

О ледовом режиме Малого Аральского моря в современный период по спутниковым данным, полученным в 2008–2017 гг.

Т. Ф. Кузьмичёва

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия
E-mail: yanart01.81@yandex.ru*

В настоящей работе анализируются снимки северной части бывшего Аральского моря (Северный Арал), полученные в 2008–2017 гг. со спутников AQUA/TERRA сканером MODIS. Для анализа выбран район Северного Арала, в котором солёность после строительства Кок-Аральской плотины через пролив Берга стала быстро уменьшаться. Промежуток времени (2008–2017) выбран таким образом, чтобы солёность Северного Арала приблизительно совпадала с солёностью этих вод в условно-естественный период (1940–1960 гг., 50 лет назад). Отслеживается момент первого появления льда и момент, когда лёд полностью растаял, для каждого из этих лет. Строятся таблицы, которые сравниваются с таблицами, полученными в условно-естественный период.

Делаются следующие выводы: 1) ранняя, средняя и поздняя даты первого появления льда в заливе Сары-Чеганак (Северный Арал) в условно-естественный период хорошо совпадают с ранней, средней и поздней датами первого появления льда в современный период; 2) ранняя, средняя и поздняя даты полного освобождения ото льда в условно-естественный период хорошо совпадают с ранней, средней и поздней датами полного освобождения ото льда в современный период. Таким образом, анализ снимков, полученных со спутников AQUA/TERRA сканером MODIS в 2008–2017 гг., не указывает на изменение климата в районе Северного Арала ни в сторону потепления, ни в сторону похолодания.

Выводится формула для определения солёности в отдалённых районах моря по температуре замерзания, измеряемой со спутников, и таблице зависимости температуры замерзания от солёности. Показано, что точность, с которой мы определяем солёность, будет равняться 1 ‰ в том случае, когда точность измерения температуры со спутника будет равняться 0,05 °С (при существующей ныне точности в 0,6–1 °С).

Ключевые слова: Северный Арал, солёность, лёд, климат, спутники AQUA/TERRA, сканер MODIS

Одобрена к печати: 17.05.2018
DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-148-156

Введение

Аральское море расположено между 43 и 47° с. ш., на самой южной границе территории северного полушария, покрываемой снегом и льдами. Вследствие такого крайнего расположения данные о ледовой изменчивости в этом море могут служить ранним индикатором крупномасштабной изменчивости климата в средних широтах, его потепления или похолодания.

Цель данной работы — проанализировать снимки, полученные в 2008–2017 гг. со спутников AQUA, TERRA сканирующим радиометром MODIS (снимки расположены на сайте <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?subset=CentralAsia1.2009084&altdates>); определить дату первого появления льда для каждого года; дату, когда лёд полностью растаял и сравнить с аналогичными данными для условно-естественного периода (Бортник, Чистяева, 1990), который закончился приблизительно 50 лет назад. Сравнительный анализ этих данных может служить свидетельством изменчивости климата в этом районе.

Спутники AQUA и TERRA пролетают над акваторией Аральского моря каждый день: TERRA — около 12:00, AQUA — около 16:00 по московскому времени. Снимки со спутника TERRA принимаются в комбинации цветовых полос true, 7-2-1, 3-6-7 с разрешением 2 км, 1 км, 500 м и 250 м; снимки со спутника AQUA принимаются в комбинации цветовых полос true и 7-2-1 с тем же разрешением. Анализовались, как правило, снимки в комбинации

цветовых полос 7-2-1 и true с разрешением 250 м, т.е. в день — не менее четырёх снимков. За промежуток времени с сентября по май 2008–2017 гг. проанализировано более 10 000 снимков.

Выбор района исследований

Условно-естественным называется период до 1960 г. (Бортник, Чистяева, 1990), когда баланс воды в Аральском море был приблизительно нулевым, т.е. испарялось воды с поверхности Аральского моря приблизительно столько же, сколько поступало со стоками рек Амударья и Сырдарья, дождями и подземными источниками.

Начиная с 60-х гг. прошлого столетия в силу различных причин испаряться воды с поверхности Аральского моря стало намного больше, чем поступать со стоками рек Амударья и Сырдарья, дождями и подземными источниками. То есть баланс воды в Аральском море стал отрицательным. Это привело в конечном итоге к разделению Аральского моря на несколько водоёмов и осолонению его вод (*табл. 1*, см. с. 150). В отдельные водоёмы выделились: северная часть Аральского моря (Северный, или Малый, Арал), залив Тше-Бас, восточная и западная части южного Арала (Западный Арал и Восточный Арал, соединённые на севере проливом Узун) (*рис. 1*). В центре между ними находится водоём, который время от времени заполняется водой за счёт сброса вод из Северного Арала через створ в Кок-Аральской плотине, построенной через пролив Берга. Так как этот водоём и по своему положению, и по солёности, и по количеству воды в нём занимает место, промежуточное между водоёмами, перечисленными выше, то, казалось бы, правильным называть его Промежуточным.

Температура замерзания воды в водоёме, как хорошо известно (Гусев, 1983), зависит от солёности его вод. Значения солёности для различных частей Аральского моря приведены в *табл. 1*. Значения солёности для Западного Арала и Восточного Арала взяты из работ (Завьялов и др., 2012; Izhitskiy et al., 2016). Значения солёности для Северного Арала и залива Тше-Бас взяты из статей (Аладин, 2012; Плотников, 2016; Izhitskiy et al., 2016).

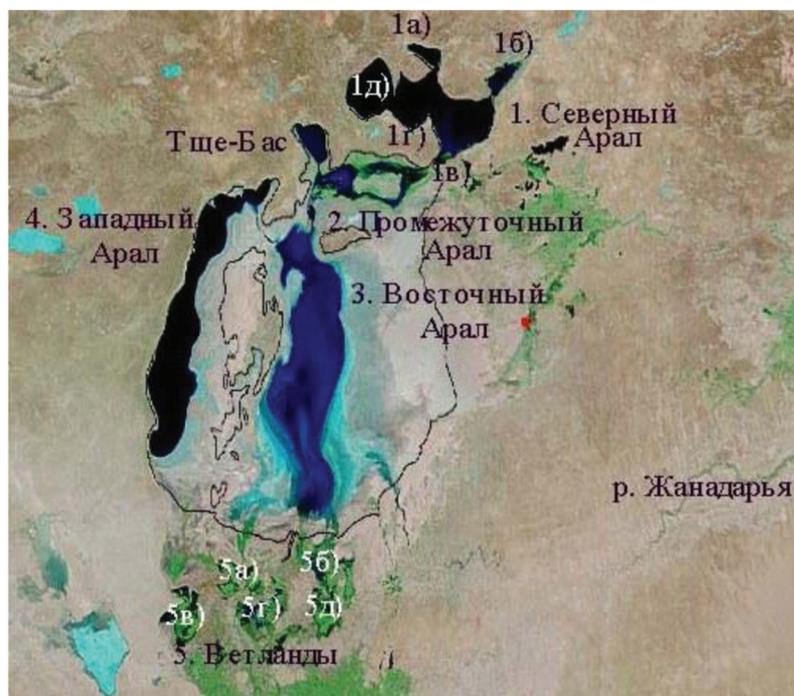


Рис. 1. Снимок района Приаралья, полученный 09.10.2010 со спутника TERRA. 1а) — залив Бутакова; 1б) — залив Сары-Чеганак; 1в) — пролив Берга; 1г) — залив Нессельроде; 1д) — залив Шевченко. Цифрой 5 с литерой обозначены ветланды: 5а) — Муйнак-Рыбачье; 5б) — Джилтыр-Бас-2; 5в) — Судочье; 5г) — Междуречье; 5д) — Джилтыр-Бас

Таблица 1. Значения солёности для различных частей Аральского моря

Год	Солёность, г/кг			
	Западный бассейн	Восточный бассейн	Залив Тше-Бас	Северный бассейн
1960	10 (Завьялов и др., 2012)	10 (Завьялов и др., 2012)	—	10 (Завьялов и др., 2012)
1970	12 (Завьялов и др., 2012)	12 (Завьялов и др., 2012)	—	—
1980	17 (Завьялов и др., 2012)	17 (Завьялов и др., 2012)	—	—
1989	30 (Плотников, 2016)	30 (Плотников, 2016)	—	30 (Плотников, 2016)
1990	32 (Завьялов и др., 2012)	32 (Завьялов и др., 2012)	—	—
1992	35 (Завьялов и др., 2012)	35 (Завьялов и др., 2012)	—	—
1995	42 (Завьялов и др., 2012)	42 (Завьялов и др., 2012)	—	—
1996	44 (Завьялов и др., 2012)	44 (Завьялов и др., 2012)	—	—
1997	51 (Завьялов и др., 2012)	52 (Завьялов и др., 2012)	—	—
1998	54 (Завьялов и др., 2012)	58 (Завьялов и др., 2012)	—	—
1999	56 (Завьялов и др., 2012)	Нет данных	—	—
2000	63 (Завьялов и др., 2012)	То же	—	—
2001	68 (Завьялов и др., 2012)	112 (Завьялов и др., 2012)	—	—
2002	82 (Завьялов и др., 2012)	160 (Завьялов и др., 2012)	—	—
2003	86 (Завьялов и др., 2012)	—	—	—
2004	92 (Завьялов и др., 2012)	—	—	—
2005	98 (Завьялов и др., 2012)	130 (Завьялов и др., 2012)	—	20 (Миклин, Аладин, 2008)
2006	101 (Завьялов и др., 2012)	Нет данных	—	—
2007	104 (Завьялов и др., 2012)	120–160 (Аладин, Плотников, 2008)	90 (Аладин, Плотников, 2008)	11–14 (Аладин, Плотников, 2008)
2008	104 (Завьялов и др., 2012)	211 (Завьялов и др., 2012)	—	10 (Миклин, Аладин, 2008)
2009	114 (Завьялов и др., 2012)	Нет данных	85 (Плотников, 2016)	10 (Плотников, 2016)
2010	117 (Завьялов и др., 2012)	20 (Миклин, Аладин, 2011)	—	—
2011	—	—	—	9–11 (Плотников, 2016)
2012	—	—	—	—
2013	—	—	84 (Плотников, 2016)	8–10 (Плотников, 2016)
октябрь 2014	115,4 (Izhitskiy et al., 2016)	—	91,9 (Izhitskiy et al., 2016)	11,1 (Izhitskiy et al., 2016)

Из табл. 1 видно, что в октябре 2014 г. солёность в районе Северного Арала, несмотря на продолжающееся распреснение, была на 1,1 % больше, чем в 2013 г. Можно было бы объяснить это следующим образом. Во-первых, в 2014 г. воды в реках Амударья и Сырдарья было так мало, что восточная часть бывшего Аральского моря (Восточный Арал) высохла полностью. В этом смысле 2014 г. из периода 2008–2017 гг. был самым «сухим». Во-вторых, солёность в 2005–2013 гг. определялась группой Н. В. Аладина (Аладин, 2012; Плотников, 2016) в заливе Сары-Чеганак (самая северо-восточная часть Северного Арала), а солёность

в 2014 г. — группой П. О. Завьялова (Izhitskiy et al., 2016) на юго-западе залива Шевченко (самая западная часть Северного Арала), т. е. в противоположной части Северного Арала. При этом неизвестно, как в этот промежуток времени солёность в районе Северного Арала распределялась во времени и в пространстве. В-третьих, способы определения солёности обеими группами не были согласованы между собой.

В *табл. 1* отсутствуют значения солёности для района Северного Арала для 2010 г. В связи с этим хотелось бы обратить внимание на *рис. 2*, на котором приведены спутниковые снимки Аральского моря за 2009, 2010 и 2011 гг. в последний день при ясной погоде перед началом замерзания. На рисунке видно, что самым полноводным Аральское море было в 2010 г. В Северном Арале воды было так много, что она, переливаясь через створ в Кок-Аральской плотине, заполнила весь Промежуточный Арал и дошла до северной части Восточного Арала. Как известно, наполняется Северный Арал пресными водами реки Сырдарья. Поэтому солёность в Северном Арале в 2010 г. была приблизительно такой же, как в 2009 и 2011 гг., т. е. равнялась 10 ‰.

Таким образом, средняя солёность в Северном Арале в 2008–2014 гг. была приблизительно такой же (≈ 10 ‰), как в условно-естественный период до 1960 г. (Бортник, Чистяева, 1990). К сожалению, значений солёности в Северном Арале для 2015–2017 гг. не найдено, и неизвестно, установился ли к этому времени процесс распреснения. Однако из *табл. 2*, взятой из монографии (Гусев, 1983), видно, что если солёность уменьшится или увеличится на 5 ‰ (т. е. будет равняться приблизительно 5–15 ‰), то температура замерзания, соответственно, уменьшится или увеличится на 0,2–0,3 °С, т. е. не будет превышать ошибку измерения температуры со спутника, равную 0,6–1 °С. Из всего вышесказанного следует, что для анализа можно выбрать северную часть бывшего Аральского моря — Северный Арал.

Таблица 2. Зависимость температуры наибольшей плотности и замерзания от солёности

	Солёность S , ‰									
	0	5	10	15	20	24,695	25	30	35	40
Температура наибольшей плотности θ , град	3,98	-2,9	-1,9	-0,8	-0,3	-1,332	-1,4	-2,5	-3,5	-4,5
Температура замерзания τ , град	0	-0,3	-0,5	-0,8	-1,1	-1,332	-1,35	-1,6	-1,9	-2,2

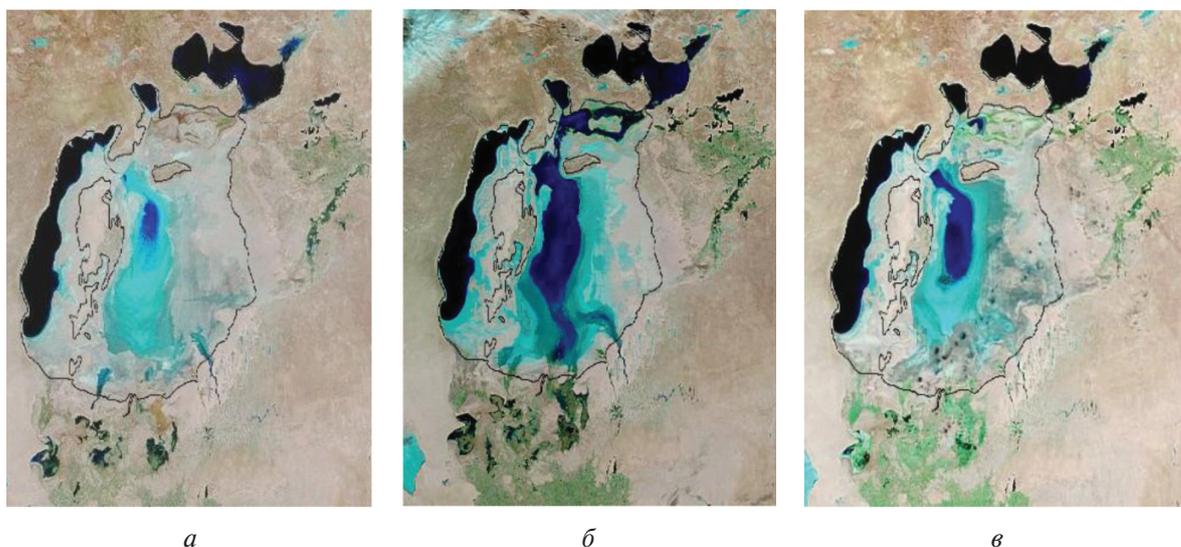


Рис. 2. Снимки Аральского моря, выполненные со спутника TERRA в следующие моменты времени: а — 18.11.2009, TERRA. 721.1km; б — 30.11.2010, TERRA. 721.1km; в — 16.10.2011, TERRA. 721.1km

Определение солёности по температуре замерзания, измеряемой со спутников

В табл. 2 заложена принципиальная возможность определения солёности по температуре замерзания, измеряемой со спутников. Необходимым условием для решения такой задачи является появление первого льда и определение температуры поверхности моря в районе этого льда.

Пусть $\tau_{\text{изм}}$ — значение температуры, измеренной каким-либо способом (можно со спутника) в районе появившегося льда, лежащее между значениями температуры, расположенными в соседних узлах таблицы τ_N и τ_{N+1} . Нам необходимо определить значение солёности S_x , соответствующее этой температуре, лежащее между значениями $S(\tau_N) = S_N$ и $S(\tau_{N+1}) = S_{N+1}$. Будем решать задачу методом кусочно-линейной аппроксимации функции по значениям этой функции, заданным табличным способом. Суть этого метода заключается в предположении, что функцию, описывающую зависимость солёности от температуры замерзания, на каждом отрезке $[N; N + 1]$ можно аппроксимировать отрезком прямой, соединяющей точки $S(\tau_N) = S_N$ и $S(\tau_{N+1}) = S_{N+1}$. Тогда, применяя правило пропорций, получим следующее соотношение:

$$\frac{\tau_{\text{изм}} - \tau_N}{\tau_{N+1} - \tau_N} = \frac{S_x - S_N}{S_{N+1} - S_N}. \tag{1}$$

Решая уравнение (1) относительно S_x , получим следующее:

$$S_x = S_N + \frac{(S_{N+1} - S_N)(\tau_{\text{изм}} - \tau_N)}{\tau_{N+1} - \tau_N}. \tag{2}$$

Проверить его можно следующим образом. Предположим, что $\tau_{\text{изм}} = \tau_N$. Тогда из формулы (2) видно, что $S_x = S_N$. Если предположить, что $\tau_{\text{изм}} = \tau_{N+1}$, тогда из соотношения (2) получаем, что $S_x = S_{N+1}$.

Обозначим через $\Delta\tau$ ошибку, с которой реальная температура $\tau_{\text{реальн}}$ измеряется со спутника. Тогда если спутник показывает значение $\tau_{\text{изм}}$, то реальная температура будет лежать в промежутке $\tau_{\text{реальн}} \in [\tau_{\text{изм}} - \Delta\tau; \tau_{\text{изм}} + \Delta\tau]$. Соответственно, определяемая солёность $S_{\text{опр}}$ будет лежать в промежутке $S_{\text{опр}} \in [S_x - \Delta S; S_x + \Delta S]$, где ΔS — ошибка определения солёности. Делая выкладки, аналогичные описанным выше, получаем, что в линейном приближении ошибки в определении температуры и солёности связаны следующими формулами:

$$\Delta S = \Delta\tau \frac{S_x}{\tau_{\text{изм}}}, \tag{3}$$

$$\Delta\tau = \Delta S \frac{\tau_{\text{изм}}}{S_x}. \tag{4}$$

Из соотношения (3) видно, что ошибка, с которой определяется солёность, прямо пропорциональна ошибке определения температуры со спутника. Предположим, например, что $S_x = S_N = 10 \text{ ‰}$, $\tau_{\text{изм}} = \tau_N = -0,5 \text{ °C}$ (см. табл. 2), $\Delta\tau = 0,6 \text{ °C}$. Тогда $\Delta S = 12 \text{ ‰}$. Если $S_x = S_N = 40 \text{ ‰}$, $\tau_{\text{изм}} = \tau_N = -2,2 \text{ °C}$ (см. табл. 2), $\Delta\tau = 0,6 \text{ °C}$, тогда $\Delta S = 10,9 \text{ ‰}$. Для того чтобы точность, с которой мы определяем солёность, равнялась 1 ‰, необходимо, чтобы точность измерения температуры со спутника была 0,05 °C (см. формулу (4)) при существующей в настоящее время точности 0,6–1 °C.

Анализ спутниковых снимков

Далее, анализируя снимки, полученные со спутников AQUA, TERRA сканирующим радиометром MODIS в комбинации полос 7-2-1 и true, мы будем определять дату появления первого льда в Северном Арале и дату, когда лёд полностью растаял для 2008–2017 гг. Сравним

эти значения со значениями, приведёнными в монографии (Бортник, Чистяева, 1990) для условно-естественного периода, выясним, какие изменения произошли в этом районе с климатом за последние 50 лет. Результаты будем заносить в таблицу формирования льда для Северного Арала. Так как на спутниковых снимках очень трудно отличить начальные стадии формирования льда от взвеси, поднявшейся вверх в результате перемешивания, то будем рассматривать те снимки, на которых лёд приобрёл отчётливые формы. Для каждого года появление первого устойчивого льда и очищение ото льда происходит по одному и тому же сценарию. Для примера приведём зиму 2011/2012 гг., когда было обнаружено самое раннее появление первого льда (09.11.2011). Все остальные снимки можно найти на сайте, указанном выше.

На *рис. 3а* приведён первый снимок при ясной погоде, на котором лёд приобрёл отчётливые формы. Видно, что бухта Сары-Чеганак полностью покрыта льдом. Такие снимки характерны для всех лет с 2008 по 2017, за исключением зимы 2009/2010 гг., когда в бухте Сары-Чеганак появились лишь отдельные плавающие льдины. На *рис. 3б* приведён один из последних снимков при ясной погоде перед тем, когда лёд полностью растаял. И наконец, на *рис. 3в* приведён первый снимок при ясной погоде, когда льда уже нет.

Данные для 2008–2017 гг. сводим воедино в *табл. 4* (см. с. 154). Таблицу 3 (см. с. 154) берём из монографии (Бортник, Чистяева, 1990) (данные об устойчивом ледообразовании взяты из табл. 6.5, по очищению моря ото льда — из табл. 6.12 монографии (Бортник, Чистяева, 1990)).

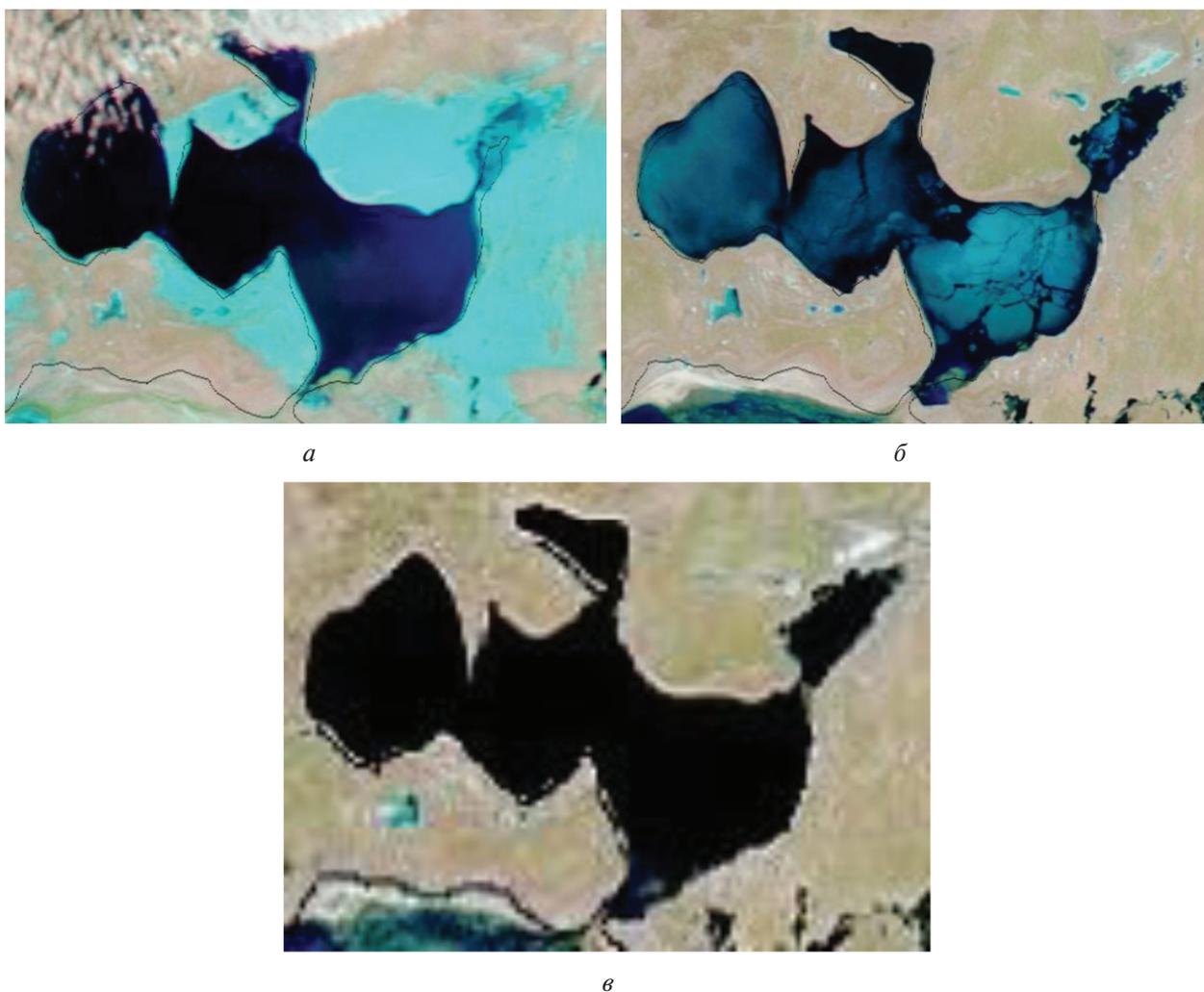


Рис. 3. Снимки Аральского моря, выполненные со спутников AQUA, TERRA в следующие моменты времени: *а* — 09.11.2011, AQUA. 721.250m; *б* — 13.04.2012, TERRA. 721.250m; *в* — 18.04.2012, TERRA. 721.250m

Таблица 3. Характеристики ледового режима в осенне-весенний период в условно-естественный период; станция Аральское море, залив Сары-Чеганак (Бортник, Чистяева, 1990)

Период осреднения	Характерная дата	Устойчивое ледообразование	Очищение ото льда
1940–1960	Ранняя	9 XI	10 IV
	Средняя	24 XI	17 IV
	Поздняя	13 XII	23 IV

Таблица 4. Характеристики ледового режима в осенне-весенний период в Северном (Малом) Арале, залив Сары-Чеганак, в 2008–2017 гг.; данные получены со спутников AQUA, TERRA сканирующим радиометром MODIS (в скобках указано, сколько дней назад был сделан предыдущий снимок, когда лёд или его отсутствие можно было рассмотреть)

Период, гг.	Первое появление льда	Лёд полностью растаял
2008–2009	4–5 декабря (1)	14 апреля (8)
2009–2010	11 ноября (2)	22 апреля (4)
2010–2011	3 декабря (3)	25 апреля (1)
2011–2012	9 ноября (2)	18 апреля (1)
2012–2013	11 декабря (1)	10 апреля (3)
2013–2014	13 декабря (7)	16 апреля (1)
2014–2015	19 ноября (6)	24 апреля (4)
2015–2016	18 декабря (6)	22 марта (4)
2016–2017	17 ноября (4)	18 апреля (1)

Раннюю, среднюю и позднюю даты появления первого льда в заливе Сары-Чеганак (Северный Арал), наблюдаемые со спутников AQUA, TERRA (см. табл. 4), мы сравнивали с ранней, средней и поздней датами появления льда на станции Аральское море (залив Сары-Чеганак), приведёнными в колонке «устойчивое ледообразование» табл. 6.5 монографии (Бортник, Чистяева, 1990) (см. табл. 3). Из сравнения этих таблиц видно, что самое раннее появление устойчивого льда в условно-естественный период произошло 9 ноября, в современный период — тоже 9 ноября (зима 2011/2012 гг.). Самое позднее появление устойчивого льда в условно-естественный период произошло 13 декабря, в современный период — 16 декабря зимой 2013/2014 гг. и 18 декабря зимой 2015/2016 гг. То есть ранняя, средняя и поздняя даты появления устойчивого льда довольно хорошо совпадают.

Самое раннее очищение ото льда в условно-естественный период в среднем произошло 10 апреля, в современный период — 10 апреля в 2013 г. и 22 марта в 2016 г. Самое позднее очищение ото льда в условно-естественный период в среднем произошло 23 апреля, в современный период — 25 апреля (2010/2011 гг.). Таким образом, ранняя, средняя и поздняя даты очищения ото льда также неплохо совпадают.

Выводы

Методом кусочно-линейной интерполяции выводится формула для определения солёности в отдалённых районах моря по температуре замерзания, измеряемой со спутников, и таблице зависимости температуры замерзания от солёности. Показано, что точность, с которой мы определяем солёность, будет равняться 1 ‰ в том случае, когда точность измерения температуры со спутника будет принимать значение 0,05 °С (при существующей ныне точности в 0,6–1 °С).

Ранняя, средняя и поздняя даты первого появления льда в заливе Сары-Чеганак (Северный Арал) в условно-естественный период (1940–1960 гг., 50 лет назад) хорошо совпадает с ранней, средней и поздней датами первого появления льда в современный период (2008–2017).

Ранняя, средняя и поздняя даты полного освобождения ото льда в условно-естественный период хорошо совпадает с ранней, средней и поздней датами полного освобождения ото льда в современный период.

Аномальной является зима 2015/2016 гг., когда первый устойчивый лёд появился на пять дней позже, а растаял на 18 дней раньше, чем в среднем в самую тёплую зиму условно-естественного периода.

Таким образом, анализ снимков, полученных со спутников AQUA/TERRA сканером MODIS в 2008–2017 гг., не указывает на изменение климата в районе северной части бывшего Аральского моря (Северного Арала) ни в сторону потепления, ни в сторону похолодания. В работе (Миклин и др., 2016) также не говорится о потеплении в районе Аральского моря в современный период, но отмечается, что осенние заморозки стали появляться раньше, а весенние — позже. В настоящей работе ранние осенние и поздние весенние заморозки не отслеживались, так как они держались не более суток.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0827-2014-0011 «Исследования закономерностей изменений состояния морской среды на основе оперативных наблюдений и данных системы диагноза, прогноза и реанализа состояния морских акваторий».

Литература

1. Аладин Н. В. Плотина жизни, или плотина длиною в жизнь // Астраханский вестн. экологического образования. 2012. № 3. С. 206–216.
2. Аладин Н. В., Плотников И. С. Современная фауна остаточных водоёмов, образовавшихся на месте бывшего Аральского моря // Труды Зоол. ин-та РАН. 2008. Т. 312. № 1/2. С. 145–154.
3. Бортник В. Н., Чистяева С. П. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 7. Аральское море. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 196 с.
4. Гусев А. М. Основы океанологии. М.: Изд-во Московского ун-та, 1983. 248 с.
5. Завьялов П. О., Арашкевич Е. Г., Бастида И., Гинзбург А. И., Дикарёв С. Н., Житина Л. С., Ижицкий А. С., Ишниязов Д. П., Костяной А. Г., Кравцова В. И., Кудышкин Т. В., Курбаниязов А. К., Ни А. А., Никишина А. Б., Петров М. А., Сажин А. Ф., Сапожников Ф. В., Соловьёв Д. М., Хан В. М., Шеремет Н. А. Большое Аральское море в начале XXI века. М.: Наука, 2012. 232 с.
6. Миклин Ф., Аладин Н. В. Восстановление Аральского моря // В мире науки. 2008. № 7.
7. Миклин Ф., Аладин Н. В. Отчёт об экспедиции на северную часть Аральского моря (29 августа – 16 сентября 2011 г.). Кызылорда, 2011. 21 с.
8. Миклин Ф., Аладин Н. В., Плотников И. С., Ермаханов З. К. Возможное будущее остаточных водоёмов Аральского моря и их фауны // Труды Зоол. ин-та РАН. 2016. Т. 320. № 2. С. 221–244.
9. Плотников И. С. Многолетние изменения фауны свободноживущих водных беспозвоночных Аральского моря. СПб.: Зоол. ин-т. РАН, 2016. 168 с.
10. Izhitskiy A. S., Zavalov P. O., Sapozhnikov P. V., Kirillin G. B., Grossart H. P., Kalinina O. Y., Zalota A. K., Goncharenko I. V., Kurbaniyazov A. K. Present state of the Aral Sea: diverging physical and biological characteristics of the residual basins // Scientific Reports. 2016. No. 6. 23906. DOI: 10.1038/srep23906.

On ice conditions of the Small Aral Sea in the modern period according to 2008–2017 satellite data

T. F. Kuzmichyova

*Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia
E-mail: yanart01.81@yandex.ru*

In the present work, the images of the northern part of the former Aral Sea (the Northern Aral Sea) received in 2008–2017 from the AQUA/TERRA satellites by the MODIS scanner are analyzed. For the analysis the region of the Northern Aral Sea is chosen in which salinity began to decrease quickly after

construction of the Kok-Aral dam through the Berga Strait. The period (2008–2017) is chosen so that the salinity of the Northern Aral Sea approximately coincides with salinity of these waters during the pre-desiccation period (1940–1960, 50 years ago). For each of these years, the moment of formation of the first ice and the moment when ice has completely thawed are identified. The corresponding tables are compiled and compared with tables of the pre-desiccation period.

The following conclusions are drawn: 1) early, average and late dates of formation of the first ice in the Gulf Sary-Cheganak (the Northern Aral Sea) during the pre-desiccation period well coincide with early, average and late dates of formation of the first ice during the modern period (2008–2017); 2) early, average and late dates when ice has completely thawed during the pre-desiccation period well coincide with early, average and late dates when ice has completely thawed during the modern period (2008–2017). Thus, the analysis of the AQUA/TERRA MODIS images of 2008–2017 indicates no climate change near the Northern Aral Sea, neither towards warming nor cold snap.

The formula for the determination of salinity in remote areas of the sea is obtained based on the freezing temperature derived from satellite data and the table of freezing temperature dependence on salinity. It is shown that the accuracy of salinity definition equals 1 ‰ when the accuracy of satellite temperature measurement equals 0.05 °C (with the current accuracy of 0.6–1 °C).

Keywords: Northern Aral Sea, salinity, ice, climate, AQUA/TERRA satellites, MODIS

Accepted: 17.05.2018

DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-3-148-156

References

1. Aladin N. V., Plotina zhizni, ili plotina dlinoyu v zhizn' (Life dam, or life long dam), *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2012, No. 3, pp. 206–216.
2. Aladin N. V., Plotnikov I. S., Sovremennaya fauna ostatochnykh vodoemov, obrazovavshikhnya na meste byvshego Aral'skogo morya (Modern fauna of the residual reservoirs formed on the place of the former Aral Sea), *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN*, 2008, Vol. 312, No. 1/2, pp. 145–154.
3. Bortnik V. N., Chistyayeva S. P., *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei SSSR* (Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR), Vol. 7, Aral'skoe more, Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990, 196 p.
4. Gusev A. M., *Osnovy okeanologii* (Fundamentals of oceanology), Moscow: Izd. Moskovskogo universiteta, 1983, 248 p.
5. Zav'yalov P. O., Arashkevich E. G., Bastida I., Ginzburg A. I., Dikarev S. N., Zhitina L. S., Izhitskii A. S., Ishniyazov D. P., Kostyanoi A. G., Kravtsova V. I., Kudyshkin T. V., Kurbaniyazov A. K., Ni A. A., Nikishina A. B., Petrov M. A., Sazhin A. F., Sapozhnikov F. V., Solov'ev D. M., Khan V. M., Sheremet N. A., *Bol'shoe Aral'skoe more v nachale XXI veka* (The big Aral Sea at the beginning of the 21st century), Moscow: Nauka, 2012, 232 p.
6. Miklin F., Aladin N. V., Vosstanovlenie Aral'skogo morya (Restoration of the Aral Sea), *V mire nauki*, 2008, No. 7.
7. Miklin F., Aladin N. V., *Otchet ob ekspeditsii na severnyuyu chast' Aral'skogo morya (29 avgusta – 16 sentyabrya 2011 g.)* (The report on an expedition on a northern part of the Aral Sea (August 29 – September 16, 2011)), Kyzylorda, 2011, 21 p.
8. Miklin F., Aladdin N. V., Plotnikov I. S., Ermakhanov Z. K., Vozmozhnoe budushchee ostatochnykh vodoyomov Aral'skogo morya i ikh fauny, *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN*, 2016, Vol. 320, No. 2, pp. 221–244.
9. Plotnikov I. S., *Mnogoletnie izmeneniya fauny svobodnozhivushchikh vodnykh bespozvonochnykh Aral'skogo morya* (Long-term changes of fauna of free living water invertebrates of the Aral Sea), Saint Petersburg: Zool. in-t. RAN, 2016, 168 p.
10. Izhitskiy A. S., Zavialov P. O., Sapozhnikov P. V., Kirillin G. B., Grossart H. P., Kalinina O. Y., Zalota A. K., Goncharenko I. V., Kurbaniyazov A. K., Present state of the Aral Sea: diverging physical and biological characteristics of the residual basins. *Sci. Rep.*, 2016, No. 6, 23906, DOI: 10.1038/srep23906.