

МРНТИ 37.27.15

Обзорная статья

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6771-2024-148-3-111-123>

Обзор альтиметрических данных уровня моря для казахстанской части Каспийского моря

Н.Н. Жағпарова ^{1*} , Л.Б. Базарбай ² 

^{1,2}РГП "Казгидромет", Астана, Казахстан

(E-mail: ¹zhagparova_n@meteo.kz, ²bazarbay_l@meteo.kz)

Аннотация В данной исследовательской работе проанализированы данные спутниковой альтиметрии для северо-восточной и средней части Каспийского моря за период с 1993 по 2023 год. Проведена верификация данных альтиметров с данными морских гидрометеорологических постов наземных наблюдений за уровнем моря на двух пунктах: М Пешной и МГП Форт-Шевченко. Результаты показали, что альтиметрические данные имеют высокую корреляцию с наземными наблюдениями (0,89-0,94). Средняя абсолютная ошибка составляет от 17 до 23 см, значения индекса согласия превышают 0,7. Оценка применимости данных по статистическим критериям показала наличие незначительных отклонений. Альтиметрические данные наиболее точны для мониторинга уровня воды с апреля по октябрь и могут быть использованы для наблюдения за уровнем моря в открытых частях Каспийского моря.

Ключевые слова: Каспийское море, спутниковая альтиметрия, уровень воды, верификация альтиметрических данных, коэффициент корреляции.

Поступила: 21.08.2024. Одобрена: 26.09.2024. Доступна онлайн: 30.09.2024

* автор-корреспондент

Введение

Каспийское море, с площадью около 386,4 тыс. км², объемом воды 78,5 тыс. км³ и максимальной глубиной 1025 м, расположено на границе двух частей материка Евразии на 47° 07' с.ш. и 54° 03' в.д. Протяженность береговой линии составляет 5970 км. Основными орографическими единицами побережья являются: на севере – Прикаспийская низменность, на западе – горы Восточного Предкавказья и Большого Кавказа с узкой прибрежной низменностью [1].

Бассейн Каспийского моря, являющийся крупнейшим замкнутым водным объектом в мире, охватывает территории Казахстана, Туркменистана, Ирана, Азербайджана и России. Обладает значительными природными ресурсами и имеет важное экономическое и экологическое значение для прибрежных стран. На акватории Каспия ведутся работы по разведке месторождений нефти и газа, развитию морского транспорта, туризма, и других отраслей.

Колебания уровня воды в Каспийском море является важнейшим показателем состояния водоема, служащим значимым индикатором климатических изменений и антропогенного воздействия.

В рассматриваемой казахстанской части Каспийского моря наблюдения за гидрометеорологическими параметрами, в том числе за уровнем моря, проводятся на 10 морских станциях и постах, расположенных на прибрежной территории: Иголкинская банка, Жанбай, Пешной, Кулалы остров, Форт-Шевченко, Саура, Актау, Песчаный, Курык, Фетисово [2]. Так, как прибрежные наблюдения не полностью отражает уровеньный режим Каспийского моря, существует необходимость проведения наблюдений на открытой части моря, что стало возможно с развитием спутниковых изменений, в том числе альтиметрии.

В международной практике альтиметрия применяется для мониторинга как мировых океанов, так и внутренних водоемов [3, 4]. Спутниковые миссии, такие как Торех/Poseidon, Jason-1, 2, 3, и Sentinel-3, используются для получения данных о высоте морской поверхности. Эти данные играют ключевую роль в климатических исследованиях, а также в моделировании циркуляции океанов и изменениях уровня воды [5]. Например, в рамках миссии Jason-3 собранные данные об уровне моря регулярно используются для отслеживания глобальных климатических изменений, прогнозирования циклонов и изучения влияния океанических течений на климатические системы. Эти спутники обеспечивают повторяющиеся измерения на конкретных орбитах, что позволяет получать точные временные ряды данных для любой точки на поверхности океана [6].

В Казахстане данные спутников альтиметров используются для изучения уровня воды и характеристик ветровых волн в Каспийском море [4, 7, 8], а также скорости ветра над акваторией моря [8]. Так, данные скорости ветра на высоте 10 м со спутников Cryosat 2, Sentinel 3, Jason 3 имеют удовлетворительную связь с данными реанализа ERA5 [8.] для казахстанской части Каспийского моря. Данные волнений со спутника Sentinel-3 имеет достаточно высокую корреляцию с смоделированными значениями [7].

Стоит отметить, что в последние десятилетия спутниковая альтиметрия стала ключевым инструментом для мониторинга уровня моря, позволяя получать точные данные на больших территориях, включая труднодоступные районы. Цель данной работы - оценить изменения уровня Каспийского моря за период с 1993 по 2023 год на основе данных спутниковой альтиметрии и их верификация с наземными наблюдениями в северо-восточной и средней частях Каспийского моря.

Материалы и методы

В настоящее время наряду с традиционными методами наблюдения уровня моря существуют методы спутникового определения гидрометеорологических характеристик, одним из которых является спутниковая альтиметрия.

Спутниковый радиовысотомер, или альтиметр - это прибор, непрерывно регистрирующий средние высоты поверхности непосредственно под спутником, когда он пересекает поверхность Земли. Этот метод определения высоты морской поверхности основан на измерении расстояния между спутником и морской поверхностью. Измерение расстояний основано на измерении времени, необходимого для прохождения радиолокационного сигнала от спутника до водной поверхности и до водной поверхности и обратно, с рядом поправок, обусловленных распространением сигнала в атмосфере и влиянием геофизических явлений на водную поверхность по отраженному сигналу [10].

С 1973 года по настоящее время порядка 16 спутников вели измерения посредством радиолокационной альтиметрии (Таблица 1) [11].

Таблица 1. Характеристики спутниковых альтиметрических миссий

Спутник	Организация	Период наблюдений	Высота над уровнем моря, км	Повторяемость, день
SkyLab	NASA	Май 1973 – февраль 1974	435	
GEOS-3	NASA	Апрель 1975 – июль 1979	845	
SeaSat [12]	NASA	Июль – октябрь 1978	800	17
Geosat [13]	US Navy	Октябрь 1985 – январь 1990	800	17
ERS-1	ESA	Июль 1991 – март 2000	785	35
Topex/Poseidon	NASA/CNES	Сентябрь 1992 – октябрь 2005	1336	10
ERS-2	ESA	Апрель 1995 – июль 2011	785	35
GFO	US Navy/NOAA	Февраль 1998 – октябрь 2008	800	17
Jason-1	CNES/NASA	Декабрь 2001 – июнь 2013	1336	10
Envisat	ESA	Март 2002 – апрель 2012	800	35
Jason-2	CNES/NASA/Eumetsat/NOAA	Июнь 2008 – н.в.	1336	10
CryoSat-2 [14]	ESA	Апрель 2010 – н.в.	720	369
HY-2 [15]	China	Август 2011 – н.в.	971	14, 168
Saral [16]	ISRO/CNES	Февраль 2013 – н.в.	800	35
Jason-3 [17]	CNES/NASA/Eumetsat/NOAA	Январь 2016 – н.в.	1336	10
Sentinel-3A [18]	ESA	Февраль 2016 – н.в.	814	27

Примечание: составлено на основании данных [11]

Каждый спутник выводится на определенную повторяющуюся орбиту, поэтому через определенное количество дней снова пролетает над одной и той же точкой (с точностью до 1 км) на поверхности Земли. Таким образом, временные ряды изменений высоты

поверхности могут быть построены для конкретного местоположения вдоль наземной траектории спутника в течение всего срока работы спутника [19, 20].

Данные об уровне Каспийского моря, полученные посредством альтиметров представлены на различных сайтах и порталах, таких как «Система Хранения сенсорных данных» [21], «База данных гидрологических временных рядов внутренних вод» [22], Глобальный мониторинг водохранилищ и озер (G-REALM) [23], Hydroweb [24], RADS [25] и другие.

В данной работе для анализа изменения уровня Каспийского моря, в том числе для сравнения с данными мониторинга РГП «Казгидромет» [2] использованы данные альтиметров, полученные на портале «Система Хранения сенсорных данных» [21].

Портал предоставляет данные средних, максимальных и минимальных уровней на крупных водных объектах мира, в том числе для Каспийского моря в 8 пунктах на открытой акватории за период с апреля 1993 года по 2023 года [21]. Для казахстанской части Каспийского моря представлены данные спутников альтиметров для 2 пунктов, расположенных в его северо-восточной части (Рисунок 1). Для сравнения выбраны морские гидрологические посты: М Пешной и МГП Форт-Шевченко. Расстояние от станции М Пешной до Пункта №3 составляет 97 км, расстояние от станции МГП Форт-Шевченко до Пункта №7 составляет 62 км.



Рисунок 1. Расположение пунктов наблюдения за уровнем Каспийского моря

Анализ данных показал, что за период с апреля 1993 г. по сентябрь 2023 года в пункте №3, расположенном в районе морской станции Пешной, было зафиксировано 1705 измерений уровня моря, из которых 73% (1252) приходятся на теплый период года (апрель-октябрь) (Рисунок 2), когда северо-восточная часть моря полностью свободна ото льда.

В пункте №7, находящемся около Форт-Шевченко, за рассматриваемый период было проведено 1786 измерений. Из них 68 % (1216 измерений) приходятся также на апрель-октябрь.

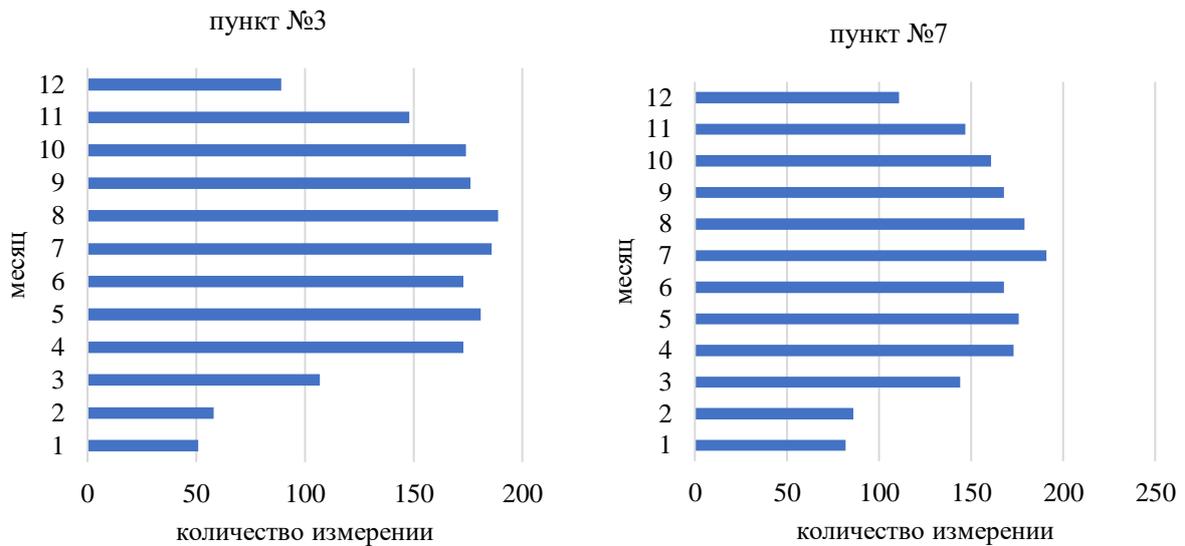


Рисунок 2. Количество измерений уровня моря альтиметрами

Верификация данных спутниковых альтиметров основана на расчётах статистических показателей эффективности, таких как:

- 1) коэффициент корреляции [26] :

$$r_{xy} = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum(x_i - \bar{x})^2)(\sum(y_i - \bar{y})^2)}} \quad (1)$$

- 2) коэффициент детерминации [27]:

$$R^2 = \frac{[\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

- 3) средняя абсолютная ошибка [28]:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum |x_i - y_i| \quad (3)$$

- 4) среднеквадратическая ошибка [28]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad (4)$$

- 5) критерий оценки эффективности Нэша-Сатклиффа [29] (Nash-Sutcliffe):

$$NSE = 1 - \frac{\sum_1^n (x_i - y_i)^2}{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

- 6) индекс согласия [30]:

$$d = 1 - \frac{\sum(x_i - y_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y}) + (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

где, x_i – значение фактической переменной, \bar{x} – среднее значение или норма фактической переменной, y_i – значение сравниваемой переменной, \bar{y} – среднее значение или норма сравниваемой переменной;

Результаты и Обсуждение

Верификация данных

В результате верификации данных альтиметров с данными наземных наблюдений, расположенных наиболее близко друг к другу, и проведенной на основе статистических критериев, установлено, что за период с 1993 по 2023 годы коэффициент детерминации составляет 0,89 для пункта №7 и 0,79 для пункта №3. Результаты верификации альтиметрических данных представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Результаты верификации данных

пункт	координаты	Ближайший пункт наблюдения	Критерии					
			r	R ²	MAE	RMSE	NSE	d
№3	52.43, 46.21	Пешной	0.89	0.79	0.23	0.30	0.76	0.69
№7	51.01, 44.66	Форт-Шевченко	0.94	0.89	0.17	0.22	0.85	0.75

Значения коэффициента корреляции, равные 0,89 для пункта №3 и 0,94 для пункта №7, свидетельствуют о значительной положительной связи между альтиметрическими данными и традиционными наблюдениями за уровнем воды.

Анализ внутригодовых корреляционных связей в пункте №3 за период с 1993 по 2023 год показал, что для всех месяцев, за исключением января, наблюдается высокая корреляция (от 0,85 для декабря до 0,96 для августа). Январь демонстрирует наименьшую корреляционную связь ($r = 0,66$) (Рисунок 3). В свою очередь, в пункте №7 внутригодовые корреляционные связи за тот же период показали, что все месяцы года имеют высокую корреляцию, варьирующуюся от 0,85 (декабрь) до 0,99 (апрель) (Рисунок 3).

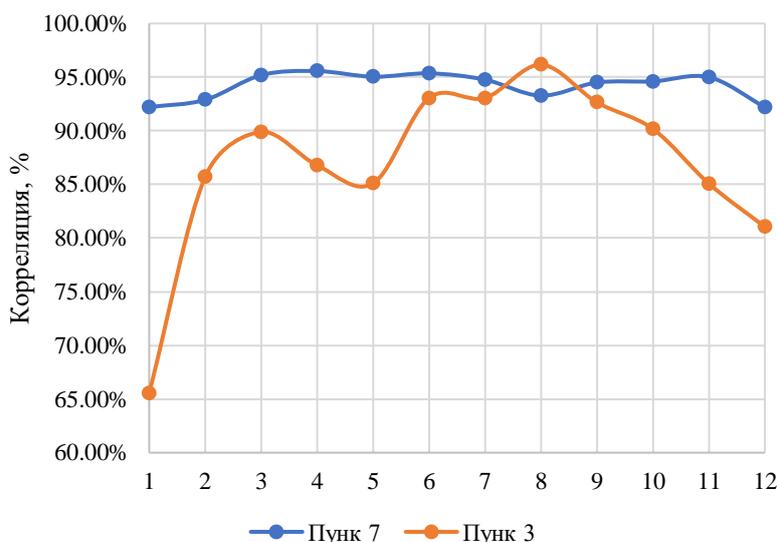


Рисунок 3. График внутригодовых корреляционных связей за 1993-2023 гг.

Анализ уровня моря по данным спутников альтиметров показал, что на пункте №3 многолетние средние месячные значения уровня моря отличались от данных наземных наблюдений на величину от 4 см до 21 см. Наименьшую корреляцию с наземными данными демонстрируют максимальные и минимальные значения уровня моря: коэффициент корреляции для максимальных значений составляет 0,68, а для минимальных — 0,71. Разница между значениями уровня моря, полученными по спутниковым и наземным данным, варьировалась от 4 см до 30 см для максимальных значений и от 3 см до 42 см для минимальных.

На пункте №7 разница между многолетними средними месячными значениями уровня моря составила от 4 см до 15 см, а коэффициент корреляции был равен 0,95. Многолетние максимальные месячные значения для пункта №7 имеют высокую корреляцию с фактическими данными (0,95), в то время как минимальные значения демонстрируют низкую корреляцию (0,34). Это может быть связано с разницей уровней, которая варьировалась от 5 до 23 см для максимальных значений и от 3 до 54 см для минимальных значений.

Значения средней абсолютной ошибки (MAE), равные 0,23 для пункта №3 и 0,17 для пункта №7, показывают, что в среднем данные альтиметров отклоняются от наблюдаемых значений на 0,23 см и 0,17 см соответственно. Это свидетельствует о высокой точности данных и незначительных отклонениях. RMSE, равная 0,30 (для №3) и 0,22 (для №7), указывает на наличие отдельных выбросов или ошибок. Однако эти ошибки не оказывают существенного влияния на общую точность данных.

Индекс Нэша-Сатклиффа (NSE) составляет 0,76 для пункта №3 и 0,85 для пункта №7, что указывает на то, что данные альтиметров очень хорошо воспроизводят значения уровня воды.

Индекс согласия, равный 0,69 для пункта №3 и 0,75 для пункта №7, отражает хорошую степень соответствия между альтиметрическими данными и наблюдаемыми значениями.

Верификация показала, что уровни моря по данным альтиметров находятся в допустимых пределах погрешности и могут быть использованы в исследованиях открытой акваторий моря, включая анализ динамики изменения уровня моря, прогнозирование и другие работы, проводимые на Каспийском море.

Анализ данных

За период с 1993 по 2023 год уровень Каспийского моря в северо-восточной части демонстрирует устойчивую тенденцию к понижению начиная с 2005 года (Рисунок 4). Максимум уровня моря был зафиксирован в 1995 году (в пункте №3 - 26,55 м БС, в пункте №7 - 26,62 м БС), а минимум - в 2023 году (в пункте №3 - 28,72 м БС, в пункте №7 - 28,71 м БС).

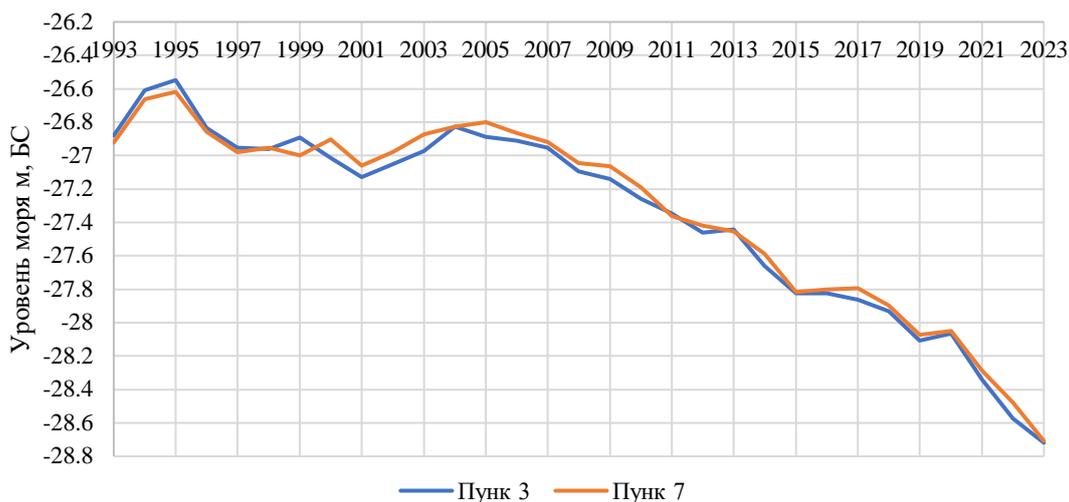


Рисунок 4. Динамика уровня моря по данным альтиметров за 1993-2023 гг.

На пункте №3 средние месячные значения уровня моря колебались от -26,97 м БС (январь) до -27,47 м БС (ноябрь). На пункте №7 средние месячные значения уровня моря были около отметки - 27,40 м БС с колебаниями от -27,25м БС (июнь) до -27,52 м БС (ноябрь) (Рисунок 5).

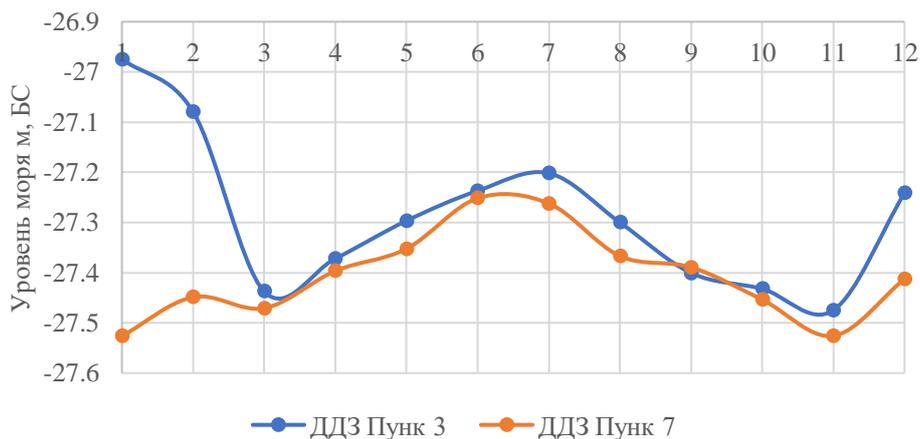


Рисунок 5. График хода среднемесячного уровня моря за 1993-2023 гг.

Альтиметрические данные наиболее точны для мониторинга уровня воды в теплый период года (апрель-октябрь), когда на северо-востоке моря отсутствует лед. В зимний период в северных частях Каспийского моря формируется ледяной покров, что затрудняет точность альтиметрических измерений [31].

Заклучение

В данном исследовании обработаны данные уровня воды по данным спутников альтиметров за период с 1993 по 2023 год, опубликованные на портале «Система хранения сенсорных данных». В качестве объекта исследования выбрана северо-восточная часть Каспийского моря.

Результаты исследования подтвердили высокую корреляцию данных спутниково альтиметров с данными наземных гидрометеорологических постов. Коэффициент

корреляции для рассматриваемых пунктов №3 и №7 составил 0,89 и 0,94 соответственно, что свидетельствует о значительной положительной связи между данными. Средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратическая ошибка (RMSE) также подтвердили высокую точность данных. Также, эти показатели указывают на незначительные отклонения данных альтиметрии от наземных наблюдений, что позволяет использовать их для мониторинга уровня моря в Каспийском море.

Альтиметрические данные наиболее точны для мониторинга уровня воды в теплый период года (апрель-октябрь), когда северо-восток моря свободен от льда.

Уровень моря в северо-восточной части Каспийского моря снижался с 2005 года. Среднемесячные значения уровня моря в этой части колеблются от -26,97 м БС до -27,47 м БС.

Эти выводы показывают, что альтиметрические данные являются ценным инструментом для мониторинга уровня воды в Каспийском море, особенно в тех областях, где отсутствуют наземные наблюдения. Они могут использоваться для дополнения существующих данных, что улучшит понимание динамики уровня моря в регионе и позволит более эффективно прогнозировать изменения, связанные с климатическими и антропогенными факторами.

Финансирование: отсутствует.

Конфликт интересов: отсутствует.

Вклад авторов: Сбор, анализ и интерпретация результатов работы: Н.Н. Жағпарова, Л.Б. Базарбай. Написание текста и/или критический пересмотр содержания: Н.Н. Жағпарова. Утверждение окончательного варианта статьи для публикации: Н.Н. Жағпарова, Л.Б. Базарбай.

Список литературы

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том 6. Каспийское море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. - Гидрометеиздат, Санкт-Петербург, 1990 г. - 359 с.
2. Ежегодные данные о режиме Каспийского моря, Казахстанское побережье. Республиканское государственное предприятие "Казгидромет". - Астана, 2023. - 59 с.
3. Лебедев С.А., Костяной А.Г., Лаврова О.Ю., Динамика Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. - 2015. - Т.12. - № 4. - С. 72-85
4. Chen J., Cazenave A., Wang S.-Y., Li J. Caspian Sea Level Change Observed by Satellite Altimetry // Remote Sensing. - 2023. - Vol. 15, № 3. - P. 703. <https://doi.org/10.3390/rs15030703>
5. Андреев А.Г. Изменения температуры, уровня моря и геострофических течений в северо-западной части Тихого океана и юго-западной части Берингова моря под воздействием нодального прилива // Исследования Земли из космоса. - 2021. - Vol. 2021, № 1. - P. 3-11. <https://doi.org/10.31857/S0205961421010024>
6. Миссия по альтиметрии Jason-3 URL: <https://www.eoportal.org/satellite-missions/jason-3#mission-status>
7. Yeltay A. Verification of the results of the swan model for the water area near port Aktau // International Journal of GEOMATE. - 2023. - Vol. 25, № 109. <https://doi.org/10.21660/2023.109.m2305>
8. Rakisheva Z., Kudryavtseva N., Kussembayeva K., Sakhayeva A. Studying the change of average waves of the Caspian Sea using the altimetry data // Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science. - 2019. - Vol. 101, № 1. - P. 59-75. <https://doi.org/10.26577/JMMCS-2019-1-618>
9. Елтай А.Ф., Нарбаева К.Т. Анализ гидрометеорологических характеристик в районе порта Актау // Материалы международной конференции студентов и молодых ученых «Фараби әлемі». - Алматы, 2022. - 99 с.

10. Grgić M., Bašić T. Radar Satellite Altimetry in Geodesy - Theory, Applications and Recent Developments // Geodetic Sciences - Theory, Applications and Recent Developments / ed. Erol B., Erol S. IntechOpen, - 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97349>
11. Kouraev A.V., Crétaux J.-F., Lebedev S.A., Kostianoy A.G., Ginzburg A.I., Sheremet N.A., Mamedov R., Zakharova E.A., Roblou L., Lyard F., Calmant S., Bergé-Nguyen M. Satellite Altimetry Applications in the Caspian Sea // Coastal Altimetry / ed. Vignudelli S., Kostianoy A.G., Cipollini P., Benveniste J. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, - 2011. - P. 331–366. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12796-0_13
12. GEOS-3. URL: <https://podaac.jpl.nasa.gov/GEOS-3> (дата обращения: 01.09.2023).
13. CoastWatch. URL: <https://coastwatch.noaa.gov/cwn/index.html> (дата обращения: 01.09.2023).
14. Данные CryoSat - Планета Земля онлайн (esa.int). URL: <https://esa.int> (дата обращения: 01.09.2023).
15. National Satellite Ocean Application Service (NSOAS). URL: <http://www.nsoas.org.cn/> (дата обращения: 01.09.2023).
16. Indian Space Research Organisation (ISRO). URL: <https://www.isro.gov.in/> (дата обращения: 01.09.2023).
17. Лебедев С.А., Костяной А.Г., Лаврова О.Ю. Динамика Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т.12. - № 4. - С. 72-85
18. Открытый центр доступа (copernicus.eu). URL: <https://copernicus.eu> (дата обращения: 01.09.2023).
19. BlueIce - NASA. URL: <https://blueice.gsfc.nasa.gov/gwm/lake/Index> (дата обращения: 01.09.2023).
20. Bašić T. Introductory Chapter: Satellite Altimetry – Overview // Satellite Altimetry - Theory, Applications and Recent Advances / ed. Bašić T. IntechOpen, - 2023. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112394>
21. Zech C., Schöne T., Illigner J., Stolarczuk N., Queißer T., Köppl M., et al. Hydrometeorological Data from a Remotely Operated Multi-Parameter Station Network in Central Asia // Earth System Science Data. - 2021. - Vol. 13, № 3. - P. 1289–1306. <https://doi.org/10.5194/essd-13-1289-2021>
22. DAHITI Water-Level Altimetry. URL: <https://dahiti.dgfi.tum.de/en/39/water-level-altimetry/>).
23. Global Reservoir - USDA. URL: https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/global_reservoir/).
24. Hydroweb - CNES. URL: <https://hydroweb.next.theia-land.fr/>
25. Radar Altimeter Database System (RADs) - TU Delft. URL: <http://rads.tudelft.nl/rads/data/submitradsrequest.cgi> (дата обращения: 01.09.2023).
26. Попов Е. Г. Гидрологические прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 40 с.
27. Legates D.R., McCabe G.J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” Measures in hydrologic and hydroclimatic model validation // Water Resources Research. - 1999. - Vol. 35, № 1. - P. 233–241. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>
28. Kabela E.D., Carbone G.J. NARCCAP Model Skill and Bias for the Southeast United States // American Journal of Climate Change. - 2015. - Vol. 04, № 01. - P. 94–114. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2015.41009>
29. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles // Journal of Hydrology. - 1970. - Vol. 10, № 3. - P. 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)
30. Willmott C.J., Ackleson S.G., Davis R.E., Feddema J.J., Klink K.M., Legates D.R., O'Donnell J., Rowe C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models // Journal of Geophysical Research: Oceans. - 1985. - Vol. 90, № C5. - P. 8995–9005. <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>
31. Shu S., Liu H., Beck R.A., Frappart F., Korhonen J., Xu M., Yang B., Hinkel K.M., Huang Y., Yu B. Analysis of Sentinel-3 SAR altimetry waveform retracking algorithms for deriving temporally consistent water levels over ice-covered lakes // Remote Sensing of Environment. - 2020. - Vol. 239. - P. 111643. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111643>

Н.Н. Жағпарова¹, Л.Б. Базарбай²
^{1,2}РМК "Казгидромет", Астана, Қазақстан,

Каспий теңізінің қазақстандық бөлігі үшін теңіз деңгейінің альтиметриялық деректеріне шолу

Аңдатпа. Бұл зерттеу жұмысында 1993-2023 жылдар аралығындағы Каспий теңізінің солтүстік-шығыс және орта бөліктері үшін спутниктік альтиметрия деректері талданды. Ол үшін екі пунктте: Пешней және Форт-Шевченко теңіз гидрометеорологиялық бекеттерінің деректерімен осы альтиметрлік спутник мәліметерімен салыстыра отырып, тексеру жүргізілді. Нәтижелер көрсеткендей, альтиметриялық деректер жергілікті бақылау деректерімен жоғары корреляцияға ие (0,89-0,94), орташа абсолютті қате 17 см-ден 23 см-ге дейін, ал келісім индексі 0,7-ден жоғары. Статистикалық критерийлер бойынша деректерді қолдану бағасы аздаған ауытқулар бар екенін көрсетті. Альтиметриялық деректер су деңгейін сәуірден қазанға дейінгі аралықта бақылау үшін ең дәл және оларды Каспий теңізінің ашық бөліктерінде су деңгейін бақылау үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: Каспий теңізі, спутниктік альтиметрия, су деңгейі, альтиметриялық деректерді тексеру, корреляция коэффициенті

N.N. Zhagparova¹, L.B. Bazarbay²
^{1,2}RSE "Kazhydromet", Astana, Kazakhstan

Overview of altimetric sea level data for the Kazakh part of the Caspian Sea

Abstract. This research paper analyzes satellite altimetry data for the northeastern and middle parts of the Caspian Sea for the period from 1993 to 2023. The verification of altimeter data from the data of marine hydrometeorological stations of nasal observations of the permanent sea at two points was carried out: M Peshnoy and MHP Fort Shevchenko. The results showed that the altimetric data have a high correlation with ground observations (0.89-0.94), with a mean absolute error ranging from 17 cm to 23 cm, and a consistency index above 0.7. The assessment of data applicability according to statistical criteria showed that there are minor deviations. Altimetric data are most accurate for monitoring water levels from April to October and can be used for monitoring sea levels in the open parts of the Caspian Sea.

Keywords: Caspian Sea, satellite altimetry, water level, verification of altimetric data, correlation coefficient.

References

1. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morey.* [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas] Tom 6. Kaspiyskoye more. Vypusk 1. *Gidrometeorologicheskoye usloviya.* (Gidrometeoizdat, Sankt-Peterburg, 1990, 359 p.) [in Russian]
2. *Ezhegodnyye dannyye o rezhime Kaspiyskogo morya, Kazakhstan'skoye poberezh'ye.* [Annual data on the regime of the Caspian Sea, Kazakhstan coast.] Respublikanskoye gosudarstvennoye predpriyatiye "Kazgidromet". (Astana, 2023, 59 p.) [in Russian]
3. Lebedev S.A., Kostyanov A.G., Lavrova O.Yu. *Dinamika Kaspiyskogo morya po dannym spustnikovoy altimetriy* [Dynamics of the Caspian Sea according to satellite altimetry data] // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. (2015, Vol. 12, № 4. p. 72-85) [in Russian]
4. Chen J., Cazenave A., Wang S.-Y., Li J. *Caspian Sea Level Change Observed by Satellite Altimetry* // *Remote Sensing.* - 2023. - Vol. 15, № 3. - P. 703. <https://doi.org/10.3390/rs15030703>
5. Andreev A.G. *Izmeneniya temperatury, urovnya morya i geostroficheskikh techeniy v severo-zapadnoy chasti Tikhogo okeana i yugo-zapadnoy chasti Beringova morya pod vozdeystviyem*

nodal'nogo priliva [Changes in temperature, sea level and geostrophic currents in the northwestern Pacific Ocean and southwestern Bering Sea under the influence of nodal tide] [Exploring the Earth from Space]. 2021. Т. 15, № 3. P. 45-60. [in Russian]

6. Jason-3 Mission URL: <https://www.eoportal.org/satellite-missions/jason-3#mission-status>

7. Yeltay A. Verification of the results of the swan model for the water area near port Aktau // International Journal of GEOMATE. - 2023. - Vol. 25, № 109. <https://doi.org/10.21660/2023.109.m2305>

8. Rakisheva Z., Kudryavtseva N., Kussembayeva K., Sakhayeva A. Studying the change of average waves of the Caspian Sea using the altimetry data // Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science. - 2019. - Vol. 101, № 1. - P. 59–75. <https://doi.org/10.26577/JMMCS-2019-1-618>

9. Eltay A.G., Narbayeva K.T. Analiz gidrometeorologicheskikh kharakteristik v raione porta Aktau [Analysis of hydrometeorological characteristics in the Aktau port area] // Materialy mezhdunarodnoy konferentsii studentov i molodykh uchenykh «Farabi alemi», Almaty, 6-8 aprelya 2022 g. 99 p.

10. Grgić M., Bašić T. Radar Satellite Altimetry in Geodesy - Theory, Applications and Recent Developments // Geodetic Sciences - Theory, Applications and Recent Developments / ed. Erol B., Erol S. IntechOpen, - 2021. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97349>

11. Kouraev A.V., Crétaux J.-F., Lebedev S.A., Kostianoy A.G., Ginzburg A.I., Sheremet N.A., Mamedov R., Zakharova E.A., Roblou L., Lyard F., Calmant S., Bergé-Nguyen M. Satellite Altimetry Applications in the Caspian Sea // Coastal Altimetry / ed. Vignudelli S., Kostianoy A.G., Cipollini P., Benveniste J. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, - 2011. - P. 331–366. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12796-0_13

12. GEOS-3. URL: <https://podaac.jpl.nasa.gov/GEOS-3> (accessed: 01.09.2023).

13. CoastWatch. URL: <https://coastwatch.noaa.gov/cwn/index.html> (accessed: 01.09.2023).

14. CryoSat data - Planet Earth online (esa.int). URL: <https://esa.int> (accessed: 01.09.2023).

15. National Satellite Ocean Application Service (NSOAS). URL: <http://www.nsoas.org.cn/> (accessed: 01.09.2023).

16. Indian Space Research Organisation (ISRO). URL: <https://www.isro.gov.in/> (accessed: 01.09.2023).

17. Lebedev S.A., Kostyanoy A.G., Lavrova O.Yu. Dinamika Kaspiyskogo morya po dannym spustnikovoy altimetriy [Dynamics of the Caspian Sea according to satellite altimetry data] Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2015. - V. 12. - № 4. - P. 72-85. [in Russian]

18. Otkrytyy tsentr dostupa (copernicus.eu). URL: <https://copernicus.eu> (accessed: 01.09.2023).

19. BlueIce - NASA. URL: <https://blueice.gsfc.nasa.gov/gwm/lake/Index> (accessed: 01.09.2023).

20. Bašić T. Introductory Chapter: Satellite Altimetry – Overview // Satellite Altimetry - Theory, Applications and Recent Advances / ed. Bašić T. IntechOpen, - 2023. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112394>

21. Zech C., Schöne T., Illigner J., Stolarczuk N., Queißer T., Köppl M., et al. Hydrometeorological Data from a Remotely Operated Multi-Parameter Station Network in Central Asia // Earth System Science Data. - 2021. - Vol. 13, № 3. - P. 1289–1306. <https://doi.org/10.5194/essd-13-1289-2021>

22. DAHITI Water-Level Altimetry. URL: <https://dahiti.dgfi.tum.de/en/39/water-level-altimetry/>

23. Global Reservoir - USDA. URL: https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/global_reservoir/

24. Hydroweb - CNES. URL: <https://hydroweb.next.theia-land.fr/>

25. Radar Altimeter Database System (RADs) - TU Delft. URL: <http://rads.tudelft.nl/rads/data/submitradsrequest.cgi> (accessed: 01.09.2023).

26. Popov E.G. Gidrologicheskie prognozy [Hydrological forecasts] (L.: Gidrometeoizdat, 1979, 40 p.) [in Russian]

27. Legates D.R., McCabe G.J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” Measures in hydrologic and hydroclimatic model validation // Water Resources Research. - 1999. - Vol. 35, № 1. - P. 233–241. <https://doi.org/10.1029/1998WR900018>

28. Kabela E.D., Carbone G.J. NARCCAP Model Skill and Bias for the Southeast United States // American Journal of Climate Change. - 2015. - Vol. 04, № 01. - P. 94–114. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2015.41009>

29. Nash J.E., Sutcliffe J.V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles // Journal of Hydrology. - 1970. - Vol. 10, № 3. - P. 282–290. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(70\)90255-6](https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6)

30. Willmott C.J., Ackleson S.G., Davis R.E., Feddema J.J., Klink K.M., Legates D.R., O'Donnell J., Rowe C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models // Journal of Geophysical Research: Oceans. - 1985. - Vol. 90, № C5. - P. 8995–9005. <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>.

31. Shu S., Liu H., Beck R.A., Frappart F., Korhonen J., Xu M., Yang B., Hinkel K.M., Huang Y., Yu B. Analysis of Sentinel-3 SAR altimetry waveform retracking algorithms for deriving temporally consistent water levels over ice-covered lakes // Remote Sensing of Environment. - 2020. - Vol. 239. - P. 111643. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111643>

Сведения об авторах:

Жағпарова Н.Н. – магистр естественных наук, ведущий инженер управления гидрометеорологических исследований Каспийского моря Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», пр. Мәңгілік ел 11/1, 010000, Астана, Казахстан

Базарбай Л.Б. – магистр естественных наук, ведущий научный сотрудник управления гидрометеорологических исследований Каспийского моря Научно-исследовательского центра РГП «Казгидромет», пр. Мәңгілік ел 11/1, 010000, Астана, Казахстан

Zhagparova N.N. – master of natural sciences, leading engineer of the Caspian sea hydrometeorological research department of the Scientific-research center RSE “Kazhydromet”, Mangilik Ave. 11/1, 010000, Astana, Kazakhstan

Bazarbay L.B. – master of natural sciences, leading researcher of the Caspian Sea hydrometeorological research department of the Scientific-research center RSE “Kazhydromet”, Mangilik Ave. 11/1, 010000, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)