

Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // *Journal of Paleolimnology*. 2001. V. 25. P. 101–110.

Jones R. T., Jordan J. T. Lake level studies // *Elias, Scott A.* (Editor in chief). *Encyclopedia of Quaternary Science*. Vol. 3. Elsevier B. V. 2007. P. 2020–2023.

Katz N. J., Katz S. V., Skobejeva E. I. *Atlas of Plant Remains in Peat*. Moscow: Nedra, 1997.

Korde N. V. *Biostratification and Typology of Russian Sapropels*. Moscow: USSR Academy of Science, 1960.

Linne von Berg K. H., Melkonian M. *Der Kosmos-Algenführer*. Kosmos, Stuttgart, 2010.

Meyers P. A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes // *Organic Geochemistry*. 2003. V. 34, N 2. P. 261–289.

Rutina L., Cerina A., Stankevica K., Klavins M. Character of paleovegetation change in lakes Pilcines, Pilveļu and Padēlis. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*, supplement 3, 2012. P. 94–107.

Stankevica K., Kalnina L., Klavins M. et al. Reconstruction of the Holocene palaeoenvironmental conditions according to the multiproxy sedimentary records from Lake Pilvelis, Latvia // *Quaternary International*. 2015. P. 1–14.

Streble H. Krauter D. *Das Leben im Wassertropfen*. 2012.

Wetzel R. G. *Limnology, Lake and river ecosystems*. Third Edition. Academic press, an imprint of Elsevier, 2001. 985 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ УРОВНЯ ВОДЫ АРАЛЬСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕАНАЛИЗА

Г. В. Айзель¹, А. С. Ижицкий²

¹ *Институт водных проблем РАН*

² *Институт океанологии им. П. П. Шириова РАН*

Исследование динамики уровня Аральского моря является актуальной научной задачей в силу необходимости понимания механизмов природных и антропогенных процессов, индуцировавших радикальное изменение его водного и солевого балансов за последние 50 лет. С конца 60-х гг. прошлого века объем моря уменьшился на 90 %, на порядок возросла соленость его воды. Исследование про-

цессов гидрологического цикла Аральского моря затруднено недоступностью данных современных измерений составляющих его водного баланса. В работе сделана попытка привлечения современных данных дистанционного зондирования (спутниковой альтиметрии DAHITI) и климатического реанализа (ERA-Interim) для оценки динамики уровня воды северной части Аральского моря.

Начиная с 60-х гг. прошлого века Аральское море претерпевает необратимые изменения своего водного и солевого режима, кардинальные изменения коснулись не только экосистемы самого моря, но и затронули весь его бассейн (рис. 1). За последние 15 лет усугубилась тенденция разделения Аральского моря на три различных бассейна: глубоководный Западный, мелководный Восточный и малый Северный. Так, Восточный бассейн Аральского моря в последние годы фактически перестал быть постоянным водоемом, став эфемерным озером, существование которого определяется величиной сезонной полноводности стока р. Амударьи. Северный бассейн Аральского моря (или Малое Аральское море) в последние годы почти потерял связь с другими бассейнами – как по естественным причинам высыхания Западного и Восточного бассейнов, так и по причине строительства дамбы, предназначенной для сведения к минимуму водообмена между котловинами [Zavialov, 2007; Izhitskiy et al., 2014].



Рис. 1. Современное состояние Аральского моря (источник: earthobservatory.nasa.gov/Features/WorldOfChange/aral_sea.php)

В данной работе мы сделали акцент на исследовании динамики уровня Малого Аральского моря (рис. 2). В последние годы, после минимизации его водообмена с другими частями моря, в нем начал устанавливаться стабильный водно-солевой режим, близкий по характеристикам к режиму Аральского моря до начала процесса разделения.

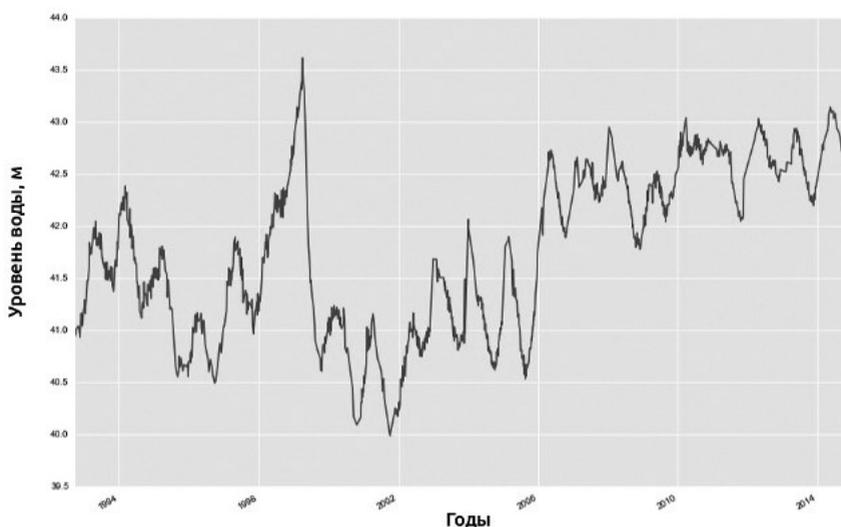


Рис. 2. Современные колебания уровня воды Малого Аральского моря

Современные натурные наблюдения на всех частях Аральского моря носят эпизодический характер, большинство режимных мониторинговых гидрометеорологических пунктов и станций прекратили свое существование в первой половине 1990-х гг., поэтому в данной работе была использована база данных не прямых наблюдений за уровнем воды, свободно распространяемая проектом DANIT (рис. 2) [Schwatke et al., 2015], а также база данных климатического реанализа ERA-Interim (рис. 3) [Dee et al., 2011].

Главной целью данной работы является исследование возможности моделирования динамики уровня водоема, расположенного в аридных условиях, с использованием только не прямых, дистанци-

онных измерений. Для анализа был выбран период с 2002 по 2014 г., все суточные (реанализ) и декадные (уровень воды) данные измерений были приведены к среднемесячным значениям.

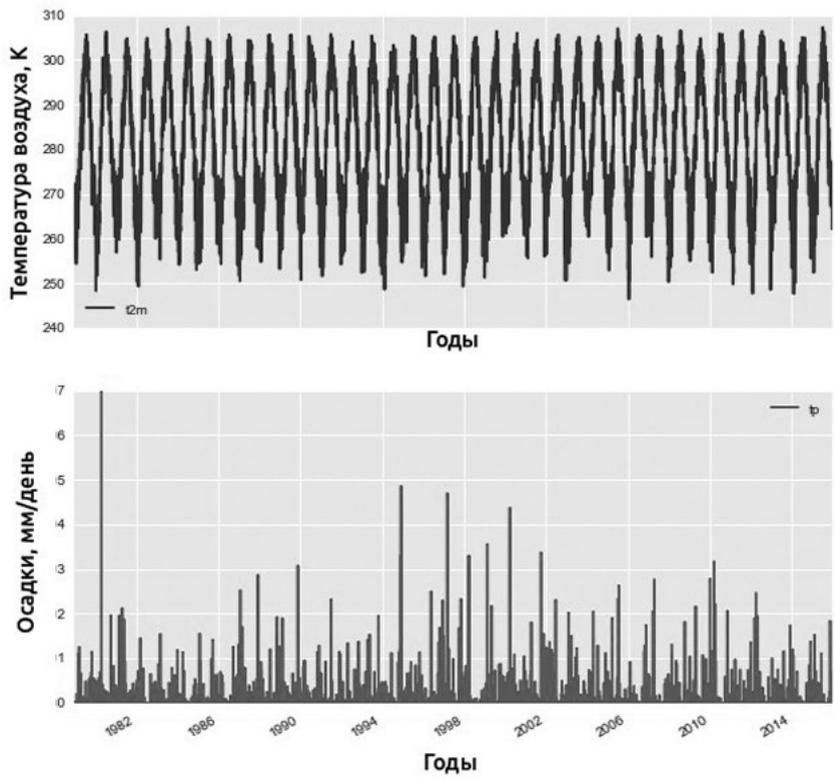


Рис. 3. Дневной ход температуры воздуха и количества осадков над акваторией Малого Аральского моря за период с 1979 по 2015 г.

В качестве модели, связывающей среднемесячные нормы колебаний климатических характеристик с динамикой уровня воды, была выбрана модель регрессии решающих деревьев, которая в общем виде представляет собой непараметрическую модель машинного обучения – простую модель «белого ящика», алгоритм принятия решений которой может быть описан набором простых булевых функций. Достоинствами модели регрессии решающих дере-

вьев являются: интерпретируемость, быстрота обучения, высокая толерантность к неполным данным. В качестве недостатков обычно выделяют: высокую способность к переобучению, неустойчивость при доминировании одного решающего класса, сложность поиска точной структуры дерева.

Анализ значимости признаков показал, что параметры средней температуры, количества осадков и величины общего испарения оказывают наибольшую значимость на результаты построения модели решающих деревьев, поэтому только они были выбраны в качестве предикторов финальной модели (рис. 4) – это позволило сделать модель менее восприимчивой к шумам (робастной), а также минимизировало риск переобучения.

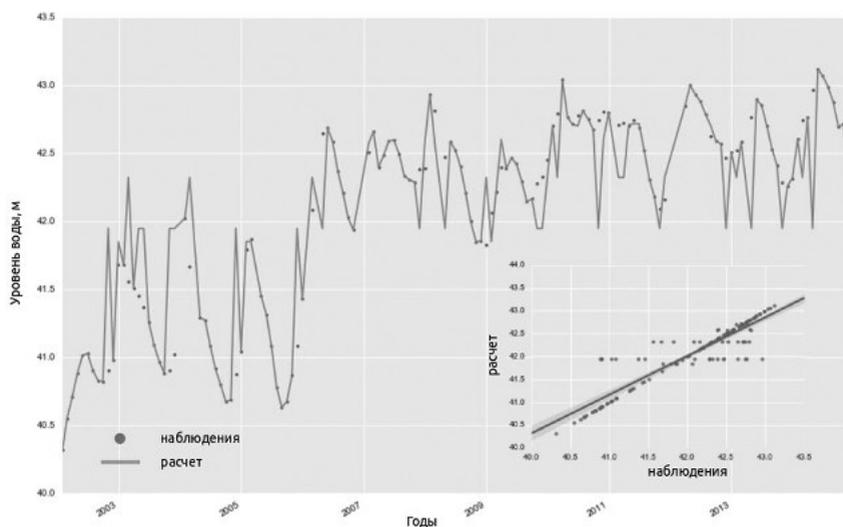


Рис. 4. Результаты моделирования среднемесячной динамики уровня Малого Аральского моря за период с 2002 по 2014 г.

Результаты показывают высокую обобщающую способность использованной модели на выбранном периоде – доля объясненной дисперсии (R^2) составляет 85 %. Выбросы модельных значений в области отрицательных аномалий в периоды спада уровня можно объяснить отсутствием учета притока воды р. Сырдарьи.

Направления дальнейших исследований динамики уровня Малого Аральского моря видятся в привлечении эпизодических данных натуральных измерений для проверки и более детальной настройки используемой модели, а также в использовании модели формирования стока р. Сырдарья для восстановления значений естественного притока воды в Малое Аральское море.

Работа выполнена при поддержке Мегагранта Минобрнауки РФ №14. В25.31.0026. Создание модели формирования речного стока р. Сырдарья на основе применения методов машинного обучения выполнено при финансовой поддержке РФФ в рамках гранта № 16-17-10039.

Литература

Dee D. P., Uppala S. M., Simmons A. J. et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2011. V. 137(656). P. 553–597.

Izhitskiy A. S., Zavialov P. O., Roget E. et al. On thermohaline structure and circulation of the Western Large Aral Sea from 2009 to 2011: Observations and modeling // Journal of Marine Systems. 2014. V. 129. P. 234–247.

Schwatke C., Dettmering D., Bosch W., Seitz F. DAHITI – an innovative approach for estimating water level time series over inland waters using multi-mission satellite altimetry // Hydrol. Earth Syst. Sci. 2015. V. 19. P. 4345–4364. doi: 10.5194/hess-19-4345-2015.

Zavialov P. O. Physical oceanography of the dying Aral Sea. Springer Science & Business Media, 2007.

THE INVESTIGATION OF THE ARAL SEA LEVEL DYNAMICS BASED ON REMOTE SENSING AND CLIMATE REANALYSIS DATA

G. V. Ayzel¹, A. S. Izhitskiy²

¹ Institute of Water Problems of RAS

² Shirshov Institute of Oceanology, RAS

The Aral Sea level dynamics research is an urgent scientific task regarding to the fact that the environmental and anthropogenic mechanisms have induced dramatical change of water and salt balances for the last 50 years. Since late 1960s the sea volume has decreased by 90 % and its salinity has increased a lot. The Aral Sea hydrological cycle processes investigation is limited by the total shrinkage of modern water balance measurements. This work presents an effort of using modern data of remote sensing measurements (satellite altimetry DAHITI) and