

Долгосрочные фазовые изменения озер Южного Приаралья

Ф.Я. Артыкова¹, С.Б. Калабаев^{1,2}  

 salauat.kalabaev@gmail.com

¹Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент, Республика Узбекистан

²Каракалпакский государственный университет имени Бердака, г. Нукус, Республика Узбекистан

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Подробное изучение гидрологического режима озер Южного Приаралья является актуальной задачей, однако следует отметить, что этот вопрос осложняется отсутствием систематических наблюдений. В настоящее время по космическим снимкам можно получить информацию о водных объектах в труднодоступных районах. В исследовании выполнено картирование шести озер, расположенных на территории Южного Приаралья. Картирование выполнено в разное время и в различные фазы гидрологического режима озер. **Методы.** Для района исследования выбраны спутниковые снимки исследовательского центра Геологической службы США (USGS) и базы данных Европейской комиссии за период 1984–2021 гг. На следующем этапе проведены расчеты с использованием программного обеспечения ArcGIS. В работе использованы гидрологические расчеты, методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), методы water index для дешифрирования спутниковых снимков. Проанализированы методы декодирования космических изображений NDWI, MNDWI для определения площади поверхности озер. **Результаты.** Расчеты показали сокращение площади озер от 28,92 % до 93,3 %. В ходе исследований установлено, что озера Муйнак, Сарибас, Междуручье и Дауткуль трансформировались в сезонные озера, а озера Судочье, Джылтырбас пока остаются постоянными.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Южное Приаралье, озеро, Landsat, дистанционное зондирование, NDWI, MNDWI, мониторинг, картографирование.

Для цитирования: Артыкова Ф.Я., Калабаев С.Б., Долгосрочные фазовые изменения озер Южного Приаралья // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2025. № 1. С. 40–56. <https://doi.org/10.35567/19994508-2025-1-40-56>, EDN: FMYLKP

Long-Term Phase Changes In The South Aral Sea Region Lakes

Farida Y. Artykova¹, Salauat B. Kalabaev^{1,2}  

 salauat.kalabaev@gmail.com

¹Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

²Karakalpak State University named after Berdak, Nukus, Republic of Uzbekistan

ABSTRACT

Relevance. A detailed study of the hydrological regime of lakes is an urgent task, however, it should be noted that this issue is complicated by the lack of systematic observations on lakes. In such cases, satellite images can be used to obtain information about water bodies in hard-to-

© Артыкова Ф.Я., Калабаев С.Б., 2025

reach areas. The study carried out mapping of six lakes located in the Southern Aral Sea region. The mapping was carried out for different dates and different phases of the hydrological regime of the lakes in the presence of water in them. **Methods.** For the study area, satellite images from the United States Geological Survey (USGS) research center and the European Commission database for the period 1984-2021 were selected. At the next stage, calculations were carried out using ArcGIS software. To this end, this article examined several methods for decoding satellite images to determine the water surface area of a lake. In the research used hydrological calculations, methods of remote sensing of the Earth (RSE), and “water index” methods for decoding satellite images. In particular, decoding methods of NDWI and MNDWI space images were analyzed to determine the surface area of the lake. **Results.** As a result of the calculation, the reduction in the area of lakes amounted to 28.92-93.3%. As a result of the research, it was found that all the studied lakes became seasonal. As a result of the research, it was established that lakes Muynak, Saribas, Mezhdurechye and Dautkul have turned into seasonal lakes, while lakes Sudochye and Jyltyrbas still remain permanent.

KEYWORDS: Southern Aral Sea region, lake, Landsat, remote sensing, NDWI, MNDWI, monitoring, mapping.

For citation: Artykova E.Y., Kalabaev S.B. Long term phase changes in the South Aral Sea zone lakes. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies. Management.* 2025. No. 1. P. 40–56. <https://doi.org/10.35567/19994508-2025-1-40-56>, EDN: FMYLKP

ВВЕДЕНИЕ

Озера и водохранилища содержат около 21 % мировых запасов пресной воды [1]. Установлено, что количество водных объектов площадью 10 га во всем мире с 1995 по 2015 г. составило более 1,42 млн [2]. Исследования, проведенные на основе дистанционного зондирования, показывают, что в период с 1984 по 2015 гг. в глобальном масштабе исчезло почти 90 тыс. км² ранее существовавших постоянных водоемов. Однако на других территориях появились новые постоянные водные объекты, занимающие площадь 184 тыс. км² [3]. Более 70 % исчезнувших по всему миру постоянных водоемов приходится на территории Казахстана, Узбекистана, Ирана, Афганистана, Ирака [4].

Следует также отметить, что на территориях, расположенных от 41° до 45° с. ш. и с 58° до 60° в. д., значительно сократились площади постоянной водной поверхности. Восточная часть Аральского моря на границе Казахстана и Узбекистана превратилась в пустыню [5]. Резкое сокращение поверхности Аральского моря наблюдалось в период 1994–2009 гг., в последнее время этот процесс замедлился [6].

При дешифрировании спутниковых изображений, для определения границы «суша–вода», использовались методы water index [7]. В этом направлении исследования велись такими известными учеными, как McFeeters S.K. [8], Xu H. [9], Sun F. [10], Feyisa G.L. [11], Курганович К.А. [12], Морозова В.А. [13] и Шмакова В.Ю. [14].

В целях эффективной организации использования природных ресурсов в мире проводится картографирование и модернизируются методы исследования. В этом направлении важными считаются вопросы мониторинга водных ресурсов с применением ГИС-технологий и методов дистанционного зондирования.

Озера Узбекистана имеют важное географическое и социально-экономическое значение. Они содержат запасы пресной воды, определяют окружающий микроклимат, являются средой обитания разнообразной флоры и фауны, используются для рыбоводства и отдыха. Мониторинг гидрологического режима и современного состояния озер в регионе Южного Приаралья особенно актуален в период, когда глобальный дефицит водных ресурсов увеличивается, и эта тенденция будет усугубляться с наблюдающимся изменением климата.

Цель проведенного исследования – организация мониторинга состояния озер, расположенных на территории Южного Приаралья, на основе данных дистанционного зондирования Земли в условиях изменения климата.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Спутниковые снимки за 1984–2021 годы отобраны из базы данных Научно-исследовательского центра озер Геологической службы США (USGS) и Европейской комиссии. Динамика водной поверхности озер регистрировалась с помощью спутниковых наблюдений, а изображения Landsat использовались для составления карты сезонности каждого озера. Снимки Landsat являются единственными первичными данными для долгосрочного мониторинга поверхностных водных объектов. С 2008 г. Геологическая служба США (USGS) предоставляет в свободный и открытый доступ изображения Landsat, имеющие большое значение для научных исследований и практического применения.

Использован весь архив Landsat 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper-plus (ETM+) и Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) ортотрансформированных изображений отражательной способности верхней части атмосферы и яркостной температуры (L1T), полученных в период с 16 марта 1984 г. по 30 декабря 2021 г. Landsat 5, 7 и 8 находятся на околополярной орбите с повторным покрытием каждые 16 дней; два спутника работают одновременно с 8-дневным циклом. Земная область, снимаемая с соседних орбит, перекрывается на 7,3 % на экваторе, увеличиваясь до 68,3 % перекрытия на широте 70°.

Исследуемые водоемы весьма изменчивы, а их спектральные свойства на длинах волн, измеряемых датчиками TM, ETM+ и OLI, также изменяются в зависимости от концентрации хлорофилла в воде, количества взвешенных частиц, цвета растворенных органических веществ, содержащихся в водной массе озер, а также состава отложений на дне и в мелководье [8, 16].

Для дистанционного определения площадей водной поверхности озер по космическим съемкам широко применяются следующие методы обработки спутниковых спектральных индексов (водных индексов): тематическая классификация с обучением, линейное разделение, одноканальная классификация с использованием порога разделения.

На практике для выделения границы «суша/вода» широко используются спектральные индексные изображения вследствие минимальных трудозатрат при хороших результатах.

Для распознавания водных объектов на спутниковых изображениях существует множество спектральных индексов, которые называются водными

индексами. С их помощью определяется водность на подстилающей поверхности. Наиболее популярные из них описаны ниже.

Спектральный нормализованный разностный водный индекс NDWI (*Normalized Difference Water Index*) был предложен в 1996 г. McFeeters. Индекс позволяет выявлять увлажненность растительности, кроме того, он используется для мониторинга водных объектов. Вычисляется по формуле:

$$NDWI = \frac{green - nir}{green + nir}, \quad (1)$$

где *green* – излучение в зеленом участке спектра (0,5–0,6 мкм);

nir – излучение в инфракрасном участке спектра (0,7–0,9 мкм).

В 2006 г. было установлено, что индекс NDWI недостаточно эффективен для выявления водных поверхностей и отделения комбинированных поверхностей. На основе идеи индекса NDWI Н. Ху предложил новый модифицированный нормализованный разностный водный индекс – MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) [3]. Индекс MNDWI рассчитывается по формуле:

$$MNDWI = \frac{green - swir}{green + swir}, \quad (2)$$

где *green* – излучение в зеленом участке спектра (0,5–0,6 мкм);

swir – излучение в среднем инфракрасном участке спектра (1,55–1,75 мкм).

Преимуществом этого индекса является его способность эффективно подавлять или удалять шумовые эффекты почвы и растительности, что позволяет более точно определить водные объекты на любой подстилающей поверхности. Помимо информации спутников серии Landsat индекс MNDWI возможно извлечь по данным других спутниковых систем – SPOT и TERRA (прибор MODIS), Sentinel-1, 2, что говорит о его универсальности и стабильности. Тем не менее при выделении водных поверхностей на спутниковых изображениях с помощью индекса MNDWI могут возникнуть сложности при наличии на них объектов с малой величиной альбедо, таких как автодороги, тени от облаков, гор или высоких зданий. Граница раздела «суша/вода» проходит через ноль, значения индекса больше соответствуют водным поверхностям. В результате ряда исследований [3, 9, 15] оказалось, что индекс MNDWI является наиболее подходящим методом для определения водной поверхности в районе исследования.

В представленной работе использован метод дешифрирования водных поверхностей по многоканальным спектральным индексам MNDWI. Экспертная система с веб-интерфейсом, разработанная Google Earth Engine, позволяет обрабатывать любые изображения Landsat 5, 7 и 8 [17].

При расчете площади поверхности озера мультиспектральные спутниковые снимки Landsat 5, 7, 8 серий были преобразованы в универсальную поперечную проекцию Меркатора.

Расчет площади озер в программе ArcGIS проводился с помощью инструментов Image Classification и Spatial Analyst методом дешифрирования спутниковых изображений. (рис. 1).

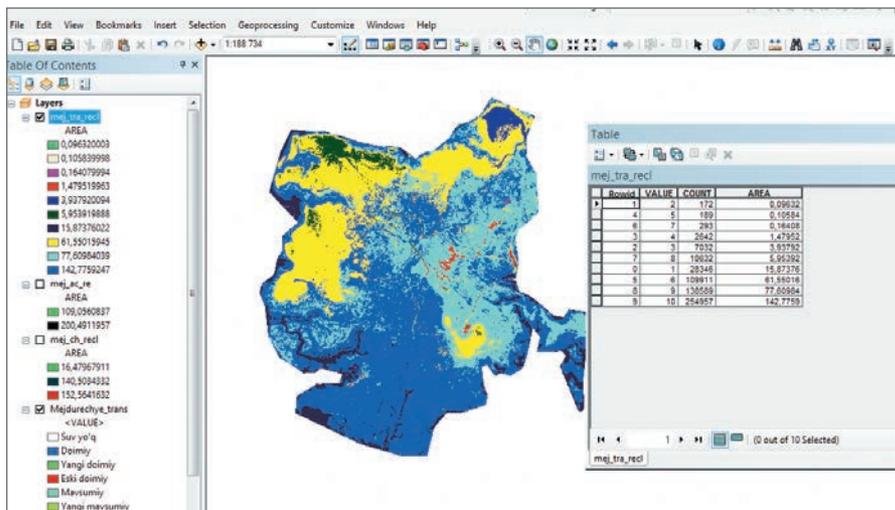


Рис. 1. Расчет площади водной поверхности озера на переходных фазах в программе ArcGIS.

Fig. 1. Calculation of the area of the lake water surface during transition phases in ArcGIS software.

На основе продукта «Появление водной поверхности» (SWO) в программном обеспечении ArcGIS была создана карта «Распространение поверхностных вод». На карте изображены территории, где собирались поверхностные воды в период 1984–2021 гг., и представлена информация о межгодовой и годовой изменчивости общей площади водной поверхности [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как известно, многолетняя и годовая изменчивость как площадей водной поверхности, так и остальных морфометрических характеристик озер зависит от количества притока воды. Питание изучаемых дельтовых озер осуществляется речными водами Амударьи и коллекторно-дренажным стоком, поступающим с орошаемых полей северных районов Республики Каракалпакстан. Атмосферные осадки в водном балансе приаральских озер составляют очень незначительную долю, их величина для этого региона в среднем за многолетие (1984–2010 гг.) – 136 мм/год [5]. Поэтому для понимания гидрологического режима изучаемых дельтовых озер необходимо рассмотреть основные источники их питания.

Исходя из вышеизложенного, следует отметить, что в многоводные годы в бассейне реки Амударьи поступление воды в дельтовые озера увеличивается. Так, например, озера Дауткуль, Междуречье, Сарыбас и озеро в заливе Муйнак подпитываются поступающей по каналам амударьинской водой, в результате их водная поверхность увеличивается в зависимости от водности лет. По данным наблюдений на р. Амударье, в замыкающем гидростворе Саманбай в многоводные 1992, 1998 и 2010 годы объем годового притока составил, соответственно, 24,2 км³/год, 20,0 и 16,8 км³/год, а в маловодные 2001, 2007, 2008 годы объем стока оценивался в 0,1 км³/год, 0,57 и 0,32 км³/год.

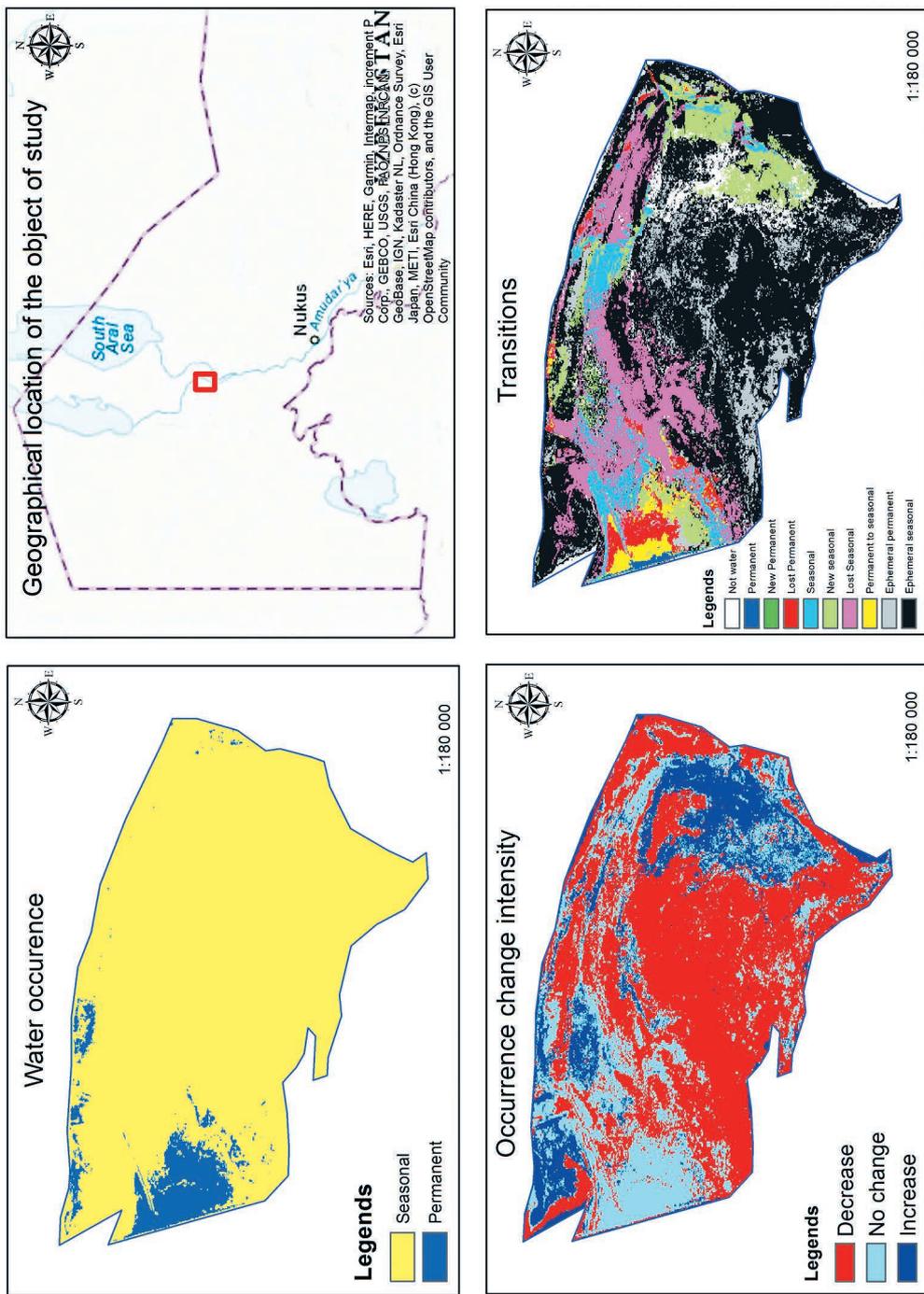
Озеро Судочье подпитывается коллектором ККС и Устюрт, а в оз. Джылтырбас сбрасывают воду коллекторы КС-1 и КС-3, собирающие воду с северных орошаемых земель Каракалпакии. Речные воды также подпитывают оз. Джылтырбас по протоке Казакдарье – дельтовому рукаву Амударьи, туда же сбрасывается часть стока коллектора КС-1. Суммарный годовой объем стока коллекторов и протоки Казакдарья в многоводном 2010 г. составил 2,225 км³/год, а в маловодном 2001 г. – 0,962 км³/год. Расходная часть водного баланса всех озер, кроме оз. Междуречье, состоит в основном из испарения с водной поверхности, а из оз. Междуречье вода сбрасывается в расположенные ниже озера Сарыбас и Муйнак.

Определение площадей водной поверхности дельтовых озер по космоснимкам и сбор данных для картирования шести озер за разные сроки и различные фазы их гидрологического режима выполнялись на основе продукта «Интенсивность изменения явления» (*Surface water occurrence*). В программном обеспечении ArcGIS была создана карта «Интенсивность изменения распространения поверхностных вод». На карте показано распространение поверхностных вод в периоды с 1984–1999 гг. по 2000–2021 гг., а также отмечено, какие части озер увеличились, уменьшились или остались неизменными [3,18].

На основе продукта «Переходы» в программном обеспечении ArcGIS создана карта «Фазы перехода», на которой показаны различия между тремя фазами водной поверхности: *not water* – безводная, *seasonal* – сезонная и *permanent* – постоянная, основанные на изменениях водной поверхности в разные сезоны (зима, весна, лето, осень) с первого до последнего года. Переходные фазы описывают 11 переходов от первого до последнего года наблюдений.

Ниже приведены типы переходных фаз: постоянная водная поверхность – состояние, когда на всех космоснимках (1984–2021 гг.) отмечалась вода; новая постоянная водная поверхность – изменившаяся к 2021 г. постоянная водная поверхность; старая постоянная водная поверхность – до 2021 г. была постоянной водной поверхностью; сезонная водная поверхность – возникает в определенные сезоны года; новая сезонная водная поверхность – изменившаяся к 2021 г. сезонная водная поверхность; старая сезонная водная поверхность – ранее существовала в определенный сезон года, а теперь ее нет; водная поверхность, изменившаяся с постоянной на сезонную, – к 2021 г. водная поверхность стала сезонной; водная поверхность, изменившаяся из сезонной в постоянную, – к 2021 г. водная поверхность стала постоянной, т. е. в течение всего года есть вода; временно постоянная – в определенный период года постоянно есть вода; временные сезонные водные поверхности – появляются в разные годы и в разные сезоны года.

Картирование изменений залива Муйнак, озер Сарыбас, Междуречье, Джылтырбас, Судочье, Даутколь в 1984–2021 гг. выполнено в ArcGIS на основе продуктов «Появление поверхностных вод», «Интенсивность изменения встречаемости» и «Переходы», созданных Дж.Ф. Пекелем. Сначала было картировано появление воды на суше и рассчитаны сезонные и постоянные водные поверхности (рис. 2).



a

Рис. 2. Карты распространения поверхностных вод, интенсивности изменения распространения поверхностных вод, переходных фаз в озерах Муйнак (а), Сарibas (б), Междуречье (в), Джылтырбас (д), Судочье (е) и Дауткуль (е).
 Fig. 2. Maps of the surface water occurrence, surface water occurrence change intensity, transition phases in Moynaq (a), Saribas (b), Mezhdurechye (d), Dyltyrbas (e), Sudochye (f) va Dautkul (g) lakes.

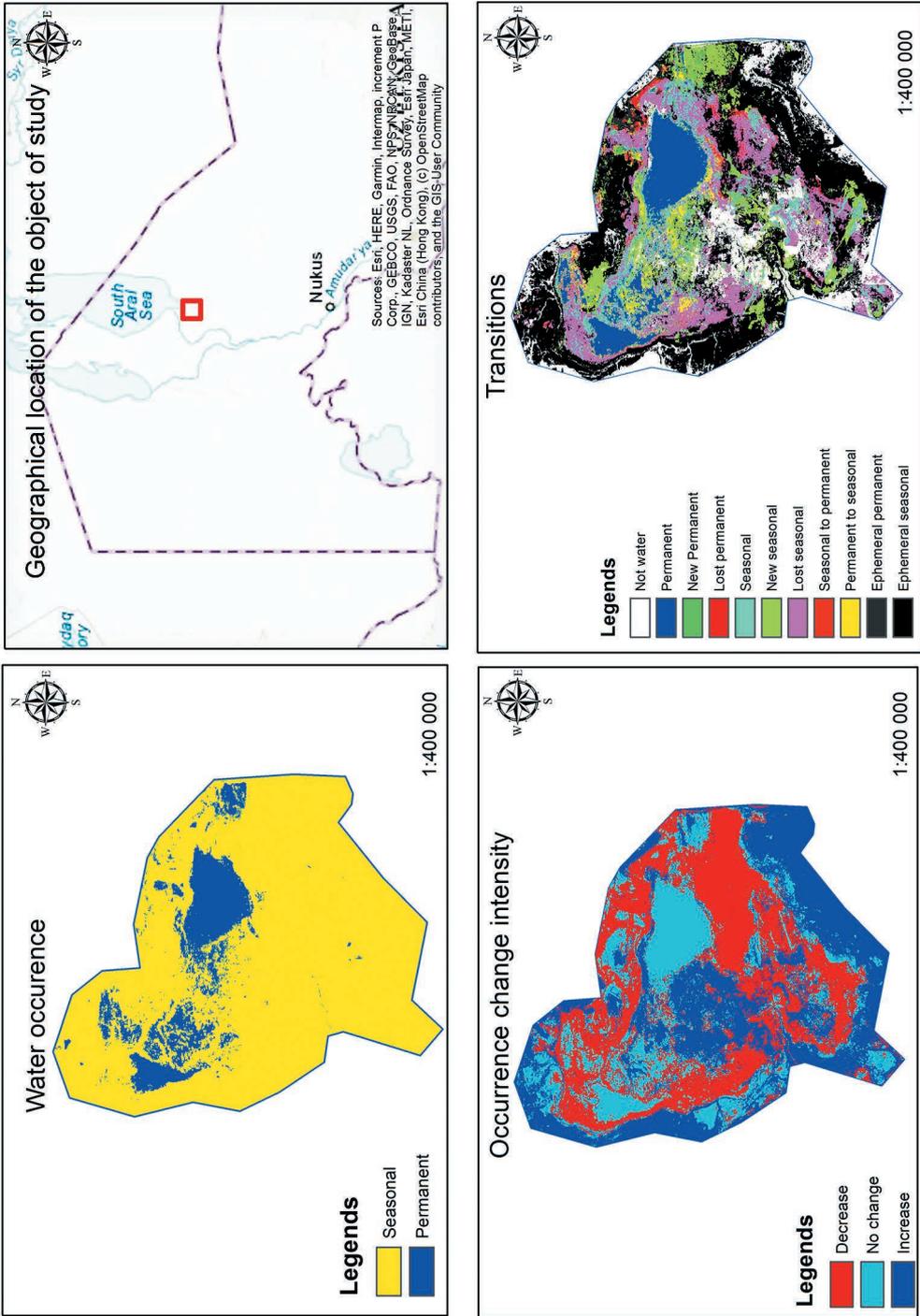


Рис. 2. Продолжение.
Fig. 2. Continued.

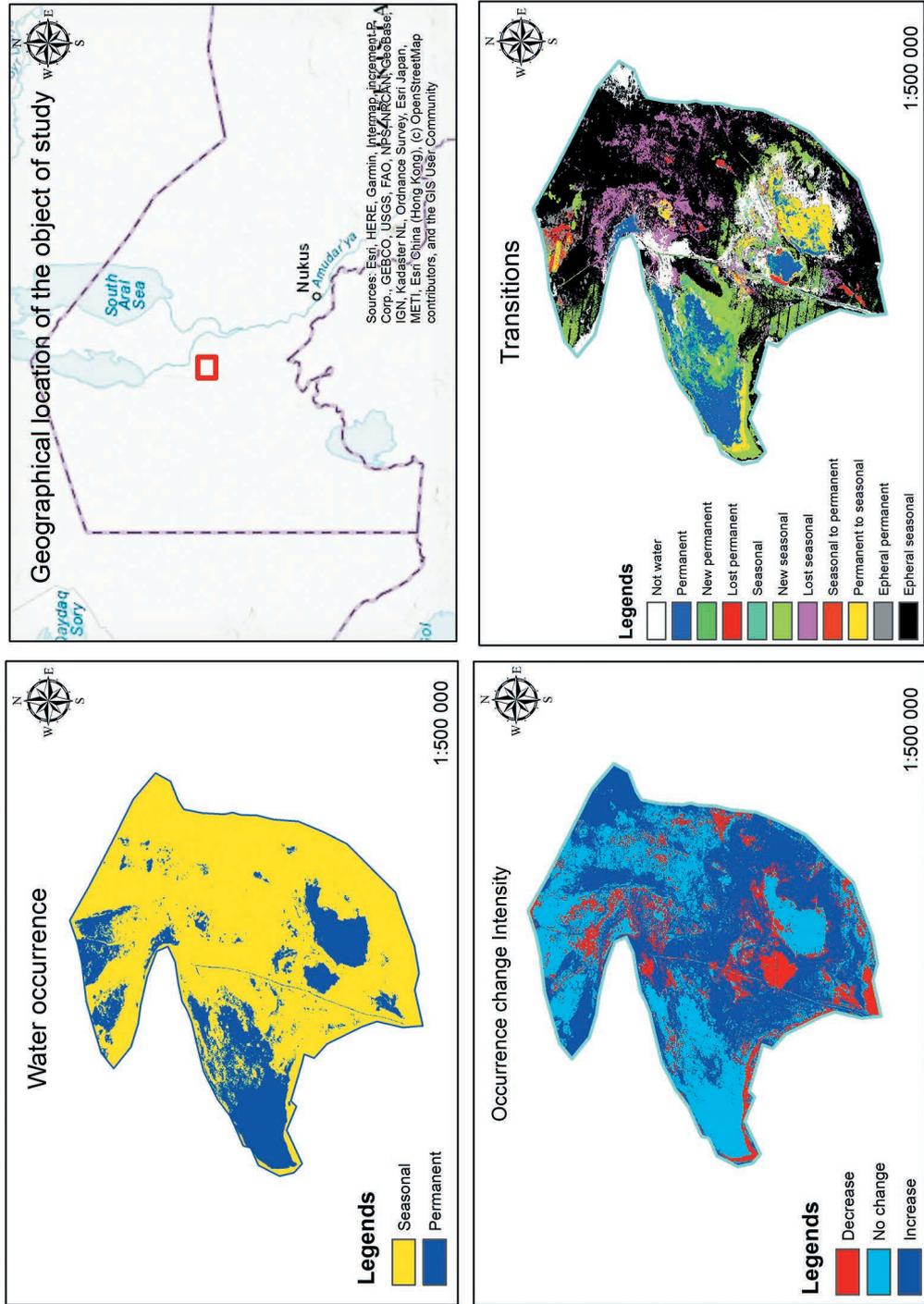


Рис. 2. Продолжение.
Fig. 2. Continued.

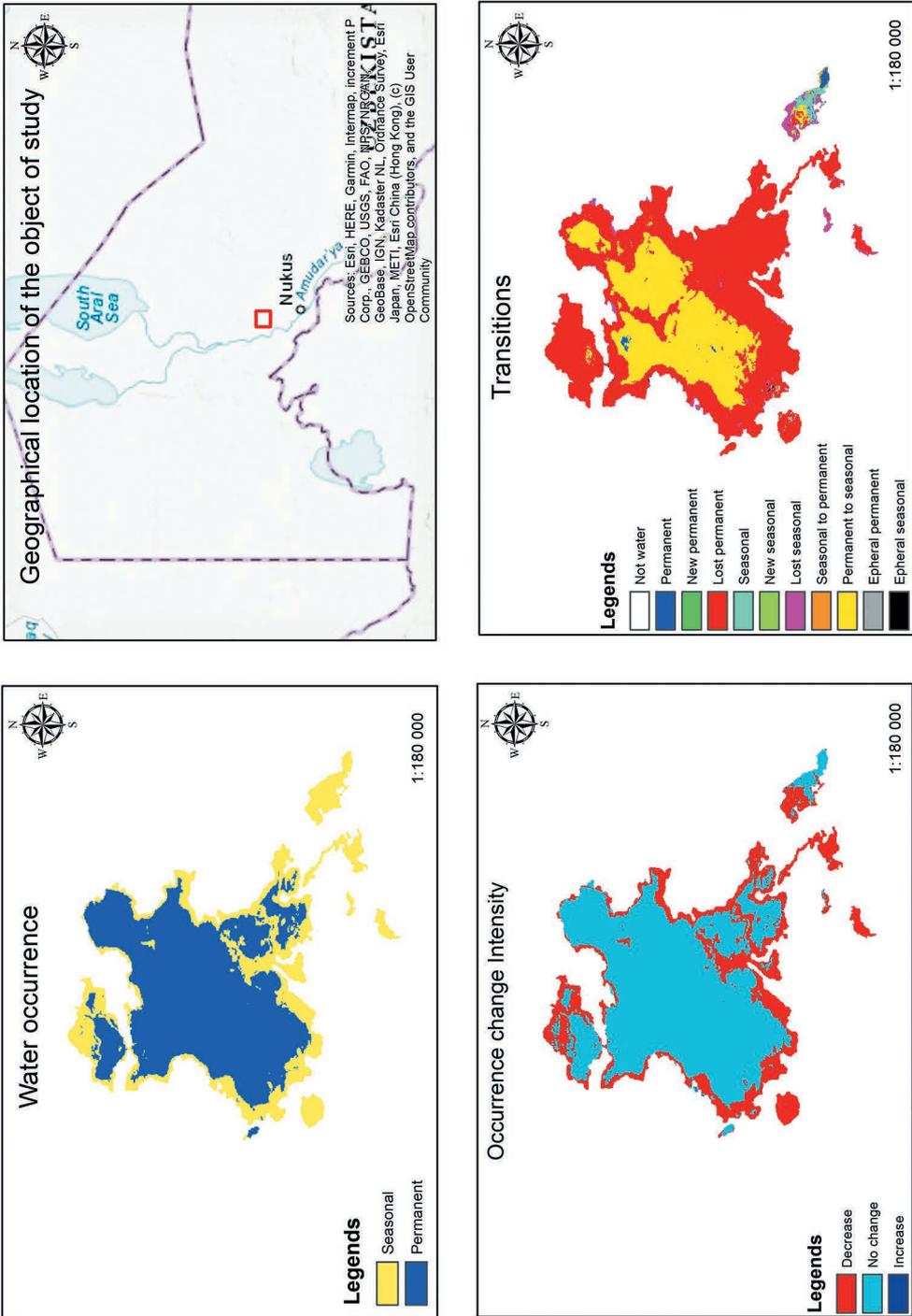


Рис. 2. Продолжение.
Fig. 2. Continued.

Таблица. Фазовые переходы озер Южного Приаралья*
Table. Phase transitions of lakes of the Southern Aral Sea region

Муйнак	Сарибас		Междуручье		Джылгырбас		Дауткул		Судочье		
	Площадь, км ²	Переходные фазы	Площадь, км ²	Переходные фазы	Площадь, км ²	Переходные фазы	Площадь, км ²	Переходные фазы	Площадь, км ²	Переходные фазы	
Not water	7,35	Not water	0,32	Not water	15,8	Not water	80,01	Not water	0,008	Not water	85
Permanent	0,47	Permanent	0,35	Permanent	0,096	Permanent	42,74	Permanent	0,36	Permanent	63
New permanent	0,007	New seasonal	24,1	New permanent	3,94	New permanent	1,75	New permanent	49,9	New permanent	10
Lost permanent	3,39	Lost seasonal	0,003	Lost permanent	1,47	Lost permanent	6,95	Seasonal permanent	0,77	Lost permanent	8
Seasonal	6,85	Ephemeral permanent	5,56	Seasonal	0,1	Seasonal	31,88	Seasonal seasonal	2,03	Seasonal	14
New seasonal	11,5	Ephemeral seasonal	8,8	New seasonal	61,55	New seasonal	42,58	Seasonal to permanent	0,11	New seasonal	84
Lost seasonal	21,51	-	-	Lost seasonal	0,16	Lost seasonal	80,3	Permanent to seasonal	24,9	Lost seasonal	67
Permanent to seasonal	2,45	-	-	Seasonal to permanent	5,95	Seasonal to permanent	0,09	Ephemeral permanent	0,8	Seasonal to permanent	0,27
Epheral permanent	12,4	-	-	Ephemeral I permanent	77,6	Permanent to seasonal	16,56	Ephemeral seasonal	0,03	Permanent to seasonal	35
Epheral seasonal	64,74	-	-	Ephemeral I seasonal	142,7	Ephemeral permanent	5,45	-	-	Ephemeral permanent	9
-	-	-	-	-	-	Ephemeral seasonal	164,38	-	-	Ephemeral seasonal	327

Примечание: * – классификации озер по фазам J.F. Rekel: 1. Not water – безводная, т. е. в течение изучаемого периода (1984–2021 гг.) на космоснимках в этих зонах вода не отмечена (на карте рис. 2 обозначено белым цветом); 2. Permanent – на всех космоснимках (1984–2021 гг.) отмечена вода; 3. New permanent – изменявшаяся к 2021 г. постоянная водная поверхность; 4. Lost permanent – до 2021 г. были постоянной водной поверхностью; 5. Seasonal – водная поверхность, возникающая в определенные сезоны года; 6. New seasonal – изменявшаяся к 2021 г. сезонная водная поверхность; 7. Lost seasonal – ранее существовала в определенный сезон года, а теперь ее нет; 8. Seasonal to permanent – к 2021 г. водная поверхность стала постоянной, т. е. в течение всего года есть вода; 9. Permanent to seasonal – к 2021 г. водная поверхность стала сезонной; 10. Ephemeral permanent – в определенный период года постоянно есть вода; 11. Ephemeral seasonal – вода появляется в разные годы и в разные сезоны.

По результатам расчетов площадь постоянной водной поверхности в заливе Муйнак составляет 8,76 км², сезонная водная поверхность – 121,9 км²; в оз. Сарибас постоянная водная поверхность равна 27,7 км², сезонная водная поверхность – 11,4 км²; в Междуречье постоянная водная поверхность составляет 109,05 км², сезонная водная поверхность – 200,5 км²; в оз. Джылтырбас постоянная водная поверхность – 63,3 км², сезонная водная поверхность – 409,4 км²; постоянная водная поверхность оз. Дауткуль – 48,44 км², сезонная водная поверхность – 29,9 км²; в Судочье постоянная водная поверхность – 161 км², сезонная водная поверхность составила 544 км². Исследования показывают, что максимальный уровень воды в озерах наблюдался в 1992, 1998, 2010 годах.

Постоянная водная поверхность колебалась от 6,7 % до 71,02 % от общей площади озер. Эти значения были самыми высокими в оз. Сарибас (71,02 %), самые низкие – в заливе Муйнак (6,7 %). Из этого следует, что постоянные водные поверхности составляют небольшой процент, поскольку объем воды в озерах невелик и они быстро пересыхают в засушливые и жаркие сезоны.

При изучении изменений интенсивности распространения водной поверхности в заливе Муйнак за 32 года выявлено сокращение водной площади до 70,04 км², на площади 37,57 км² вода сохранилась. В оз. Сарибас эти значения уменьшились на 4,8 км², а площадь в 30,9 км² осталась неизменной; в Междуречье площадь воды уменьшилась на 140,05 км², осталось 152,6 км². В оз. Джылтырбас водная площадь уменьшилась на 173,13 км², сохранилось 126,2 км²; в Дауткуле сократилась на 26,5 км², при этом 51 км² площади озера осталась неизменной; в Судочье водная поверхность сократилась на 89 км², 284 км² – без изменений.

При изучении переходных фаз Дж.Ф. Пекеля [3] выявлено, что 11 переходных фаз наблюдались не во всех исследованных озерах Южного Приаралья. Только озера Джылтырбас и Судочье имеют 11 переходных фаз, у залива Муйнак и оз. Междуречье – 10; в оз. Дауткуль было отмечено 9 переходных фаз, а в Сарибасе – 6 фаз (таблица).

В результате изучения переходных фаз озер Южного Приаралья установлено, что площадь постоянной фазы в озерах уменьшилась и, наоборот, выросла площадь эфемерно-постоянной и эфемерно-сезонной фаз.

ВЫВОДЫ

На основании анализа результатов, полученных в ходе данного исследования, были выработаны следующие выводы и научно обоснованные рекомендации.

С помощью «Системы долговременного мониторинга поверхностных вод» осуществлялся мониторинг водной поверхности озер за период 1984–2021 гг., разработаны карты «Распространение поверхностных вод в озере», «Интенсивность изменения распространения поверхностных вод в озере» и «Фазы перехода в озере».

По проведенным расчетам, за 32 года площадь исследуемых озер существенно сократилась, в том числе оз. Сарибас – на 29 %, оз. Междуречье – на 65 %, оз. Жылтырбас – 87%, оз. Дауткуль – 38 %, оз. Судочье – 77 %. Постоян-

ные водные поверхности залива Муйнак, озер Сарибас, Междуречье, Джылтырбас, Дауткул, Судочье составили 0,47 км², 0,35 км², 0,096 км², 42,74 км², 0,36 км² и 63 км² соответственно.

В результате исследований установлено, что залив Муйнак, озера Сарибас, Междуречье и Дауткуль становятся сезонными (весенними, летними) озерами. Показано, что озера Судочье и Жылтырбас имеют относительно стабильный гидрологический режим и могут удерживать воду в течение года, даже если нет нового притока.

Практическая значимость результатов проведенной работы определяется тем, что сделанные на их основе выводы и рекомендации, а также карты, составленные в результате исследований, помогают специалистам правильно размещать защитные объекты, строить и укреплять их, а также разрабатывать перспективные планы эксплуатации озер.

Вклад авторов. *Ф.Я. Артыкова – научное руководство, постановка задачи, подготовка текста, С.Б. Калабаев – сбор и обработка материалов, табличное и графическое представление результатов, анализ результатов, оформление.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wulder M.A. et al. Opening the archive: how free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat // Remote Sensing of Environment. 2012. No.122. P. 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.010>.
2. Najai A. & Vatanfada J. Environmental challenges in trans-boundary waters, case study: Hamoon Hirmand Wetland (Iran and Afghanistan) // International Journal of Water Resources and Arid Environments. 2011. No. 1. P. 16–24.
3. Pekel J.F., Cottam A., Gorelick N., Belward A.S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes // Nature. 2016. Vol. 540. No. 7633. P. 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>.
4. Lutz A. F., Immerzeel W. W., Shrestha A. B. & Bierkens M. F. P. Consistent increase in High Asia's runoff due to increasing glacier melt and precipitation // Nature and Climate Change. 2014. Vol. 4. P. 587–592. <https://doi.org/10.1038/nclimate2237>.
5. Kalabaev S.B., Yuldoshbaeva M.R. Kuyi Amudare suv obyektlarining gidrografic tavsifi // Uzbekiston Geografia zhamiyati Akhboroti. 2019. Vol. 56. P. 235–239.
6. Micklin P. The future Aral Sea: hope and despair // Environment Earth Science. 2016. Vol. 75. No. 844. P. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5614-5>.
7. Adenbaev B.E., Kalabaev S.B. Hydrography, morphometry, and monitoring of the Lake Dzhylytyrbas current state // Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2023. No. 5. P. 43–53. https://doi.org/10.35567/19994508_2023_5_4.
8. McFeeters S.K. The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features // International Journal of Remote Sensing. 1996. No. 17. 1425–1432 p. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948714>.
9. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. Vol. 27. No. 14. P. 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>.
10. Sun F. Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2012. Vol. 33. No. 21. P. 6854–6875. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.692829>
11. Feyisa G.L. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery // Remote Sensing of Environment. 2014. No. 140. P. 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>

12. Kurganovich K.A. Use of water indices for assessment of the Transbaykal southeastern zone steppe soda lakeswater surface in accordance with the remote sensing data // The Transbaykal state university newsletter. 2015. No. 6 (121). P. 16–24.
13. Shmakova V.Y. Comparison of the lakes' morphometric characteristics for different water indices // Collection of proceedings of XVII young researchers' conference «Fundamental and applied space reseaches». Ser. Mechanics, management, informatics. 2020. P. 161–169.
14. Morozova V.A. Indices calculation for identification and analysis of water bodies' characteristics ith remote sensing data // Current problems of territoril development. 2019. No. 2. P. 1–12 (In Russ.).
15. Kalabaev S.B., Artykova F.Y. Sunyiy yuldosh kuzatuv maylumotlari buyicha kullarni kharitalash va monitoring kilish // Hydro/meteorology va atrof-mukhit monitoringi. 2024. No. 1. P. 87–92.
16. Artykova F.Y., Kalabaev S.B. Prospects ofthe satellite images' use for determination of the water level in larger lakes // Current problems of the Earth remote sensing from the space. 2024. No. 21(4). P. 251–259. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-4-251-259>.
17. Liu B. et al. Outburst looding of the moraine-dammed Zhuonai Lake on Tibetan plateau: causes and impacts // IEEE Geoscience Remote Sensing Letter. 2016. Vol. 13. P. 570–574. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2016.2525778>
18. Markham B.L., Storey J.C., Williams D.L. & Irons J.R. Landsat sensor performance: history and current status // IEEE Trans. Geoscience. Remote Sensing. 2004. No. 42. P. 2691–2694. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.840720>

REFERENCES

1. Wulder, M. A. et al. Opening the archive: how free data has enabled the science and monitoring promise of Landsat. *Remote Sensing of Environment*. 2012 Vol. 122. P. 2–10. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.01.010>
2. Najai, A. & Vatanfada, J. Environmental challenges in trans-boundary waters, case study: Hamoon Hirmand Wetland (Iran and Afghanistan). *Interantional Journal Water Resources. Arid Environment*. 2011. Vol. 1. P. 16–24.
3. Pekel JF, Cottam A, Gorelick N, Belward A.S. High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*. 2016. Vol. 540. No. 7633. P. 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
4. Lutz, A. F., Immerzeel W. W., Shrestha A. B. & Bierkens M. F. P. Consistent increase in High Asia's runoff due to increasing glacier melt and precipitation. *Natural Climate Changing*. 2014. Vol. 4. P. 587–592. <https://doi.org/10.1038/nclimate2237>
5. Kalabaev S.B., Yuldoshbaeva M.R. Quyi Amudaryo suv obektlarining gidrografik tavsifi *Hydrographic description of the lower Amudarya water bodies*. Ozbekiston Geografiya jamiyati. 2019. Vol. 56. P. 235–239 (In Uzbek).
6. Micklin, P. The future Aral Sea: hope and despair. *Environment Earth Science*. 2016. Vol. 75. No. 844. P. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5614-5>
7. Adenbaev B.E., Kalabaev S.B. *Gidrografiya, morfometriya i monitoring sovremennogo sostoyaniya ozera Djiltirbas Hydrography, morphometry and monitoring of the current state of Lake Diltirvas. Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 5. P. 43–53. https://doi.org/10.35567/19994508_2023_5_4 (In Russ.).
8. McFeeters, S.K. The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. *International Journal of Remote Sensing*. 1996. Vol. 17. P. 1425–1432. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169608948714>
9. Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 27. No. 14. P. 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
10. Sun F. Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2012. Vol. 33. No. 21. P. 6854–6875. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.692829>
11. Feyisa G.L. Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. 2014. No. 140. P. 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>

12. Kurganovich K.A. Using water indices to assess changes in the areas of water surfaces of steppe soda lakes in the south-east of Transbaikalia, based on remote sensing data. *Transbaykal state University newsletter*. 2015. Vol. 6. No. 121. P. 16–24 (In Russ.).
13. Shmakova V.Y. Comparison of morphometric characteristics of lakes for different water indices. *Proceedings of XVII Conference of young scientists "Fundamental and applied space researches" Series "Mechanics, Management, Informatics"*. 2020. P. 161-169 (In Russ.).
14. Morozova V.A. Calculation of indices for identification and analysis of water body characteristics using remote sensing data. *Current problems of territorial development* 2019. No. 2. P. 1–12 (In Russ.).
15. Kalabaev S.B., Artikova F.Y. Mapping and monitoring of lakes based on satellite observation data. *Hydrometeorology and environmental monitoring*. 2024. No. 1. P. 87–92 (In Uzbek).
16. Artikova F.Ya., Kalabaev S.B. Prospects for using satellite data to determine water levels in large lakes. *Current problems of the Earth remote sensing from the space*. 2024. No. 21(4). P. 251–259 Russia, Moscow, 2024. Vol. 21. No. 4. P. 251-259. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-4-251-259> (In Russ.).
17. Liu, B. et al. Outburst loading of the moraine-dammed Zhuonai Lake on Tibetan plateau: causes and impacts. *IEEE Geoscience. Remote Sensing Letter*. 2016. Vol. 13. P. 570–574. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2016.2525778>.
18. Markham, B. L., Storey, J. C., Williams, D. L. & Irons, J. R. Landsat sensor performance: history and current status. *IEEE Trans. Geoscience. Remote Sensing*. 2004. No. 42. P. 2691–2694. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2004.840720>.

Сведения об авторах:

Артыкова Фарида Якубовна, канд. геогр. наук, доцент кафедры гидрологии суши и метеорологии физического факультета Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Узбекистан, 100174, г. Ташкент, ул. Университетская, 4.

Калабаев Салауат Бахитбай ули, базовый докторант кафедры гидрологии суши и метеорологии физического факультета Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека, Узбекистан, 100174, г. Ташкент, ул. Университетская, 4; Scopus ID-59329867100; <https://orcid.org/0000-0001-5188-7383>; e-mail: salauat.kalabaev@gmail.com.

About the authors:

Farida Y. Artykova, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Land Hydrology and Meteorology, Faculty of Physics, Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan Mirzo Ulugbek, Uzbekistan, 100174, Tashkent, Universitetskaya St., 4.

Salauat B. Kalabaev, Basic Post-graduate Student, Department of Land Hydrology and Meteorology, Faculty of Physics, Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Uzbekistan, 100174, Tashkent, Universitetskaya St., 4; Scopus ID-59329867100; <https://orcid.org/0000-0001-5188-7383>; e-mail: salauat.kalabaev@gmail.com.

Поступила в редакцию / Received 21.02.2024.

Поступила после рецензирования / Revised 01.03.2024.

Принята к публикации / Accepted 27.01.2025.