

УДК 556.55

DOI 10.17513/use.38177

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПЛОЩАДЕЙ ОЗЕР ТОБОЛО-ИШИМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

Корнеева Н.Ю.

*Институт озераедения Российской академии наук – Санкт-Петербургский
федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
Санкт-Петербург, e-mail: ntkorn87@gmail.com*

С использованием разновременных космических снимков определены площади водной поверхности оз. Лебязье, Малый Кушлук, Торопово и Истошино Тоболо-Ишимского междуречья за 1989–2020 гг. Вычисление площадей выполнено по мультиспектральным снимкам Landsat и Sentinel-2 с применением автоматизированного индекса выделения воды AWEI. Выявлены годы с максимальными и минимальными значениями площадей водного зеркала озера. Для исследованных водоемов, за исключением оз. Малый Кушлук, характерно кратковременное увеличение площадей водного зеркала в 2008 г. В 2009 и 2010 гг. отмечено снижение площадей всех озер, сменившееся затем увеличением, продолжавшимся до 2016 г. Выявлено, что амплитуда максимальных и минимальных значений площади оз. Истошино, имеющего сток в оз. Травное, на 12% отличается от среднего значения, в то время как для остальных озер, являющихся бессточными, данный показатель составляет от 24 до 26%. По данным наблюдений метеорологической станции Макушино проведена оценка климатических параметров. По результатам расчета коэффициентов корреляции, наиболее высокая статистическая связь площадей озер отмечена с 2-летним скользящим средним годовых сумм атмосферных осадков.

Ключевые слова: Тоболо-Ишимское междуречье, озера, динамика, площадь водной поверхности, спутниковые снимки, ГИС-технологии

Работа выполнена в рамках государственного задания ИИОЗ РАН по теме № FMNG-2019-0004 «Закономерности распределения озер по территории Евразии и оценка их водных ресурсов».

THE LONG-TERM DYNAMICS OF LAKE AREAS IN THE TOBOLO-ISHIM INTERFLUVE BASED ON SATELLITE DATA

Korneenkova N.Yu.

*Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences – a separate division
of the Saint Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
Saint Petersburg, e-mail: ntkorn87@gmail.com*

Using multi-temporal space images the areas of water surface of lakes Lebyazhie, Maly Kushluk, Toropovo and Istoshino of Tobol-Ishim interfluve for the period 1989–2020 were determined. The areas were calculated using multispectral Landsat and Sentinel-2 images with application of Automated Water Extraction Index AWEI. The years with maximum and minimum values of water surface area were identified. For the studied water bodies, except for the Maly Kushluk Lake, a short-term increase of water surface area in 2008 is characteristic. In 2009 and 2010, a decrease in the areas of all lakes was noted, followed by an increase that lasted until 2016. It is revealed, that the amplitude of maximum and minimum values of the area of Lake Istoshino, which has draining into Lake Travnoye, differs from the average value by 12%, while for the other lakes, being drainless lakes, this indicator ranges from 24 to 26%. Based on the observations of the Makushino meteorological station, the climatic parameters were assessed. According to the results of calculation of correlation coefficients, the highest statistical connection of lake areas is noted with 2-year moving average of annual precipitation amounts.

Keywords: Tobolo-Ishim interfluve, lakes, dynamics, water surface area, satellite images, GIS-technologies

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences on topic No. FMNG-2019-0004 “Patterns of distribution of lakes across the territory of Eurasia and assessment of their water resources”.

Изменения морфометрических характеристик озер могут являться индикаторами вариаций климата. Внутренние водоемы засушливых регионов являются чувствительными к изменениям климата и антропогенному вмешательству. Районы среднего течения Тоболо-Ишимского междуречья относятся к зоне недостаточного увлажнения и характеризуются значительной пространственно-временной многолетней и внутригодовой динамикой ресурсов озерных вод.

В настоящее время отмечается существенный недостаток наземных наблюдений за гидрологическим режимом водоемов засушливых регионов. При этом большинство водоемов малых размеров остаются неисследованными или об их водном режиме имеется чрезвычайно мало информации. Применение материалов дистанционного зондирования Земли может восполнить ограниченность данных гидрометрических измерений на территориях недостаточного увлажнения.

Задача настоящего исследования – на примере водоемов Тоболо-Ишимского междуречья продемонстрировать возможности использования спутниковых данных с целью определения динамики морфометрических характеристик озер, а также провести оценку зависимости динамики площадей озер от климатических параметров.

Район исследования расположен в средней части Тоболо-Ишимского междуречья в пределах плоской Ишимской равнины, слабо наклонной в северном направлении.

Ишимская равнина сложена лессовидными суглинками различного механического состава, глинами, аллювиальными супесями и песками, которые развиты на континентальных отложениях неогенового возраста. В южной части равнины, соответствующей региону исследования, преобладает денудационный рельеф [1]. Гидрографическая сеть представлена озерами и болотами, речная сеть выражена слабо.

Для поверхности равнины характерны суффозионные котловины, вытянутые пологие гряды с широкими плоскими вершинами и пологими склонами. Широко распространены межгрядные ложбины, а также фрагменты днищ древних русел и речных долин, в которых размещаются крупные – площадью несколько десятков квадратных километров, а также средние по площади озера, нередко соленые или горько-соленые.

Климат территории континентальный. Для территории характерна общая неустойчивость климата, обусловленная беспрепятственным вторжением как холодных северных воздушных масс, так и теплых и сухих масс воздуха из Средней Азии. Характерные особенности климата – недостаток влаги, малая облачность, короткое и жаркое лето, суровая зима. Резкий годовой ход температур сочетается с резкой изменчивостью зимних и весенних температур от года к году. Годовое количество осадков составляет 320–350 мм, более половины осадков выпадает в мае-июне.

Тоболо-Ишимское междуречье относится к регионам недостаточного увлажнения, тем не менее характерной чертой гидрографической сети рассматриваемой территории является значительная озерность. Помимо крупных и средних по величине остаточных водоемов распространены также многочисленные бессточные озера, занимающие микрозападины площадью, как правило, менее 1 км². Берега таких озер в основном слабо изрезанные, низменные,

зачастую заболоченные. Значительная часть пресных мелководных озер подвержена зарастанию высшей водной растительностью.

Материалы и методы исследования

В настоящем исследовании рассмотрены оз. Лебяжье, Малый Кушлук, Торопово и Истошино Тоболо-Ишимского междуречья (рис. 1). Выбранные в качестве объектов исследования водоемы относятся к категории малых, наиболее крупное оз. Лебяжье в многоводный период не превышает по площади 9 км², наименьшая площадь среди исследованных озер у оз. Истошино (4,7 км²).

Озеро Лебяжье бессточное, расположено на древней слабоволнистой поверхности, сформированной денудационными процессами [1]. Развитая на современных водоразделах, данная поверхность в пределах Ишимской равнины перекрыта маломощным лессовидным покровом и осложнена суффозионно-просадочными западинами, которые нередко заозерены или заболочены.

Озера Торопово и Истошино относятся к водоемам заболоченных поверхностей, сформировавшихся в результате зарастания и заболачивания водоемов в голоцене [2]. Оз. Истошино соединяется протокой с расположенным севернее оз. Травное, из которого берет начало р. Емец. Длина протоки около 2,5 км. Примерно в 200 м оз. Истошино протоку пересекает трасса, вследствие чего сток из озера ограничен. На юге оз. Истошино в многоводные годы коротким водотоком соединяется с оз. Торопово.

Озеро Малый Кушлук расположено в 1 км к северо-западу от оз. Большой Кушлук. Озера занимают вогнутую бессточную поверхность, вероятно, унаследовавшую древнюю озерную котловину.

Оценка площадей водной поверхности базировалась на автоматизированном дешифрировании данных TM/Landsat, ETM+/Landsat, OLI/TIRS/Landsat и Sentinel-2 с использованием автоматизированного индекса выделения воды AWEI (Automated Water Extraction Index), который в ряде исследований отмечен как наиболее оптимальный с точки зрения точности результата для выделения водных поверхностей [3, 4]. Предварительная обработка данных Landsat и Sentinel-2 и извлечение площадных характеристик водных объектов осуществлялись в программной среде QGIS. В ходе автоматизированной обработки спутниковых изображений в среде ГИС производилась конвертация растровых изображений в векторный формат.



Рис. 1. Исследованные озера: 1 – Лебяжье, 2 – Торопово, 3 – Истошино, 4 – Мал. Кушлук. I – метеостанция Макушино

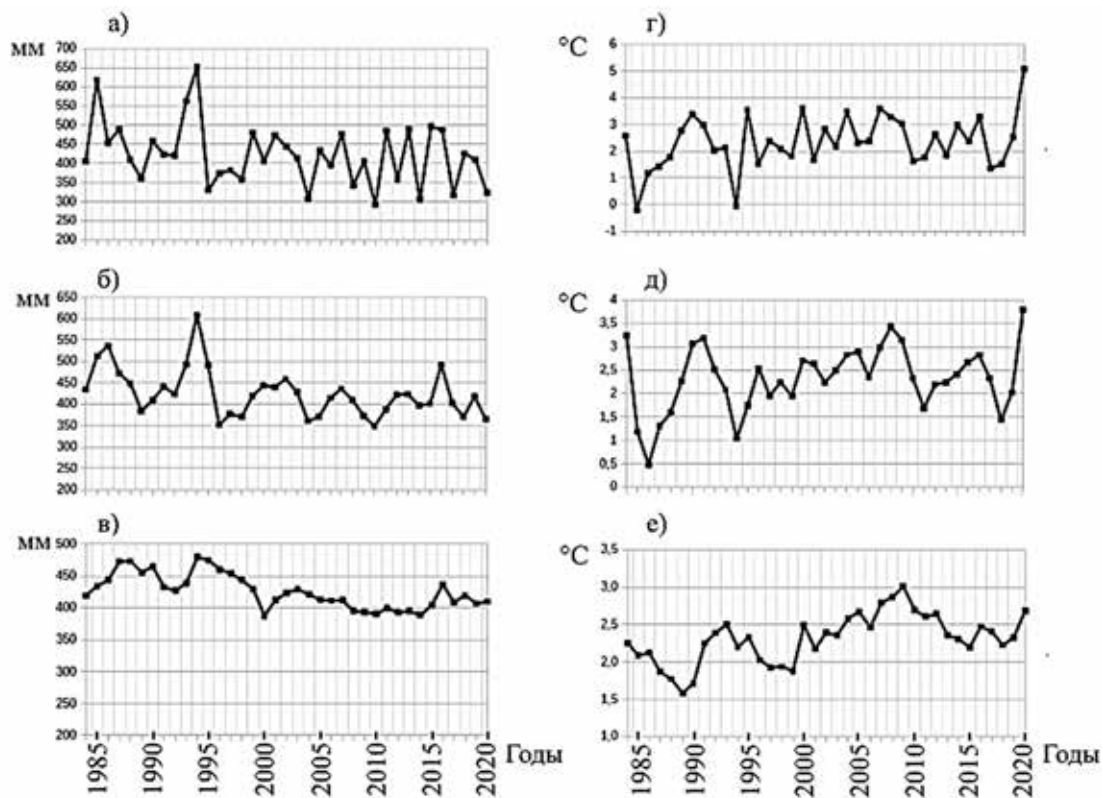


Рис. 2. Графики хода метеорологических характеристик метеостанции Макушино за период с 1984 по 2020 г.: а – в – атмосферные осадки: а) годовые суммы осадков, б) скользящие двухлетние значения, в) скользящие шестилетние значения; г – е – температура воздуха: г) среднегодовые температуры воздуха, д) скользящие двухлетние значения, е) скользящие шестилетние значения

Для выявления водных поверхностей были проанализированы снимки Landsat и Sentinel-2 за период с 1989 по 2020 г., полученные посредством сервиса Earth- Explorer. Пространственное разрешение спутниковых изображений TM/Landsat, ETM+/Landsat, OLI/TIRS/Landsat составляет 30 м, Sentinel-2 – 10 м. Анализу были подвергнуты 23 сцены за конец августа – начало октября.

В работе были проанализированы данные об атмосферных осадках и температуре воздуха, полученные для метеостанции Макушино за период с 1984 по 2020 г. с сервера Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных [5]. При расчете суммы годовых атмосферных осадков и среднегодовых значений температуры анализировались метеорологические данные за период с сентября предшествующего года по август. На основе данных по атмосферным осадкам и температуре воздуха были рассчитаны шестилетние и двухлетние скользящие средние этих величин (рис. 2). В целях выявления статистических связей произведены расчеты коэффициентов корреляции климатических показателей (6-летние скользящие осадков и температуры, 2-летние скользящие средние осадков и температуры, годовое количество осадков, среднегодовая температура) с площадями оз. Лебяжье и Малый Кушлук, расположенных наиболее близко из исследованных озер к метеостан-

ции. Расстояние от метеостанции Макушино до оз. Лебяжье 88 км, до оз. Малый Кушлук – 80 км. Рассчитанные коэффициенты сводились в корреляционные матрицы.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 3 приведены совмещенные графики изменения площадей оз. Лебяжье, Малый Кушлук, Истошино и Торопово в период с 1989 по 2020 г., построенные в результате обработки спутниковых данных Landsat и Sentinel-2.

Для исследованных озер, за исключением озера Малый Кушлук, характерно кратковременное увеличение площадей водного зеркала в 2008 г. В последующие 2009 и 2010 гг. отмечено снижение площадей всех озер, сменившееся затем увеличением, продолжавшимся до 2016 г.

Наиболее низкое значение площади водного зеркала оз. Истошино в рассматриваемый период отмечено в 1997 г., оз. Торопово – в 2010 г., оз. Лебяжье и Малый Кушлук – в 1989 и 2010 гг. Можно отметить, что низкие значения площади в 2010 г. были получены также для оз. Большое Бердюжье Тоболо-Ишимского междуречья в ходе проведенных ранее исследований [6]. Наибольшие площади исследованных озер также соответствуют разным годам: оз. Лебяжье и Малый Кушлук – 1994 г., оз. Торопово – 2008 г., оз. Истошино – 2016 г.

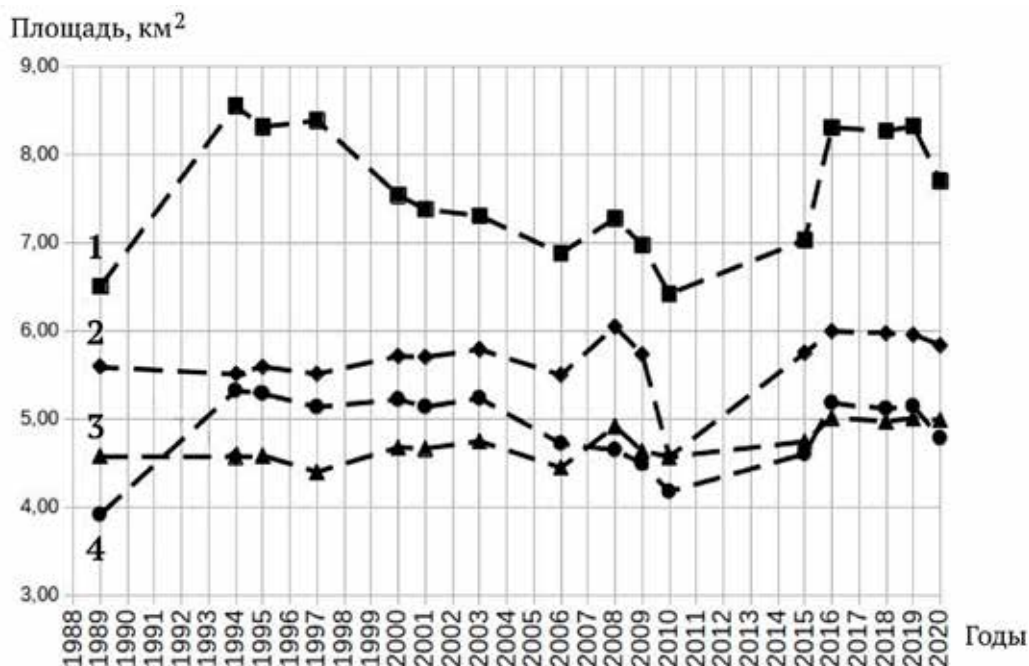


Рис. 3. Динамика площадей оз. Лебяжье (1), Торопово (2), Истошино (3), Малый Кушлук (4) в период с 1989 по 2020 г.

Анализ динамики площадей озер, основанный на результатах обработки спутниковых данных за период с 1989 по 2020 г., показывает, что амплитуда максимальных и минимальных значений площади оз. Истошино на 12% отличается от среднего значения за рассматриваемый период, в то время как для остальных озер данный показатель составляет от 24 до 28%. Полученные результаты позволяют говорить о том, что из исследованных озер акватория оз. Истошино является наиболее устойчивой во времени. Это может быть обусловлено наличием стока из озера, который осуществляется через водоток, соединяющий водоем с оз. Травное.

Температурный режим и атмосферные осадки являются основными климатическими показателями, определяющими общую увлажненность территории и динамику площадей озер регионов недостаточно увлажнения.

Наиболее высокая среднегодовая температура воздуха за рассматриваемый период отмечена в 2020 г. ($5,08^{\circ}\text{C}$), самая низкая – в 1985 г. ($-0,22^{\circ}\text{C}$). Среднесуточная температура воздуха, превышающая 10°C , фиксировалась в среднем в течение 136 дней, меньше всего дней с данной температурой было отмечено в 1996 г., больше всего – в 1991 г. Минимум атмосферных осадков наблюдался в 2010 г. (291,6 мм), максимум – в 1994 г. (652 мм). Число дней с осадками, превышающими 1 мм, в период с 1984 по 2020 г. в среднем составляло 74, наименьшим данный показатель был в 2010 г., наибольшим – в 2001 г.

Приведенные графики скользящих шестилетних значений годовых сумм осадков показывают наличие нескольких периодов их повышения и уменьшения. С 1994 по 2000 г. наблюдается снижение атмосферных осадков, затем кратковременное увеличение с 2001 по 2003 г. и постепенное уменьшение, продолжавшееся до 2014 г., которое вновь сменилось увеличением (с 2015 по 2016 г.), а затем снижением (с 2017 по 2020 г.).

Проведенный корреляционный анализ показал, что из всех полученных расчетных характеристик площадь оз. Малый Кушлук и Лебяжье сильнее всего коррелирована с 2-летним скользящим средним годовых сумм атмосферных осадков (коэффициент корреляции для оз. Лебяжье составляет 0,5, для оз. Малый Кушлук – 0,6). Отмечаются положительные статистические связи с годовым количеством осадков, а также их шестилетним скользящим средним (коэффициент корреляции в диапазоне 0,3–0,5).

По данным корреляционного анализа выявлена средняя отрицательная корреляционная связь площадей озер с 2-летним скользящим средним температуры (коэффициент корреляции 0,3–0,4). Значимая статистическая связь площадей озер со среднегодовой температурой воздуха, а также с шестилетним скользящим средним данного показателя отсутствует.

Заключение

Анализ спутниковых снимков за период с 1989 по 2020 г. позволил установить, что у бессточных водоемов Малый Кушлук, Лебяжье и Торопово амплитуда максимальных и минимальных значений площади отличается от среднего значения более чем на 20%. У оз. Истошино, имеющего сток в оз. Травное, данный показатель соответствует 12%.

Корреляционный анализ площадей озер с климатическими характеристиками показал, что площадь оз. Малый Кушлук и Лебяжье, наиболее близко расположенных к метеостанции Макушино, сильнее всего коррелирована с 2-летним скользящим средним годовых сумм осадков. С температурными условиями зависимость выражена слабее и проявляется только для 2-летнего скользящего среднего температуры воздуха.

Список литературы

1. Пестова Л.Е. Геоморфология // Объяснительная записка. Цифровая модель листа Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Западно-Сибирская. Лист N-42 – р. Ишим. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2020. 157 с.
2. Зылева Л.И., Коркунов К.В., Козырев В.Е., Пестова Л.Е., Калашникова О.С., Макарова А.Н., Новикова Л.П. Цифровая модель листа Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000. Третье поколение. Серия Западно-Сибирская. Лист N-42 – р. Ишим. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2020. 157 с. [Электронный ресурс]. URL: [https:// webftp.vsegei.ru/GGK1000/2020_n-42/N-42_ОбЗар.pdf](https://webftp.vsegei.ru/GGK1000/2020_n-42/N-42_ОбЗар.pdf) (дата обращения: 19.06.2023).
3. Катаев М.Ю., Бекеров А.А. Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям // Доклады ТУСУРа. 2017. № 4. Т. 20, С. 105–108.
4. Feyisa G.L., Meilby H., Fensholt R., Proud S.R. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 140. P. 23–35
5. Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549 [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных> (дата обращения: 16.01.2023).
6. Корнеев Н.Ю. Временная изменчивость площадей озер юга Западной Сибири по данным космических снимков // Будущее науки в Санкт-Петербурге: сб. трудов региональной научной молодежной конференции (Санкт-Петербург, 22 ноября 2021 г.). СПб., 2021. С. 12–17.