

Об особенностях восточной части бывшего Аральского моря на современном этапе на основе анализа спутниковых снимков Aqua/Terra (2000–2020), Landsat-8 и Sentinel-2

Т. Ф. Кузьмичёва

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия
E-mail: TFK12.93@yandex.ru*

В настоящей работе представлены результаты анализа снимков, полученных со спутников Aqua/Terra (2000–2020), Landsat-8 (2013–2020) и Sentinel-2 (2017–2020). Анализ снимков Aqua/Terra (2000–2020) показал, что в 2010, 2012, 2015 и 2017 гг. на юге Восточного Арала появлялся поток воды, который заполнял собою Восточный Арал. Скорости движения передней границы этого потока в разные годы и в разные сезоны одного и того же года отличались друг от друга. В среднем они менялись от 88 до 550 м/ч. Площадь зеркала водоёма, образованного потоком, варьировалась от 1761 км² (2012) до 5673 км² (2010). В 2015 г. она была такой же, как в 2008 г., и составляла примерно 3140 км². Для детального изучения данного явления были проанализированы снимки, полученные со спутников Landsat-8 и Sentinel-2. Анализ этих снимков показал, что заполнение водой Восточного Арала с юга (появление потока, его развитие и затухание) хорошо согласуется с различными фазами полноводности р. Амударьи. Другими словами, этот поток появлялся за счёт сброса вод Амударьи. В 2012, 2015 и 2017 гг. возникновение потока, его развитие и затухание происходило по одному и тому же сценарию. Анализ снимков, полученных со спутников Landsat-8 и Sentinel-2, показал также, что на юге Восточного Арала появилось постоянное русло небольшой речки, текущей с юга на север вдоль меридиана 59,65° в. д. Начало ей дают два слившиеся в один ручейка, истоки которых на снимке не видны, но находятся они недалеко от северной границы бывшего залива Джилтыр-Бас-2. Длина речки от слияния двух ручейков до берега моря составляет около 13,5 км. При впадении в Восточный Арал речка образует разветвлённую дельту. Из этого ручейка натекает небольшое озеро площадью примерно 120 км². Координаты его центра тяжести приблизительно 44,16° с. ш., 59,7° в. д. Впервые озеро образовалось 07.07.2002 и просуществовало чуть более трёх недель — до конца июля 2002 г. В таблице, приведённой в статье, зафиксированы все случаи его появления с 2000 по 2020 г. Поток воды, описанный выше, появлялся в районе этого озера.

Ключевые слова: Аральское море, юг Восточного Арала, заполнение водой с юга, спутники Aqua/Terra, Landsat-8, Sentinel-2

Одобрена к печати: 17.08.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-202-212

Введение

Во времена СССР Аральское море было одним из наиболее изученных. Регулярно выполнялись научные рейсы исследовательских судов, велись непрерывные гидрометеорологические измерения на прибрежных и островных метеостанциях, проводилась авиаразведка ледового режима. К сожалению, в начале 1990-х гг. деятельность по исследованию Аральского моря была почти полностью свёрнута в связи с известными политическими и экономическими реалиями тех лет. В целом объём данных о текущем состоянии Аральского моря в 1990-е гг. сократился почти так же катастрофически, как и само море.

По мнению П. О. Завьялова (Завьялов и др., 2012), полный период высыхания Аральского моря (1960-е – 2011 гг.) можно разделить на три периода. Первый, включающий около трёх десятилетий (1960-е – поздние 1980-е гг.), может быть назван «ранним периодом высыхания». Он характеризуется постепенным, относительно слабым и однородным накоплением довольно линейных изменений физических свойств воды со временем.

В начале 1990-х гг. произошёл быстрый переход к качественно новому второму этапу высыхания. Продолжающиеся обмеление и осолонение моря пересекли некоторую критическую

Долгое время считалось, что после строительства дамбы, отгородившей воды Сырдарьи от восточной части бывшего Аральского моря, Восточный Арал начнёт быстро высыхать. Ведь южная граница восточной части ушла на несколько десятков километров к северу, а дно там настолько пологое, что воды Амударьи, оставшиеся после бесхозяйственного забора вод на нужды государств, лежащих в бассейне этой реки, не смогут добираться до Аральского моря — они будут высыхать по дороге.

Однако анализ снимков, полученных со спутников Aqua/Terra сканирующим радиометром MODIS в 2008–2020 гг., показал, что на юге Восточного Арала в результате высыхания образовался полуостров, который оказывается как бы продолжением ветланда Джилтыр-Бас-2 (см. *рис. 1*) и клином вдаётся в воды Восточного Арала. У основания этого клина, в точке с координатами центра тяжести приблизительно $44,16^\circ$ с. ш., $59,7^\circ$ в. д., время от времени появляется водоём (озеро), который впервые был замечен автором на снимке за 22.09.2009 (Кузьмичёва, 2013). В 2010, 2012, 2015 и 2017 гг. питающей это озеро воды было столько, что ею был заполнен с юга весь Восточный Арал — приблизительно с $44,1$ до $45,63^\circ$ с. ш.

2012 г.

В качестве иллюстрации рассмотрим 2012 г. Этот год интересен тем, что, во-первых, Аральское море хорошо просматривалось со спутника в течение всех месяцев. Во-вторых, озеро на юге появлялось три раза: весной, летом и осенью. И в-третьих, восточная часть моря (Восточный Арал) заполнялась водой только с юга (не было притока воды с севера).

На *рис. 2* приведены снимки, демонстрирующие момент появления озера на юге Восточного Арала в апреле 2012 г. На *рис. 2а* за 10.04.2012 видно, что на юге образовался выступ, который оказывается как бы продолжением ветланда Джилтыр-Бас и клином вдаётся в воды Восточного Арала. У основания этого клина 13.04.2012 появилось небольшое озеро, которое просуществовало до 29.04.2012 (см. *рис. 2б*), а затем исчезло (см. снимок на *рис. 2в* за 20.05.2012). Экспликация подрисуночной подписи расшифровывается следующим образом: первая группа, состоящая из 6 цифр, разделённых точками, — это число, месяц и год получения спутникового снимка. Следующая группа (terra/aqua) — название спутника; 721 — комбинация цветовых полос, в которых выполнен снимок (может быть так же 367, true, NDVI); и наконец, последняя группа — это разрешение, с которым выполнен снимок.

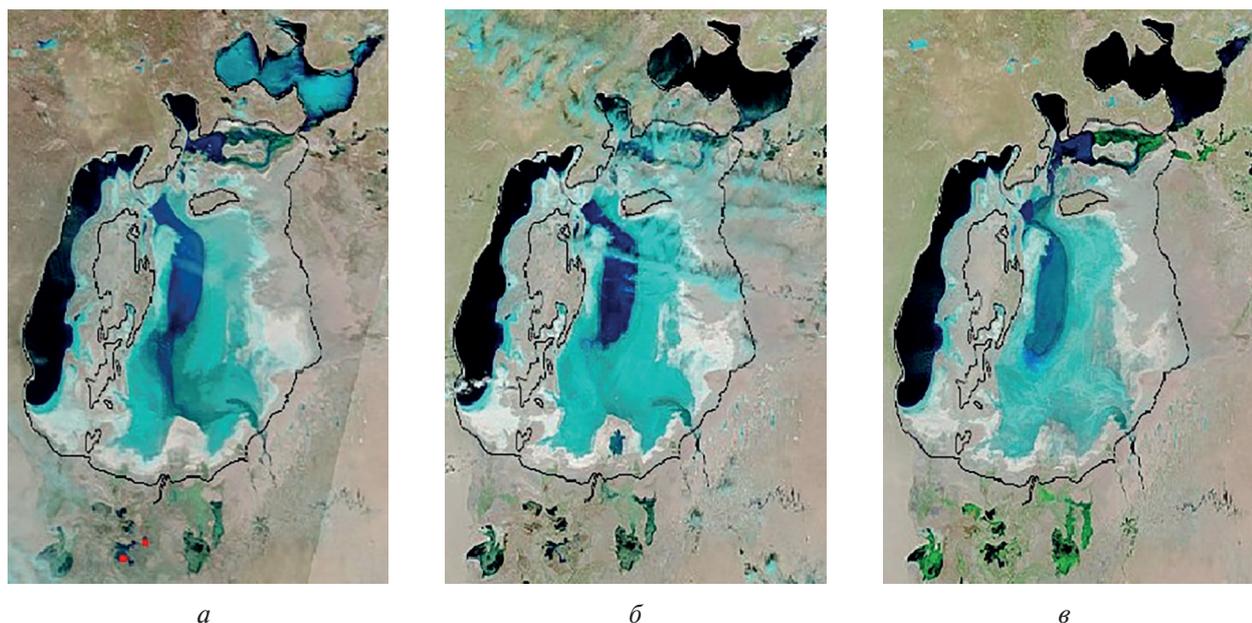


Рис. 2. Снимки района Аральского моря, полученные со спутников Aqua/Terra сканером MODIS весной 2012 г.: *а* — 10.04.12.terra.721.250m; *б* — 20.04.12.terra.721.250m; *в* — 20.05.12.terra.721.250m

Так как до середины июля притока воды в Восточный Арал не было ни с севера, ни с юга, то вода в нём стала быстро высыхать, и к 14.07.2012 водоём сжался от размеров приблизительно 1631 км² до 236 км² (рис. 3а). А 14.07.2012 на юге опять появилось озеро, и вода из него стала заполнять с юга весь Восточный Арал (рис. 3а–г). За двое суток (с 22.07.2012 до 24.07.2012) передняя граница потока прошла приблизительно 20 км, т.е. двигалась со скоростью 10 км/сут, или 417 м/ч. По спутниковым снимкам, к сожалению, нельзя определить толщину потока, а следовательно, и расход воды в нём. К концу августа вода стекла на север, образовав водоём, изображённый на рис. 3е. Южная граница этого водоёма находится на той же широте (44,8° с. ш.), что и 20.04.2012 (ср. рис. 2б с рис. 3е). Северная граница образовавшегося водоёма находится приблизительно на широте 45,67° с. ш. Площадь его приблизительно 1761 км². Максимальная глубина, если судить по советским батиметрическим картам, — около 3 м.

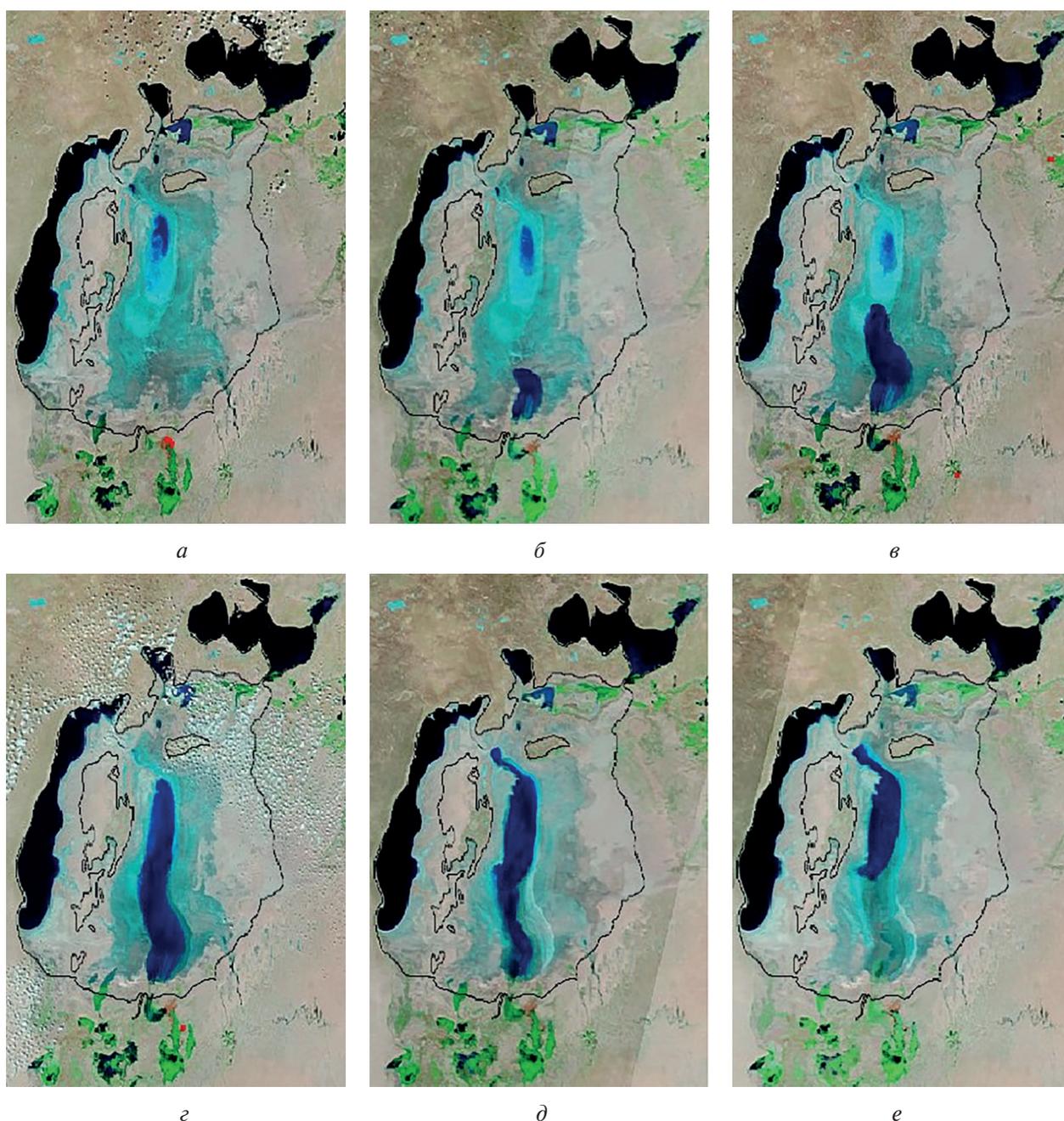


Рис. 3. Снимки района Аральского моря, полученные со спутников Aqua/Terra сканером MODIS летом 2012 г.: а — 14.07.12.terra.721.250m; б — 22.07.12.terra.721.250m; в — 28.07.12.terra.721.250m; г — 03.08.12.terra.721.250m; д — 16.08.12.terra.721.250m; е — 30.08.12.terra.721.250m

Вода в озере снова появилась 22.09.2012 (рис. 4а, б). Её было не так много, как летом, поэтому через 27 дней поток имел вид, запечатлённый на снимке за 19.10.2012 (см. рис. 4б). То есть передняя граница потока прошла примерно 57 км, другими словами, двигалась со скоростью приблизительно 2,1 км/сут, или 88 м/ч. Таким образом, из простых расчётов видно, что летом граница потока двигалась в 4,7 раз быстрее, чем осенью.

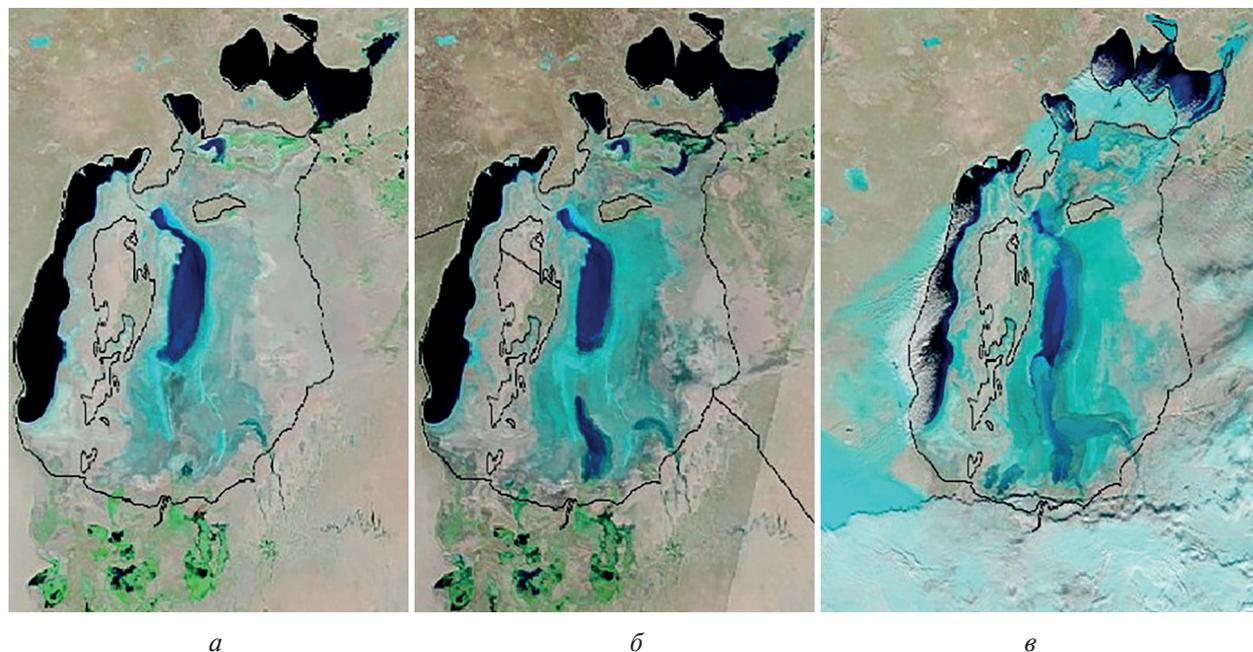


Рис. 4. Снимки района Аральского моря, полученные со спутников Aqua/Terra сканером MODIS осенью и зимой 2012 г.: а — 22.09.12.terra.721.250m; б — 19.10.12.terra.721.250m; в — 11.12.12.terra.721.250m

Когда подул северо-восточный ветер, вода на юге Восточного Арала замёрзла быстрее, чем в Северном Арале, который находится приблизительно на 250–300 км севернее (рис. 4в).

Анализ снимков, полученных со спутников Landsat-8 и Sentinel-2

Для детального анализа интересующего нас явления были взяты снимки, полученные со спутников Landsat-8 (2013–2020) и Sentinel-2 (2017–2020), находящиеся в открытом доступе. Разрешения снимков Landsat-8 оказалось недостаточно, чтобы детально рассмотреть реки и ручейки, протекающие по бывшему дну южной части Восточного Арала. Поэтому анализировались в основном изображения, полученные со спутников Sentinel-2, находящиеся в открытом доступе с 2017 г. по настоящее время. Чтобы лучше рассмотреть южную часть Восточного Арала, несколько снимков, полученных в один день, объединялись в один с помощью программы Photoshop.

На снимке, полученном со спутника Sentinel-2 за 07.04.2017 (рис. 5, см. с. 207), запечатлена южная часть Восточного Арала — его бывшее дно. Внизу слева просматриваются остатки ветланда Междуречье (ср. с рис. 1), выше левее — ветланд Муйнак, правее — ветланд Рыбачье. Справа внизу — ветланд Джилтыр-Бас, переходящий в ветланд Джилтыр-Бас-2.

Чуть севернее левого края ветланда Джилтыр-Бас-2 просматривается постоянное русло небольшой речки, текущей с юга на север вдоль меридиана $59,65^\circ$ в.д. Начало ей дают два слившиеся в один ручейка, истоки которых на снимке не видны (не хватает разрешения снимка), но находятся они недалеко от северной границы бывшего залива Джилтыр-Бас-2. Длина речки от слияния двух ручейков до берега моря составляет приблизительно 13,5 км. При впадении в Восточный Арал речка образует разветвлённую дельту. Из неё время от

времени натекает небольшое озеро площадью примерно 120 км². Все моменты появления этого озера зафиксированы в *таблице*, приведённой ниже.

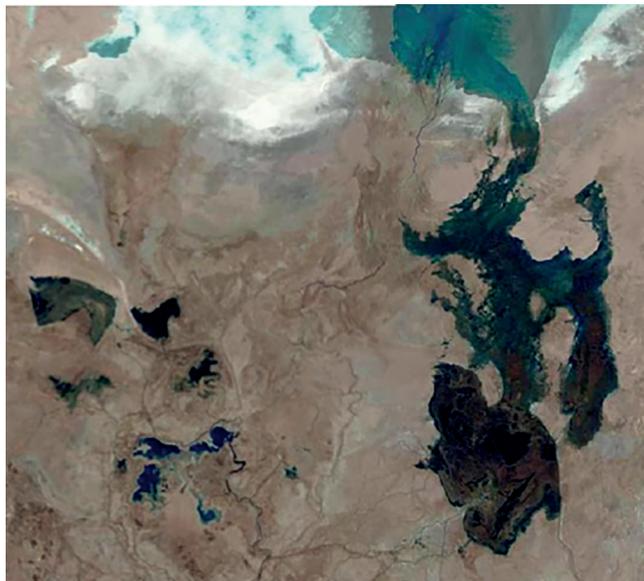


Рис. 5. Снимок южной части Восточного Арала, полученный со спутника Sentinel-2 07.04.2017

В годы, когда Восточный Арал заполнялся водой с юга (2010, 2012, 2015, 2017), картина менялась следующим образом.

На *рис. 6* отображён тот же район, только за 06.06.2017. На снимке видно, что ветланд Междуречье заполнен водой р. Амударьи. Из него выходят два рукава Амударьи. Один течёт в сторону ветландов Муйнак и Рыбачье и далее в сторону бывшей бухты Аджибай-2, где образовалось небольшое озеро воды. Другой рукав течёт в сторону левого отрога ветланда Джилтыр-Бас-2, наполняет его водой и продолжает течь далее, западнее описанного выше ручья и параллельно ему, в сторону Восточного Арала. На предыдущем снимке ни этого водоёма (в Джилтыр-Бас-2), ни западного ручья не было. Из этих двух параллельных ручейков натёк такой же язык воды, как на *рис. 3б*.

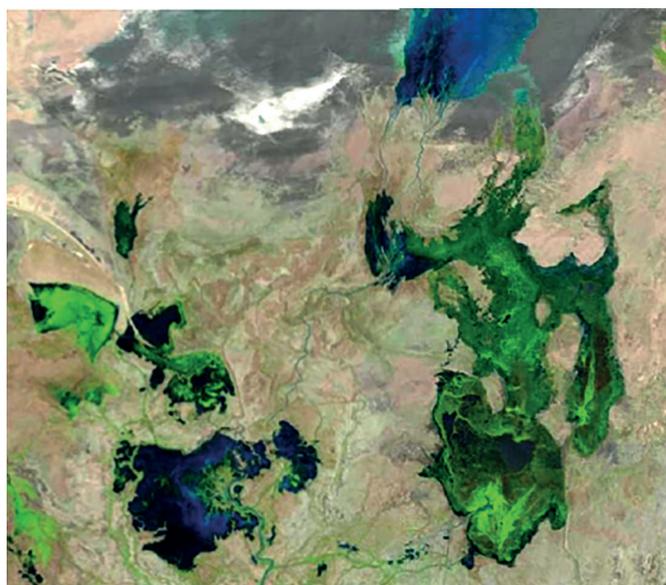


Рис. 6. Снимок южной части Восточного Арала, полученный со спутника Sentinel-2 06.06.2017

На *рис. 7* видно, что к 16.07.2017 появился ещё один рукав р. Амударьи, вытекающий из ветланда Междуречье. Сначала он течёт в сторону Джилтыр-Бас-2, затем поворачивает на северо-восток и при впадении в Восточный Арал раздваивается. Из этих рек и ручейков образовался поток, который заполнил собою Восточный Арал (ср. с *рис. 3г*).

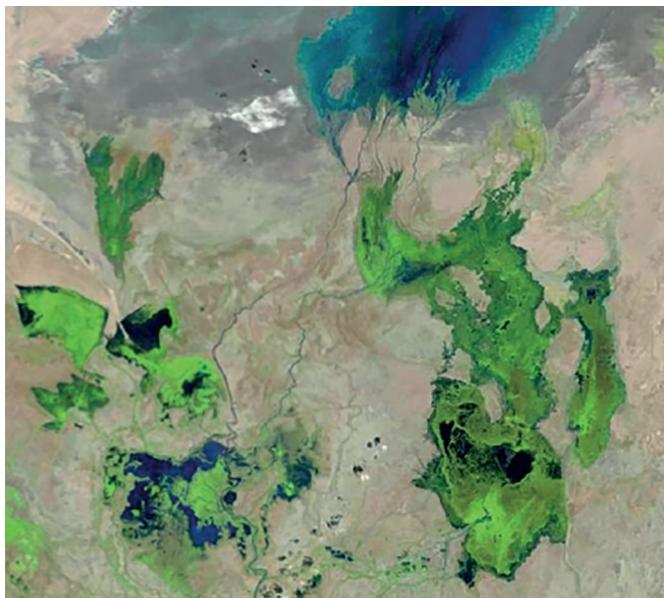


Рис. 7. Снимок южной части Восточного Арала, полученный со спутника Sentinel-2 16.07.2017

И наконец к 14.09.2017 (*рис. 8*) остался один ручеёк, текущий от Джилтыр-Бас-2 к Восточному Аралу, — точно такой же, какой мы наблюдали на *рис. 5*. На *рис. 3* этот вариант соответствует случаю, когда вся вода стекла на север, образовав водоём, изображённый на *рис. 3е*. Таким образом, мы видим, что заполнение водой Восточного Арала с юга (появление потока, его развитие и затухание) хорошо согласуется с различными фазами полноводности р. Амударьи. Другими словами, этот поток появляется за счёт сброса вод Амударьи. В 2012, 2015 и 2017 гг. описанные выше события происходили по одному и тому же сценарию.

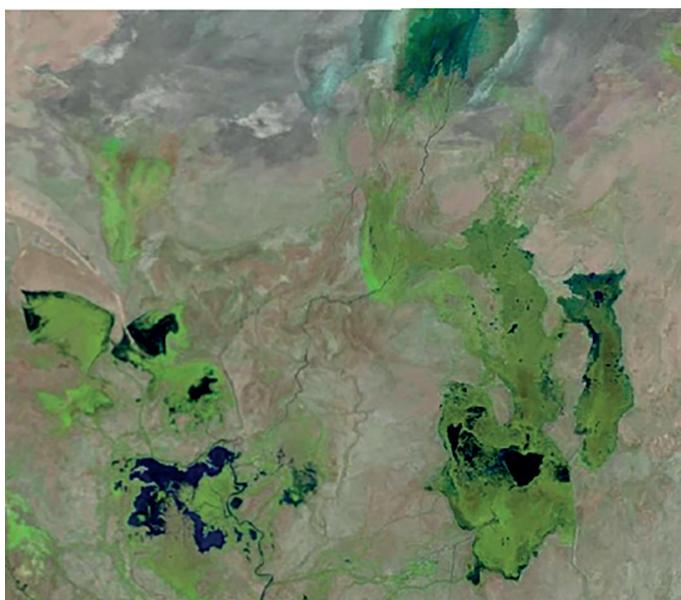


Рис. 8. Снимок южной части Восточного Арала, полученный со спутника Sentinel-2 14.09.2017

2000–2020 гг.

Анализ снимков, полученных со спутников Aqua/Terra в 2000–2020 гг., показал, что впервые это озеро появилось 07.07.2002 и просуществовало 24 дня — до конца июля того же года. В начале января 2003 г. озеро, расположенное рядом с южной границей Восточного Арала, опять стало наполняться водой (01.01.2003 воды там ещё не было). В феврале ударили морозы, и оно превратилось в глыбу льда посреди моря. Это указывает на то, что солёность озера значительно ниже солёности окружающих его вод. В монографии (Zavialov, 2005) был приведён похожий снимок с глыбой льда, предоставленный С. В. Станичным, но только как единственный интересный факт. Не были проанализированы снимки за 2002 г. и ничего не было сказано о том, что вода в этом месте уже появлялась на короткий период в июле того же года.

Затем озеро появлялось в 2003–2005 гг. В 2003 г. оно просуществовало с 01.01.2003 по 02.08.2003 (7 мес, см. таблицу), затем возникло 17.12.2003 и сохранялось до 28.04.2004 (4,5 мес). В июне 2004 г. (02.06.2004) озеро образовалось опять и наблюдалось до 09.08.2004 (в общей сложности почти 7 мес). В 2005 г. оно появилось 15.04.2005 и просуществовало с небольшими перерывами до 22.11.2005 (7 мес). В 2006 г. озеро возникло на 11 дней с 13.10.2006 по 24.10.2006.

2006–2008 гг. были настолько засушливыми, что Восточный Арал, не получая подпитки ни с севера за счёт сброса вод из Северного Арала, ни с юга, стал очень быстро высыхать (ср. снимки за 2008 и 2009 гг., рис. 9а, б). А 17.09.2009 озеро появилось вновь (см. таблицу), и к 30.08.2010 Восточный Арал опять заполнился водой (рис. 9в). Подсчёты показывают, что 30.08.2008 (см. рис. 9а) площадь зеркала Восточного Арала составляла примерно 3151 км², а 30.08.2010 (см. рис. 9в) — 5673 км² (т.е. увеличилась в 2,17 раз). Другими словами, слухи о высыхании Восточного Арала оказались преждевременными.

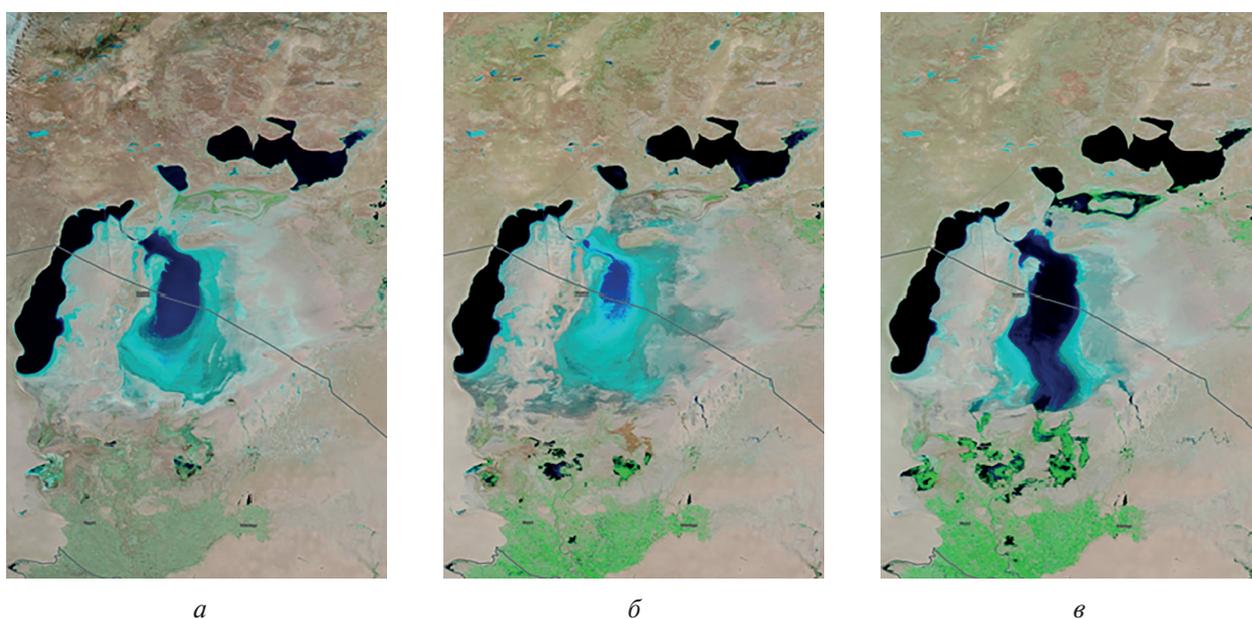


Рис. 9. Снимки района Аральского моря, полученные со спутников Aqua/Terra сканером MODIS:
а — 30.08.08.aqua.721.125m; б — 30.08.09.terra.721.125m; в — 30.08.10.terra.721.125m

В 2014 г. вода в Восточном Арале полностью испарилась (рис. 10а, см. с. 210), и в прессе поторопились сообщить, что Восточный Арал исчез. А в 2015 г. он опять стал заполняться водой, и к 30.08.2015 (рис. 10б) образовался водоём, лежащий между параллелями 44,1 и 45,5° с. ш. (длиной примерно 156 км, шириной 30 км). Площадь зеркала Восточного Арала 30.08.2015 составляла 3138 км², т.е. была приблизительно такой же, как 30.08.2008. Передняя граница потока двигалась со средней скоростью от 200 до 550 м/ч.

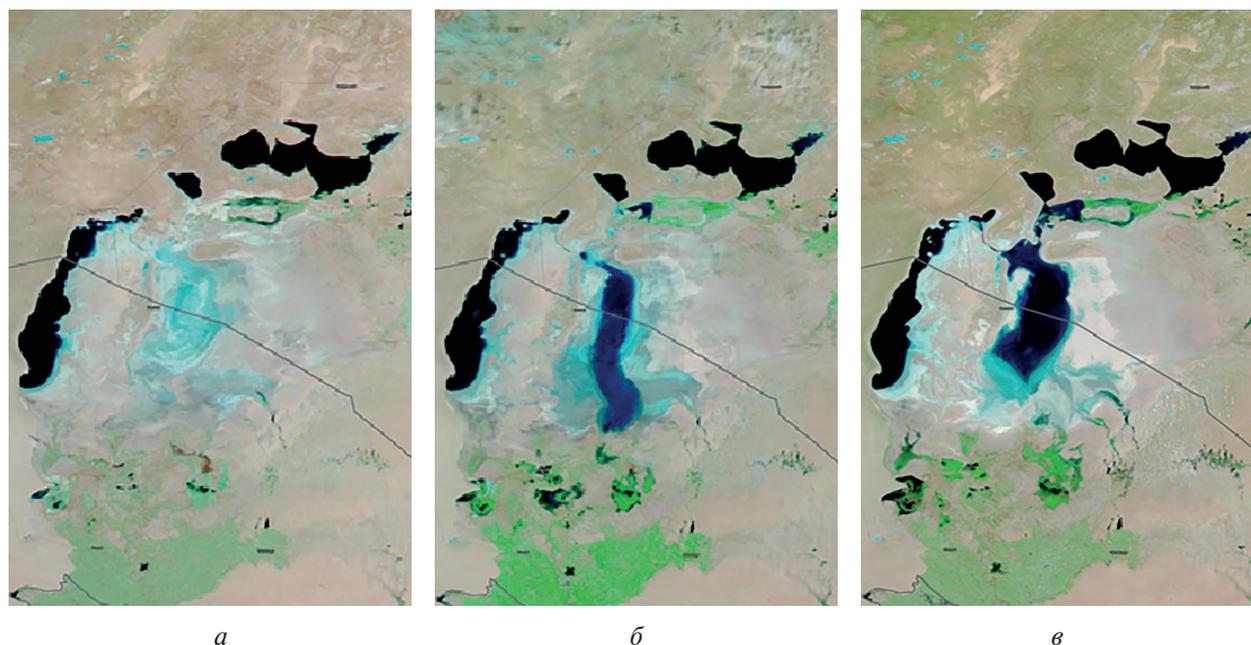


Рис. 10. Снимки Восточного Арала, полученные со спутников Aqua/Terra сканером MODIS:
 а — 16.10.14, aqua.721.125m; б — 30.08.15, terra.721.125m; в — 25.05.18, terra.721.125m

Моменты появления озера на юге Восточного Арала (44,16° с. ш., 59,7° в. д.)

Год	Зима	Весна	Лето	Осень
2000	—	—	—	—
2001	—	—	—	—
2002	—	—	07.07.2002—31.07.2002	—
2003	01.01.2003—28.02.2003	01.03.2003—31.05.2003	01.06.2003—02.08.2003	—
2004	17.12.2003—29.02.2004	10.03.2004—28.04.2004	02.06.2004—09.08.2004	—
2005	—	15.04.2005—29.05.2005	01.06.2005—14.06.2005, 27.06.2005—31.08.2005	10.09.2005—22.11.2005
2006	—	—	—	13.10.2006—24.10.2006
2007	—	—	—	—
2008	—	—	—	—
2009	—	—	—	17.09.2009—18.11.2009
2010	27.02.2010—28.02.2010	02.03.2010—31.03.2010, 29.04.2010—31.05.2010	01.06.2010—31.08.2010	01.09.2010—30.11.2010
2011	—	29.04.2011—31.05.2011	—	—
2012	—	14.04.2012—29.04.2012	14.07.2012—22.08.2012	21.09.2012—08.12.2012
2013	06.02.2013—28.02.2013	01.03.2013—10.04.2013	—	—
2014	—	—	—	—
2015	—	—	02.08.2015—31.08.2015	01.09.2015—30.11.2015
2016	01.12.2015—29.02.2016	—	—	—
2017	22.02.2017—28.02.2017	01.03.2017—03.04.2017	31.05.2017—30.08.2017	24.09.2017—30.11.2017
2018	01.12.2017—28.02.2018	01.03.2018—31.05.2018	—	—
2019	—	—	—	—
2020	17.01.2020—29.02.2020	01.03.2020—06.05.2020	—	—

Затем озеро на юге Восточного Арала появилось 22.02.2017 (см. таблицу) и просуществовало с небольшими перерывами до 31.05.2018. Вода из него стекала к северу со средней

скоростью от 130 до 330 м/ч. К 31.05.2018 водоём в Восточном Арале располагался между параллелями 44,55 и 45,75° с. ш. и меридианами 59,3 и 59,9° в. д. (рис. 10в) и имел площадь приблизительно 3518 км². После этого приток воды в Восточный Арал прекратился совсем как с севера, так и с юга. И к осени 2019 г. Восточный Арал стал точно таким же, как осенью 2014 г. (см. рис. 10а), т. е. высох совсем.

Приводится таблица, в которой перечислены все моменты появления воды на юге Восточного Арала за последние 20 лет, независимо от того, вытекала она из озера на север, заполняя Восточный Арал, или нет (координаты центра тяжести озера — примерно 44,16° с. ш., 59,7° в. д.).

Заключение

Долгое время считалось, что после строительства дамбы, отгородившей воды Сырдарьи от восточной части бывшего Аральского моря, Восточный Арал начнёт быстро высыхать. Ведь южная граница восточной части ушла на несколько десятков километров к северу, а дно там настолько пологое, что воды Амударьи, оставшиеся после бесхозяйственного забора вод на нужды государств, лежащих в бассейне этой реки, будут высыхать по дороге.

Однако анализ снимков, полученных со спутников Aqua/Terra сканирующим радиометром MODIS в 2000–2020 гг., показал, что в 2010, 2012, 2015 и 2017 гг. на юге появлялся поток воды, который заполнял собою Восточный Арал. Скорости движения передней границы этого потока в разные годы и в разные сезоны одного и того же года отличались друг от друга. В среднем они менялись от 88 до 550 м/ч. Площадь зеркала водоёма, образованного этим потоком, менялась от 1761 км² (2012) до 5673 км² (2010). В 2015 г. площадь зеркала была такой же, как в 2008 г., и составляла примерно 3140 км².

Для детального изучения этого явления были проанализированы снимки со спутников Landsat-8 и Sentinel-2. Анализ изображений показал, что заполнение водой Восточного Арала с юга (появление потока, его развитие и затухание) хорошо согласуется с различными фазами полноводности р. Амударьи. Другими словами, этот поток появлялся за счёт сброса вод Амударьи. В 2012, 2015 и 2017 гг. появление потока, его развитие и затухание происходило по одному и тому же сценарию.

Анализ снимков со спутников Landsat-8 и Sentinel-2 показал также, что на юге Восточного Арала появилось постоянное русло небольшой речки, текущей с юга на север вдоль меридиана 59,65° в. д. Начало ей дают два слившиеся в один ручейка. Разрешения снимков Sentinel-2 недостаточно, чтобы определить истоки этих ручейков, но находятся они недалеко от северной границы бывшего залива Джилтыр-Бас-2. Длина речки от слияния двух ручейков до берега моря составляет примерно 13,5 км. При впадении в Восточный Арал речка образует разветвлённую дельту. Из этого ручейка натекает небольшое озеро площадью около 120 км². Координаты его центра тяжести приблизительно 44,16° с. ш., 59,7° в. д. Впервые озеро образовалось 07.07.2002 и просуществовало чуть более трёх недель — до конца июля 2002 г. В таблице, приведённой в статье, зафиксированы все случаи его возникновения с 2000 по 2020 г. Поток воды, описанный выше, появлялся в районе этого озера.

Литература

1. 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.
2. Кузьмичёва Т. Ф. Особенности снимков Аральского моря, выполненных со спутников Aqua/Terra сканером MODIS в 2010–2012 годах // Системы контроля окружающей среды. Вып. 19. Севастополь: НАН Украины, МГИ, 2013. С. 207–213.
3. Zavalov P. Physical oceanography of the dying Aral Sea. Chichester: Praxis Publishing Ltd, 2005. 146 p.

On the peculiarities of the eastern part of the former Aral Sea at the present stage from the analysis of Aqua/Terra (2000–2020), Landsat-8 and Sentinel-2 satellite images

T. F. Kuzmichyova

Marine Hydrophysical Institute RAS, Sevastopol 299011, Russia
E-mail: TFK12.93@yandex.ru

In the paper, the results of analysis of images obtained from satellites Aqua/Terra (2000–2020), Landsat-8 (2013–2020) and Sentinel-2 (2017–2020) are presented. Analysis of the Aqua/Terra images showed that in 2010, 2012, 2015 and 2017 in the south of the Eastern Aral Sea a stream of water appeared which filled the Eastern Aral. The speeds of the front border of this stream in different years and different seasons of the same year differed. They changed from 88 to 550 m/h on average. The reservoir mirror area formed by this stream changed from 1,761 km² (2012) to 5,673 km² (2010). In 2015, the area of the mirror was the same as in 2008, and amounted to approximately 3,140 km². For a detailed study of this phenomenon, images obtained from Landsat-8 and Sentinel-2 were analyzed. The analysis showed that the Eastern Aral Sea water filling from the south (the appearance of the stream, its development and attenuation) is well consistent with the various Amu Darya River full-flow phases. In other words, this stream appeared due to the discharge of the Amu Darya waters. In 2012, 2015 and 2017, the stream appearance, its development and attenuation occurred according to the same scenario. An analysis of the Landsat-8 and Sentinel-2 images also showed that a constant channel of a small river flowing from south to north along the meridian 59.65° E in the south of the Eastern Aral Sea appeared. It begins with two streams merged into one, the origins of which are not visible in the image, but they are located near the northern border of the former Gulf of Dzhil'tyr-Bas-2. The river length from the confluence of the two streams to the coast of the sea is approximately 13.5 km. The river forms a branched delta when it flows into the Eastern Aral. A small lake is formed from this stream with an area of approximately 120 km². The lake center gravity coordinates are approximately 44.16° N, 59.7° E. For the first time this lake appeared in 07.07.2002 and lasted a little over 3 weeks, until the end of July 2002. All cases of the appearance of this lake from 2000 to 2020 are recorded in the table given in the paper. The water flow described above appeared in the area of this lake.

Keywords: Aral Sea, south of Eastern Aral Sea, water filling from the south, Aqua/Terra, Landsat-8, Sentinel-2 satellites

Accepted: 17.08.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-202-212

References

1. 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., Niki-shina 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* (Great Aral Sea at the beginning of the XXI century), Moscow: Nauka, 2012, 232 p.
2. Kuzmicheva T. F., *Osobennosti snimkov Aral'skogo morya, vypolnennykh so sputnikov Aqua/Terra skanerom MODIS v 2010–2012 godakh* (Features of images of the Aral Sea taken from Aqua/Terra satellites by the MODIS scanner in 2010–2012), *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy*, Sevastopol: NAN Ukrainy, MGI, 2013, Vol. 19, pp. 207–213.
3. Zavalov P., *Physical oceanography of the dying Aral Sea*, Chichester, UK: Praxis Publishing Ltd, 2005, 146 p.