

# О заполнении восточной части бывшего Аральского моря за счёт сброса вод через Кокаральскую плотину на основе анализа снимков, полученных со спутников Aqua/Terra

Т. Ф. Кузьмичёва

*Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь, 299011, Россия*

*E-mail: TFK12.93@yandex.ru*

К 2009 г. дно восточной части бывшего Аральского моря (Восточного Арала) в результате высыхания оголилось настолько, что появилась возможность отслеживать со спутника маршрут движения вод, поступающих в Восточный Арал за счёт сброса вод из Северного Арала через Кокаральскую плотину. Рассмотрены все такие случаи заполнения Восточного Арала. Для каждого случая определены даты начала и конца сброса вод. Вычислены максимальные площади зеркала вод Восточного Арала, образовавшиеся в результате такого сброса. Для каждого случая сброса вод рассчитан суммарный расход воды р. Сырдарьи в гидроузле Аклак, который находится в 15 км выше по течению от места впадения Сырдарьи в Северный Арал, недалеко от пос. Каратерен. Наиболее подробно рассмотрено движение вод, полученных за счёт сброса из Северного Арала в 2014–2015 гг., когда площадь зеркала вод в Восточном Арале увеличилась от 0 до максимального значения, равного 2433 км<sup>2</sup>. Показано, как бывший зал. Тше-Бас заполняется этими водами с юга после достижения ими определённого уровня, достаточно для преодоления перемычки, отделяющей залив от Промежуточного Арала. Обнаружено формирование отдельного водоёма в небольшой впадине глубиной около 3 м на северо-западной оконечности Восточного Арала, у входа в бывший пролив Узун, которой нет на батиметрической карте, построенной в условно-естественный период. Показано, что, несмотря на ввод в эксплуатацию Кокаральской плотины, в рассмотренный период времени Восточный и Промежуточный Арал продолжали получать в результате попусков достаточно для обводнения количество воды. Определяющее значение имеет водность р. Сырдарьи в районе гидроузла Аклак. Установлено, что после 2018 г. начался период относительной маловодности Сырдарьи, в результате чего годовой расход воды реки в гидроузле Аклак уменьшился с 3033 млн м<sup>3</sup>/год в 2018 г. до 551 млн м<sup>3</sup>/год в 2022 г., т.е. в 5,5 раз. Этой воды оказалось недостаточно даже для того, чтобы поддерживать уровень в 42 м в Северном Арале, в результате чего стал быстро мелеть зал. Сары-Чеганак, находящийся на северо-востоке Северного Арала. Разумеется, прекратился и сброс воды через Кокаральскую плотину, вследствие чего не осталось воды ни в Промежуточном, ни в Восточном Арале.

**Ключевые слова:** Аральское море, Восточный Арал, Северный Арал, сброс воды через Кокаральскую плотину, расход воды в р. Сырдарье, гидроузел Аклак, спутники Aqua/Terra

Одобрена к печати: 28.03.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-2-205-215

## Введение

Во второй половине 1980-х гг. Аральское море фактически питалось только водами р. Сырдарьи (Аладин и др., 2017), так как сток р. Амударьи до него почти не доходил. К 1987 г. уровень моря снизился до отметки +40 м, пролив между малой северной и большой южной частью Аральского моря пересох и море разделилось на два водоёма, Северное (Малое) и Южное (Большое) Аральское море, различающиеся своим гидрологическим режимом.

С разделением Арала падение уровня Малого моря прекратилось, а высыхание Большого Арала продолжалось. В 1990 г. при весеннем увеличении стока Сырдарьи уровень Малого Арала поднялся и начался перелив воды в Большое море поверх естественной преграды в пересохшем проливе Берга. Эта вода частично вымыла отложения, заполнявшие бывший судоходный канал в проливе, и на этом месте сформировалось русло. Возникла вероятность дальнейшего углубления русла, по которому воды Сырдарьи будут уходить на юг, в Большой Арал, минуя Малый Арал, из-за чего Малое море в среднесрочной перспективе исчезнет.

Этот факт привёл Н. В. Аладина и его единомышленников к выводу, что сохранить и восстановить Малый Арал может только строительство плотины через пролив Берга. О борьбе за строительство такой плотины он подробно рассказывает, например, в работе (Аладин, 2012). Ряд специалистов и представителей общественности высказались против строительства плотины, считая, что это ускорит высыхание Большого Арала и усилит негативные факторы, связанные с этим. Тем не менее Н. В. Аладину и его коллегам удалось убедить правительство Казахстана и научное сообщество в необходимости строительства плотины в проливе Берга. В 1992 г. была построена земляная плотина без водопропускных сооружений, которая в дальнейшем была разрушена паводковыми водами, а затем восстановлена. В августе 2005 г. завершилось строительство капитальной плотины длиной 13 км с бетонным водосбросным сооружением, названной Кокаральской (см. *рис. 2*). В результате строительства этой плотины уровень Малого (Северного) Арала поднялся до 42 м.

Цель настоящей работы — проанализировать массив снимков, полученных со спутников Terra/Aqua с 2000 по 2022 г., и выделить все случаи, когда котловина Восточного Арала заполнялась только водами Сырдарьи, а также проследить по возможности за движением этих вод и выяснить, насколько далеко они распространяются.

### Район исследования и использованные данные

Спутники Aqua и Terra ежедневно пролетают над акваторией Аральского моря: Terra — около 12:00 МСК (московское время), Aqua — около 16:00 МСК, ширина полосы обзора в этом районе — около 2000 км. Спутники имеют солнечно-синхронные полярные орбиты (высота — 705 км, период обращения — 99 мин, наклонение —  $98,2^\circ$ ). Спутник Terra был запущен на орбиту в 2000 г. и передаёт данные с 26.02.2000 по настоящее время. Спутник Aqua, выведенный на орбиту в 2002 г., передаёт данные с 04.07.2002 по настоящее время. Анализировались снимки, полученные с помощью спектрорадиометра среднего разрешения MODIS (*англ.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) в комбинации цветовых полос 7–2–1, с разрешением 125, 60 и 30 м, в день не менее четырёх снимков. Всего было проанализировано более 33 000 снимков, сделанных MODIS с 2000 по 2022 г.

На *рис. 1* (см. с. 207) показан снимок, полученный со спутника Terra 08.05.2018, с нанесёнными на него названиями отдельных частей современного Аральского моря. Центральную часть изображения занимает котловина Восточного Арала. К северо-западу от неё находится зал. Чернышёва (самая северо-восточная часть Западного Арала), соединённый с Восточным Аралом проливом Узун. К северо-востоку от Восточного Арала лежит Промежуточный Арал, соединённый с Восточным Аралом проливом без названия. Так как этот пролив омывает юго-восточную часть п-ова Куланды, то будем называть его проливом Куланды. Западная треть Промежуточного Арала имеет название Барал-Сы. К северо-западу от Промежуточного Арала лежит зал. Тше-Бас, соединённый с Промежуточным Аралом небольшой протокой. К северо-востоку — Северный Арал, отгороженный от Промежуточного Арала дамбой высотой в 15 м. В настоящей работе мы уделим основное внимание именно этой части снимка (см. *рис. 4*).

Использованные в работе ежемесячные данные по расходам р. Сырдарьи на гидроузле Аклак для каждого месяца получены с сайта <http://www.cawater-info.net/aral/data/>. Регулирующий гидроузел Аклак находится в низовьях Сырдарьи, недалеко от пос. Каратерен, в 15 км вверх по течению от места её впадения в Северный Арал. Гидроузел Аклак выполняет две основные функции: увеличение пропускной способности Сырдарьи и направление излишков воды, которую не вмещает Северный Арал во время зимних и весенних паводков, на обводнение более 20 важных с точки зрения рыболовства пресноводных озёр общей площадью 30 тыс. га и 10 тыс. га сенокосов.

На *рис. 2* (см. с. 207) показано место впадения р. Сырдарьи в Северный Арал, Кокаральская плотина, место сброса воды в Промежуточный Арал. Красным значком обозначен пос. Каратерен, недалеко от которого построен гидроузел Аклак.



Рис. 1. Снимок района Аральского моря, полученный 08.05.2018 со спутника Terra: 1а — зал. Бутакова; 1б — зал. Сары-Чеганак; 1в — пролив Берга; 1г — зал. Нессельроде; 1д — зал. Шевченко; 2а — водоём Барал-Сы; 2б — пролив Куланды; 2г — пролив Узун (Куланды); 2д — зал. Чернышёва; 2е — Муйнак-Рыбачье; 26 — Джилтыр-Бас-2; 2в — Судочье; 2г — Междуречье; 2д — Джилтыр-Бас; 2е — Аджибай



Рис. 2. Скриншот с сервиса Google Карты (англ. Google Maps): красной меткой показан пос. Каратерен, недалеко от которого построен гидроузел Аклак

В настоящей работе мы будем рассматривать только случаи заполнения Восточного Арала водами р. Сырдарьи. Случаи заполнения Восточного Арала только водами р. Амударьи были описаны в работе (Кузьмичёва, 2020), а рассмотрение случаев заполнения Восточного Арала одновременно как с юга, так и с севера планируется на будущее.

Использованная в работе батиметрическая карта Аральского моря (рис. 3а, см. с. 208) получена с сайта <http://www.cawater-info.net/aral/data/>. Интервал между изолиниями составляет 1 м. На карту нанесены координаты и выделен, а затем увеличен и помещён рядом (рис. 3б) район в виде прямоугольника, подробно рассмотренный в работе. На выделенном прямоугольнике окружностями красного цвета и цифрами 1 и 2 помечены участки, которые обсуждаются ниже.



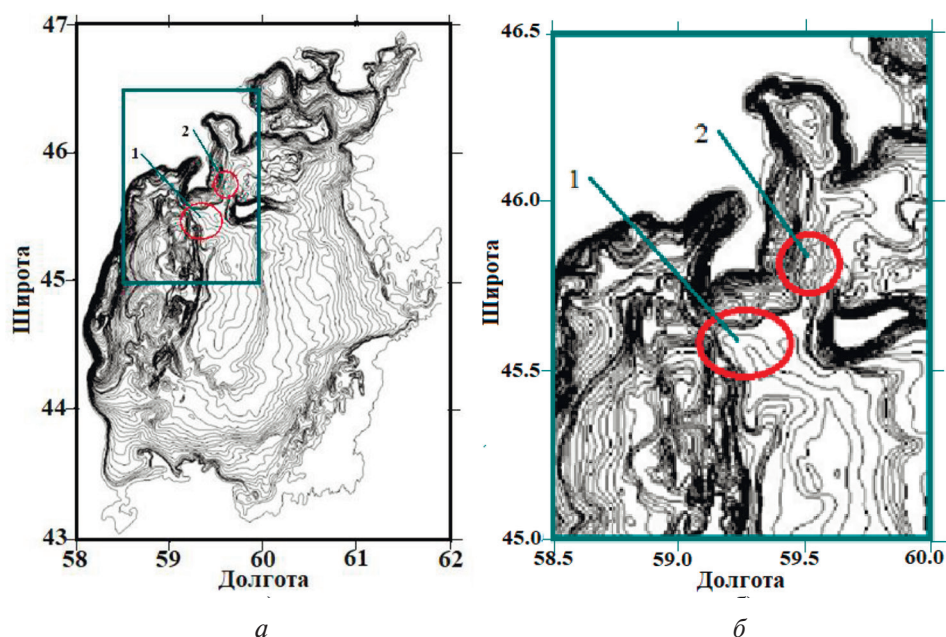


Рис. 3. Батиметрическая карта Аральского моря (а); часть батиметрической карты Аральского моря, выделенная сине-зелёным прямоугольником (б)

## Результаты

### *Движение вод реки Сырдарьи после сброса их через Кокаральскую плотину*

Прежде чем сравнивать различные случаи, подробно рассмотрим, как воды Сырдарьи заполняют котловину Восточного Арала. Для этого возьмём период 2014–2015 гг. К осени 2014 г. вода в Восточном Арале и в Промежуточном Арале высохла полностью (рис. 4а). После этого появилась возможность наблюдать со спутника, каким образом идёт заполнение Восточного Арала с севера водами Сырдарьи.

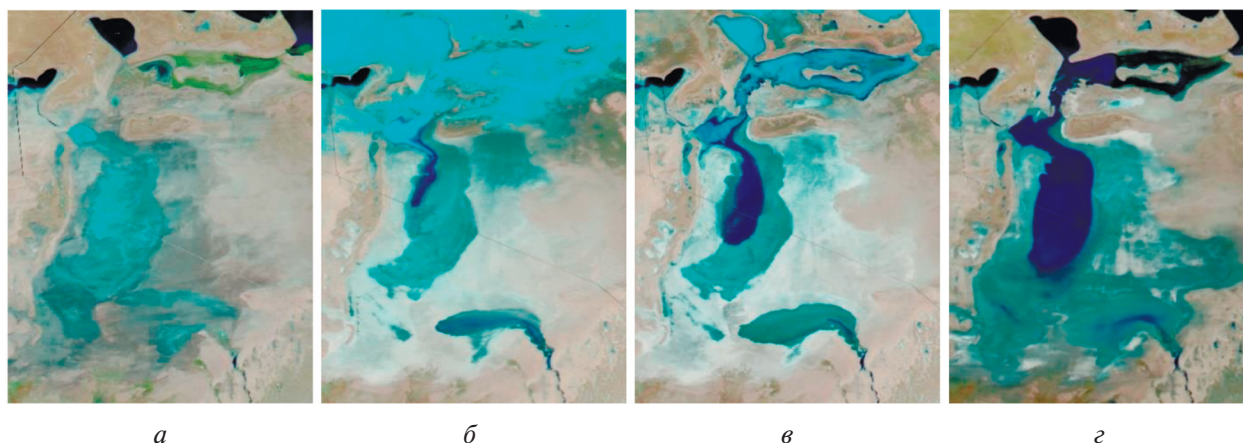
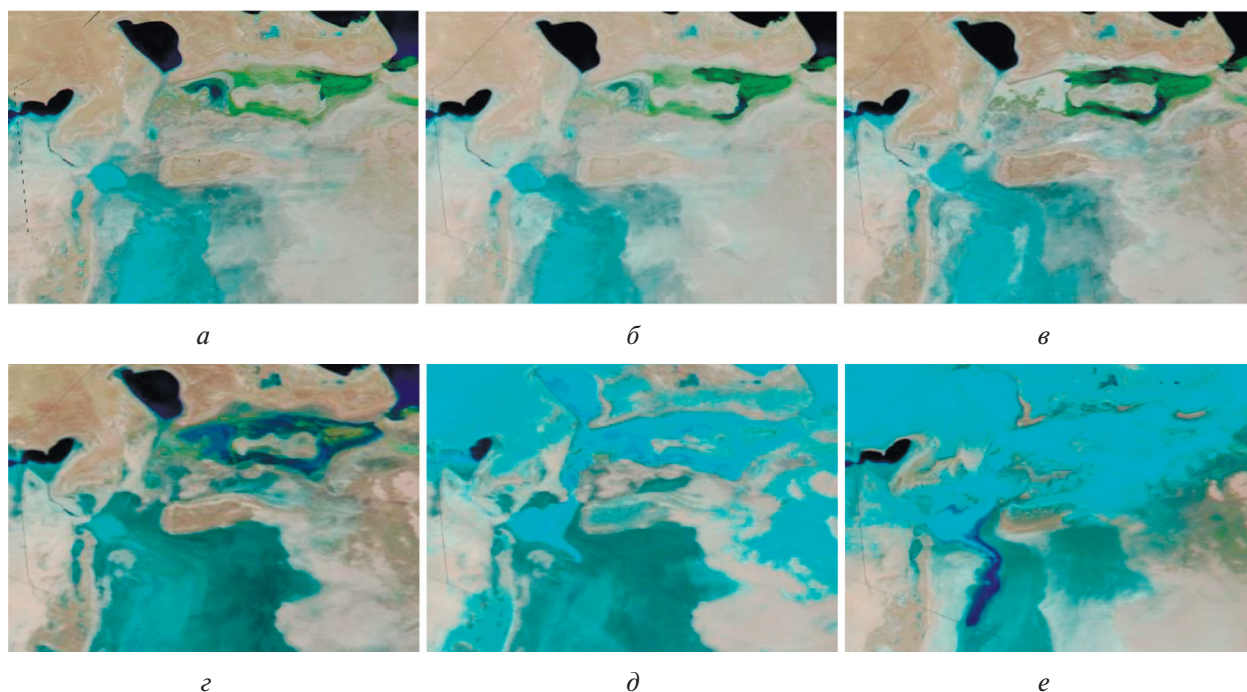


Рис. 4. Часть бывшего Аральского моря, лежащая между широтами  $43^{\circ}54'$  и  $46^{\circ}22'$  с.ш. и долготами  $59^{\circ}00'$  и  $60^{\circ}55'$  в.д.: а — 14.08.14.aqua.721.60m; б — 02.03.15.aqua.721.60m; в — 20.03.15.terra.721.60m; г — 27.04.15.aqua.721.60m

На рис. 4 изображена часть бывшего Аральского моря, лежащая между широтами  $43^{\circ}54'$  и  $46^{\circ}22'$  с. ш. и долготами  $59^{\circ}00'$  и  $60^{\circ}55'$  в.д. В использованных здесь и на следующих рисунках обозначениях спутниковых изображений кодируется следующая информация: дата пролёта

спутника над Аральским морем; название спутника (Aqua или Terra); комбинация цветовых полос, в которых выполнено изображение; могут встречаться комбинации (true, 367, NDVI (англ. Normalized Difference Vegetation Index — нормализованный разностный вегетационный индекс)); пространственное разрешение (в метрах), с которым выполнен снимок.

На *рис. 5* изображена та же часть бывшего Аральского моря, что и на *рис. 4*, только ограниченная снизу не параллелью  $43^{\circ}54'$  с.ш., а параллелью  $45^{\circ}00'$  с.ш. На *рис. 4а* и *5а* видно, что к 14.08.2014 зал. Тше-Бас и Северный Арал заполнены водой, а в Восточном Арале воды нет совсем. Обводнённой осталась только западная треть Промежуточного Арала — водоём Барал-Сы. Появилось немного воды в восточной трети Промежуточного Арала (начался сброс воды из Северного Арала). К 13.10.2014 (см. *рис. 5б, в*), разделившись на два рукава — южный и северный, вода успела пройти только две трети Промежуточного Арала, его восточную и среднюю части, и дойти до водоёма Барал-Сы, вода в котором к этому времени полностью высохла. К 01.11.2014 вода начала заполнять западную часть Промежуточного Арала и водоём Барал-Сы. До начала замерзания, 19.11.2014 (см. *рис. 5г*), вода успела заполнить водоём Барал-Сы, однако до протоки, соединяющей Промежуточный Арал с зал. Тше-Бас, не дошла.

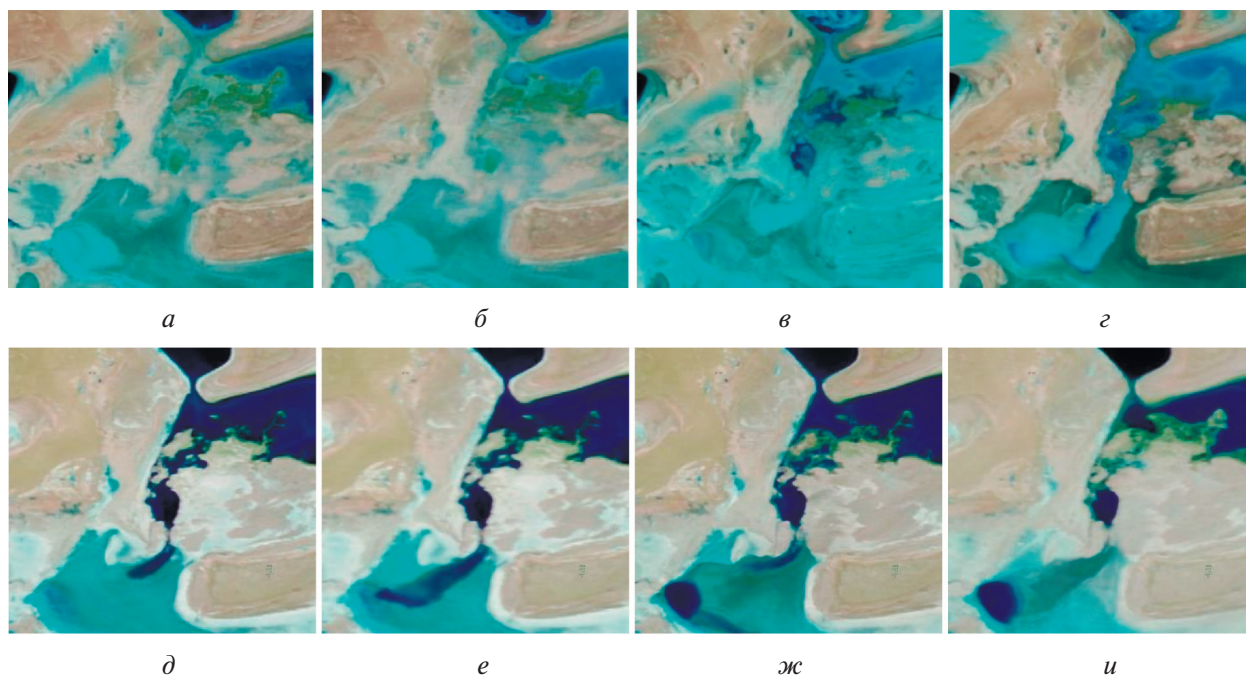


*Рис. 5.* Часть бывшего Аральского моря, лежащая между широтами  $45^{\circ}00'$  и  $46^{\circ}22'$  с.ш. и долготами  $59^{\circ}00'$  и  $60^{\circ}55'$  в.д.: *а* — 14.08.14.aqua.721.30m; *б* — 01.09.14.terra.721.30m; *в* — 13.10.14.terra.721.30m; *г* — 19.11.14.terra.721.30m; *д* — 29.01.15.terra.721.30m; *е* — 02.03.15.aqua.721.30m

На увеличенных изображениях (*рис. 6*, см. с. 210) видно, как вода, замерзая, продвигается на запад и юго-запад. Так, с 25.11.2014 (см. *рис. 6а*) вода начала заполнять небольшую впадину, лежащую южнее зал. Тше-Бас и соединённую с ним небольшой протокой (см. снимки за 30.11.2014, *рис. 6б*). К 27.12.2014 эти впадина и протока были заполнены водой, которая быстро замёрзла. Другая часть воды продолжила свой путь на юг к небольшой депрессии в центральной части пролива Куланды. Если судить по батиметрической карте (см. *рис. 3а, б*), эта депрессия имеет глубину 4–5 м и размеры приблизительно  $7,2 \times 4,4$  км. На снимке за 01.01.2015 (см. *рис. 6в*) видно, что вода далее направляется к другой небольшой впадине на северо-западе Восточного Арала у входа в пролив Узун. Этой впадины нет на батиметрической карте (см. *рис. 3а, б*), построенной в условно-естественный период, поэтому для наглядности приводим дополнительные снимки за апрель — май 2014 г. (см. *рис. 6д–и*).



Заполнив эту впадину, вода начинает стекать на юг к самой глубокой точке Восточного Арала (см. *рис. 4б, 5д, е*). Поток расширяется (см. *рис. 4в*), заполняя котловину Восточного Арала, и быстро продвигается на юг. С 15.03.2015 по 20.03.2015 южный фронт потока прошёл приблизительно 16,7 км, т.е. двигался со средней скоростью 139 м/ч. При этом ширина потока в его нижней части оставалась приблизительно одинаковой — около 16,5 км. Через месяц, к 19.04.2015, южный фронт потока прошёл всего 3,8 км, при этом ширина потока в самой широкой части составила 27,1 км, т.е. увеличилась в 1,64 раза.



*Рис. 6.* Часть бывшего Аральского моря, включающая пролив Куланды и западную треть Промежуточного Арала (Барал-Сы): *а* — 25.11.14.terra.721.30m; *б* — 30.11.14.terra.721.30m; *в* — 01.01.15.aqua.721.30m; *г* — 10.01.15.aqua.721.30m; *д* — 17.04.14.terra.721.30m; *е* — 19.04.14.terra.721.30m; *ж* — 01.05.14.terra.721.30m; *и* — 28.05.14.terra.721.30m

К 20.03.2015 площадь зеркала воды в Восточном Арале равнялась 1100 км<sup>2</sup>, а к 19.04.2015 эта площадь составила 2047 км<sup>2</sup>. Таким образом, с 20.03.2015 по 19.04.2015, за месяц, она увеличилась почти в два раза. К 27.04.2015 (см. *рис. 4г*) площадь зеркала воды Восточного Арала достигла своего максимального значения, равного 2433 км<sup>2</sup>, при максимальной длине водоёма в 116 км, ширине 28 км и глубине около 3 м. На этом же снимке видно, что весь Промежуточный Арал заполнен водой, а в Восточный Арал с северо-востока вливается поток воды, ширина которого при впадении равна приблизительно 7,4 км.

Со второй половины мая 2015 г. вода в восточной трети Промежуточного Арала стала быстро высыхать. Существенно уменьшилось количество воды и в средней трети Промежуточного Арала. Это указывает на то, что сначала уменьшился, а затем и прекратился сброс воды из Северного Арала. Стал иссякать, соответственно, и поток воды, впадающий в Восточный Арал с северо-востока. К 01.06.2015 его ширина при впадении уменьшилась до 4,5 км, а к 09.06.2015 этот поток исчез совсем. При этом зал. Тше-Бас, западная часть Промежуточного Арала (Барал-Сы) и водоём, лежащий посередине пролива Куланды, оставались заполненными водой. После того как Восточный Арал перестал подпитываться водой с северо-востока, вода в нём стала высыхать. Стала уменьшаться, соответственно, и площадь зеркала этого водоёма. Так, например, если 27.04.2015 площадь зеркала воды составляла 2433 км<sup>2</sup>, то к 01.06.2015 она уменьшилась до 2295 км<sup>2</sup>, к 01.07.2015 — до 1698 км<sup>2</sup>, а к 02.08.2015 — до 974 км<sup>2</sup>.

### Анализ всех случаев заполнения Восточного Арала водами р. Сырдарьи

С конца мая 2007 г. до осени 2009 г. (два с половиной года) вода в восточную часть бывшего Аральского моря (Восточный Арал) не поступала ни с севера, ни с юга. Восточный Арал стал быстро высыхать. Так, если 23.04.2007 площадь зеркала Восточного Арала составляла 6570 км<sup>2</sup>, то к 22.10.2009 она уменьшилась уже до 608 км<sup>2</sup>, т.е. в 10,8 раз. Благодаря тому, что дно оголилось, появилась возможность отслеживать со спутников маршрут и динамику вод, поступающих в Восточный Арал с севера за счёт сброса из Северного Арала через Кокаральскую плотину.

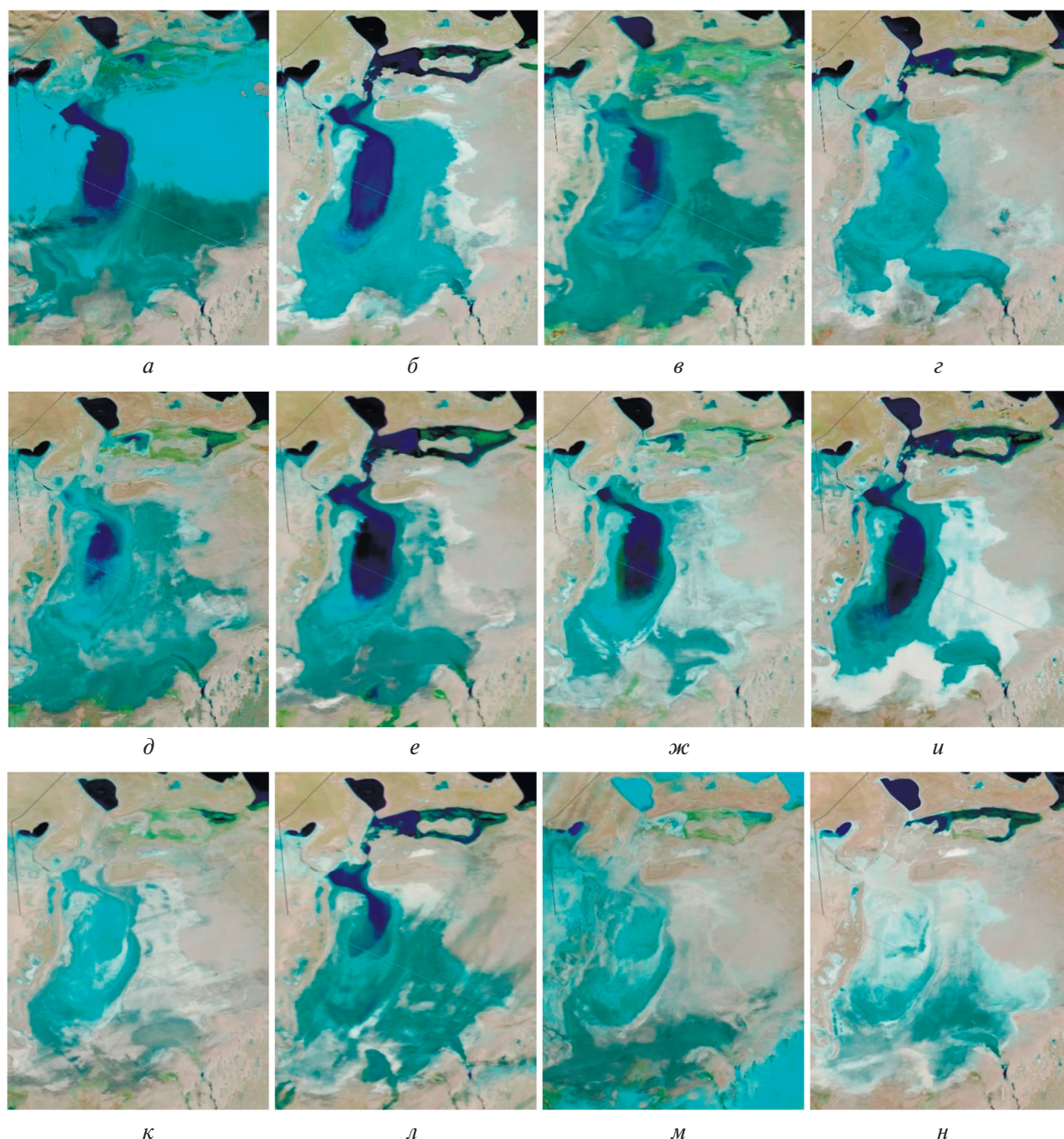


Рис. 7. Часть бывшего Аральского моря, лежащая между широтами 43° 54' и 46° 22' с. ш. и долготами 59° 00' и 60° 55' в. д.: а — 20.11.11.aqua.721.60m; б — 15.05.12.terra.721.60m; в — 07.12.13.terra.721.60m; г — 06.05.14.aqua.721.60m; д — 09.11.16.terra.721.60m; е — 31.05.17.terra.721.60m; ж — 05.11.18.aqua.721.60m; и — 11.04.19.aqua.721.60m; к — 17.10.19.terra.721.60m; л — 05.04.20.terra.721.60m; м — 02.02.21.aqua.721.60m; н — 11.04.21.terra.721.60m



Первый такой сброс воды произошёл в 2011–2012 гг. (20.11.2011), когда площадь зеркала воды Восточного Арала составляла 1575 км<sup>2</sup> (рис. 7а, см. с. 211). К 26.03.2012 воды Сырдарьи объединилась с водою Барал-Сы. К 13.04.2012 заполнилась водою небольшая впадина, лежащая южнее зал. Тше-Бас. Вода в Промежуточном Арале к этому дню достигла уровня, которого оказалось достаточно, чтобы она начала стекать на север через небольшую перемычку в бывший зал. Тше-Бас и на юг, к Восточному Аралу, которого она достигла к 29.04.2012. Максимального значения, равного 1845 км<sup>2</sup>, что на 17,14 % больше осеннего, площадь зеркала Восточного Арала достигла к 15.05.2012 (рис. 7б). После этого сброс воды с севера прекратился.

Летом и осенью 2013 г. в Восточный Арал не было притока воды ни с севера, ни с юга. К 22.11.2013 площадь зеркала Восточного Арала уменьшилась до 427 км<sup>2</sup>.

В 2013–2014 гг., с 07.12.2013 до 07.05.2014 (рис. 7в), опять произошёл сброс воды из Северного Арала. Воды поступило относительно немного. К 13.04.2014 она появилась в проливе, соединяющем Промежуточный Арал с Восточным Аралом. К 17.04.2014 появился язык холодной воды на самом севере Восточного Арала, который, увеличиваясь в размере, двигался на юго-запад и юг, проходя в сутки около 8–9 км, т.е. со скоростью приблизительно 333–375 м/ч. К 01.05.2014 сброс воды из Северного Арала прекратился, и началось высыхание как Промежуточного Арала, так и Восточного Арала. К 01.07.2014 воды в Восточном Арале не осталось совсем. Затем 14.08.2014 снова начался сброс воды из Северного Арала, о чём подробно рассказано выше (см. рис. 4а–г).

С 02.11.2015 и всю зиму 2015/2016 гг. Восточный Арал заполнялся водой и с севера, и с юга. После этого до 19.11.2016 приток воды как с той, так и с другой стороны прекратился. В этот же день, 09.11.2016, начался сброс воды из Северного Арала, который продолжался до 31.05.2017 (рис. 7д и е). Площадь зеркала воды в Восточном Арале увеличилась за это время с 300 до 1779 км<sup>2</sup>, т.е. в 5,9 раз.

С 31.05.2017 до 12.04.2018 вода поступала в Восточный Арал как с севера, так и с юга. После этого приток воды прекратился, а 15.09.2018 (рис. 7ж) в восточной трети Промежуточного Арала появились первые признаки нового сброса воды с севера.

Даты начала и конца сбросов и соответствующие площади зеркала Восточного Арала и Промежуточного Арала указаны в табл. 1, в которой приведён также и расход воды в гидроузле Аклак на р. Сырдарье за периоды сброса.

Если сброс воды начинался не 1-го числа определённого месяца, а в какой-то другой день, то считалось, что в течение этого месяца каждый день через гидроузел Аклак протекает одно и то же количество воды. Суммарный месячный расход воды делился на количество дней в месяце и умножался на количество дней в этом месяце, в течение которых происходит сброс воды в Промежуточный Арал. Таким образом, для каждого промежутка времени, когда происходил сброс воды из Северного Арала в Промежуточный Арал, для сравнения приводился расход воды р. Сырдарьи в гидроузле Аклак за тот же промежуток времени (см. табл. 1, столбцы 3-й, 7-й).

Из анализа рис. 4 и 7 и содержимого табл. 1 следует, что в рассмотренный период времени попуски воды осуществлялись таким образом, что её хватало и на поддержание уровня в Северном Арале, и на обводнение Промежуточного и Восточного Арала. Значение имеет только водность р. Сырдарьи. Общая тенденция, к сожалению, такова, что после 2018 г. расход воды в гидроузле Аклак постоянно уменьшался (наступил период маловодности), что иллюстрируется рис. 7л–н и табл. 2. Так, например, к 05.04.2020 максимальная площадь зеркала воды в Восточном Арале составляла 534 км<sup>2</sup> (см. рис. 7л), а во время сброса вод в 2020–2021 гг. её было так мало, что она не смогла подняться до небольшой перемычки, отделяющей небольшую впадину, лежащую южнее зал. Тше-Бас, от самого зал. Тше-Бас, и заполнить пролив, соединяющий два этих объекта (см. рис. 7н). Критическим оказался расход воды в 202 млн м<sup>3</sup> (см. табл. 1, 2021–2022 гг.). В этот период как в Промежуточный Арал, так и в восточную чашу Аральского бассейна вода совсем не поступала ни с севера, ни с юга. Год был настолько засушливым, что высохла вся вода в ветландах, находящихся на юге бывшего Аральского моря, и существенно уменьшилось количество воды в зал. Сары-Чеганак на северо-востоке Северного Арала (рис. 8в, см. с. 213).



Таблица 1. Случаи заполнения Восточного Арала водами р. Сырдарьи за счёт попусков через Кокаральскую плотину

| Годы      | Дата начала и окончания сброса вод через плотину Кок-Арал | Расход воды в дельте р. Сырдарьи через створ Аклак за время сброса вод через плотину Кок-Арал, млн м <sup>3</sup> | Дата начала сброса вод р. Сырдарьи, площадь зеркала вод Восточного Арала до него, S1, км <sup>2</sup> | Дата, максимальная площадь зеркала вод Восточного Арала, полученная за счёт сброса вод р. Сырдарьи, S2, км <sup>2</sup> | Дата, максимальная площадь зеркала вод Промежуточного Арала, S3, км <sup>2</sup> | Дата, максимальная суммарная площадь зеркала вод Восточного и Промежуточного Арала, S = S2 + S3, км <sup>2</sup> |
|-----------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         | 2                                                         | 3                                                                                                                 | 4                                                                                                     | 5                                                                                                                       | 6                                                                                | 7                                                                                                                |
| 2011–2012 | 20.11.2011–15.05.2012                                     | 3509                                                                                                              | 20.11.2011, 1575                                                                                      | 15.05.2012, 1845                                                                                                        | 15.05.2012, 1214                                                                 | 15.05.2012, 3059                                                                                                 |
| 2013–2014 | 07.12.2013–07.05.2014                                     | 2809                                                                                                              | 07.12.2013, 556                                                                                       | 18.04.2014, 64                                                                                                          | 18.04.2014, 1071                                                                 | 18.04.2014, 1135                                                                                                 |
| 2014–2015 | 14.08.2014–15.05.2015                                     | 4354                                                                                                              | 14.08.2014, 0                                                                                         | 27.04.2015, 2433                                                                                                        | 27.04.2015, 1312                                                                 | 27.04.2015, 3745                                                                                                 |
| 2016–2017 | 09.11.2016–31.05.2017                                     | 4412                                                                                                              | 09.11.2016, 300                                                                                       | 31.05.2017, 1779                                                                                                        | 31.05.2017, 1340                                                                 | 31.05.2017, 3119                                                                                                 |
| 2018–2019 | 15.09.2018–25.04.2019                                     | 1509                                                                                                              | 15.09.2018, 1578                                                                                      | 11.04.2019, 1637                                                                                                        | 11.04.2019, 998                                                                  | 11.04.2019, 2635                                                                                                 |
| 2019–2020 | 11.10.2019–22.05.2020                                     | 1327                                                                                                              | 0                                                                                                     | 05.04.2020, 534                                                                                                         | 05.04.2020, 922                                                                  | 05.04.2020, 1456                                                                                                 |
| 2020–2021 | 02.02.2021–25.04.2021                                     | 426                                                                                                               |                                                                                                       | 0                                                                                                                       | 11.04.2021, 657                                                                  | 11.04.2021, 657                                                                                                  |
| 2021–2022 | —                                                         | 202                                                                                                               |                                                                                                       |                                                                                                                         | 0                                                                                | 0                                                                                                                |

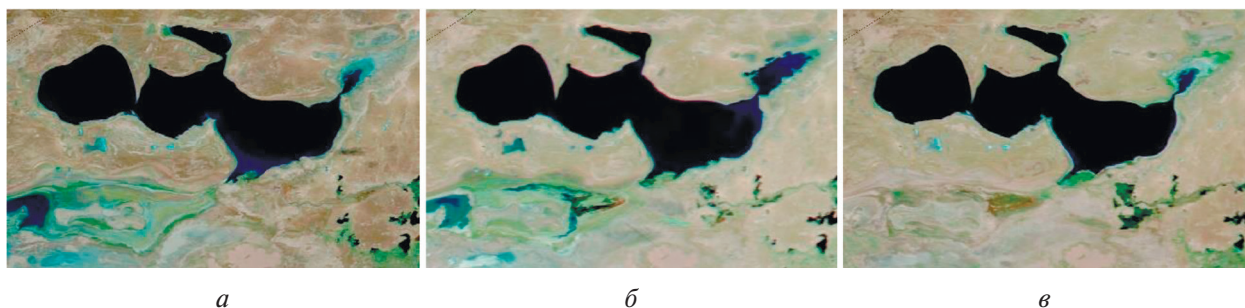


Рис. 8. Северный и Промежуточный Арал: а — 07.11.05.terra.721.30m; б — 05.11.18.terra.721.30m; в — 10.10.22.terra.721.30m

Таблица 2. Расход воды р. Сырдарьи в год в гидроузле Аклак

| Год                             | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|
| Расход, млн м <sup>3</sup> /год | 3033 | 2069 | 1427 | 872  | 551  |

В табл. 2 показано, что годовой расход воды р. Сырдарьи в гидроузле Аклак уменьшился с 3033 млн м<sup>3</sup>/год в 2018 г. до 551 млн м<sup>3</sup>/год в 2022 г., т. е. в 5,5 раз. На рис. 8 изображены снимки Северного и Промежуточного Арала, полученные с разрешением в 30 м. На самом северо-востоке Северного Арала находится зал. Сары-Чеганак (см. рис. 1). Снимок за 07.11.2005 (см. рис. 8а) сделан в год строительства капитальной Кокаральской плотины. На рис. 8б показан снимок, полученный 05.11.2018. Этот год был последним перед началом периода маловодности в р. Сырдарье, когда уровень воды в Северном Арале ещё равнялся 42 м. Снимок,

приведённый на *рис. 8в*, получен 10.10.2022. На этих изображениях видно, что к 2022 г. расход воды р. Сырдарьи уменьшился в районе гидроузла Аклак до такой степени, что этой воды не хватает не только на обводнение Промежуточного и Восточного Арала, но даже для поддержания уровня Северного Арала, из-за чего стало обнажаться дно в зал. Сары-Чеганак.

## Выводы

К 2009 г. дно восточной части бывшего Аральского моря (Восточного Арала) в результате высыхания оголилось настолько, что появилась возможность отслеживать со спутника маршрут движения вод, поступающих в Восточный Арал за счёт сброса вод Сырдарьи из Северного Арала через Кокаральскую плотину. В статье рассмотрены все такие случаи заполнения Восточного Арала водами Сырдарьи. Для каждого случая определены даты начала и конца сброса вод. Показано, что сброс вод происходит в осенне-зимне-весенний период. Вычислены максимальные площади зеркала вод Восточного Арала, полученные в результате такого сброса.

Для каждого случая сброса вод через Кокаральскую плотину (с момента начала сброса вод и до его окончания) рассчитан суммарный расход воды Сырдарьи в гидроузле Аклак, который находится в 15 км выше по течению от места впадения реки в Северный Арал.

Подробно рассмотрено движение вод, полученных за счёт сброса из Северного Арала в 2014–2015 гг. Этот случай интересен тем, что к 2014 г. вода в Восточном Арале высохла полностью, а в результате заполнения водами Сырдарьи максимальная площадь зеркала вод в Восточном Арале достигла 2433 км<sup>2</sup>. Показано, как бывший зал. Тше-Бас заполняется водами Сырдарьи из Промежуточного Арала с юга после достижения определённого уровня, достаточного для преодоления перемычки, разделяющей эти два бассейна.

Обнаружено накопление воды и формирование небольшого озера во впадине глубиной около 3 м в северо-западной части Восточного Арала, у входа в пролив Узун, которой нет на батиметрической карте, построенной в условно-естественный период. Показано, что, несмотря на ввод в эксплуатацию Кокаральской плотины, в рассмотренный период Восточный и Промежуточный Арал продолжали получать в результате попусков значительное количество воды, которого хватало на обводнение и того, и другого. Определяющее значение имеет водность р. Сырдарьи в районе гидроузла Аклак.

Показано, что после 2018 г. начался период маловодности Сырдарьи, в результате которого годовой расход воды реки в гидроузле Аклак уменьшился с 3033 млн м<sup>3</sup>/год в 2018 г. до 551 млн м<sup>3</sup>/год в 2022 г., т.е. в 5,5 раз. Этой воды оказалось недостаточно даже для того, чтобы поддерживать уровень в 42 м в Северном Арале, вследствие чего стал быстро мелеть зал. Сары-Чеганак, находящийся на северо-востоке Северного Арала. В связи с этим прекратился и сброс воды через Кокаральскую плотину, что привело к тому, что в настоящее время воды нет ни в Промежуточном, ни в Восточном Арале.

## Литература

1. Аладин Н. В. Плотина жизни или плотина длиною в жизнь. Часть первая. «Пролог» или Первая Пятилетка (1988–1992 гг.) // Астраханский вестн. эколог. образования. 2012. № 3(21). С. 206–216.
2. Аладин Н. В., Ермаханов З. К., Миклин Ф., Плотников И. С. Каким может быть будущее Аральского моря? // Природа. 2017. № 9. С. 26–39.
3. Кузьмичёва Т. Ф. Об особенностях восточной части бывшего Аральского моря на современном этапе на основе анализа спутниковых снимков Aqua/Terra (2000–2020 гг.), Landsat-8 и Sentinel-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 202–212. DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-202-212.



## On filling of the eastern part of the former Aral Sea due to water discharge through the Kokaral Dam from analysis of Aqua/Terra satellite images

T. F. Kuzmichyova

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

By 2009, the bottom of the eastern part of the former Aral Sea (Eastern Aral Sea) was so exposed as a result of drying that it became possible to track from the satellite the movement of waters entering the Eastern Aral Sea due to water discharge from the Northern Aral Sea through the Kokaral Dam. The article considers all such cases of filling of the Eastern Aral Sea. The water discharge start and end dates are defined for each case. The maximum areas of the Eastern Aral Sea formed as a result of such a discharge were calculated. For each case of water discharge, the total water consumption of the Syr Darya River in the Aklak hydroelectric complex, which is located 15 km upstream from the confluence of the Syr Darya River into the North Aral, near the village of Karateren, was calculated. The movement of waters occurred due to discharge from the Northern Aral Sea in 2014–2015, when the area in the Eastern Aral Sea increased from 0 to the maximum value of 2,433 km<sup>2</sup>, is considered in most detail. It is demonstrated how the former Tshche-Bas Bay is filled with these waters from the south after reaching a certain level, sufficient to overcome the sill separating the Tshche-Bas Bay from the Intermediate Aral Sea. The formation of a separate reservoir was discovered in a small depression about 3 m deep at the northwestern end of the Eastern Aral Sea, at the entrance to the former Uzun Strait, which was not on a bathymetric map built during the pre-desiccation period. It is shown that despite the commissioning of the Kokaral Dam, during the considered period of time, the Eastern and Intermediate Aral continued to receive sufficient water as a result of discharges. The water content of the Syr Darya River in the area of the Aklak hydro complex is of decisive importance. It was established that after 2018 the period of relative low water content of the Syr Darya River began, as a result of which the annual runoff of the Syr Darya River at the Aklak hydro complex decreased from 3,033 million m<sup>3</sup>/year in 2018 to 551 million m<sup>3</sup>/year in 2022, i.e. by a factor of 5.5. This water amount was not enough even to maintain a level of 42 m in the North Aral, as a result of which the Sari-Cheganak Bay, located in the northeast of the North Aral Sea, quickly became shallow. Of course, the discharge of water through the Kokaral Dam also ceased, leaving no water in either the Intermediate or Eastern Aral.

**Keywords:** Aral Sea, East Aral, North Aral, water discharge through Kokaral dam, water consumption in the Syr Darya River, Aklak hydro complex, Aqua/Terra satellites

Accepted: 28.03.2023

DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-2-205-215

## References

1. Aladin N. V., A life dam or a life-long dam. Part one. "Prologue" or the First Five-Year Plan (1988–1992), *Astrakhanskii vestnik ekologicheskogo obrazovaniya*, 2012, No. 3(21), pp. 206–216 (in Russian).
2. Aladin N. V., Ermakhanov Z. K., Miklin F., Plotnikov I. S., What could be the future of the Aral Sea? *Priroda*, 2017, No. 9, pp. 26–39 (in Russian).
3. Kuzmichyova T. F., On the peculiarities of the eastern part of the former Aral Sea at the present stage based on the analysis of satellite images Aqua/Terra (2000–2020), Landsat-8 and Sentinel-2, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, Vol. 17, No. 5, pp. 202–212 (in Russian), DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-202-212.