

УДК 504.064.37; 556.16

Канд. техн. наук А.Г. Терехов<sup>1</sup>  
Канд. геогр. наук С.А. Долгих<sup>1</sup>

### СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ВОДНОГО ЗЕРКАЛА ОЗЕРА ЭБИ-НУР (КНР) В ПЕРИОД 1990...2017 ГОДЫ

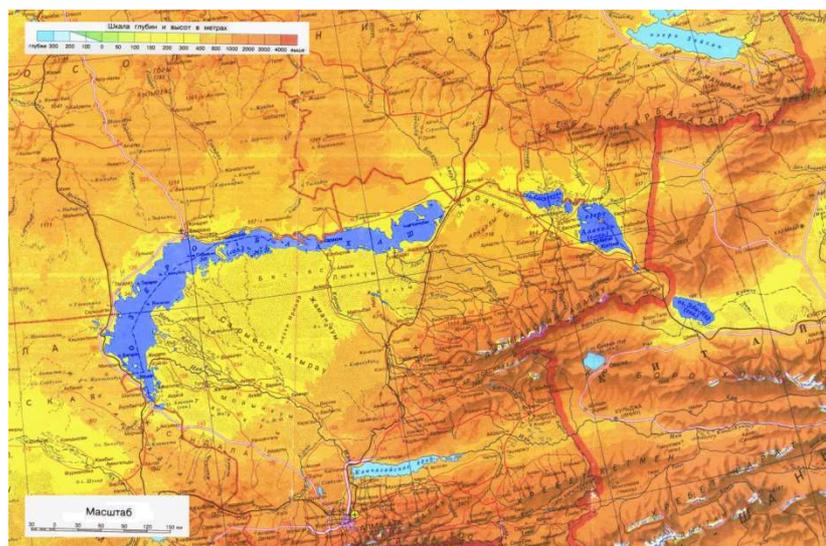
**Ключевые слова:** гидрологический режим озера, спутниковые снимки, площадь водного зеркала, климатическая изменчивость, озёрная система, согласованность многолетних режимов озёр

*Проведена спутниковая диагностика изменений площади водного зеркала озера Эби-Нур (КНР), относящегося к Балхаш-Алакольской озерной системе, расположенной в прогибе Туранской плиты. 249 снимков Landsat-5, 7, 8 за период со 2 апреля 1990 по 9 июня 2017 года послужили основой для восстановления 28-летней динамики размера озера. Сравнение многолетней вариативности размеров озера Эби-Нур и озера Балхаш показало наличие тесной связи между их режимами. Климатическая изменчивость региона центральной Азии представляется основным фактором, синхронизирующим динамику наполненности озёр Балхаш-Алакольской системы.*

**Введение.** Озеро Эби-Нур (КНР) относится к озёрной системе, расположенной в Балхаш-Алакольской котловине. Котловина размером, примерно 800×500 км образовалась в результате пологого прогиба Туранской плиты в неоген-четвертичное время. В настоящее время в ней расположена цепочка из 4-х крупных озёр, протянувшаяся дугой в широтном направлении с суммарной площадью свыше 20 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 1). Озёрную систему питает речной сток Тянь-Шаня, Джунгарского Алатау и хребта Тарбагатай. Озёра являются остатками древнего Ханхайского моря, некогда занимавшего всю Балхаш-Алакольскую впадину [1, 3]. К территории Казахстана из этой группы относятся озера: Балхаш (площадь 18000 км<sup>2</sup>), Сассыколь (740 км<sup>2</sup>) и Алаколь (2700 км<sup>2</sup>). Озеро Эби-Нур (600 км<sup>2</sup>), занимающее крайнюю юго-восточную позицию в этой группе, расположено на территории КНР.

---

<sup>1</sup> Казгидромет, г. Алматы



*Рис. 1. Балхаш-Алакольская озёрная система: оз. Балхаш, оз. Сасыколь, оз. Алаколь, оз. Эби-Нур.*

Балхаш-Алакольская котловина характеризуется выраженным аридным климатом и мелководностью расположенных там озёр. Крупнейшее водное зеркало в группе с площадью 17830 км<sup>2</sup> (на конец мая 2011 г.) имеет оз. Балхаш (14...16 место в мире по размеру зеркала [2]). Средняя глубина озёр: Балхаш - 5,8 м; Сасыколь - 3,3 м, Алаколь – 22 м. Мелководность озёр делает их весьма чувствительным к региональной климатической изменчивости и антропогенному давлению. Уровень осадков в горной зоне формирования стока, интенсивность таяния ледников, а также сельскохозяйственное водопользование (поливное земледелие) являются основными факторами, определяющими наполненность Балхаш-Алакольской озёрной системы.

Временная эволюция наполненности озёр Балхаш-Алакольской котловины представляет значительный интерес для оценки многолетних погодных вариаций и современных тенденций изменений климата в Центральной Азии. Крупнейшая река региона – р. Или, обеспечивающая до 80 % питания оз. Балхаш, является трансграничной (КНР – Казахстан). Большая часть стока реки формируется на территории КНР. Озеро Эби-Нур и весь его бассейн также находятся на территории КНР. Гидрологическая информация с территории КНР малодоступна, в результате чего затрудняется понимание основных особенностей водного баланса Балхаш-Алакольской озёрной системы.

В задаче анализа климатической изменчивости региона наиболее показательна степень согласованности режимов озер Балхаш и Эби-Нур. Зоны питания этих водных объектов существенно различаются. Отчасти они соприкасаются только в хребте Боро-Хоро (хребет соединяющий Тянь-Шань с Джунгарским Алатау), где стоки юго-западного склона попадают в р. Или и далее в оз. Балхаш, а часть рек северо-восточного склона заканчиваются в оз. Эби-Нур. Элементы согласованности в режимах этих озёр, очевидно, должны быть вызваны, в первую очередь, региональной климатической изменчивостью.

Площадь водного зеркала является важной характеристикой резервуара. Многолетняя динамика площади зеркала озера не достаточна для количественного описания его водного баланса, но её относительные изменения хорошо диагностируют изменения погодных условий в аспекте водности территории водосбора. Для мелководных озёр площадь зеркала однозначно связана с его уровнем, запасом воды, и соответственно, с влагообеспеченностью зон формирования стока.

Целью данной работы явился спутниковый мониторинг площади зеркала оз. Эби-Нур в период с 1990 по 2017 гг. Спутниковый мониторинг по данным LANDSAT позволил восстановить динамику размера зеркала озера за последние 28 лет, что важно для диагностики климатической изменчивости региона Балхаш-Алакольской котловины и обрамляющих её горных стран.

**Спутниковые снимки.** Природоресурсная спутниковая система LANDSAT (США) функционирует с 1972 г. Сканеры, расположенные на орбитальных платформах, обеспечивают съёмку подстилающей поверхности Земли в многозональном режиме. После запуска спутника LANDSAT-5 в 1984 г. и последующих аппаратов LANDSAT-7 (1999 г.), LANDSAT-8 (2013 г.) стала доступна съёмка в каналах оптического диапазона с пространственным разрешением 30 м.

249 снимков со спутников LANDSAT-5, 7, 8 по сценовой позиции WRS-2: path/row 146/29; доступные на сайте НАСА [<http://glovis.usgs.gov>], использовались для мониторинга площади зеркала оз. Эби-Нур в период со 2 апреля 1990 г. по 9 июня 2017 г.

**Методика обработки спутниковой информации.** Спутниковая съёмка аппаратами LANDSAT проводится в многозональном режиме. Например, у LANDSAT-8 в сканере OLI присутствуют 5 каналов в оптическом диапазоне с пространственным разрешением 30 м: канал 1 –

433...453 нм; канал 2 – 450...515 нм; канал 3 – 525...600 нм; канал 4 – 630...680 нм; канал 5 – 845...885 нм [4].

В оптическом и ближнем ИК-диапазоне за счёт существенных различий в коэффициентах отражения между твердой поверхностью Земли и водным покровом, водное зеркало легко распознаётся. Для безоблачного снимка любая автоматическая классификация (supervised-unsupervised) дает хороший результат. Затруднения возникают лишь на снимках, несвободных от облачного покрова, дымок и других атмосферных помех, или в холодный период, когда снежный/ледовый покров присутствуют на сцене и маскируют границу водного зеркала. В этих случаях наиболее эффективно экспертное дешифрирование.

В данной работе дешифровка водного зеркала на спутниковых снимках LANDSAT-5, 7, 8 строилась на автоматической неконтролируемой классификации (алгоритм – ISODATA) каналов оптического диапазона, с дополнением экспертного дешифрирования в случае наличия мешающих факторов (атмосферные помехи, снежный/ледовый покров).

**Полученные результаты.** Периодичность существующей спутниковой съёмки сцены WRS-2: path/row 146/29; аппаратами LANDSAT в различные годы значительно варьировалось. Период возврата для гелиосинхронного полярно-орбитального спутника системы LANDSAT составляет 16 дней, т.е. при наличии 2-х активных спутников на орбите возможно получение снимков территории раз в 8 дней. Такой режим существует в последние 10 лет. Ранее съёмка осуществлялась не так регулярно. Для 90-х годов, обычно, доступно всего несколько снимков в год (1990 – 4 снимка; 1991 – 2 снимка; 1992 – 4 снимка; 1993 – 3 снимка и т.д.), но в любом случае, динамика площади зеркала оз. Эби-Нур может диагностироваться достаточно эффективно, рис. 2.

**Обсуждение полученных результатов.** Режим изменений площади водного зеркала оз. Эби-Нур имеет два разномасштабных компонента. Первый компонент это сезонная динамика, с весенним максимумом и осенним минимумом. В особо многоводные годы осенний минимум может не формироваться (1999, 2016 гг.). Второй компонент это многолетняя вариативность. Режим стабильности озера (1990...1999, 2008...2013 гг.), период роста зеркала (2000...2003, 2016...2017 гг.); период деградации озера (2004...2007; 2014...2015 гг.), рис. 2.

Озеро Эби-Нур находится под сильным антропогенным давлением. В бассейне активно развивается поливное земледелие. Динамика роста

посевных площадей, оцененная по спутниковым данным, представлена на рис. 3. На фоне развития транспортной инфраструктуры (х/д переход Хоргос-Цзинхе; и автотрасса Хоргос – Урумчи) в бассейне озера идёт активный процесс урбанизации территории. Всё возрастающая антропогенная нагрузка, негативно сказывается на наполненность озера. Фактор антропогенного давления на оз. Эби-Нур, по своей природе, довольно консервативен. Он имеет тенденцию к росту, но без резких сезонных вариаций, типичных для погодных условий. Поэтому, климатическая изменчивость, и как следствие, изменения в режиме наполненности озера должны проявляться в многолетней динамике размера водного зеркала.

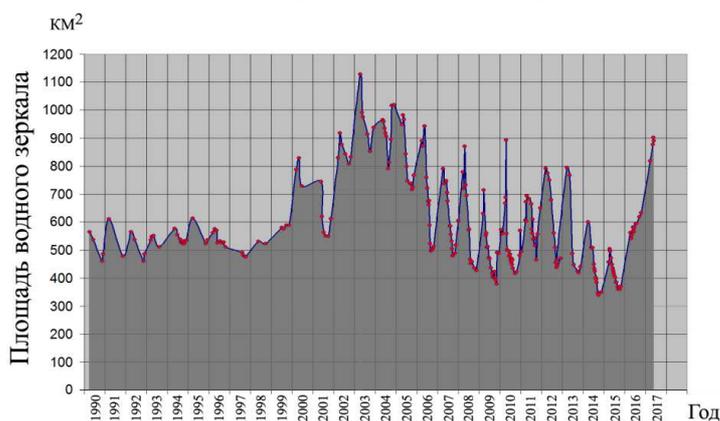


Рис. 2. Спутниковый мониторинг площади водного зеркала оз. Эби-Нур (КНР) в период 1990...2017 гг. Построено на основе данных обработки 249 снимков LANDSAT-5, 7, 8.

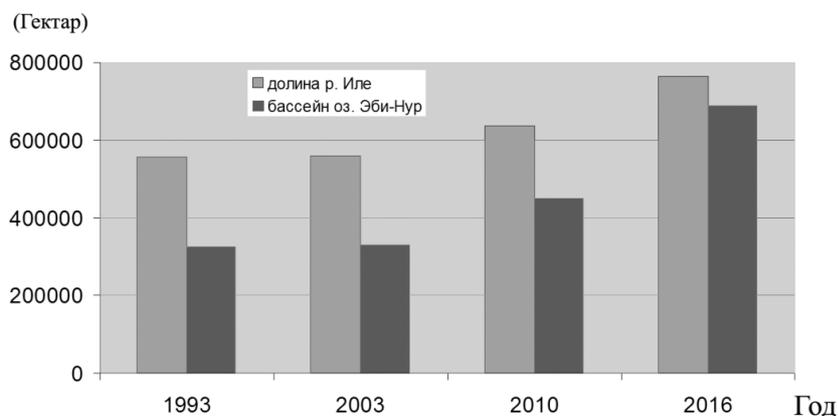


Рис. 3. Спутниковые оценки динамики роста площади поливной пашни в бассейне оз. Эби-Нур (КНР) и в китайской части долины р. Или. Построено по данным снимков LANDSAT-5, 7, 8 летних залётов в сезонах 1993, 2003, 2010 и 2016 гг.

На рис. 4 приведено сопоставление динамики уровня оз. Балхаш с размером площади водного зеркала оз. Эби-Нур. Озеро Балхаш испытывает значительно меньшее антропогенное давление, чем озеро Эби-Нур. В бассейнах рассматриваемых озёр площади водных зеркал и площади пашни оценены как: площадь зеркала оз. Балхаш составляет 18000 км<sup>2</sup>, и площадь пашни - около 18000 км<sup>2</sup>; площадь зеркала оз. Эби-Нур составляет 600 км<sup>2</sup>, а площадь пашни - 6800 км<sup>2</sup>. Таким образом, сельскохозяйственное производство (растениеводство) формирует антропогенную нагрузку на оз. Эби-Нур более чем в 10 раз выше, чем на оз. Балхаш.

Прогрессирующее (рис. 3) антропогенное давление на оз. Эби-Нур должно формировать тенденцию к его обмелению. В случае, если будут организованы системы доступа на территорию бассейна озера дополнительных водных ресурсов, например, через каналы Чёрный Иртыш – Карамай или Чёрный Иртыш – Урумчи, тогда потери воды с эвапотранспирацией с листового покрытия сельскохозяйственных культур могут быть полностью или частично компенсированы, и долгосрочные перспективы наполненности озера улучшатся.

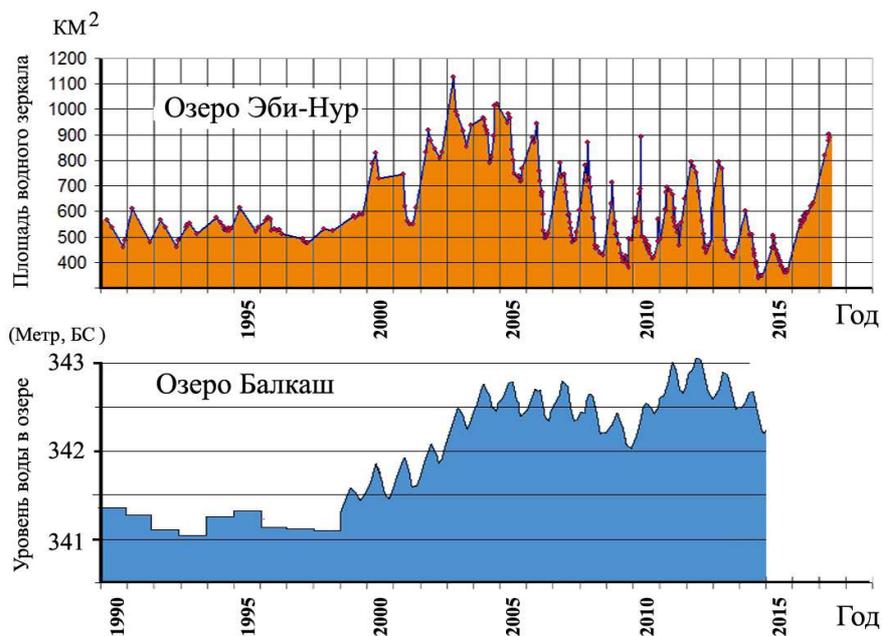


Рис. 4. Сравнение гидрологических режимов оз. Эби-Нур (спутниковые оценки площади водного зеркала за период 1990...2017 гг.) и озера Балхаш (уровень воды ГП Балхаш, среднегодовой уровень в период 1990...1998 гг.; скользящее 20-суточное среднее в период 1999...2013 гг.; 2014 – среднемесячный уровень).

**Выводы.** Проведён спутниковый мониторинг площади водного зеркала оз. Эби-Нур. 249 спутниковых снимков LANDSAT-5, 7, 8 за период 1990...2017 гг. позволили достаточно детально восстановить динамику изменений размеров озера в течение последних 28 лет. Сравнение гидродинамических режимов озёр Эби-Нур и Балхаш показало, что многолетняя вариативность их размеров, а следовательно, и условий увлажнения горных территорий, формирующих сток, у обоих озёр довольно близки. Однако многолетние тенденции периода 2001...2014 гг. разнонаправлены: у оз. Балхаш наблюдается рост, у оз. Эби-Нур – деградация. Причиной негативной тенденции в размере оз. Эби-Нур, по всей видимости, является чрезмерное и всё возрастающее антропогенное давление. Рост площадей поливной пашни в бассейне озера оценивается примерно в 5 % в год. В настоящий момент на каждый квадратный километр водной поверхности озера приходится около 11 км<sup>2</sup> посевов поливных культур. Для озера Балхаш этот показатель значительно меньше - около 1 км<sup>2</sup> посевов.

Без поддержки водных ресурсов из соседних бассейнов трансграничных рек: с северо-востока из бассейна реки Чёрный Иртыш, с юго-запада – из бассейна р. Или, оз. Эби-Нур, (уже теряющее на полив 680 тыс. га с/х культур большую часть летнего стока питающих его рек), в ближайшем будущем должно иметь устойчивую тенденцию к деградации. Стабилизацию можно ожидать на уровне площади зеркала примерно в 300 км<sup>2</sup>. При этом стоки в озеро будут формироваться, в основном, только за счёт весеннего снеготаяния и летних ливневых осадков, т.е. источников, подверженных меньшей зависимости от антропогенного давления. Причины резкого роста размера озера в 2016...2017 гг. пока остаются неясными.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Казахской ССР. Природные условия и ресурсы. – М.: 1982. – Том 1. – 156 с.
2. Крупнейшие озёра мира. [Электрон. ресурс]. – URL: <http://worldgeo.ru/lists/?id=12> (дата обращения: 08.06. 2017).
3. Ресурсы поверхностных вод СССР: Центральный и Южный Казахстан. Бассейн озера Балхаш. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – Том 13. – Вып. 2. – 644 с.
4. Landsat-8/LDCM (Landsat Data Continuity Mission). [Электрон. ресурс]. – URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/l/landsat-8-ldcm>. (дата обращения: 08.06. 2017).

Поступила 19.06.2017

Техн. ғылымд. канд. А.Г. Терехов

Геогр. ғылымд. канд. С.А. Долгих

## **1990...2017 ЖЫЛДАРЫНДАҒЫ ЕБИ-НУР (ҚХР) КӨЛІНІҢ СУ БЕТІ АЙНАСЫНЫҢ СПУТНИКАЛЫҚ МОНИТОРИНГІ**

**Түйінді сөздер:** көлдің гидрологиялық режимі, спутникалық суреттер, су айнасының ауданы, климаттық өзгермелер, көл жүйесі, көлдердің көпжылдық режимдерінің келісуі

*Балқаш-Алакөл көлдерінің жүйесіне жататын, Туран плитасының иілісінде орналасқан Ебі-Нур (ҚХР) көлінің су айнасы ауданының өзгеруінің спутникалық диагностикасы жасалған. 1990 жылдың 2 сәуірінен бастап 2017 жылдың 9 маусымына дейінгі Landsat-5, 7, 8 спутниктарымен түсірілген 249 спутникалық суреттері, 28 жылдар бойы болған өзеннің көлемінің динамикасын қалпына келтіруіне негізін салды. Ебі-Нур мен Балқаш көлдерінің көлемінің көпжылдық өзгерістерінің салыстырмасы осы көлдердің режимдары бір бірімен байланысты екенің көрсетті. Балқаш-Алакөл көлдерінің жүйесінің толуының синхрондық динамикасы Орталық Азия регионындағы климаттық өзгерістермен байланысты бастапқы фактор.*

Terekhov A.G., Dolgikh S.A.

## **THE SATELLITE MONITORING OF THE WATER MIRROR AREA OF LAKE EBI-NUR (CHINA) DURING 1990...2017 YEARS**

**Keywords:** hydrological regime of lake, satellite image, water mirror area, climate variability, lakes system, coordination of many years regimes of lakes

*The satellite diagnostics of the changes of the water mirror area of the Lake Ebi-Nur (China), which belongs to the Balkash-Alakol lake system located in the deflection of the Turan plate, has been carried out. The 249 images of Landsat-5, 7, 8 period from April 2, 1990 to June 9, 2017 served as the basis for the restoration of the 28-year's dynamics of the lakes size. The comparison of the long-term variability in the sizes of Lake Ebi-Nur and Lake Balkash showed the close relationship between their regimes. The climatic variability of the Central Asian region seems to be the main factor synchronizing the dynamics of the fullness of the Balkash-Alakol lakes system.*