

МОНИТОРИНГ ЛЕДОВОГО ПОКРЫТИЯ АРАЛЬСКОГО МОРЯ ПО СНИМКАМ, ПОЛУЧЕННЫМ В 2008-2010 ГГ. СО СПУТНИКОВ AQUA/TERRA СКАНЕРОМ MODIS

Т.Ф. Кузьмичева

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

В настоящей работе анализируются снимки, полученные в 2008 – 2010 годах со спутников AQUA/TERRA сканирующим радиометром MODIS. Описывается изменчивость Аральского моря в зимний период.

Введение. Проблемы Аральского моря находятся в настоящее время в центре внимания всей мировой научной общественности и по масштабам экологической катастрофы занимают одно из первых мест в мире.

Аральское море расположено в зоне пустынь Средней Азии, в Туранской низменности, у восточного края плоскогорья Устюрт. Это бессточный водоем, имеющий характерные морские и озерные черты. Водный и солевой балансы моря, его гидролого-гидрохимический режим, биологическая продуктивность, а также существование самого моря как географического объекта в значительной степени определяются притоком двух среднеазиатских рек – Амударьи и Сырдарьи. В начале 60-х годов началось существенное уменьшение притока речных вод в море, которые уходили, главным образом, на нужды ирригации. Вследствие этого оно стало постепенно мелеть и осолоняться. Согласно [1,2], полный период высыхания (1960-е годы – 2011 гг.) можно разделить на три этапа. Первый, включающий около 3-х десятилетий (1960 – поздние 1980-е годы), может быть назван «ранним периодом высыхания». Он характеризуется постепенным накоплением линейных изменений физических свойств воды со временем.

Быстрый переход к качественно новому, второму этапу высыхания, произошёл в начале 1990-х гг., когда морфологические изменения акватории,

продолжающиеся обмеление и осолонение пересекли некоторую критическую черту. В целом этот этап может быть охарактеризован как катастрофическая стадия высыхания моря. Аральское море стало качественно другим. К сожалению, этот этап почти не задокументирован. Из-за распада Советского Союза не проводилось практически никаких исследований.

Наконец, к концу первого десятилетия 21-го века начался новый, третий этап, который, по мнению [1,2], непосредственно предшествует стабилизации моря. Зеркало поверхности моря к этому времени сократилось настолько, что даже небольшие объёмы остаточных речных стоков (а также, возможно, существующий в определённом объёме сток в море подземных вод) способны компенсировать испарение. Этот этап будет, по видимому, характеризоваться большой изменчивостью состояния восточного бассейна Аральского моря, который при сравнительно небольших изменениях поступающих в него стоков сможет принимать состояния от почти полного высыхания (что и наблюдалось летом 2009 г.) до относительной полноводности, теряя и вновь приобретая связь с западным бассейном.

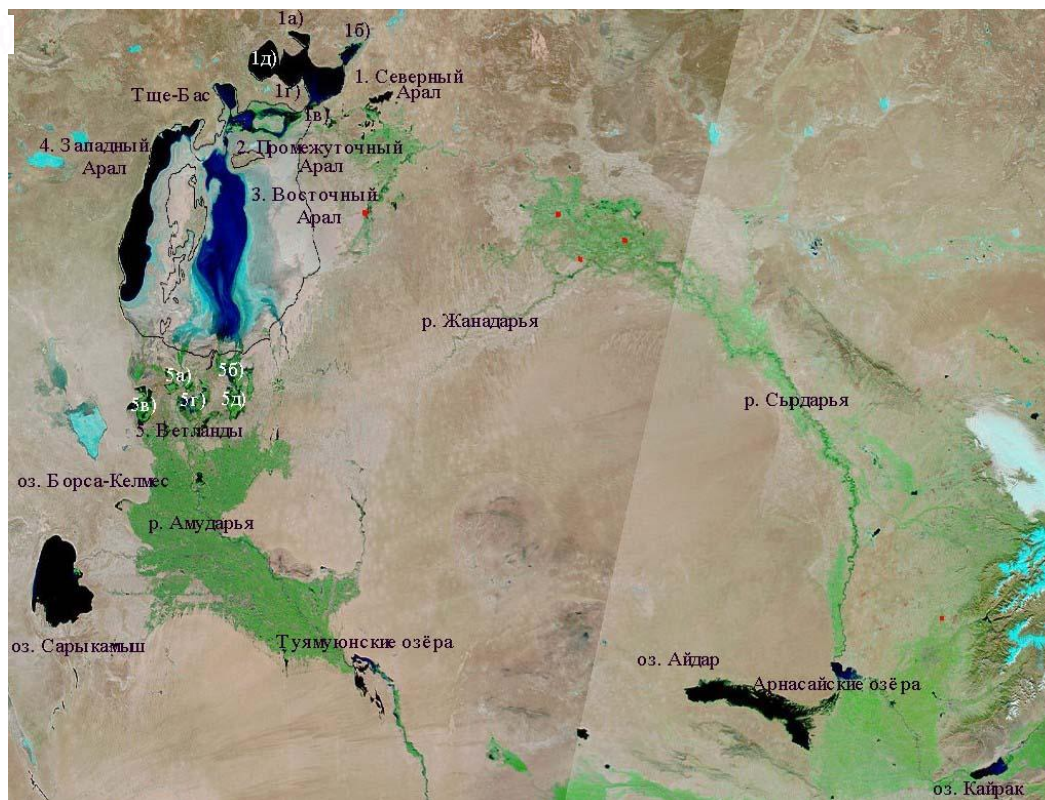
В последние 20 лет регулярные наблюдения на море резко сократились или даже прекратились совсем. Это было вызвано, в частности, катастрофическим по масштабу смещением береговой линии, в результате чего ранее находившиеся у моря гидрометеорологические станции оказались на суше, а многие районы Арала из-за бездорожья стали труднодоступными в транспортном отношении. В настоящее время основным, если не единственным, источником информации о море является космический мониторинг и отдельные экспедиционные работы.

В данной работе анализируются снимки, полученные в 2008 – 2010 годах со спутников AQUA/TERRA сканером MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer - сканирующий спектро-радиометр среднего разрешения). Отслеживается изменчивость Аральского моря в зимний период.

Адрес сайта:
<http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/subsets/?subset=CentralAsia1.2009084&altdates>.

Результаты анализа спутниковых снимков. Зима 2007.-2008 годов. Из-за отсутствия данных спутников

AQUA/TERRA осенью – зимой 2007 года, для анализа были привлечены данные спутников *NOAA* за тот же период (тональные, разрешение 1 км).

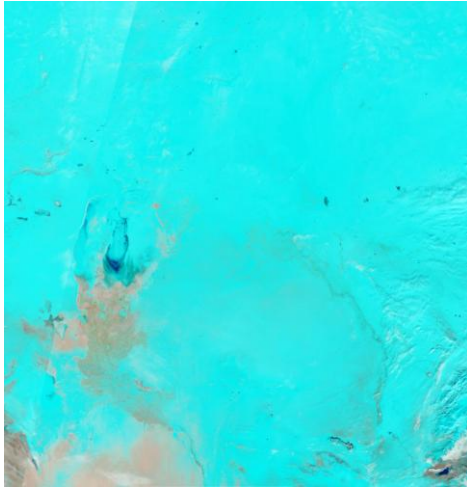


Р и с. 1. Снимок района Приаралья, полученный 09.10.10 со спутника *TERRA*; 1а) – залив Бутакова, 1б) – залив Сары-Чеганак, 1в) – пролив Берга, 1г) – залив Нессельроде, 1д) – залив Шевченко. Цифрами 5 обозначены ветланды; 5а) – Муйнак-Рыбачье, 5б) – Джилтыр-Бас-2, 5в) – Судочье, 5г) – Междуречье, 5д) – Джилтыр-Бас

С 07.01.08 на Землю стали поступать цветные снимки, полученные со спутников *AQUA/TERRA* сканирующим радиометром *MODIS*. Анализ снимков показывает, что январь 2008 года выдался снежным и морозным. Снегом засыпано всё южное Приаралье до 40° с.ш. (широта Ферганской долины). Льдом покрыто не только Аральское море (свободной ото льда оставалась только самая южная часть Восточного Арала с высокосолёными водами), но и лежащие гораздо южнее озеро Сарыкамыш, Чардаринское водохранилище и Арнасайские озёра. По озеру Айдар плавают глыбы льда, северо-восточная часть этого озера оказалась скованной мощным припаем. В конце января (начиная с 26-го, 27-го числа) подул южный ветер, из-за чего стал та-

ять снег в долине реки Амударья. Очень быстро, 02.02.08, он сменился новым снегопадом. 08.02.08 началась новая волна потепления, когда стал таять лёд в южной, восточной и западной частях Восточного Арала и в центральной части Западного Арала.

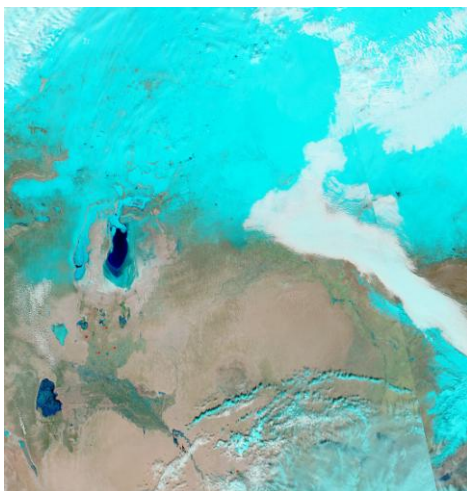
Озеро Айдар, находящееся на юго-востоке Приаралья, ещё почти полностью покрыто громадными глыбами льда (снимок за 09.02.08), а озеро Кайрак, находящееся у входа в Ферганскую долину (самый крайний нижний правый угол того же снимка), почти полностью растаяло. На этом снимке вода испаряется из озера в виде крохотных облачков (плюмов), объединившихся в небольшое облако, повисшее над озером.



Р и с. 2а. Снимок за 09.02.08, спутник *TERRA*



Р и с. 2б. Тот же снимок, озёра Айдар и Кайрак крупным планом



Р и с. 3. Снимок за 29.02.08, спутник *AQUA*

К 27.02.08 озеро Айдар полностью освободилось ото льда. К 29.02.08 во всём Приаралье, расположенном южнее 44° с.ш., растаял снег. Восточный Арал, находящийся южнее этой широты, свободен ото льда. На снимке за 29.02.08 года (внизу) видна целая гряда малень-

ких облачков (плюмов), в форме которых испаряется из земли влага.

К 12.03.08 растаял снег в северном Приаралье. Сплошным льдом покрыты Северный Арал (сквозь тонкий лёд просвечивает вода), Промежуточный Арал и пролив, соединяющий Восточный Арал с Промежуточным. Западный Арал почти полностью покрыт отдельными плавающими глыбами, в Восточном Арале большими глыбами льда покрыта только самая северная часть; узкая вереница больших глыб льда тянется приблизительно вдоль меридиана $59^{\circ} 40'$ в.д. от 45° с.ш. до $45^{\circ} 30'$ с.ш..

К 21.03.08 сплошным слоем льда покрыты Северный Арал и Промежуточный Арал. В бывшем заливе Тще-Бас и проливе, соединяющем Восточный Арал с Промежуточным, остались только крупные плавающие глыбы. В Восточном Арале лёд полностью растаял. В Западном остался только узкий припай вдоль восточного берега. К 31.03.08 лёд оставался только в Северном Арале.

К 08.03.08 лёд растаял полностью. Воды в нём оказалось больше, чем осенью 2007 года, до начала замерзания. Промежуточный Арал полностью заполнился водой. С заливом Тще-Бас его соединяют узкая, а с Восточным Аралом широкая протока шириной ≈ 18.5 км. Ветланды Судочье и Джилтырбас так же заполнены водой.

Весна, лето и осень 2008 года не были сухими и жаркими. Один за другим над Аральским морем проходили циклоны с обильными осадками. Тем не менее, к 10.09.08, Промежуточный Арал и протоки, соединяющие его с заливом Тще-Бас и Восточным Аралом, высохли полностью. К началу замерзания из всех ветландов, находящихся южнее Восточного Арала (бывшее дно), осталось немного воды только в ветланде Джилтыр-Бас. Остальные высохли полностью. Северный Арал и Восточный Арал сильно обмелели.

Зима 2008 – 2009 годов. Зима 2008-2009 годов выдалась малоснежной, мяг-

кой и поздней. 12.12.08 с запада пришёл циклон, принёсший сильные снегопады. На открывшемся 22.12.08 из-под облаков Северном Арале северная (заливы Бутакова и Сары-Чеганак) и южная его части оказались скованными льдом. Снег покрыл северное и южное Приаралье. К 23.12.08 льдом покрыт почти весь Северный Арал. Ледяной припай появился в южной части залива Тше-Бас, бухты Чернышёва и в юго-восточной части Западного Арала, примыкающей к заливу Чернышёва. На этих же снимках с юга идёт волна тёплого воздуха, которая, смешавшись с холодными массами, пришедшими с севера, превратилась в мощный вихрь, $800 \times 800 \text{ км}^2$, повисший 26.12.08 над Приаральем. К 29.12.08 Северный Арал покрылся льдом полностью. Причём северные бухты Бутакова и Сары-Чеганак и южная и юго-восточная части оказались под толстым слоем льда, а северо-западная часть под тонким, из-под которого просвечивала вода. Точно таким же льдом покрыты бывший залив Тше-Бас и залив Чернышёва (самая северная часть Западного Арала). Восточный Арал зимой 2008 – 2009 года не замерзал совсем. В Западном Арале покрылся льдом только бывший залив Чернышёва (самый север), небольшая прилегающая к нему часть и подводные вершины, появившиеся в северной четверти Западного Арала. 7-го – 8-го января с юга пришла новая волна тёплого воздуха, попытавшаяся растопить в Приаралье снег. 11-го – 12-го января пришла ещё одна южная волна, более мощная. 20-го января подул южный ветер, продолжавшийся до конца февраля. К 12.02.09 снег растаял до середины Восточного Арала ($\approx 45^\circ \text{ с.ш.}$). Начал таять лёд в бывших заливах Чернышёва и Тше-Бас. Зима не собиралась сдаваться и 24.02.09, в районе Туямуюнских озёр, появилась полоса снега, шириной приблизительно 40 км, а длиной $\approx 350 \text{ км}$. Этот снег продержался 4 дня и растаял.

Циклоны, пришедшие в начале марта с запада, к 20.03.09 растопили снег вокруг Северного Арала и лёд в заливе Чернышёва и в северо-восточной части залива Тше-Бас. К 27.03.09 лёд полностью растаял в заливе Тше-Бас. В глубоководном Западном Арале оставался припай вдоль восточного берега и стационарные льдины на севере, которые образовались на подводных вершинах в верхней трети этого водоёма. Северный Арал ещё полностью покрыт подтаявшим льдом. Весь апрель над Аралом проходили дождевые циклоны, которые к 14-му апреля полностью растопили лёд в Северном Арале.

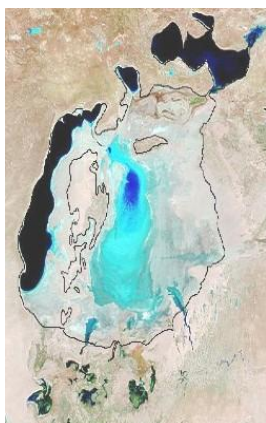


Р и с. 4. Подводные вершины на севере Западного Арала. 27.03.09, спутник *TERRA*

На снимке за 27.03.09 года хорошо видны особенности рельефа дна в верхней трети западного Арала, на которых нарастает стационарный лёд.

После того, как лёд и снег в Приаралье растаяли, воды в Восточном Арале не прибавилось. Сухим также оказался и Промежуточный Арал, т.е. зима эта была мало снежной.

Весной, летом и осенью 2009 года выпало много осадков, несколько мощных циклонов прошло над Аральским морем в августе. Тем не менее, глубоководная часть Восточного Арала существенно уменьшилась. Аральское море потеряло много воды и приобрело вид, изображённый на спутниковом снимке за 18.11.09.



Р и с. 5. 18.11.09, спутник *TERRA*

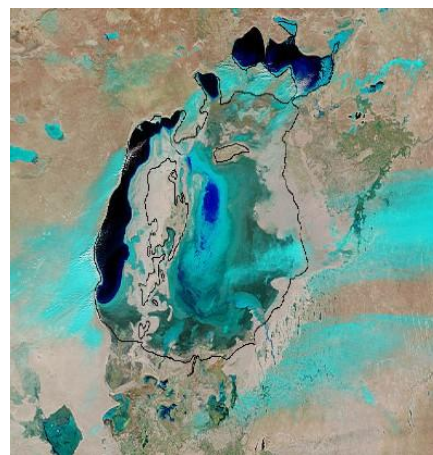
Глубоководная часть занимает небольшое озерце, расположенное приблизительно между широтами $45^{\circ} 07'$ с.ш. и $45^{\circ} 30'$ с.ш. (т.е. в длину приблизительно около 43 км). Мелководная же часть занимает по длине приблизительно такую же область, как и весной этого же года. По ширине километров на 20 меньше. В Промежуточном Арале и в проливе, соединяющем Промежуточный и Восточный Аралы, воды нет совсем.

В то же время ветланды и русла левой протоки Амударья, впадавшей в Муйнакский залив, и реки Жанадарья, проложенные в своё время водами этих рек по дну Аральского моря, заполнились водой. Одной из причин может быть сильная жара, из-за которой выпавшая в виде дождя вода сразу же испарялась, а интенсивное таяние из-за жары ледников в горах Тянь-Шаня, Гиндукуша и Памира привело к относительной полноводности рек Амударья и Сырдарья. По-видимому, по этой же причине (таяние ледников), 16.09.09 в районе с координатами приблизительно $44^{\circ} 11'$ с.ш., $59^{\circ} 40'$ в.д (юг Восточного Арала), появилось маленькое озерце. Такое же озерце появилось чуть южнее, на самом северо-западе ветланда Джилтырбас-2.

Бухта Сары-Чеганак в Северном Арале так же заполнилась водой по сравнению с тем же временем 2008 года.

Зима 2009 – 2010 годов. С 20-го ноября Аральское море покрыто густыми низкими облаками. В изредка откры-

вающиеся окошки видно, что льёт сильный дождь. На очистившейся от облаков 7-го декабря северной части Аральского моря видно, что дует сильный северо-восточный ветер и залив Сары-Чеганак начинает покрываться льдом.



Р и с. 6. 08.12.09, спутник *TERRA*

К 8-му декабря льдом уже полностью покрыты заливы Сары-Чеганак и Бутакова. Вся южная часть Северного Арала (от северо-западной части до пролива Берга), покрылась ледяным припаем, восточная часть (от пролива Берга до залива Сары-Чеганак) – сплошным льдом, покрытым трещинами. Появился ледяной припай в заливе Тше-Бас и ледяные глыбы на подводных вершинах на севере Западного Арала.

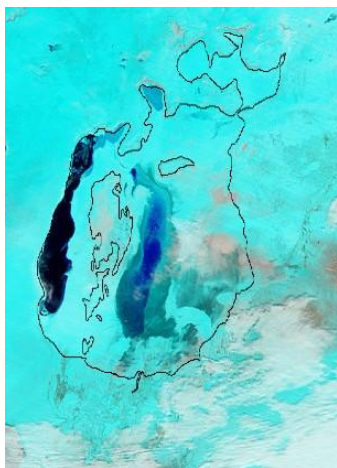
Льдом также покрыты ветланды и бывшие русла (в том числе и подводные, проходящие по дну Аральского моря) реки Жанадарья и левой протоки реки Амударья (при этом снега во всём Приаралье нет). 9-го декабря льдом покрыта восточная треть Северного Арала, до залива Нессельроде. 12-го декабря стало промерзать мелководье средней части Северного Арала, находящееся на западе и севере средней части. С 14-го декабря Аральское море покрыто низкими густыми облаками.

В условно-естественный период (до 1960-го года) лёд на юге Аральского моря появлялся приблизительно на 2 неде-

ли позже, чем на севере [3]. В современный период лёд на севере и юге появился одновременно, что стало одной из особенностей современного периода.

Всю зиму с юга идут волны тёплого воздуха, которые, смешиваясь с холодным воздухом, пришедшим с северо-востока и востока, приводят к снежным вихрям и снегопадам. Похолодание сменяется потеплением. Пришедший с востока снежный циклон засыпал к 27-му декабря снегом западное и северное Приаралье. Северный Арал полностью покрылся льдом. 30.12.09 началась новая снежная буря, которая продолжалась до 06.01.10. К 09.01.10 тонким слоем льда покрыты залив Тше-Бас и бухта Чернышева (самая северная часть Западного Арала), вдоль восточного берега Западного Арала появился припай.

На снимке за 24.01.10 отчётливо видно, что левое русло реки Амударья (до $\approx 44^{\circ} 15'$ с.ш.) и русло реки Жанадарья (до $\approx 44^{\circ} 25'$ с.ш., восточнее 60° в.д.) покрыты толстым слоем льда со снегом.

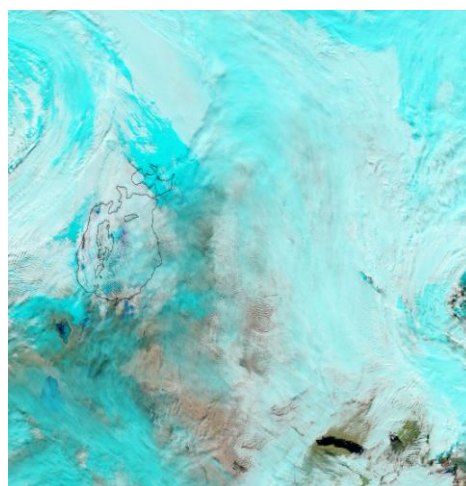


Р и с. 7. 24.01.10, спутник *TERRA*

В Западном Арале на этом же снимке покрыта льдом только самая северная часть, примыкающая к бухте Чернышева; в верхней трети этого водоёма плавают отдельные льдины. К 30.01.10 снегом покрыто всё Приаралье до широты, находящейся приблизительно у южной

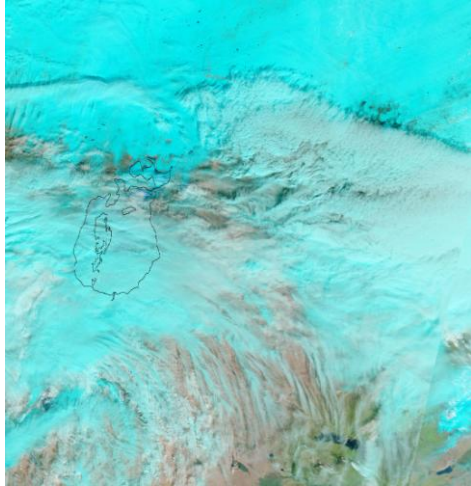
границы озера Борса-Кельмес. В начале февраля (1-го - 4-го числа) началось потепление (на что указывают лёгкие облачка (плюмы) над землёй), которое растопило плавающие льдины в северной трети Западного Арала, оставив только льдины стационарные. Очень быстро это потепление сменилось новым витком похолодания. 05.02.10 пришёл снежный циклон, покрывший снегом южное Приаралье до Гуямуюнских озёр, за исключением долины реки Сырдарья. К 07.02.10 южная треть Западного Арала покрылась льдом, к 14.02.10 льдом покрылся весь Западный Арал. Южная и северная части покрыты сплошным льдом, середина – плотно сбившимися большими ледяными полями. 16-го февраля началась новая волна потепления.

На снимке за 24-е февраля видно, что над Приаральем повисли два мощных вихря; один с центром на северо-западе, другой с центром на юго-востоке. Пришедший с юга тёплый воздух растопил к 27.02.10 снег южнее и восточнее Аральского моря и лёд в центральной части Западного Арала.



Р и с. 8. 24.02.10, спутник *TERRA*

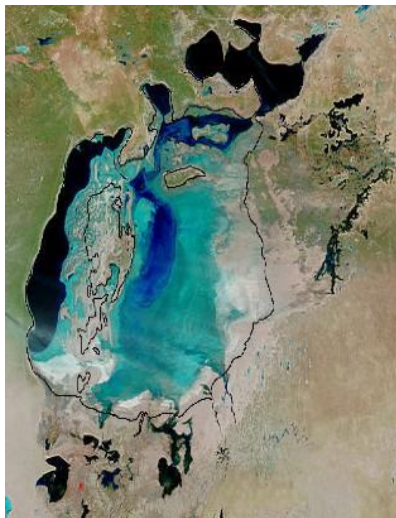
01.03.10 с юга пришла новая волна тёплого воздуха. Тёплый циклон, пришедший с юго-запада, вытеснил холодный воздух, снимок за 10.03.10.



Р и с. 9. 10.03.10, спутник *TERRA*

К 12.03.10 начал таять лёд в устье реки Жанадарья. 13.03.10 с юго-запада пришёл новый циклон, который растопил снег к северу от Аральского моря, лёд в ветландях и в устье Амударьи. В Западном Арале лёд остался только на самом юге и севере (бывший залив Чернышёва и серия подводных возвышений на севере). В бывшем заливе Тше-Бас остались отдельные льдины на востоке.

К 26.03.10 лёд полностью растаял на юге Западного Арала и в заливе Тше-Бас. К 04.04.10 лёд растаял в водоёме, соединяющем Северный и Восточный Аралы. 05.04.10 с запада пришёл мощный циклон. До 18.04.10 Аральское море закрыто плотным слоем облаков. К 18.04.10 Аральское море полностью очистилось ото льда.



Р и с. 10. 18.04.10, спутник *TERRA*

Если сравнить снимок до начала замерзания (18.11.09) и снимок за 18.04.10, когда лёд и снег полностью растаяли, то хорошо видно, что воды в Аральском море стало намного больше. Увеличилась площадь, покрытая водой, в заливе Сары-Чеганак (Северный Арал). Заполнились водой Промежуточный Арал и пролив, соединяющий Промежуточный и Восточный Аралы. Глубоководная часть Восточного Арала опустилась к югу до широты $\approx 44^{\circ} 50'$ с.ш., т.е. приблизительно на 31.5 километра. Мелководная часть опустилась к югу приблизительно до широты $\approx 44^{\circ} 12'$ с.ш. Заполнен водой ветланд Джилтырбас-2. Левая и правая протоки реки Амударья и река Жанадарья доходят теперь до Аральского моря. Всё это говорит о том, что зимой 2009-2010 годов выпало достаточно осадков в виде снега.

Выводы. 1. Зима 2007-2008 годов выдалась очень снежной и морозной. Устойчивый ледяной припай появился в Северном Арале в 20-х числах ноября. Практически одновременно появился лёд в Восточном Арале, солёность которого на порядок выше, но глубина значительно меньше, чем в Северном Арале. Снегом было засыпано всё Приаралье до широты Ферганской долины. Ледяной припай и плавающие глыбы льда появились в слабо солёных Арнасайских озёрах, расположенных на той же широте.

Восточная и западная части Арала были полностью покрыты льдом (100%-е покрытие), с той лишь разницей, что Западный Арал полностью покрылся льдом на 3 недели позже (27-го января), чем Восточный (1 – 7-го) января, несмотря на то, что солёность в нём в 2 раза ниже (104 ‰), чем в Восточном Арале (211 ‰).

С юга, вдоль долины реки Амударья, часто поступали потоки тёплого воздуха, приносящие с собой оттепель, которая затем быстро сменялась новыми снегопадами и заморозками.

К 8-му апреля Аральское море было полностью свободным ото льда. Воды в

нём оказалось больше, чем осенью 2007 года, до начала замерзания.

В северной части Западного Арала, примыкающей к заливу Чернышёва, появилась подводная вершина, которая ранее скрывалась под толщей вод.

2. Зима 2008 – 2009 годов выдалась малоснежной, мягкой и поздней. Первый снег, покрывший Приаралье до широты озера Сарыкамыш, выпал с 12-го по 22-е декабря. В это же время появился и лёд в Северном Арале.

Всю зиму, начиная с декабря месяца, с юга шли, волна за волной, потоки тёплого воздуха.

Восточная часть Южного (Большого) Арала зимой 2008 – 2009 года не замерзала совсем. В Западном Арале покрылся льдом только бывший залив Чернышёва (самый север), небольшая прилегающая к нему часть и подводные вершины, появившиеся в северной четверти Западного Арала, всего около 10 % всей площади Западного Арала.

Полностью лёд растаял 14-го апреля 2009 года. Воды в Восточном Арале не прибавилось. Сухим так же оказался и Промежуточный Арал, т.е. зима эта была мало снежной.

3. К зиме 2009 года Аральское море очень высохло. Глубоководная тёмно-синяя часть сжалась до размеров небольшого озера, в длину приблизительно около 43 км. Мелководная же часть, окрашенная голубым цветом, занимает по длине приблизительно такую же область, как и весной этого же года. По ширине приблизительно километров на 20 меньше.

В то же время ветланды и бывшие русла рек Амударья и Жанадарья заполнились водой. На юге Восточного Арала появилось маленькое озерце. Точно такое же озерце появилось чуть южнее, на самом северо-западе ветланда Джилтырбас-2.

Первый лёд появился на несколько недель раньше (7-го декабря), чем выпал первый снег (25-го декабря).

В условно-естественный период (до 1960-го года) лёд на юге Аральского моря появлялся приблизительно на 2 недели позже, чем на севере. Зимой 2009 – 2010 года лёд на севере и юге появился одновременно. В это же время появились и ледяные глыбы на подводных вершинах на севере Западного Арала.

Всю зиму с юга идут волны тёплого воздуха, которые, смешиваясь с холодным воздухом, пришедшим с северо-востока и востока, приводят к снежным вихрям и снегопадам.

На снимке за 24-е января отчётливо видно, что русло реки Амударья и русло реки Жанадарья, проходящие по бывшему дну Аральского моря, покрыты толстым слоем льда со снегом.

На снимке за 24-е февраля видно, что над Приаральем повисли два мощных вихря; один с центром на северо-западе, другой с центром на юго-востоке.

К 18-му апреля Аральское море полностью очистилось ото льда. Воды в нём стало намного больше, чем осенью 2009 года, до начала замерзания, т.е. зимой 2009 – 2010 года выпало много осадков в виде снега.

На севере Западного Арала хорошо просматриваются несколько подводных вершин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Zavialov Peter*. Physical oceanography of the dying Aral Sea./ Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 2005. – 146 p.
2. *Завьялов П.О. и др.* Большое Аральское море в начале XXI века: физика, биология, химия. – М.: Наука, 2012. – 229 с.
3. *Бортник В.Н., Чистяева С.П.* Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 7. Аральское море. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1990. – 196 с.