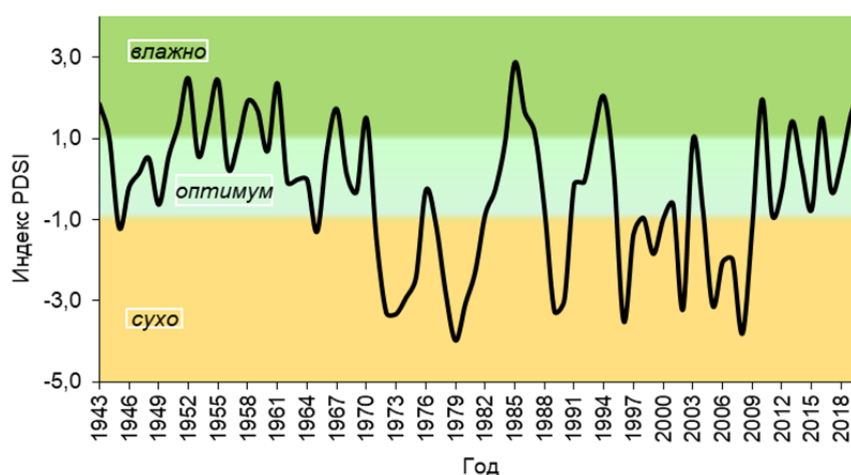


Рис. 8. Среднегодовые значения индекса суровости засухи Палмера по метеостанции Кызыл

Fig. 8. Average annual values of the Palmer drought severity index at the Kyzyl meteorological station

С атмосферными осадками, индексом Палмера и ГТК зависимости выражены слабее и проявляются для меньшего количества озер. Для площади водной поверхности оз. Хадын значимая корреляция с климатическими показателями отсутствует. Объясняется это тем, что основным источником пополнения озера водой служит одноименная река, основной сток которой формируется в горной местности с иными климатическими условиями, чем в котловине. Из-за участия речного стока в водном питании оз. Чедер корреляция площади с характеристиками климата менее выражена. В водном питании оз. Дус-

Холь определенная роль принадлежит наземной разгрузке подземных вод в виде двух родников с дебитами, по фоновым данным гидрогеологических работ, 2,1–2,5 и 2,3–3,7 л/с, которые находятся на берегах юго-восточной оконечности озера. С этим, как и с вероятной субаквальной разгрузкой подземных вод, связана слабая корреляция площади акватории озера с атмосферными осадками.

Различия в формировании водного баланса озер находят отражение в их гидрохимических характеристиках – общей минерализации и химическом составе. Наименьшая минерализация воды оз. Хадын

(табл. 5) обусловлена притоком слабоминерализованных речных вод и, очевидно, значительной долей в расходных составляющих баланса потери воды на фильтрацию в водоносный комплекс подстилающих угленосно-терригенных отложений юрского возраста. Наибольшая минерализация воды в оз. Дус-Холь – результат концентрирования солей вслед-

ствие испарения как единственной значимой расходной составляющей водного баланса, не считая незначительного по количеству перехода воды в виде H₂O и OH в состав вторичных минеральных новообразований, формирующих донные осадки. По данным Е.В. Пиннекер [1968], соленость рапы в озере достигала 298,7 мг/дм³.

Таблица 4

Значимые коэффициенты корреляции ($r_{cr} = |0,361|$) площади водной поверхности озер с исследуемыми климатическими характеристиками в среднем за май–сентябрь

Table 4

Significant correlation coefficients ($r_{cr} = |0,361|$) of the water surface area of lakes with the studied climatic characteristics on average for May–September

Озеро	Т		Р	Показатели увлажнения					
				ГТК		SI		PDSI	
	0	1		0	1	0	1	0	1
Как-Холь	-0,55	-0,51	0,45		0,43	-0,52	-0,64	0,42	
Дус-Холь	-0,63			0,42		-0,61		0,37	
Хадын									
Безымянное	-0,43	-0,43	0,40		0,42	-0,41	-0,55		
Чедер		-0,38			0,37		-0,42		0,51

Примечание. Т – температура воздуха; Р – атмосферные осадки; 0 – значение за текущий год; 1 – кросс-корреляция со сдвигом на 1 год.

Note. T – air temperature; P – precipitation; 0 – value for the current year; 1 – cross-correlation with a shift of 1 year.

Таблица 5

Гидрохимия озер Улуг-Хемской котловины и родников у оз. Дус-Холь

Table 5

Hydrochemistry of the lakes of the Ulug-Khem depression and springs near the lake. Dus-Khol

Номер пробы	Водопункт	Дата отбора	pH	Компоненты, мг/дм ³				
				CO ₂	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻
1	Оз. Дус-Холь	29.06.2015	7,80	91,5	884	13 910	94 620	983
2	““	09.06.2018	7,84	≤10	769	8 970	95 397	7,22
3	Родник 1	““	7,50	≤10	459	185,9	249,5	2,70
4	Родник 2	““	7,70	≤10	537	622	675	3,45
5	Оз. Хадын	““	9,28	≤10	2196	4 561	3 069	1,60
6	Оз. Чедер	““	8,82	≤10	1964	43 883	19 124	5,65

Таблица 5, правая часть

Table 5, right side

Номер пробы	Компоненты, мг/дм ³				Сумма ионов	Формула химического состава
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
1	838	15 841	36 079	311	162 483	Cl90 SO ₄ 10 Na53 Mg45 Ca1
2	320	13 277	34 465	504	159 790	Cl93 SO ₄ 6 HCO ₃ 1 (Na+K)62 Mg37 Ca1
3	70,5	55,4	190	2,05	1 341	HCO ₃ 40 Cl35 SO19 CO ₃ 6 (Na+K)60 Mg23 Ca17
4	131	137	531,6	5,04	2 662	Cl45 SO ₄ 31 HCO ₃ 22 CO ₃ 2 (Na+K)58 Mg27 Ca15
5	7,85	271	4 471	65,8	15 074	SO ₄ 40 Cl36 HCO ₃ 18 CO ₃ 6 (Na+K)91 Mg9
6	58,3	2 216	28 078	256	95 993	SO ₄ 61 C36 HCO ₃ 2 CO ₃ 1 (Na+K)88 Mg12

По мере роста минерализации анионный состав воды из гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатного

(оз. Хадын) преобразуется в хлоридно-сульфатный (оз. Чедер) и далее становится чисто хлоридным

(оз. Дус-Холь). Сульфаты в основной массе переходят в донные осадки, частично сера восстанавливается с образованием сероводорода и сульфидных минералов, формируются среднесульфидные грязи, мощность которых в оз. Дус-Холь достигает 2,0 м [Кальная и др., 2015]. По составу катионов вода оз. Дус-Холь магниево-натриевая, двух других озер – натриевая. Обратим внимание на преобладание иона хлора в анионном составе родника 2 при минерализации воды 2,7 г/дм³ и удовлетворительной сходимости по катионам и анионам. Аналогичный состав воды этого родника приведен в работе [Пиннекер, 1968], сохранялся он в ходе двухлетних режимных наблюдений при выполнении гидрогеологических работ (Высотина, 2008 г.), подтвержден данными опробования в июне 2021 г. и связан, по-видимому, с восходящей разгрузкой глубокозалегающих подземных вод водоносного комплекса карбонатно-терригенных пород девона, подстилающих осадочные отложения юрского возраста.

Главным источником восполнения озерной рапы оз. Дус-Холь солями Е.В. Пиннекер [Пиннекер, 1968] считал упомянутые родники, что, учитывая роль их в водном балансе озера, маловероятно. Исходя из сезонного функционирования родников, при суммарном дебите 6 л/с в расчете на слой воды в озере сток их составит не более 100–120 мм. Испарение с водной поверхности водоемов, как показано по озерам степной зоны Забайкалья, составляет 650–750 мм в год [Асеев, 1985]. За вычетом количества атмосферных осадков на водную поверхность озера (200–230 мм) дефицит водного баланса будет составлять не менее 300–350 мм. При фактическом отсутствии впадающих в озеро водотоков он должен восполняться за счет субаквальной разгрузки подземных вод, минерализация которых даже при обратной вертикальной гидрохимической зональности не может быть ниже, чем у родников. Стабильность разгрузки обеспечивает незначительные пространственно-временные изменения акватории озера, а сама стабильность достигается, очевидно, за счет инфильтрации из оз. Хадын, абсолютная отметка уреза воды в котором (около 708 м н.у.м.) примерно на 7 м выше, чем в оз. Дус-Холь, при расстоянии между озерами около 3 км. Подтверждением гидравлической связи между ними является тот факт, что после максимального наполнения оз. Хадын в 1993 г. на следующий год площадь акватории оз. Дус-Холь также выросла, тогда как озера Как-Холь и Безымянное в 1994 г. сокращались (см. табл. 1).

Озера Дус-Холь и Хадын широко используются местным населением и приезжими для отдыха и самостоятельного лечения. На оз. Чедер существовал курорт с водо- и грязелечением, который был ликви-

дирован, но в настоящее время восстанавливается, кроме ремонта старого корпуса строятся новые. На оз. Дус-Холь существует несколько баз отдыха. Вода его кроме высокой минерализации как главного лечебного фактора содержит из других бальнеологических компонентов бром в количестве до 263,0 мг/дм³ и ортоборную кислоту Н₃ВО₃ до 63,6 мг/дм³ [Клоптова, Сидорина, 2013]. Бальнеологическое и рекреационное значение озера усиливает явление гелиотермии – роста температуры воды на глубине за счет солнечного прогрева. По замерам в августе 2012 г. в верхнем слое мощностью 1,5 м температура воды варьировала в пределах 20–22 °С. С глубиной происходило резкое увеличение температуры до 36,6–32,8 °С на глубине 2,0 м и до 40–45 °С у дна (2,5–2,6 м) [Аюнов и др., 2014].

Заключение

Приведенные результаты обработки изображений дистанционного зондирования водных поверхностей пяти соленых озер Улуг-Хемской котловины, расположенной в центральной части территории Республики Тыва, показали, что в период 1989–2020 гг. они не пересыхали, в отличие от озер Забайкалья, также приуроченных к сухостепной климатической зоне, многие из которых, в том числе наиболее крупные, высыхали полностью. В более ранние сроки два озера в результате дефицита атмосферных осадков и высокого испарения с водной поверхности в отдельные годы тоже исчезали. Динамика акваторий за рассматриваемый период имеет разнонаправленные тренды – у трех озер тренды отрицательные (оз. Как-Холь, Хадын, Безымянное), у оз. Чедер – положительный, у оз. Дус-Холь при короткопериодных колебаниях площадь за анализируемый период остается стабильной, однако значимый тренд выявлен лишь для оз. Хадын.

Наиболее высокой устойчивостью акваторий отличаются оз. Хадын и Дус-Холь: первое – из-за преобладания в водном питании речного стока, формирующегося в горной местности с отличными от степной зоны климатическими характеристиками, а второе – из-за участия в водном питании подземных вод, включая подземный переток из оз. Хадын.

Анализ основных климатических параметров за последние 78 лет показал увеличение среднегодовой температуры воздуха (линейный тренд) в среднем на 0,61 °С/10 лет, или 4,8 °С за весь период. С 1943 по 2020 г. величина линейного тренда годовой суммы атмосферных осадков составила 4,82 мм/10 лет, или 37,6 мм за весь период. По показателям увлажнения оценки расходятся. По гидротермическому коэффициенту Селянинова условия определяются как за-

сушливые, по индексам Педея и Палмера климатическая увлажненность территории оценивается преимущественно как оптимальная.

Корреляционный анализ показал значимые отрицательные связи площади водных зеркал озер с температурой воздуха, как и должно быть в случае бессточных озер, и более слабую положительную корреляцию с количеством осадков ввиду разной их доли в наполнении озер. Из показателей увлажненности более высокие значимые коэффициенты корреляции получены с индексами Педея и Палмера.

Испарение с водной поверхности озер как единственная или доминирующая расходная составляющая их водного баланса не только определяет динамику акваторий, но и их гидрохимические характеристики. Все озера являются солеными с минерализацией рапы 15,1–159,8 г/дм³ по разовым определениям по состоянию на летний период 2018 г. Устойчивое существование оз. Дус-Холь с высокой минерализацией рапы, содержанием ряда важных для бальнеологии других химических компонентов и сероводородных грязей определяет его как надежную базу для создания водо- и грязелечебницы.

Список источников

- Асеев В.В.** Региональная оценка ресурсов испарения с поверхности малых водоемов юга Восточной Сибири // Географический анализ природных ресурсов Иркутской области. Иркутск, 1985. С. 22–39.
- Аюнов Д.Е., Рычкова К.М., Дучков А.Д.** Температурные исследования оз. Дус-Холь (Сватиково) // Известия Тувинского государственного университета // Географические и сельскохозяйственные науки. 2014. № 2. С. 104–108.
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В.** Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394. URL: <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 15.06.2021).
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В.** Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485. URL: <http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных> (дата обращения: 15.06.2021).
- Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М.** Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТТ) // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942. URL: <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#описание-массива-данных> (дата обращения: 15.06.2021).
- Вахнина И.Л., Носкова Е.В., Голятина М.А.** Особенности изменения площадей водной поверхности и количества озер степной зоны Восточного Забайкалья // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2020. № 3. С. 13–23. doi: 10.17308/geo.2020.3/3019
- Вахнина И.Л., Обязов В.А., Замана Л.В.** Динамика увлажнения в степной зоне Юго-Восточного Забайкалья с начала XIX столетия по кернам сосны обыкновенной // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2018. № 2. С. 28–33.
- ВЕГА-Science:** уникальный инструмент научного анализа данных спутниковых наблюдений. URL: <http://sci-vega.ru/> (дата обращения: 20.07.2021).
- ВМО-№ 1203.** Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. 2017. 32 с.
- Галимова Р.Г., Переведенцев Ю.П., Яманаев Г.А.** Агроклиматические ресурсы республики Башкортостан // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2019. № 3. С. 29–39.
- Голятина М.А., Вахнина И.Л., Курганович К.А.** Динамика количества и площадей водного зеркала озер Восточного Забайкалья // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : XVIII Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 ч. / отв. ред. А.В. Шапиева. 2018. С. 120–124.
- Кальная О.И., Аюнова О.Д., Забелин В.И., Арчимаева Т.П., Рычкова К.М.** Бальнеологические свойства и экологические проблемы озер Дус-Холь и Хадын // Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов. 2015. Т. 2, № 1–1. С. 56–60.
- Кашницкая М.А.** Исследование динамики площадей водной поверхности озер степной зоны Восточного Забайкалья на основе данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18, № 3. С. 242–253. doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-242-253
- Кашницкая М.А., Болгов М.В.** Бессточные Торейские озера: можно ли дать прогноз изменений гидрологического режима // Метеорология и гидрология. 2021. № 5. С. 95–98. doi: 10.52002/0130-2906-2021-5-95-98
- Клопотова Н.Г., Сидорина Н.Г.** Современное состояние и изученность лечебных гидроминеральных ресурсов Тувы и сопредельных регионов // Курортная база и природные лечебно-оздоровительные местности Тувы и сопредельных регионов. 2013. № 1. С. 16–19.
- Курганович К.А., Носкова Е.В.** Использование водных индексов для оценки изменения площадей водного зеркала степных содовых озер юго-востока Забайкалья, по данным дистанционного зондирования // Вестник Забайкальского государственного университета. 2015. № 06 (121). С. 16–24.
- Носкова Е.В., Вахнина И.Л., Курганович К.А.** Характеристика условий увлажненности территории бессточных озер Торейской равнины с использованием метеорологических данных // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25, № 3. С. 22–30. doi: 10.21209/2227-9245-2019-25-3-22-30
- Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Наумов Э.П., Верещагин М.А., Хабутдинов Ю.Г., Исмагилов Н.В. и др.** Основные особенности климата последних десятилетий на территории Татарстана // Ученые записки Казанского университета. 2008. Т. 150, кн. 4. С. 21–32.
- Педь Д.А.** О показателе засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. 1975. Вып. 156. С. 19–38.
- Пиннекер Е.В.** Минеральные воды Тувы. Кызыл : Тувин. кн. изд-во, 1968. 106 с.

Черенкова Е.А. Количественные оценки атмосферных засух в федеральных округах Европейской территории России // Известия РАН. Сер. Географическая. 2013. № 6. С. 76–85.

KNMI Climate Explorer. URL: http://climexp.climexp-knmi.surf-osted.nl/select.cgi?id=someone_@some-where&field=scpdsi (дата обращения: 20.09.2021).

Newman J.E., Oliver J.E. Palmer Index/Palmer Drought Severity Index // Encyclopedia of World Climatology. Encyclopedia of Earth Sciences Series. 2005. P. 571–573. doi: 10.1007/1-4020-3266-8_159.

Palmer W.C. Meteorological drought. Washington : U.S. Department of Commerce Research, 1965. V. 45. 58 p.

Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // Intern. J. of Remote Sensing. 2006. No. 27. P. 3025–3033.

Zamana L.V., Vakhnina I.L., Golyatina M.A., Noskova E.V. Dynamics of the water surface of the Eravno-Khorginsky system lakes (Western Transbaikalia) in 1990–2020 according to remote sensing data // Limnology and Freshwater Biology. 2020. No. 4. P. 634–636. doi: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-634

References

Aseev V.V. *Regional'naya otsenka resursov ispareniya s poverkhnosti malykh vodoyemov yuga Vostochnoy Sibiri* [Regional assessment of evaporation resources from the surface of small water bodies in the south of Eastern Siberia] // Geographic analysis of natural resources of the Irkutsk region. Irkutsk, 1985. pp. 22–39. In Russian

Ayunov D.E., Rychkova K.M., Duchkov A.D. *Temperaturnyye issledovaniya oz. Dus-Khol' (Svatikovo) [Temperature research of Dus-Khol Lake (Svatikovo)]* // Bulletin of the Tuvian state university Geographical and agricultural sciences. 2014. No. 2. pp. 104–108. In Russian

Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Trofimenko L.T., Shvets N.V. *Opisaniye massiva dannykh mesyachnykh summ osadkov na stantsiyakh Rossii* [Description of the data array of the mean monthly air temperature at the stations of Russia. Certificate of state registration of the database No. 2014621485]. <http://meteo.ru/data/156-temperature#description-mass-data> (Date of accessed 15.06.2021). In Russian

Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Korshunova N.N., Shvets N.V. *Opisaniye massiva dannykh srednemesyachnoy temperatury vozdukha na stantsiyakh Rossii* [Description of the data array of monthly precipitation totals at Russian stations. Certificate of state registration of the database No. 2015620394]. <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#description-mass-data> (Date of accessed 15.06.2021). In Russian

Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. *Opisaniye massiva dannykh sutochnoy temperatury vozdukha i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR (TTTR)* [Description of the data array of daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR). Certificate of state registration of the database No. 2014620942]. <http://meteo.ru/data/162-temperature-precipitation#opisaniye-massiva-dannykh> (Date of accessed 15.06.2021). In Russian

Vakhnina I.L., Noskova E.V., Golyatina M.A. *Osobennosti izmeneniya ploshchadey vodnoy poverkhnosti i kolichestva ozor stepnoy zony Vostochnogo Zabaykal'ya* [Features of change in area of a water mirror and the number of lakes in the steppe zone of the Eastern Transbaikalia] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Geografiya. Geokologiya. 2020. No. 3. pp. 13–23. doi: <https://doi.org/10.17308/geo.2020.3/3019>. In Russian

Vakhnina I.L., Obyazov V.A., Zamana L.V. *Dinamika uvlazhneniya v stepnoy zone Yugo-Vostochnogo Zabaykal'ya s nachala XIX stoletiya po kernam sosny obyknovennoy* [Dynamics of humidification in the steppe zone of Southeastern Transbaikalia since the beginning of the 19th century evidenced by the cores of scots pine]. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2018. No. 2. pp. 28–33. In Russian

VEGA-Science: *unikal'nyy instrument nauchnogo analiza dannykh sputnikovykh nablyudeniy* [VEGA-Science: a unique tool for scientific analysis of satellite observation data]. URL: <http://sci-vega.ru/> (Date of accessed 20.07.2021). In Russian

VMO-№ 1203. *Rukovodyashchiye ukazaniya VMO po raschetu klimaticheskikh norm* [WMO Guidelines for the calculation of climate standards]. 2017. 32 p. In Russian

Galimova R.G., Perevedentsev Yu.P., Yanaev G.A. *Agroklimaticheskiye resursy respubliki Bashkortostan* [Agro-climatic resources of the Republic of Bashkortostan] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geokologiya. 2019. No. 3. pp. 29–39. In Russian

Golyatina M.A., Vakhnina I.L., Kurganovich K.A. *Dinamika kolichestva i ploshchadey vodnogo zerkala ozor Vostochnogo Zabaykal'ya* [Dynamics of the number and areas of the water surface of the lakes of Eastern Transbaikalia]. Kulagin Readings: Technique and Technology of Production Processes. XVIII Int. scientific-practical conf.: in 3 parts. Resp. ed. A.V. Shapiev. 2018. pp. 120–124. In Russian

Kalnaya O.I., Ayunova O.D., Zabelin V.I., Archimaeva T.P., Rychkova K.M. *Bal'neologicheskiye svoystva i ekologicheskiye problemy ozer Dus-Khol' i Khady'n* [Balneological properties and ecological problems of lakes Dus-Khol and Khady'n] // Resort base and natural health-improving areas of Tuva and adjacent regions. 2015. V. 2. No. 1–1. pp. 56–60. In Russian

Kashnitskaya, M.A. *Issledovaniye dinamiki ploshchadey vodnoy poverkhnosti ozer stepnoy zony Vostochnogo Zabaykal'ya na osnove dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Investigation of the dynamics of the water surface areas of lakes in the steppe zone of Eastern Transbaikalia based on data from remote sensing of the Earth] // Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa. 2021. V. 18. No. 3. pp. 242–253. doi: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-242-253. In Russian

Kashnitskaya M. A., Bolgov M. V. *Besstochny'e Torejskie ozera: mozjno li dat` prognoz izmenenij gidrologicheskogo rezhima?* [Closed Torey lakes: is it possible to predict changes in hydrological regime?]. Meteorologiya i gidrologiya. 2021. No. 5. pp. 95–98.

Klopotova N.G., Sidorina N.G. *Sovremennoye sostoyaniye i izuchennost' lechebnykh gidromineral'nykh resursov Tuvy i sopedel'nykh regionov* [The current state and knowledge of the medicinal hydro-mineral resources of Tuva and adjacent regions] // Resort base and natural health-improving areas of Tuva and adjacent regions. 2013. No. 1. pp. 16–19. In Russian

Kurganovich K.A., Noskova E.V. *Ispol'zovaniye vodnykh indeksov dlya otsenki izmeneniya ploshchadey vodnogo zerkala stepnykh sodovykh ozer yugo-vostoka Zabaykal'ya po dannym distantsionnogo zondirovaniya* [The use of water indices to assess changes in the water surface of steppe soda lakes in the southeast of Transbaikalia, according to remote sensing data] // Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta. 2015. No. 6 (121). pp. 16–24. In Russian

Noskova E.V., Vakhnina I.L., Kurganovich K.A. *Kharakteristika usloviy uvlazhnenosti territorii besstochnykh ozer Toreyskoy ravniny s ispol'zovaniyem meteorologicheskikh dannykh* [Characteristics of the moisture conditions of the territory of the closed lakes of

the Torey plain using meteorological data] // Transbaikal State University Journal. 2019. T. 25. No 3. pp. 22–30. doi: 10.21209/2227-9245-2019-25-3-22-30.

Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G., Naumov E.P., Vereshchagin M.A., Khabutdinov Yu.G., Ismagilov N.V., Tudriy V.D. *Osnovnyye osobennosti klimata poslednikh desyatiletiy na territorii Tatarstana* [The main features of the climate of recent decades on the territory of Tatarstan] // Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki. 2008. V. 150. No. 4. pp. 21–32. In Russian

Ped D.A. *O pokazatele zasukhi i izbytochnogo uvlazhneniya* [About the indicator of drought and excessive moisture] // Proc. of the Hydrometeorological Center USSR. 1975. V. 156. pp. 19–38. In Russian

Pinneker E.V. *Mineral'nyye vody Tuvy* [Mineral waters of Tuva]. Kyzyl: Tuvian book publishing house, 1968. 106 p. In Russian.

Cherenkova Ye.A. *Kolichestvennyye otsenki atmosferykh zasukh v federal'nykh okrugakh Yevropeyskoy territorii Rossii* [Quantitative Evaluation of Atmospheric Drought in Federal Districts of the European Russia] // Izvestiya RAS. Ser. Geographic. 2013. No. 6, pp. 76–85. In Russian

KNMI Climate Explorer [Электронный ресурс]. URL: <http://climexp.climexp-knmi.surf-osted.nl/select.cgi?id=someone@somewhere&field=scpdsi> (Date of accessed 20.09.2021).

Newman J.E., Oliver J.E. Palmer Index/Palmer Drought Severity Index // Encyclopedia of World Climatology. Encyclopedia of Earth Sciences Series. 2005. pp. 571–573. DOI: https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_159.

Palmer W.C. Meteorological drought. Washington: U.S. Department of Commerce Research, 1965. V. 45. 58 p.

Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International J. of Remote Sensing, 2006. No. 27. pp. 3025–3033.

Zamana L.V., Vakhnina I.L., Golyatina M.A., Noskova E.V. Dynamics of the water surface of the Eravno-Khorginsky system lakes (Western Transbaikalia) in 1990-2020 according to remote sensing data. Limnology and Freshwater Biology. 2020. No. 4. pp. 634–636. doi: 10.31951/2658-3518-2020-A-4-634.

Информация об авторах:

Замана Л.В., кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: l.v.zamana@mail.ru

Носкова Е.В., кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории географии и регионального природопользования, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: elena-noskova-2011@mail.ru

Кальная О.И., кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории, Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, Россия.

E-mail: kalnaja@mail.ru

Вахнина И.В., кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории географии и регионального природопользования, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия.

E-mail: vahnina_il@mail.ru

Кашицкая М.А., младший научный сотрудник, ФГБУ «НИЦ «Планета», Москва, Россия.

E-mail: marina-sosnina1993@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors:

Zamana L.V., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading Researcher, Laboratory of Geoecology and Hydrogeochemistry, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: l.v.zamana@mail.ru

Noskova E.V., Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher, Laboratory of Geography and Regional Environmental Management Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: elena-noskova-2011@mail.ru

Kalnaya O.I., Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher laboratory, Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of RAS, Kyzyl, Russia.

E-mail: kalnaja@mail.ru

Vakhnina Irina L., Cand. Sci. (Biol.), Head of Geography and Regional Environmental Management Laboratory Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia.

E-mail: vahnina_il@mail.ru

Kashnitskaya M.A., Junior Researcher, Federal State Budgetary Institution "Research Center" Planet", Moscow, Russia.

E-mail: marina-sosnina1993@yandex.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 13.01.2022; одобрена после рецензирования 04.02.2022; принята к публикации 13.03.2023

The article was submitted 13.01.2022; approved after reviewing 04.02.2022; accepted for publication 13.03.2023