

**International conference
"Lakes of Eurasia - problems and solutions"**

Petrozavodsk, September 11-15, 2017

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre RAS

Plenary session on September 14

THE PAST AND FUTURE OF THE ARAL SEA

Aladin N.V.¹, Gontar V.I.¹, Zhakova L.V.¹,
Micklin P.², Plotnikov I.S.¹, Smurov A.O.¹

¹Zoological Institute RAS

²Western Michigan University, USA

**Международная конференция
«Озера Евразии - проблемы и пути решения»**

**Петрозаводск, 11-15 сентября 2017 г.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН**

Пленарная сессия 14 сентября

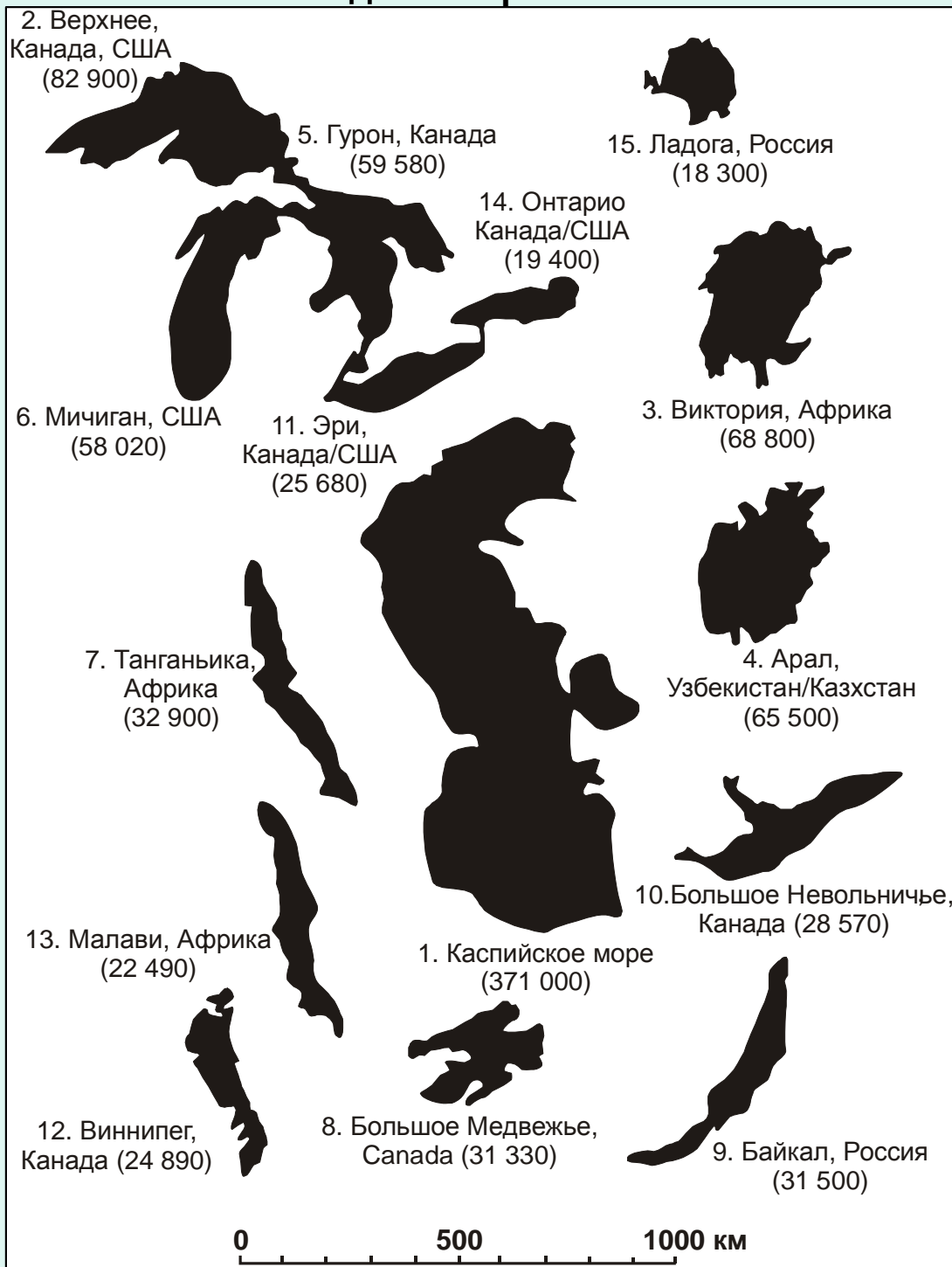
ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

**Аладин Н.В.¹, Гонтарь В.И.¹, Жакова Л.В.¹,
Миклин Ф.², Плотников И.С.¹, Смуров А.О.¹**

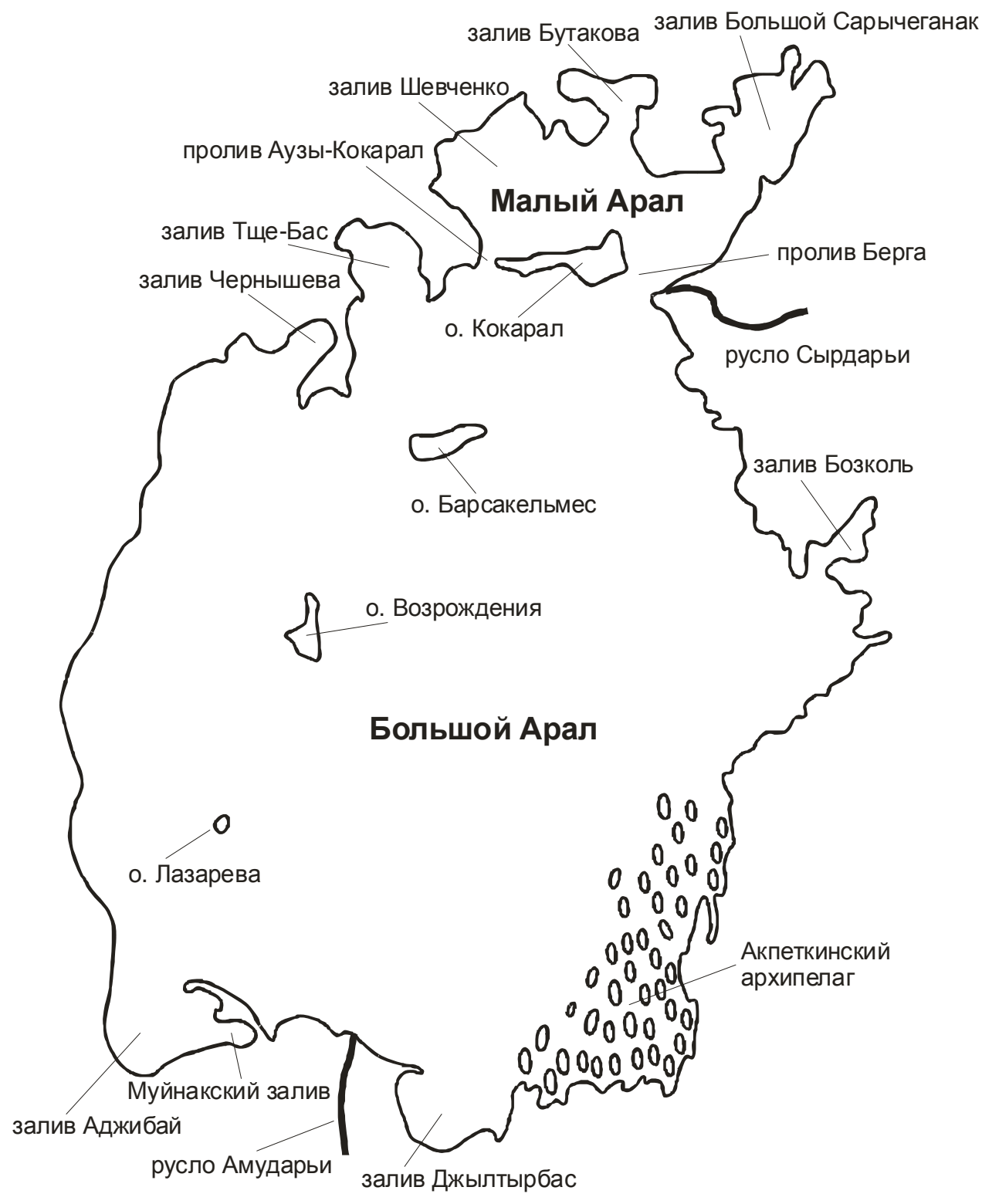
¹Зоологический институт РАН

²Западно-Мичиганский университет, США

Арал был четвертым в мире озером по площади водного зеркала



Карта Аральского моря, составленная по материалам экспедиции А. И. Бутакова в 1848-1849



- Аральское море – бессточное соленое озеро в пустынной зоне Средней Азии в Туранской низменности у восточной кромки плато Устюрт. В это озеро впадают только две реки – Сырдарья на северо-востоке и Амударья на юге.
- В Арале выделяют две главные его части: северную – Малое море или Малый Арал, и южную – Большое море или Большой Арал. Их связывали два пролива: узкий и мелководный пролив Аузы-Кокарал и широкий и глубокий пролив Берга.
- В свою очередь, эти части включают по несколько меньших котловин. При такой морфологии Аральское море при снижении уровня может разделяться на отдельные остаточные водоемы.
- Подводная гряда разделяет Большой Арал на глубоководную западную часть (максимальная глубина 69 м) и обширную восточную (максимальная глубиной 28 м).

Commonwealth of Independent States - Central Asian States



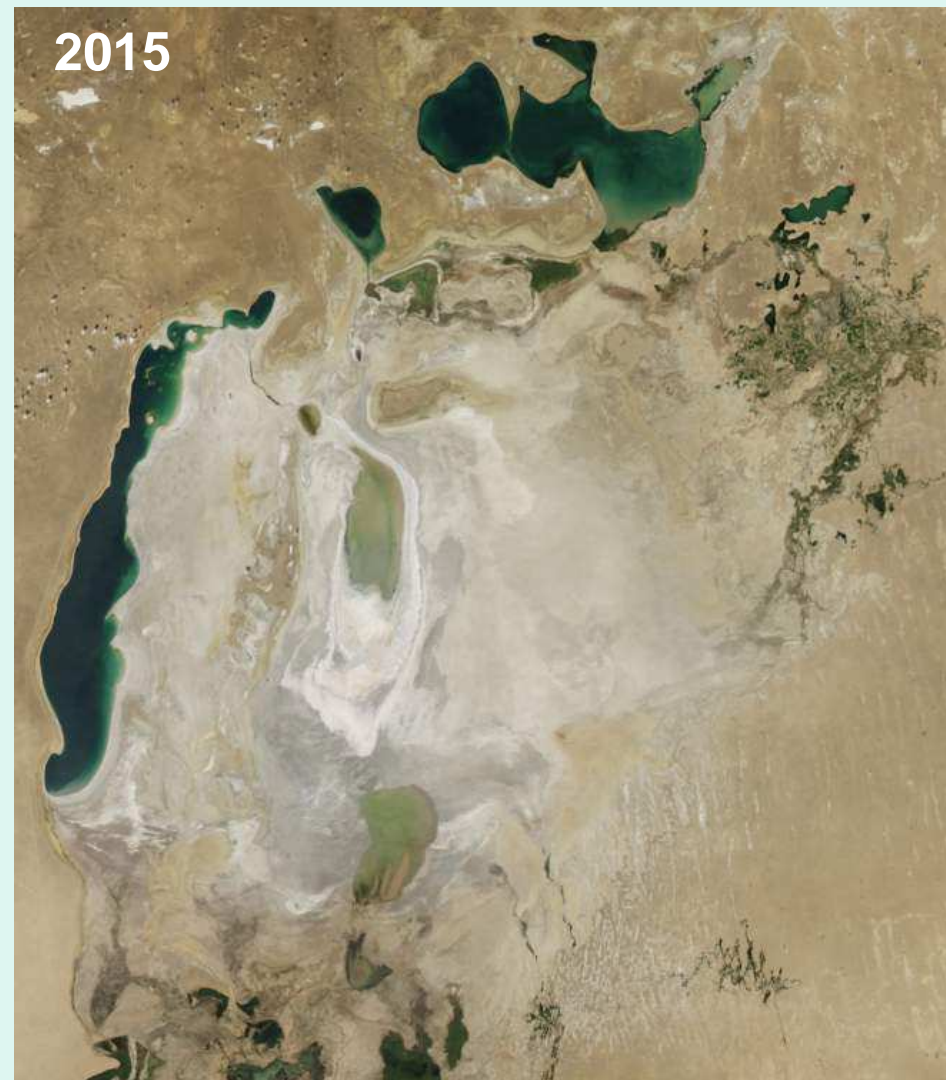
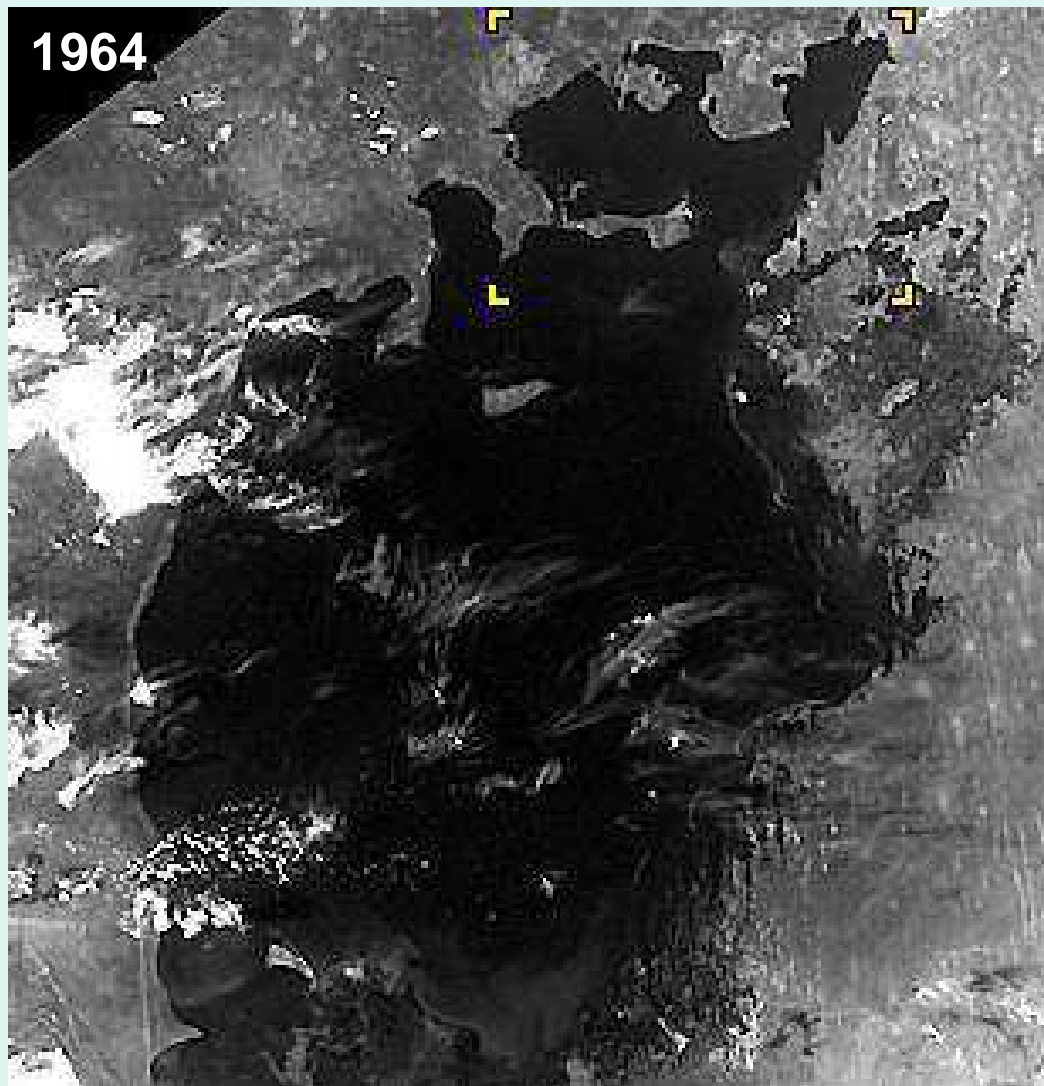
**Площадь бассейна Аральского моря
около 1.8 миллиона км²**

Аральское море в середине XX века имело следующие параметры

- Площадь 67499 км^2
Большой Арал 61381 км^2
Малый Арал 6118 км^2
- Объем 1089 км^3
Большой Арал 1007 км^3
Малый Арал 82 км^3
- Уровень $+53.4 \text{ м}$
- Максимальная глубина 69 м
- Соленость 10 г/л
- В Арале обитало около 20 видов рыб и не менее 200 видов свободноживущих беспозвоночных

- Объем воды в Аральском море и, соответственно, площадь и уровень поверхности, определяются водным балансом.
- Он складывается из стока рек Амударьи и Сырдарьи, основного источника воды, небольшого количества атмосферных осадков, притока подземных вод – приходная составляющая, очень значительного испарения с поверхности, а также небольшой фильтрации вод в берега и дно – расходная составляющая.
- Уровень Аральского моря никогда не оставался стабильным, так как на водный баланс влияли изменения климата, от которых напрямую зависел объем стока рек Амударьи и Сырдарьи. В бассейнах этих рек развито орошаемое земледелие, оказывающее сильное влияние на их сток на протяжении многих веков.

С 1960 г. Аральское море постоянно мелеет из-за изъятия речных вод на орошение



Август 2015 г.: площадь Арала – 8031 км² (12%), объем – 48 км³ (4.5%);
Большой Арал – 3900 км² (6%), 58 км³ (5.5%), соленость >100 г/л;
Малый Арал – 3300 км² (57%), 27 км³ (33%), соленость 6-7 г/л

Развитие орошения в бассейне Аральского моря



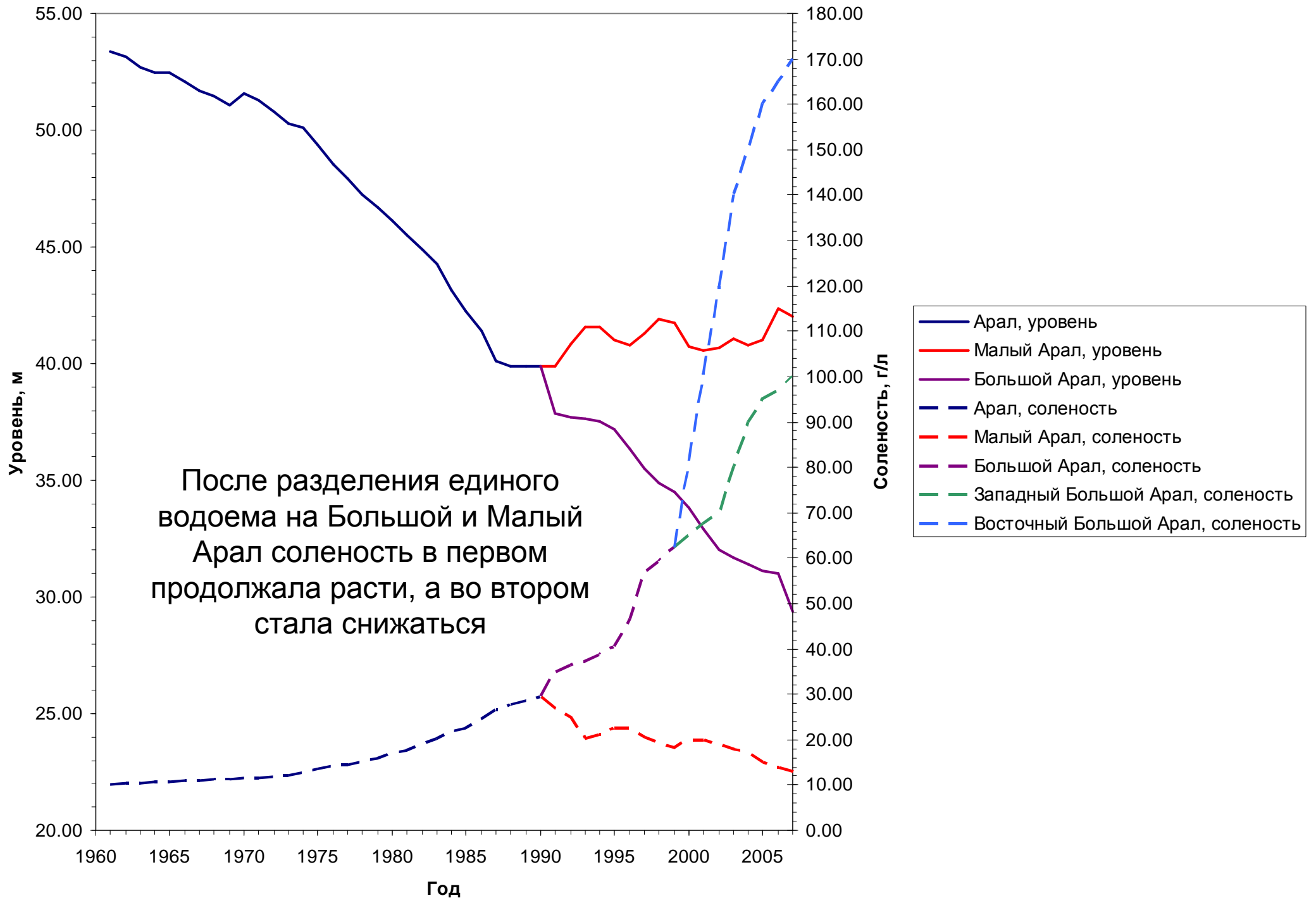
MAJOR IRRIGATION COMPLEXES IN THE ARAL SEA BASIN

-  main irrigation zones in the Aral Sea Basin
-  proposed Siberia-Aral Sea Canal

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 1. Kara-Kum Canal | 7. Surkhandar'ya Valley |
| 2. Amu Dar'ya Delta | 8. Golodnaya Steppe |
| 3. Amu-Bukhara Canal | 9. Fergana Valley |
| 4. Zeravshan Valley | 10. Middle Syr Dar'ya |
| 5. Karshi Steppe | 11. Kzyl-Orda Canal |
| 6. Middle Amu Dar'ya | 12. Syr Dar'ya Delta |

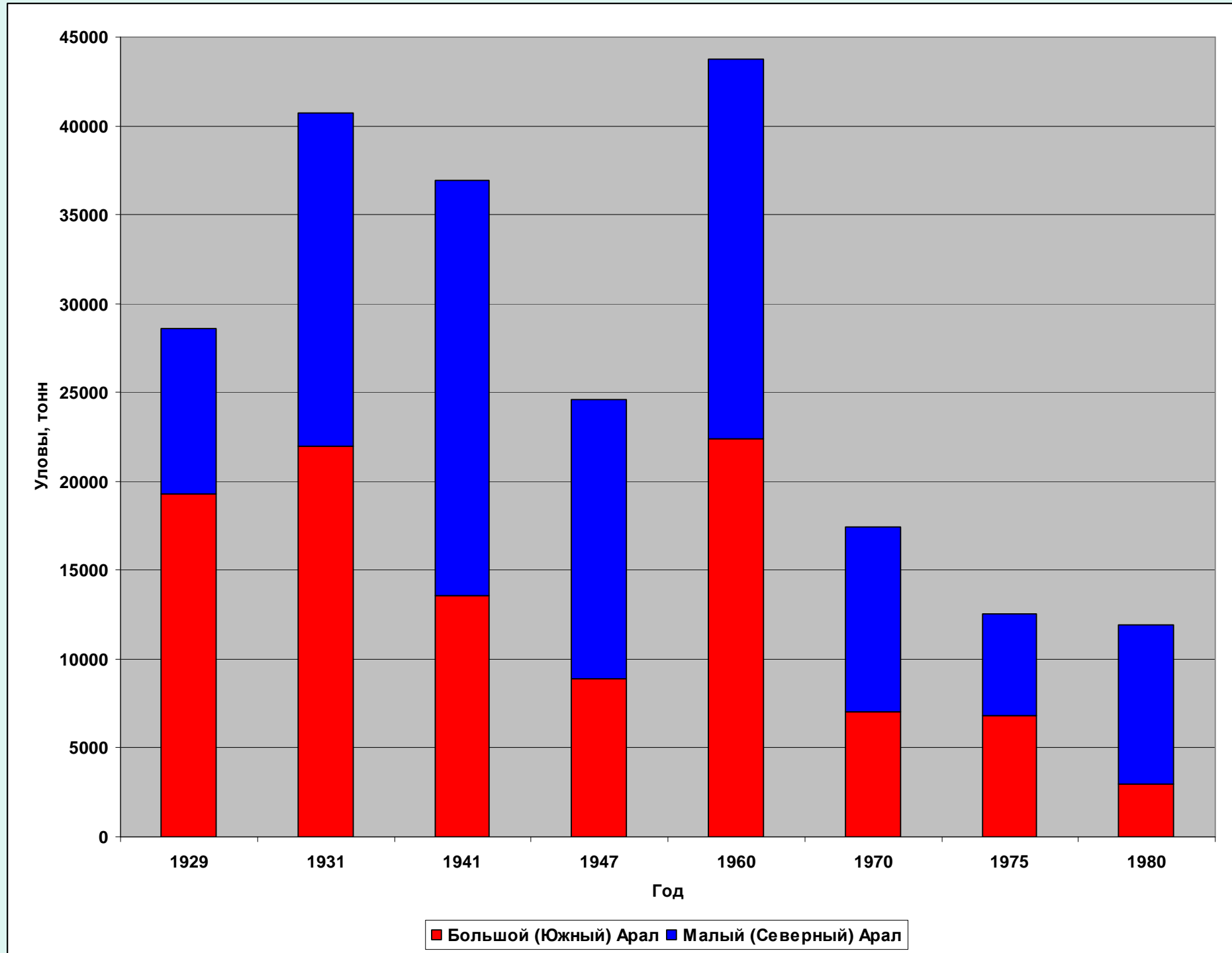
P. Micklin 2000

Изменение уровня и солёности Аральского моря

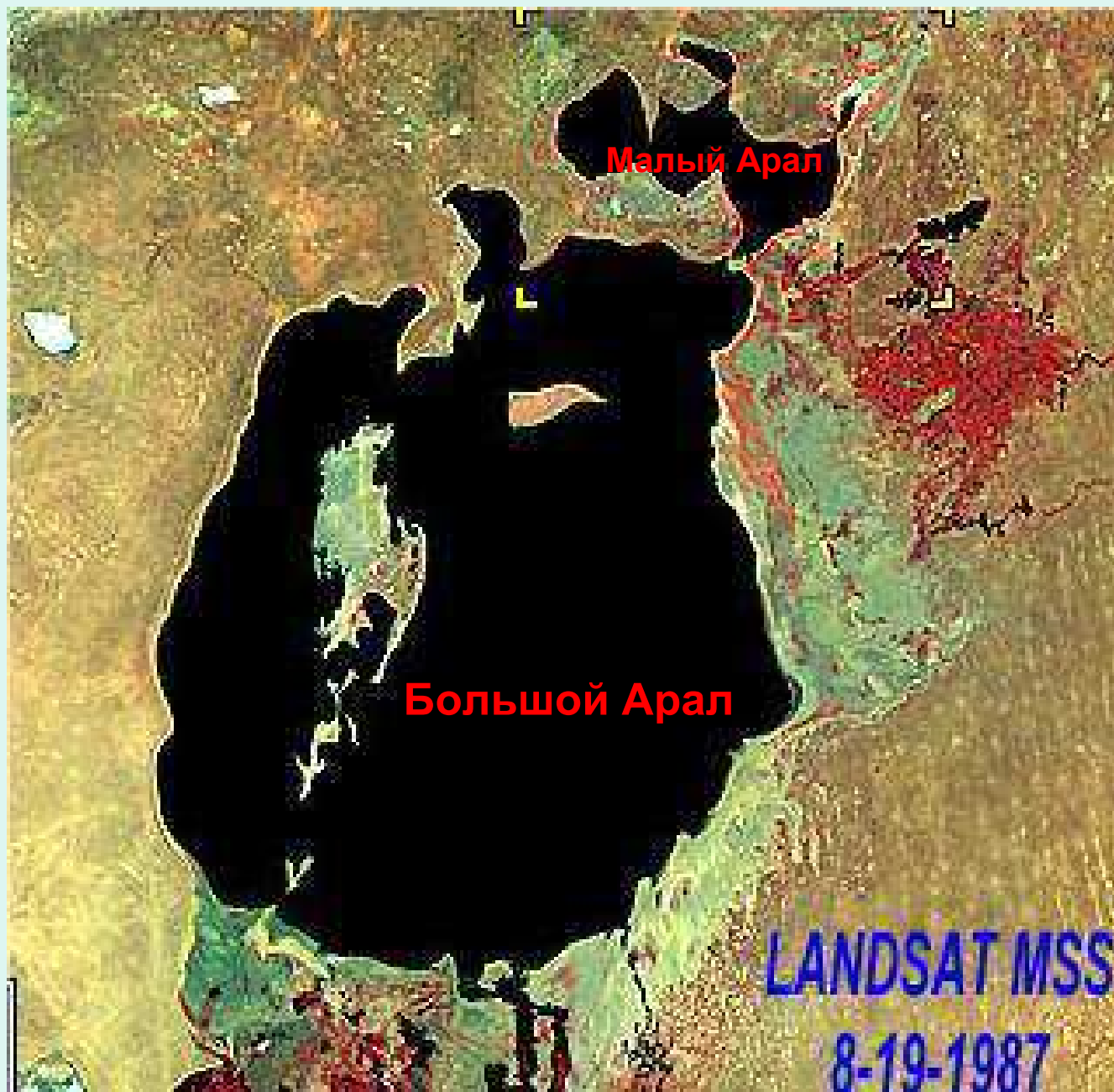


- Высыхание и осолонение Аральского моря привело к серьезным негативным последствиям для всей его биоты. Из-за роста солености катастрофически сократилось биоразнообразие.
- Исчезли пресноводные и солоноватоводные виды. В фауне свободноживущих беспозвоночных к концу 1980-х гг. осталось только небольшое число широко эвригалинных видов.
- Составлявшие основу промысла пресноводные рыбы исчезли в начале 1980-х гг.

Динамика уловов в Большом и Малом Арале



В конце 1980-х гг., когда уровень снизился на 13 м и достиг отметки +40 м, пересох пролив Берга, и Аральское море перестало быть единым водоемом и разделилось на Малый и Большой Арал.

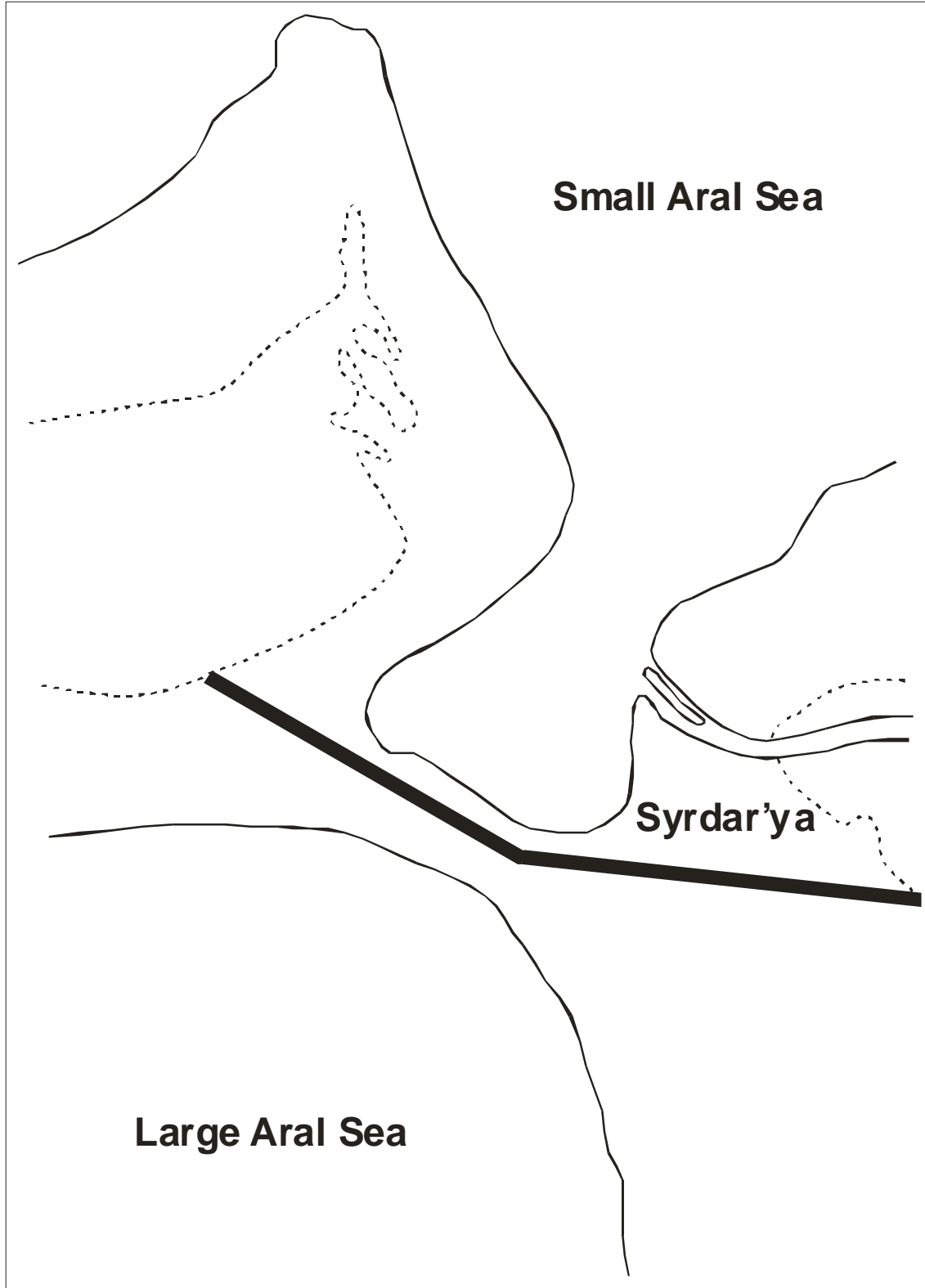


**Площадь 40000 км²
(60% от 1960 г.)**

**Объем 333 км³
(33% от 1960 г.)**

**Соленость 30 г/л
(10 г/л в 1960 г.)**

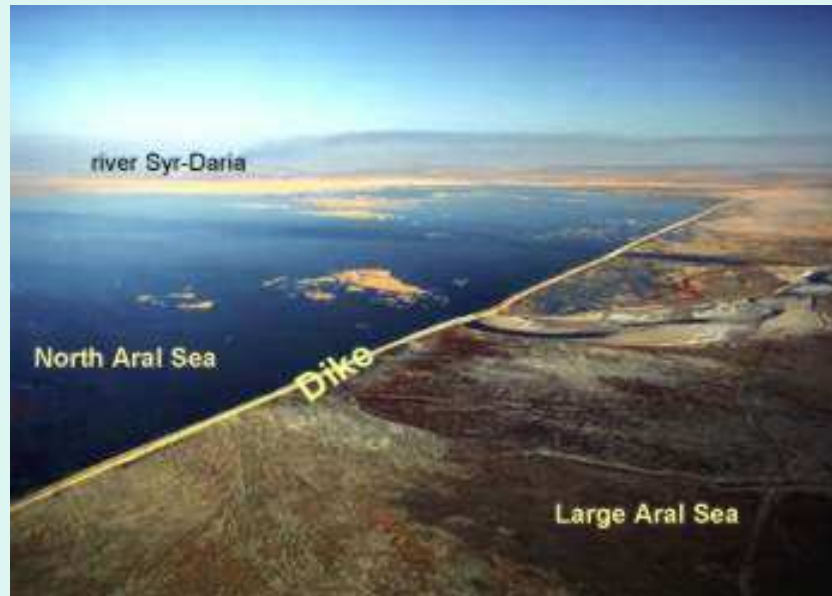
- После разделения Аральского моря избыток воды стал перетекать из Малого в Большой Арал.
- Чтобы удержать в Малом море стекающую из него воду, поднять его уровень и снизить соленость, в 1992 г. в проливе Берга была сооружена земляная плотина.
- Уровень Малого Арала повысился более чем на 1 м, рост солености прекратился, и она постепенно стала снижаться.
- Это создало условия для сохранения Малого Арала и последующего восстановления биоразнообразия.
- Данная плотина была ненадежной и не имела водопропускного устройства для сброса воды и предотвращения подъема уровня Малого Арала выше безопасной отметки. Из-за этого весной происходил прорыв плотины, но ее восстанавливали. В апреле 1999 г., плотина была сильно повреждена, и ее не стали восстанавливать.



**Плотина в проливе
Берга позволяет
сохранить Малый
(северный) Арал и
способствует
восстановлению его
биоразнообразия**

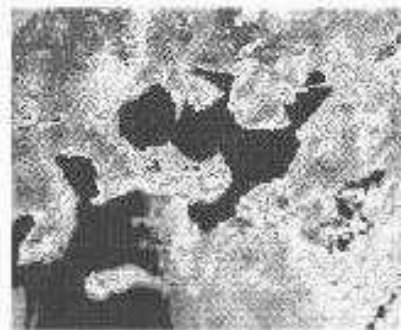
По: Aladin N.V., Plotnikov I.S., Potts W.T.W., 1995. The Aral Sea desiccation and possible ways of rehabilitation and conservation of its North part // Int. J. Environmetrics. Vol. 6: 17-29.

Плотина впервые была построена по нашему предложению в августе 1992 г.





19.04.99



21.04.99



22.04.99



24.04.99

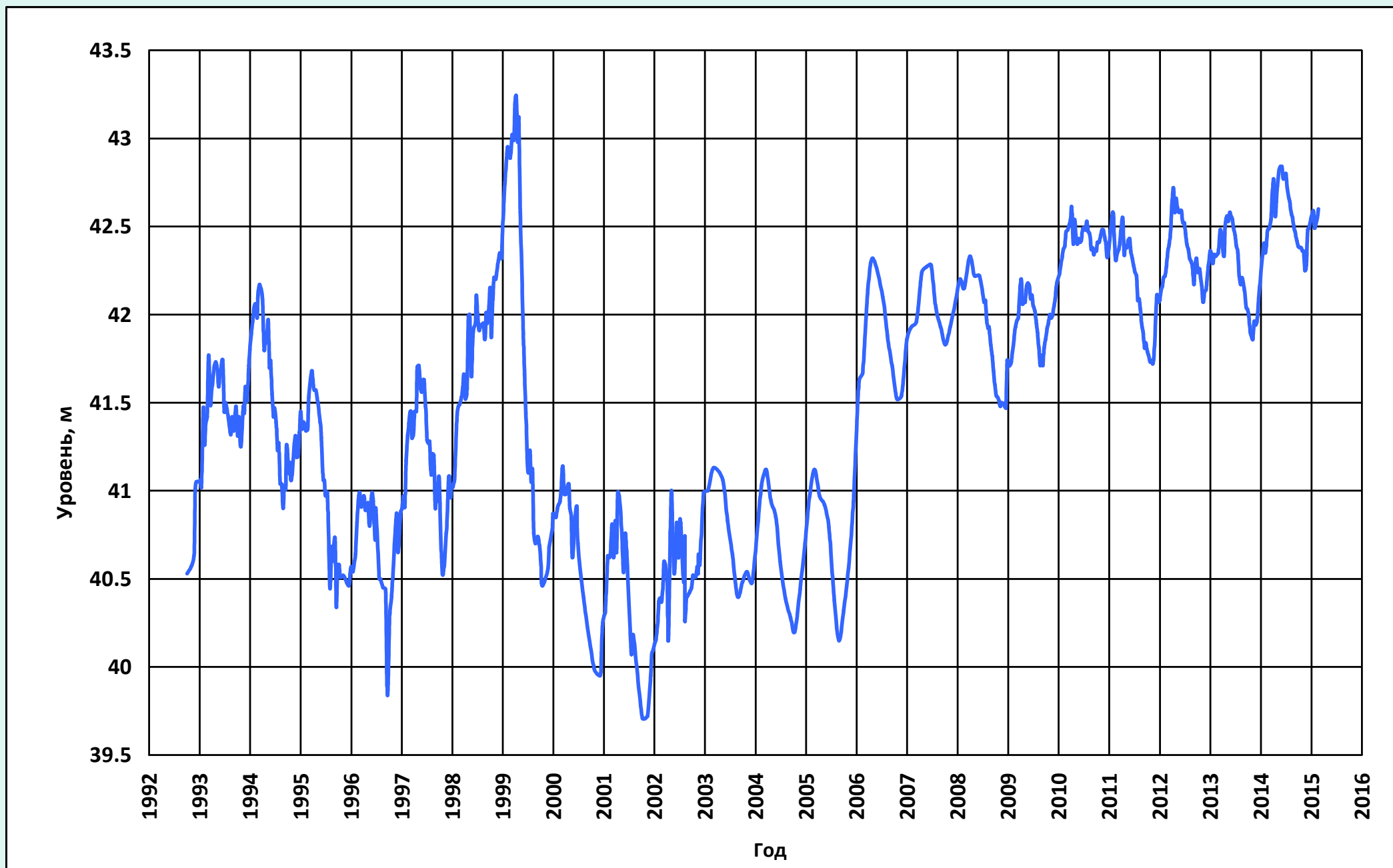


К сожалению, 20 апреля 1999 г. во время шторма волны разрушили дамбу. В это время на ней работали люди. Два человека утонуло, 27 рабочих были спасены лодками и вертолетами. Бульдозеры и самосвалы утонули в песке.

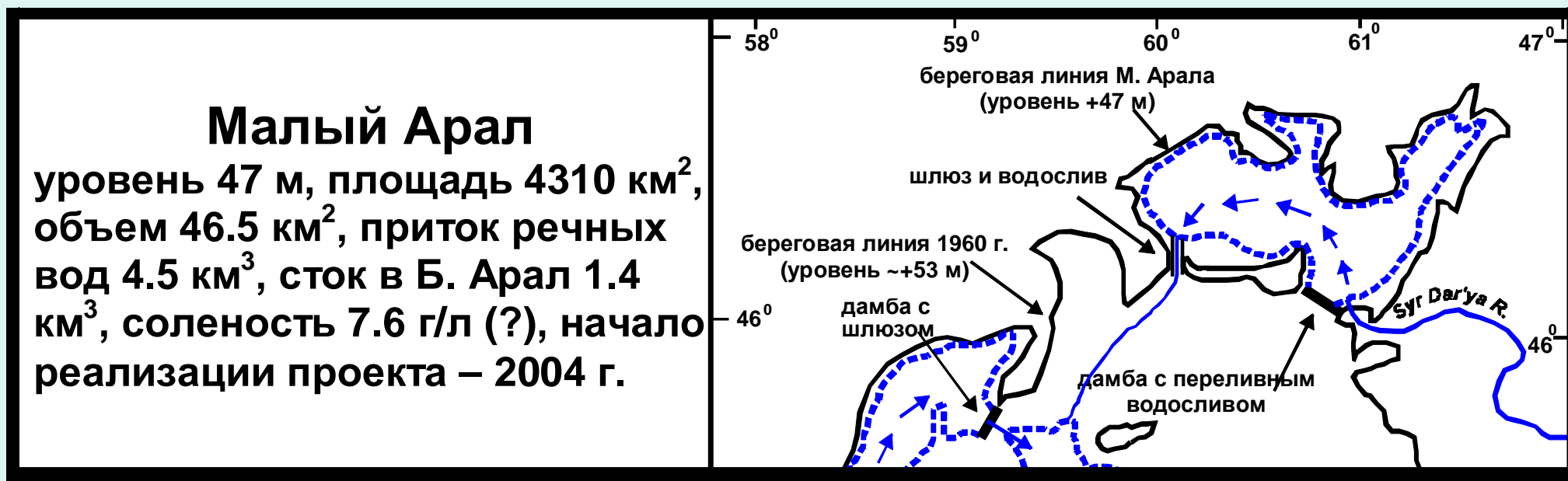
После возведения в 1992 г. первой плотины в проливе Берга на Малом Арале в конце XX века стал восстанавливаться рыбный промысел.



Весной 1999 г., когда уровень Малого Арала повысился более чем на 3 м, достигнув отметки +43.5 м, плотина полностью разрушилась (данные спутниковой альтиметрии, предоставлены J.-F. Cretaux)



Российская компания «Зарубежводстрой» благодаря финансированию Мирового банка приступила к строительству новой постоянной плотины и завершила его осенью 2005 г.



К сожалению, по ряду причин работы были выполнены по сокращенной схеме. Уровень Малого моря поднялся не до отметки +47 м, а только до отметки +42-43 м, что не позволило достичь ранее запроектированных объема и площади Малого Арала. Соленость в нем составила 11-14 г/л. Водослив на месте бывшего пролива Аузы-Кокарал построен не был, сооружен только главный водослив в проливе Берга.

Новая плотина, построенная российской компанией «Зарубежводстрой»

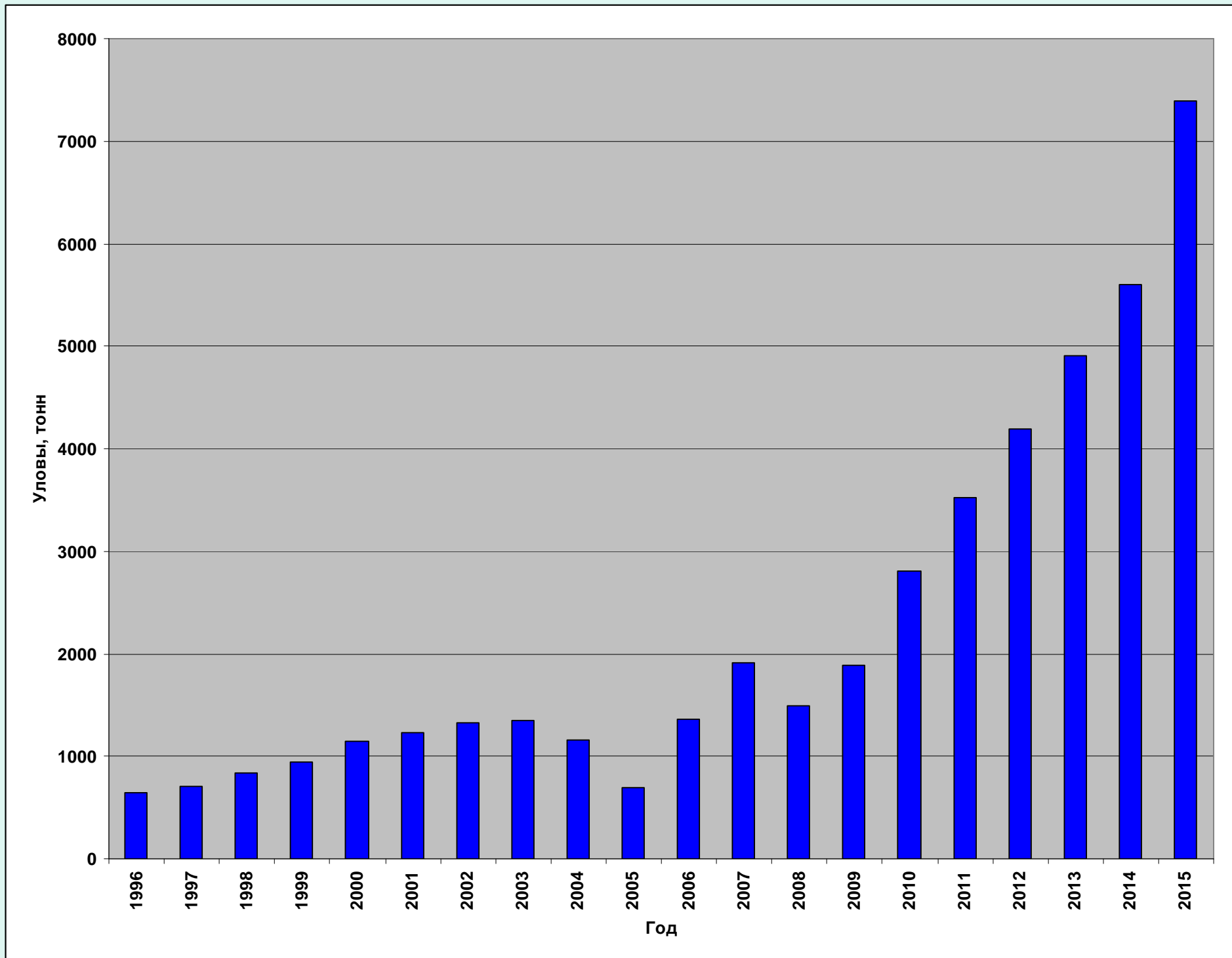


**Kok-Aral
Dam**

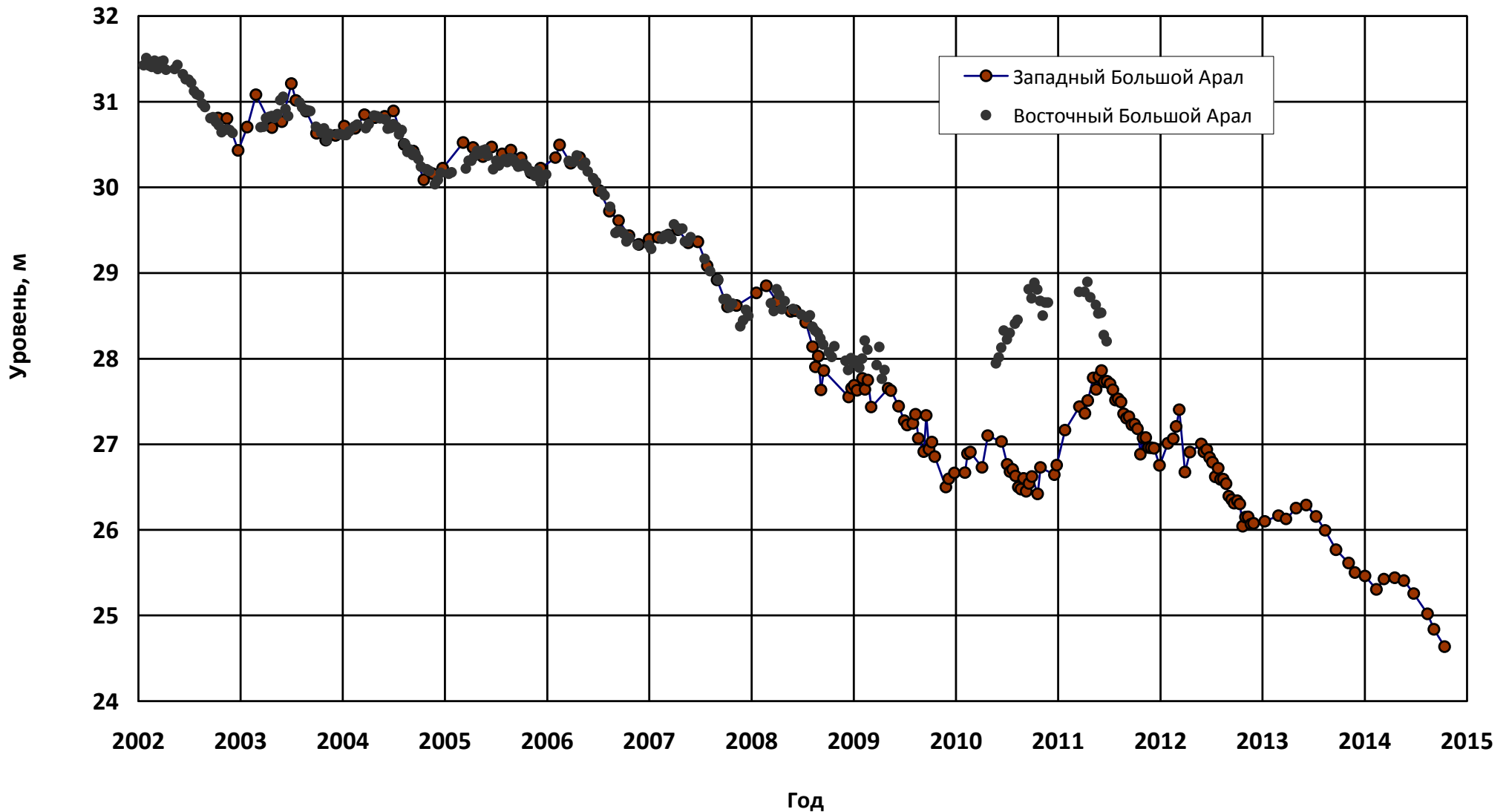


- Значительное снижение солености и образование сильно опресненной зоны около дельты Сырдарьи сделало возможным обратное вселение в Малое море естественным путем многих видов пресноводных и солоноватоводных беспозвоночных, а также пресноводных промысловых рыб, выпавших из фауны Арала из-за осолонения. Это – виды, обитающие в рефугиумах – Сырдарье и расположенных в ее низовьях и связанных с ней озерах, или же виды беспозвоночных, имеющие долго сохраняющие жизнеспособность покоящиеся яйца.
- К настоящему времени биоразнообразие в значительной степени восстановилось. Малом Арале вновь появились многие виды пресноводных и солоноватоводных беспозвоночных. Стало возможным возвращение в Малый Арал и процветание ценных промысловых пресноводных видов рыб, что позволило возродить промышленное рыболовство.
- С другой стороны, сильное снижение солености становится неблагоприятным для прежде многочисленных представителей морской фауны и солелюбивых видов.

Динамика уловов в Малом Арале

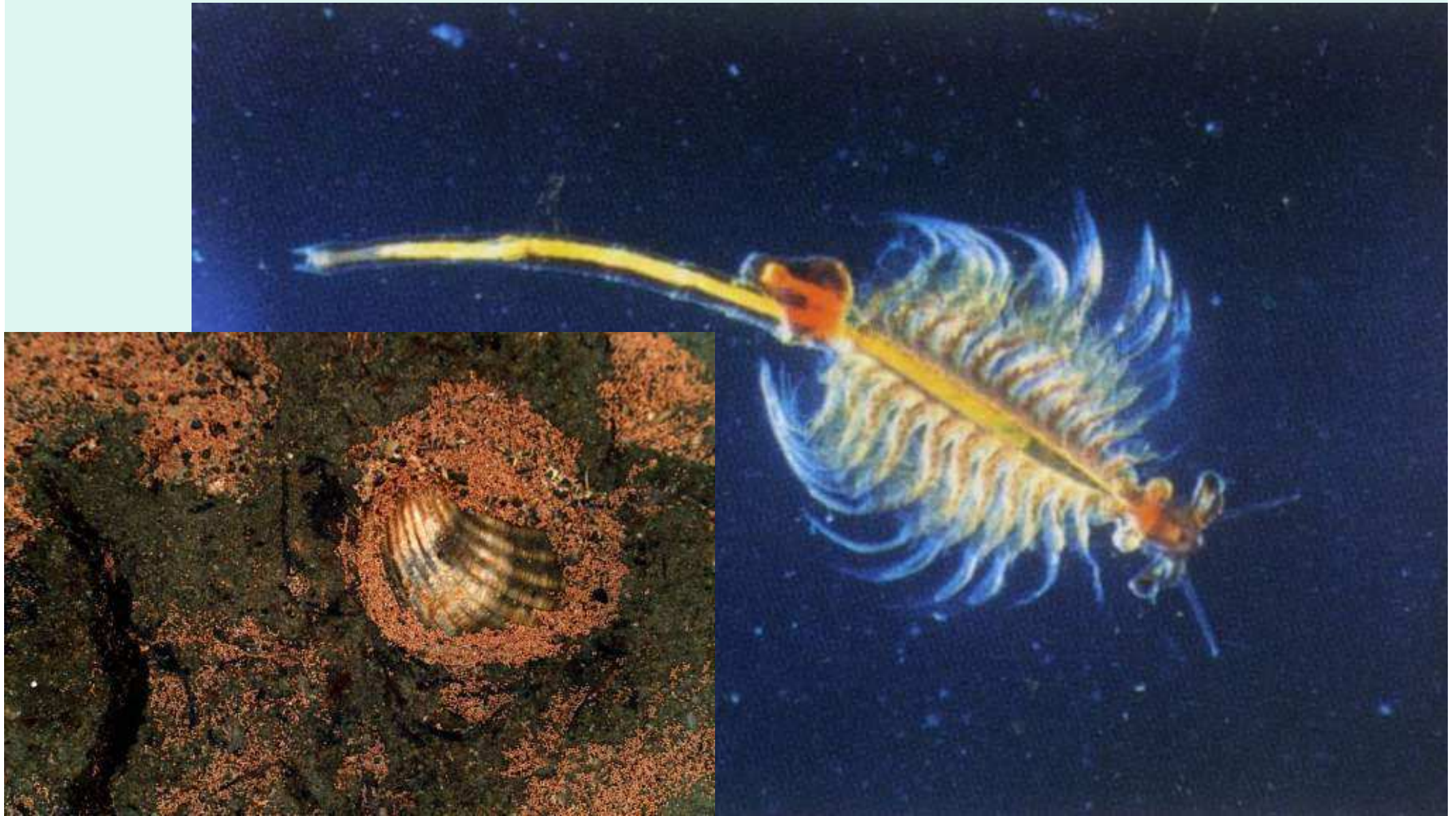


С момента разделения Арала на 2 озера в конце 1980-х гг. уровень Большого Арала неуклонно снижается (данные спутниковой альтиметрии, предоставлены J.-F. Cretaux)



- После разделения Аральского моря высыхание Большого Арала и рост его солености продолжились, и к концу 1990-х гг. он превратился в гипергалинный водоем. В 2000 г. соленость превысила 60 ‰, а к 2004 г. достигла 100 ‰.
- Продолжающееся падение уровня привело к разделению этой части Аральского моря на группу остаточных водоемов. В начале 2003 г. Большое море разделилось на глубокий Западный и мелководный Восточный Большой Арал, соединенные неширокой протокой. К 2006 г. от Восточного Большого Арала отделилась его наиболее глубокая часть – залив Тще-Бас.
- Во всех них исчезли рыбы, и выжило только несколько видов свободноживущих беспозвоночных. Туда вселился ряд галобионтов, в том числе рачок *Artemia*.

В конце XX века в Большом Арале появилась
Artemia parthenogenetica



Мешки с цистами *Artemia* на берегу Большого Арала

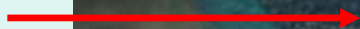


- За счет воды, стекающей из Малого Арала через Кок-Аральскую плотину в направлении остаточных водоемов Большого Аральского моря, образовалось большое мелководное озеро – Центральный Арал.
- Центральный Арал очень нестабилен. На протяжении года его площадь изменяется очень значительно. За зиму и весну оно значительно увеличивается, соленость снижается. Летом и осенью вода его площадь быстро сокращается, соленость растет, и в отдельные годы он может даже полностью высохнуть.
- Кроме существующей Кок-Аральской плотины можно построить еще одну плотину к югу от полуострова Куланды, регулирующую сток из Центрального Арала. Это позволило бы стабилизировать Центральный Арал.

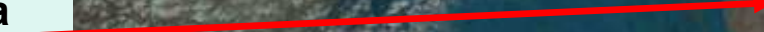


Центральный Арал, 3.10.2015. Светло-зеленый цвет – влажная почва, мелководья и гидрофитная растительность. Это – Центральный Арал в конце сухого периода (июль-ноябрь), когда в него мало сбрасывается воды из Малого Арала. Соленость Западного озера к концу этого периода, вероятно, довольно высокая (возможно, слишком высока для выживания любых рыб).

Залив Тще-Бас



**Остров посреди
Центрального Арала
(площадь = 276 км²)**



Центральный Арал, 23.01.2016. Центральный Арал во время влажного периода (с декабря по июнь), когда значительные объемы воды сбрасываются в него из Малого Арала из-за больших зимних попусков через Токтогульскую плотину на реке Нарын в Кыргызстане для выработки электроэнергии и нормального весеннего паводка. Минерализация озера в этот период низкая (могут выжить рыбы). Озеро покрыто льдом.

Сток воды из Малого Арала в остаточные водоемы Большого Арала



- В обозримом будущем возвращение Аральского моря к его состоянию в 1960 г. крайне маловероятно. Даже если объем речного стока увеличится до прежних 56 км³/год, то для полного восстановления этого озера потребуются очень большой срок, порядка 100 лет.
- Однако весьма перспективны сценарии дальнейшего частичного восстановления Арала.

- Можно поднять до отметки +50 м уровень только части Малого моря – залива Большой Сарычеганак. Для этого необходимо перенаправить часть стока Сырдарьи в этот залив по каналу, а в горле залива построить плотину с водосбросом.
- Если ежегодно подавать в это водохранилище 1 км^3 воды, то оно может наполниться примерно за 10 лет, а если 1.5 км^3 – то за 6 лет. Для компенсации потерь воды в канале потребуется еще ежегодно около 0.2 км^3 .
- Этот водоем будет почти пресноводным с соленостью $< 2 \text{ ‰}$. В нем сформируется фауна пресноводного типа. Он начнет заселяться пресноводными гидробионтами за счет их выноса в этот водоем речной водой, самостоятельной миграции, а также заноса их покоящихся стадий водоплавающими птицами или ветром с пресных или слабо минерализованных водоемов. При этом нынешние его обитатели должны будут исчезнуть из-за низкой для них солености.

Вторая плотина, которую предполагается построить в ближайшем будущем
Уровень +46-47 м

Аральск

Канал до г. Аральска
(≈10 км)

Канал от оз. Тущибас до зал. Большой Сарычаганак
(≈50 км)

Жаланаш

Аральски

Плотина САМ

Бугуны

оз. Тущибас

оз. Карашалак

Жанакурылыс

оз. Лайкаль

оз. Жалаушкыль

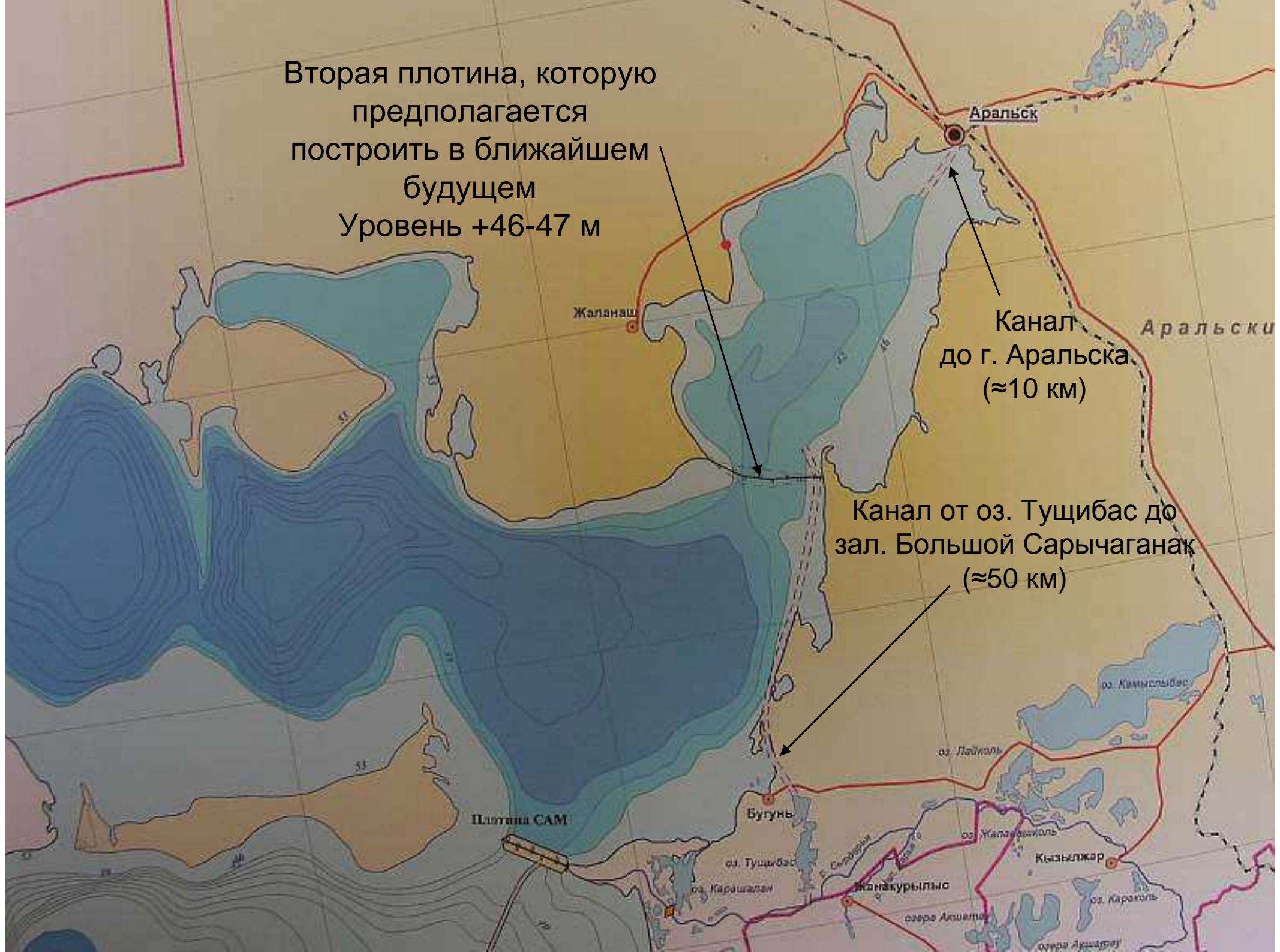
Кызылжар

оз. Каракаль

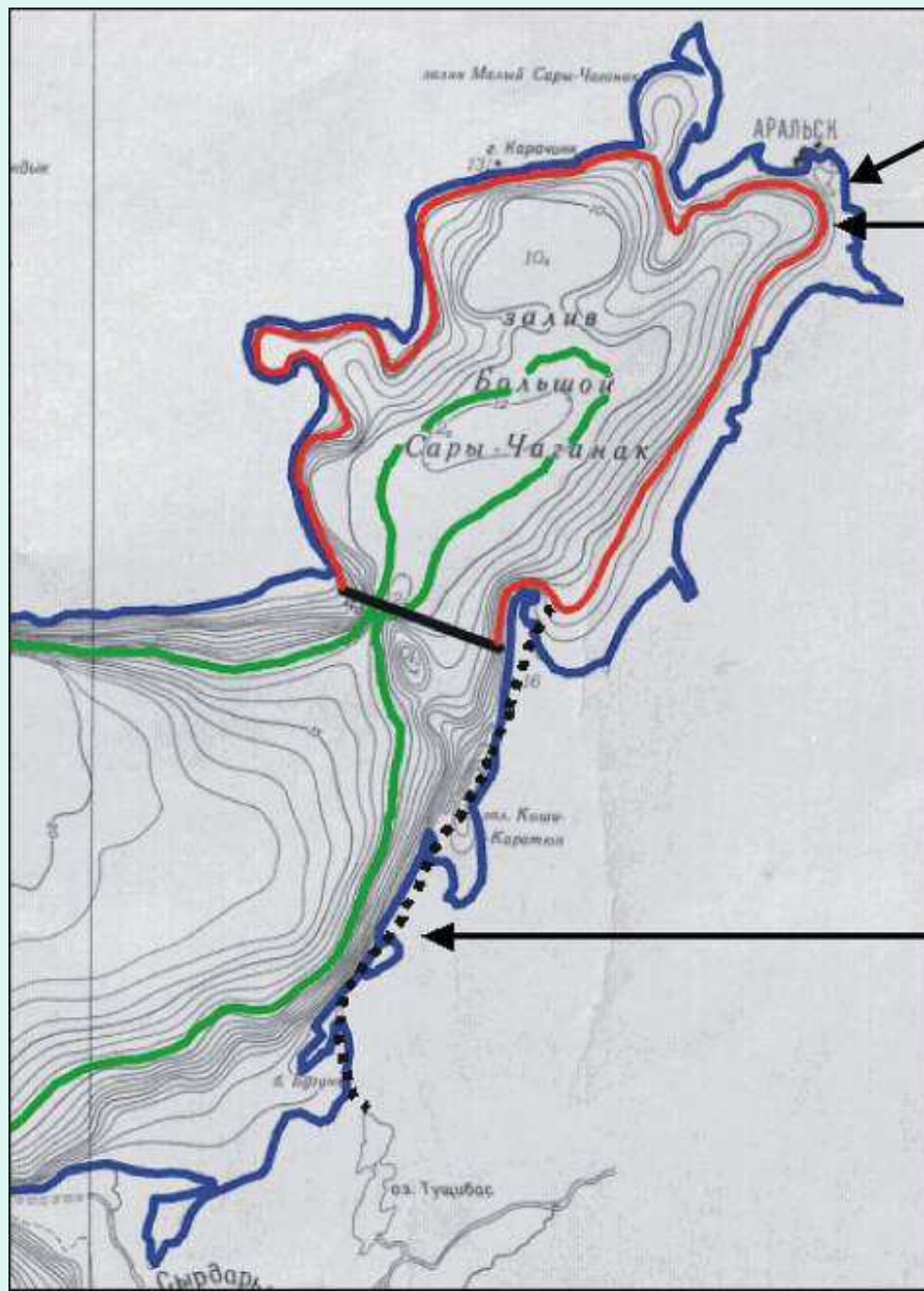
озера Акшатау

озера Аршаруу

оз. Камыслыбас



План создания водохранилища Сарычеганак



Береговая линия при уровне 53 м н.у.м.

Береговая линия при уровне 50 м н.у.м.

Площадь - около 800 км²

Среднегодовой сток из Сырдарьи - 1 км³

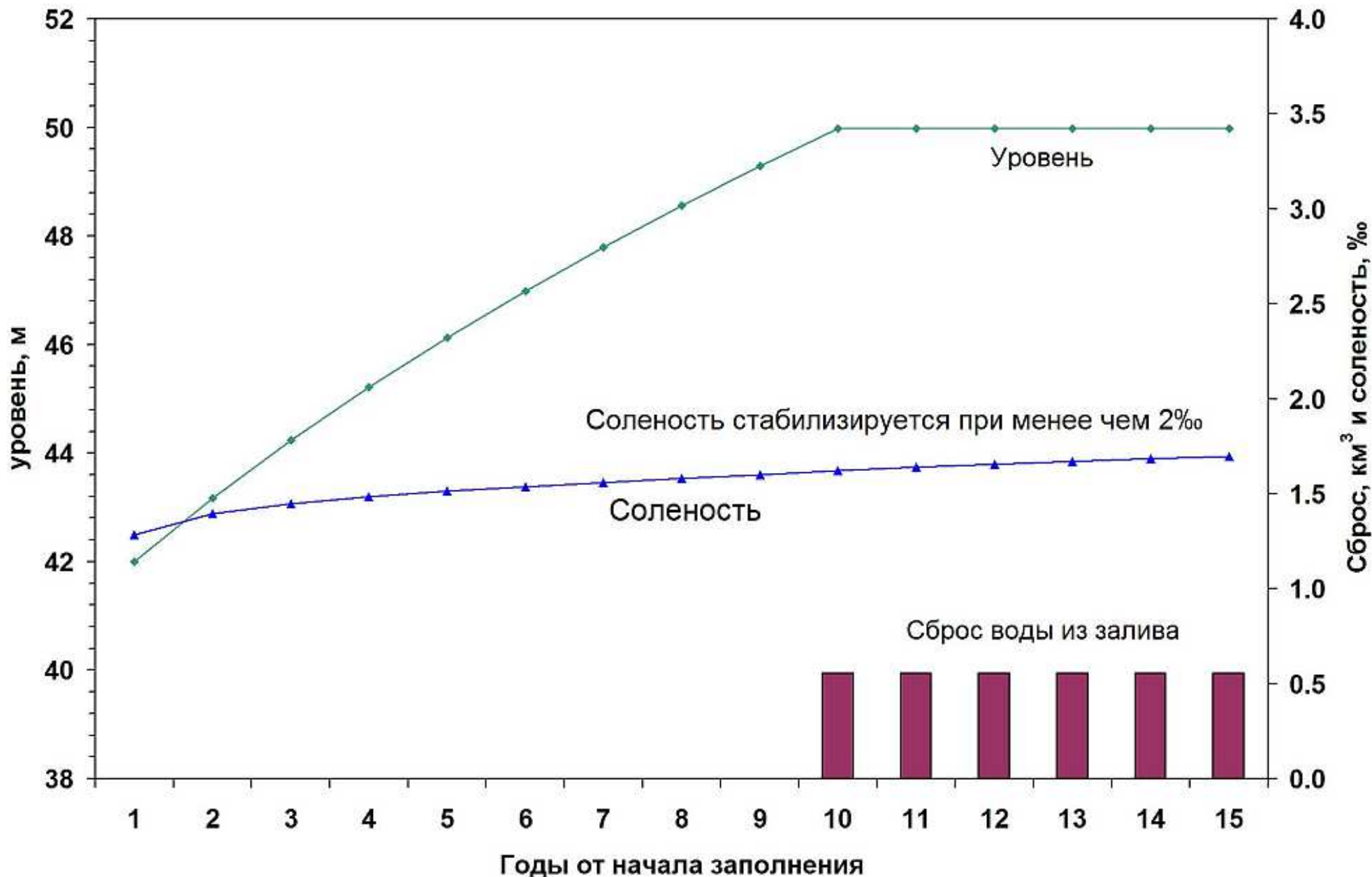
Среднегодовой сток через плотину - 0.55 км³

Стабильная средняя соленость менее 2 г/л

Канал (протяженность 44 км) из Сырдарьи, проходящий через оз. Туцибас

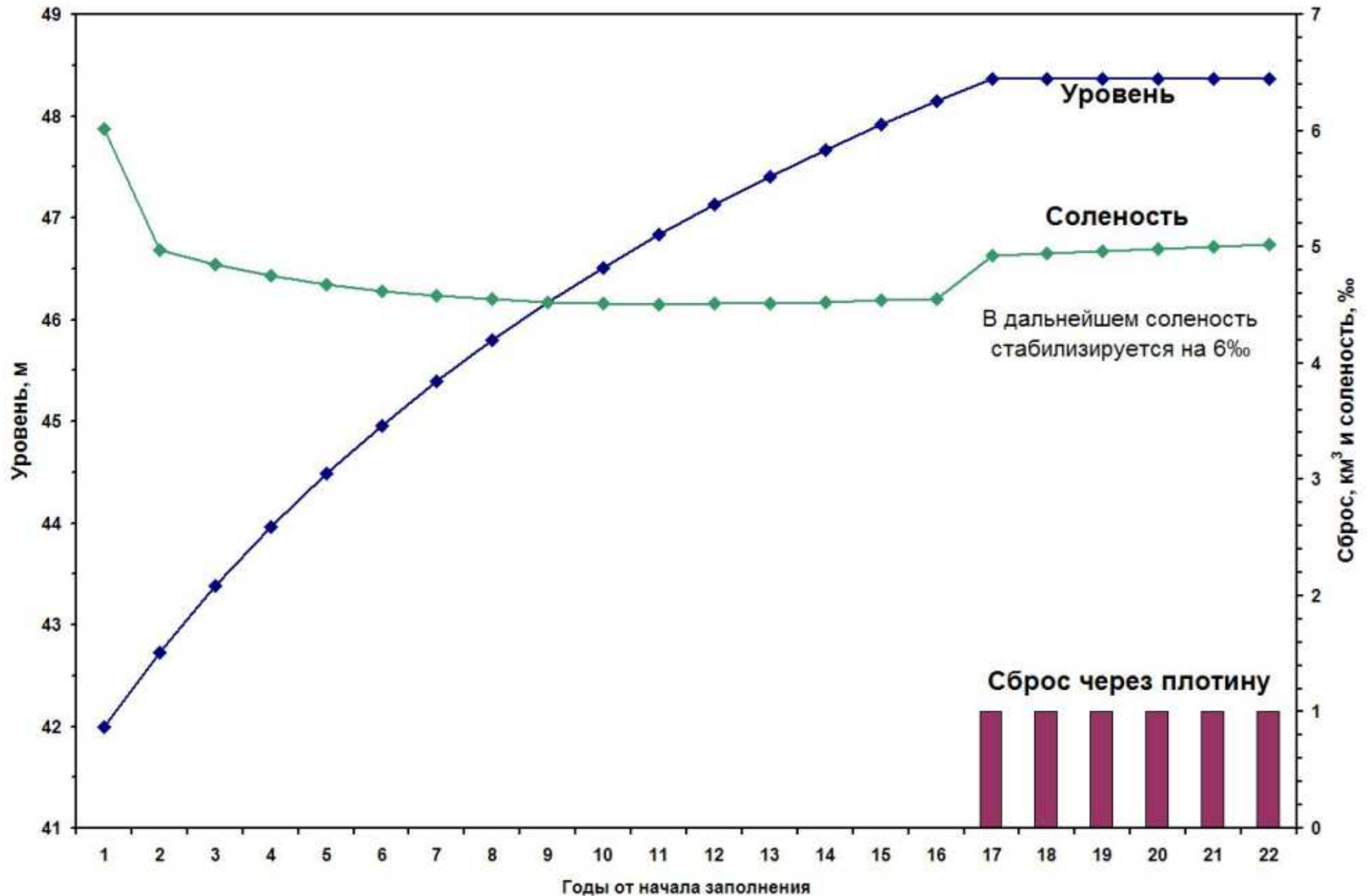
Порт в Аральске соединяется с водохранилищем коротким каналом

Изменение уровня и солёности планируемого водохранилища Сарычеганак



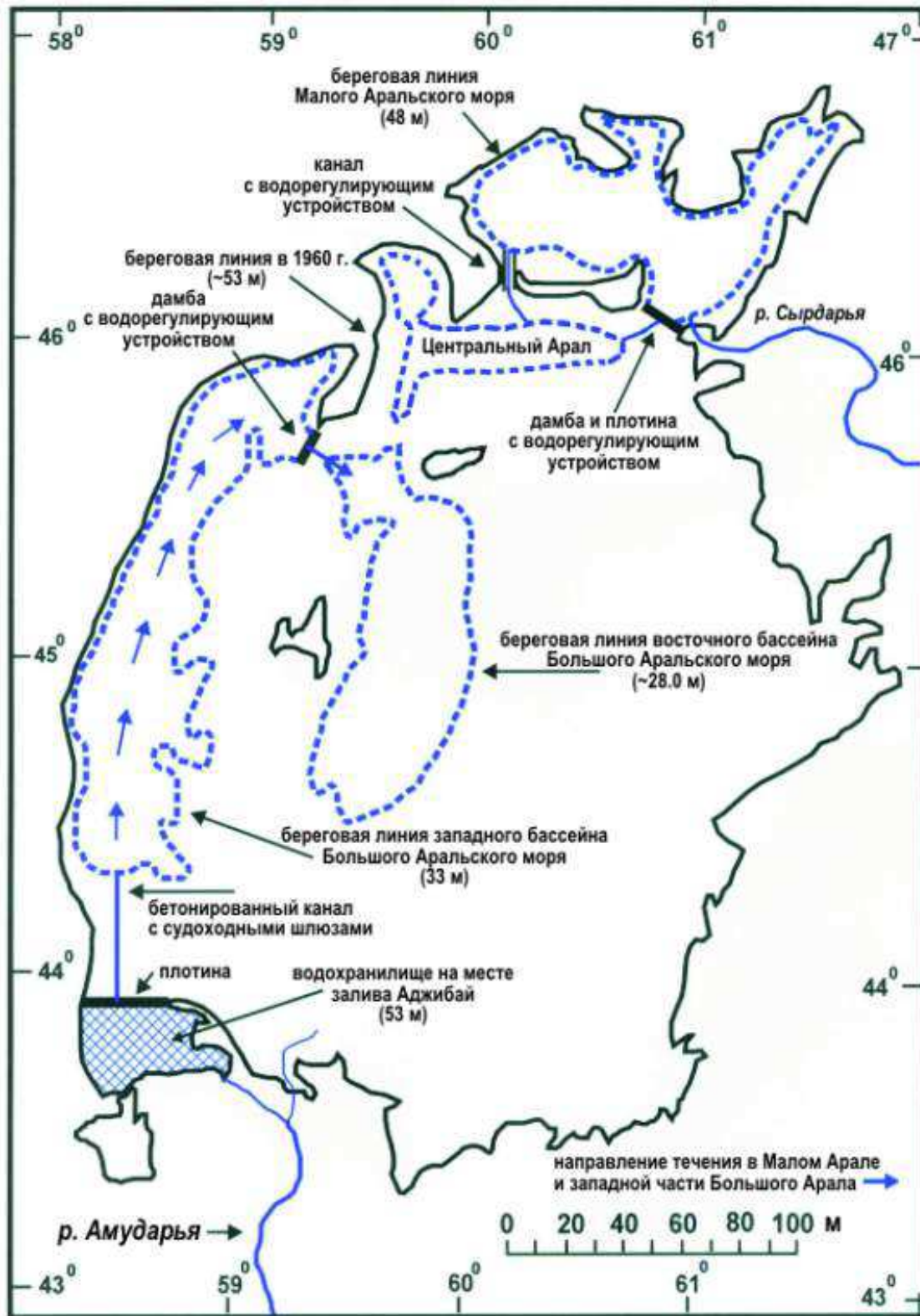
- Альтернативой этому может стать реконструкция Кок-Аральской плотины. Ее можно сделать более высокой, и поднять уровень всего Малого Арала до отметки +48 м, увеличив его объем и площадь.
- Для этого необходим сток Сырдарьи не менее $4 \text{ км}^3/\text{год}$. Наполнение до нового уровня продлится долго: при среднегодовом речном стоке $5/0 \text{ км}^3$, – не менее 15 лет, а при 5.5 км^3 – до 12–13 лет. Средняя соленость по мере его наполнения будет меняться, и стабилизируется на 6 ‰.
- Соленоватоводным станет почти весь Малый Арал, а сильно опресненной будет только акватория рядом с дельтой Сырдарьи.

Время заполнения и изменение солёности Малого Аральского моря по сценарию с уровнем 48 м и среднем притоком пресной воды 5 км³



- Прогноз возможного будущего остаточных водоемов Большого Аральского моря не внушает оптимизма.
- Восточный Большой Арал, зависит от сброса воды из Малого Арала через Кок-Аральскую плотину и далее Центральный Арал и стока Амударьи, который крайне нестабилен и в настоящее время не каждый год достигает моря. Состояние этого остаточного водоема может меняться от сухого солончака до обширного мелководного гипергалинного озера. К концу 2009 г. он почти полностью высох, но в начале лета и осенью неожиданно многоводного 2010 г. в него поступили большие объемы воды из Амударьи, а также из Малого Арала. Водоем вновь наполнился водой, но последующие годы он снова высох.
- Фауна Восточного Большого Арала, представленная до его высыхания, вероятнее всего, только артемией, сможет восстановиться и после ее гибели из цист, оставшихся на обсохшем дне, или заносимых ветром с других водоемов, когда сюда вновь придет вода.
- Западный Большой Арал зависит от притока грунтовых, дождевых и талых вод, а также сезонного стока из восточного бассейна, получающего воду из Малого Арала. Уровень этого остаточного водоема в августе 2015 г. находился между отметками +24 и +25 м, а площадь составляла ~3000 км². При сохранении существующей ситуации высыхания будет продолжаться, пока не наступит стабилизация.
- Но нельзя исключить, что высыхание будет продолжаться до тех пор, пока эта часть Аральского моря не превратится в водоем, подобный Большому Соленому озеру в США, Мертвому морю на Ближнем Востоке и озеру Урмия в Иране (соленость >300 ‰). Тогда может остаться только артемия, но и она исчезнет при приближении солености к 350 ‰.
- Бывший залив Тше-Бас, превратившийся в отдельный остаточный водоем, сейчас зависит от притока грунтовых, дождевых и талых вод, а также сезонного стока из Центрального Арала, подпитываемого стоком из Малого Арала. При сохранении существующего режима состояние этого остаточного водоема может оставаться стабильным.

- Для Западного Большого Арала возможен и более оптимистичный сценарий. Он предполагает перенаправление стока Амударьи из Восточного в Западный Большой Арал. По этому сценарию требуется среднегодовой сток Амударьи около 12.5 км^3 , тогда как за 1990–2011 гг. он в среднем составил только около $5.4 \text{ км}^3/\text{год}$. Следовательно, требуется чуть больше чем его удвоение.
- Будущее Западного и Восточного Большого Арала будет определять, в первую очередь, то, сколько воды даст Амударья, и будет ли восстановлен ее сток в Арал.



Концепция частичного сохранения Малого и Большого Арала

Малое Аральское море: уровень 48 м, площадь 4830 км², объем 53.5 км³, среднегодовой речной сток 5.0 км³, среднегодовой сток из Малого моря 1.0 км³, среднегодовая соленость 6 г/л.

Западный бассейн Большого Аральского моря: уровень 33 м, площадь 6200 км², объем 85 км³, среднегодовой речной сток 6.4 км³, среднегодовой приток грунтовых вод 2.0 км³, среднегодовой сток в восточный бассейн 3.6 км³, соленость, снижаясь, достигает 42 г/л к 2055 г. и 15 г/л к 2110 г.

Восточный бассейн Большого Аральского моря: уровень ~28.0 м, площадь ~3800 км², объем ~7.6 км³, приток из западного бассейна Большого Арала 3.6 км³, приток их Центрального Арала сильно изменчив, среднегодовая соленость >200 г/л.

Водохранилище на месте залива Аджибай: уровень 53 м, площадь 1147 км², объем 6.43 км³, приток 8 км³, сток в Западный бассейн Большого Аральского моря 6.6 км³, среднегодовая соленость 2г/л.

MODIS
08.08.2015



1. Малый Арал: уровень ~42 м, площадь 3300 км², соленость 6-7 г/л

2. Западный Большой Арал: уровень ~25 м, площадь 3120 км², соленость >150 г/л

3. Залив Тще-Бас: уровень ~28 м, площадь 385 км², соленость 85 г/л

4. Центральный Арал: уровень 27-28 м, площадь 405 км², соленость меняется

5. Восточный Большой Арал: уровень 26-27 м, площадь 974 км², соленость >150 г/л?

ОБЩАЯ ПЛОЩАДЬ = 8031 км²

А – Кокаральская плотина

В – предлагаемая Северная плотина

С – предлагаемая Южная плотина

ЧТО НУЖНО СДЕЛАТЬ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ И БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

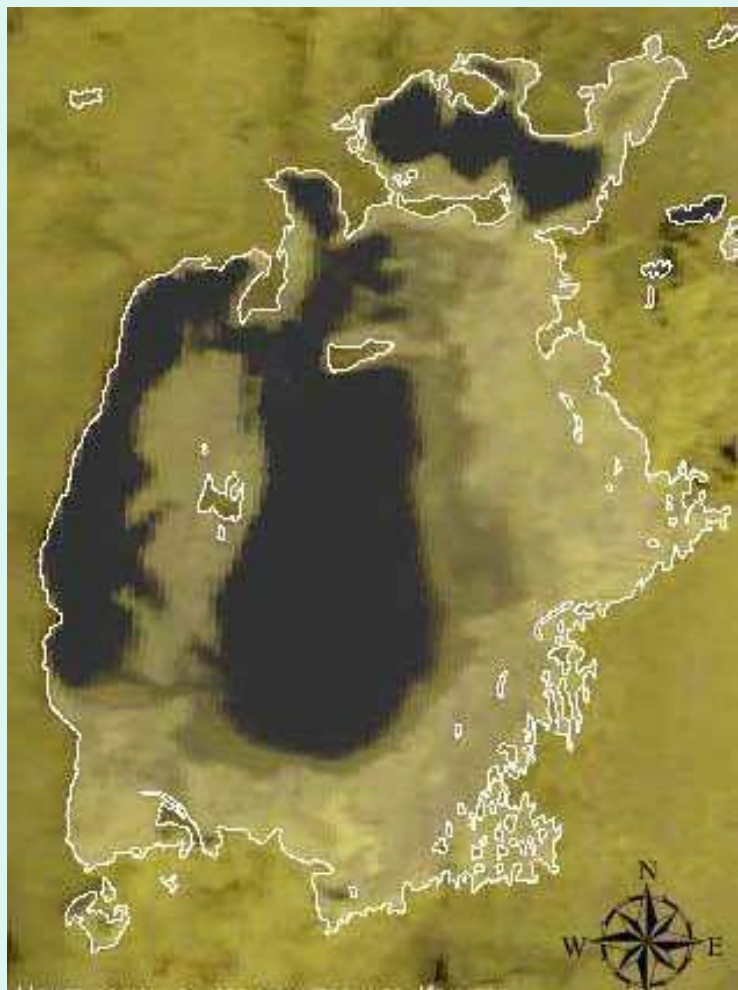
1. Построить плотину в горле залива Большой Сарычеганак или же поднять на 2-3 м плотину в проливе Берга.
2. Для стабилизации Центрального Арала построить плотину к югу от полуострова Куланды.
3. Отказаться от мелководных водохранилищ в дельте Амударьи.
4. Направить остаток стока Амударьи в Западное Большое Аральское море.

Изменение очертаний Арала

Средние века

Середина
XIX века

Начало
XXI века



Палеолимнологические данные позволяют нам надеяться, что обсуждавшиеся сегодня пути консервации и реабилитации Арала приблизят его возрождение в XXII веке.

- В настоящее время сотрудниками ЗИН РАН в содружестве с коллегами из Казахстана, Таджикистана и Киргизстана ведется большая работа по подготовке нового проекта ЕАЭС, который получил международное название “ABC LAKES PROJECT”.
- Если этот проект будет утвержден, то исследования могут начаться уже в конце 2017 г.



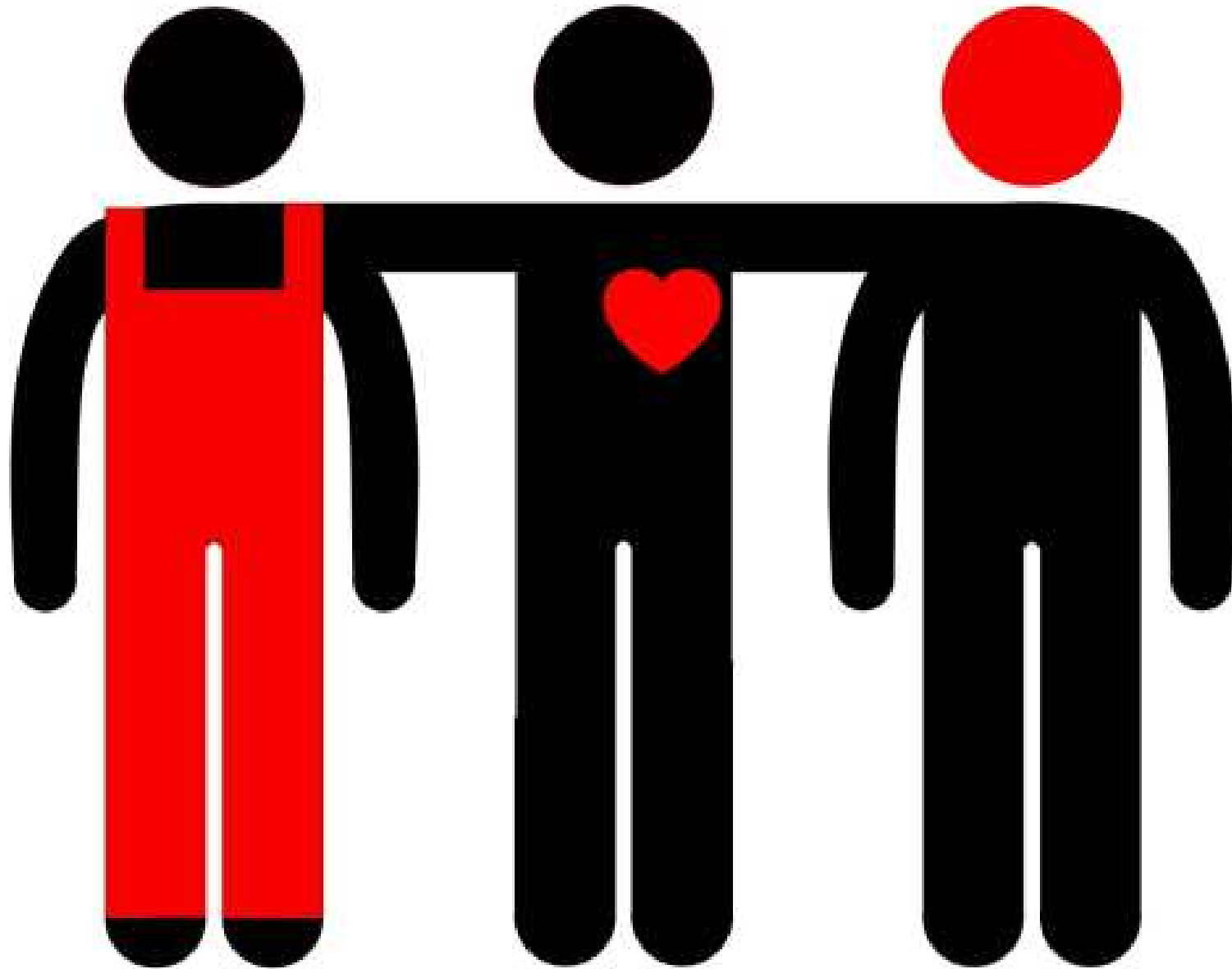
ABC

LAKES PROJECT

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОЕКТ ЕАЭС: АРАЛ, БАЛХАШ, КАСПИЙ

- В заключение авторы настоящего доклада утверждают, что ставя перед собой сложные и труднодостижимые научные и практические цели, такие как, например, сохранение биологического разнообразия и биологических ресурсов Аральского моря, исследователям необходимо опираться не только на современное научное оборудование и компьютерные программы, но надо иметь ещё и доброе сердце.
- Авторы уверены, что только человек может попытаться восстановить то, что он сам подверг риску или разрушил. К сожалению, роботы на это никогда не будут способны.
- Завершая наш доклад, мы демонстрируем символический рисунок инфографика Михаила Олеговича ЯНСОНА. Ранее показанный логотип, посвященный изучению Арала, Балхаша и Каспия, также выполнен им.

доброе сердце



**научное
оборудование**

**компьютерные
программы**



Google Earth

US Dept of State Geographer
©2017 Google
Image Landsat / Copernicus

Молодь рыб, попавшая из Малого Арала в сбросной канал



*Август 2005 г.
Стыковка над Аралом*




20 июля 2016 г.

То, что осталось от Аральского моря



<http://www.artemjew.ru/en/2016/07/20/aral16/>



***Спасибо за внимание
у Аральского моря есть будущее***