

УДК 556.55+574.52+591.95

**ВОЗМОЖНОЕ БУДУЩЕЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ И ЕГО ФАУНЫ**

**Филип Миклин**

**Западно-Мичиганский университет, Каламазу, США**

**Николай Васильевич Аладин**

**Игорь Светозарович Плотников**

**Алексей Олегович Смуров**

**Любовь Васильевна Жакова**

**Валентина Ивановна Гонтарь**

**Зоологический институт Российской академии наук, Санкт-Петербург, aral@zin.ru**

**Зауалхан Ермаханов**

**Аральский филиал ТОО «Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства», г. Аральск, Казахстан**

*Амударья, Аральское море, Сырдарья, соленость, терминальное озеро, фауна*

*Аральское море – большое соленое терминальное озеро в Центральной Азии, начиная с 1960 г. быстро высыхало, и к сентябрю 2009 г. оно разделилось на четыре остаточных водоема. За последние 10 тысячелетий оно пережило ряд снижений уровня и его последующего восстановления. До 1960-х гг. основной причиной был периодический поворот Амударьи в Каспийское море, как по естественным причинам, так и в результате человеческой деятельности. Современная регрессия является результатом развития орошения. Она создала множество серьезных проблем. В обозримом будущем восстановление Арала в прежнем виде проблематично, если не невозможно. Однако возможно частичное восстановление его отдельных участков. В статье рассматриваются варианты дальнейшей реабилитации Малого моря и возможного восстановления некоторых частей Большого (южного) Арала.*

**POSSIBLE FUTURE OF THE ARAL SEA AND ITS FAUNA**

**Philip Micklin**

**Western Michigan University, Kalamazoo, USA**

**Nikolay Aladin**

**Igor Plotnikov**

**Alexey Smurov**

**Lyubov Zhakova**

**Valentina Gontar**

**Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, aral@zin.ru**

**Zaualkhan Ermakhanov**

**Aral branch of Kazakh Research Institute of Fishery, Aralsk, Kazakhstan**

*Amu Dar'ya, Aral Sea, Syr Dar'ya, salinity, terminal lake, fauna*

*The Aral Sea, a large saline terminal lake in Central Asia, since 1960 dries quickly, and by September 2009 it had separated into four residual water reservoirs. Prior to the modern recession, the Aral Sea experienced a number of water level declines and subsequent recoveries over the last 10 millennia. The main causative factor until the 1960s was periodic diversion of the Amu Dar'ya towards the Caspian Sea by both natural and human forces. Modern regression is the result of irrigation development and has caused many severe problems. To restore the Aral Sea to its present state would be very difficult, if not impossible, in the foreseeable future. However, a partial restoration of its separate parts is possible. In the paper are discussed plans for further rehabilitation of the Small Sea and possible restoration of some parts of the Large (southern) Aral Sea.*

Аральское море представляет собой терминальное бессточное соленое озеро, лежащее посреди обширных пустынь Центральной Азии (Рис. 1). Его водосборный бассейн занимает

более 2 млн. км<sup>2</sup>. Как терминальное озеро, Арал получает приток поверхностных вод, но лишен стока. Таким образом, баланс между притоком воды из впадающих в него рек Амударьи и Сырдарьи и чистым испарением (испарение с поверхности озера минус выпадающие на нее осадки) в общем и целом определяет его уровень [5, 22, 23, 24].

В прошлом Аральское море по величине площади своей поверхности (67500 км<sup>2</sup> в 1960 г.) являлось четвертым в мире континентальным водоемом. На нем было развито промышленное рыболовство; море также служило важной региональной транспортной артерией. Обширные дельты рек Сырдарьи и Амударьи поддерживали разнообразие флоры и фауны, а также орошаемое земледелие, животноводство, охоту и звероловный промысел, рыболовство и заготовку тростника [23, 37].

В то время Аральское море было солонатоводным водоемом со средней соленостью 10 г/л [5]. В его фауне насчитывалось порядка 200 видов свободноживущих беспозвоночных, из которых 5 видов были намеренно или случайно вселены людьми (массовые виды приведены в табл. 2). В ней преобладали виды пресноводного происхождения, но также присутствовали морские виды и выходцы из осолоненных водоемов аридной зоны [13, 35, 36]. Ихтиофауна Арала (Табл. 3) была представлена 32 видами. Из них 18 – аборигенные пресноводные виды. Остальные 14 видов рыб (в их числе есть как пресноводные, так и морские виды) – вселенцы, как намеренно, так и случайно вселенные человеком во 2-й половине 1950-х гг. Все виды рыб, имевшие промысловое значение, были пресноводными [10, 16].

Современную геологическую эпоху в истории Аральского моря составляют последние 10 тысячелетий, хотя еще несколько миллионов лет назад на этом месте и существовали водоемы-предшественники. За свою современную геологическую историю озеро пережило целый ряд регрессий и трансгрессий. Большинство регрессий было связано с частичным или даже полным поворотом Амударьи от Арала под воздействием природных сил на запад к Каспийскому морю. Но и древние цивилизации тоже влияли на уровень Арала. Это воздействие включало отбор значительного объема воды на орошение и периодические повороты Амударьи на запад. Орошаемое земледелие возникло на Амударье еще за 3000 лет до н.э. В античное время (IV век до н.э. – IV век н.э.) ирригация в Приаралье уже была широко развита, и остатки оросительных каналов можно обнаружить на площади от 5 до 10 млн. га. Но в наибольшей степени на уровень Арала влияли повороты этой реки, как по естественным причинам, так и в результате деятельности человека [2, 18, 22, 24].

Последнее, предшествовавшее современному, значительное высыхание Арала произошло в период XIII–XVI веков; тогда уровень мог падать ниже отметки 29 м. Об этом событии свидетельствуют исторические записи, археологические памятники, сохранившиеся пни и реликтовые речные русла на обсохшем дне Аральского моря (Рис. 2 и 3). Главной причиной этой регрессии был антропогенный поворот Амударьи на запад к Каспийскому морю, первоначально вызванный вторжением монголов в Центральную Азию в XIII веке. К середине 1600-х гг. Амударья повернула (или ее повернули люди) обратно в Арал, и море восстановилось [18, 22, 24]. Оно оставалось в относительно стабильной «высокой» фазе вплоть до современной регрессии, начавшейся в 1960-х гг. Колебания уровня не превышали 4–4,5 м и, в основном, были связаны с изменениями климата, и, возможно, некоторое влияние оказывала ирригация [24].

### **Высыхание Арала и его последствия**

Однако в 1960 г. из-за крайне нерационального расширения орошения, истощавшего обе впадающие в него реки, началось быстрое высыхание и осолонение Арала. Площадь моря постепенно уменьшалась, и оно осолонялось (Табл. 1; Рис. 4). Основной причиной стало всё расширявшееся орошение, значительно сократившее сток обеих питающих море рек. Как отмечалось выше, люди практиковали орошение в бассейне Аральского моря, по крайней мере, на протяжении трех тысячелетий. Но до 1960-х гг. это лишь незначительно

снижало сток рек в море [5]. Это было возможно благодаря существенному возвратному стоку с орошаемых полей в Амударью и Сырдарью и другим компенсирующим факторам, таким как сокращение потерь на транспирацию фреатофитами (водолюбивыми растениями) в низовьях этих рек и дельтах, а также снижение испарения при уменьшении весеннего паводка в дельтах. Тем не менее, рост орошаемых площадей с примерно 5 млн. га в 1960 г. до 8,2 млн. га к 2010 г. уменьшил, или даже устранил, эти компенсаторные эффекты, что сместило равновесие за точку устойчивости и привело к заметному сокращению речного стока в Арал [22, 25].

Резкое сокращение речного стока после 1960 г. показано на Рис. 5, а снижение уровня моря на Рис. 6. Разница между речным стоком и чистым испарением, существенно росла в течение 1960-х, 1970-х и 1980-х гг., что сопровождалось ростом дефицита водного баланса и быстрым падением уровня. Увеличение количества осадков в горах и некоторое снижение изъятия воды на орошение в 1990-х гг. увеличили речной сток и снизили дефицит водного баланса, замедлив этим отступление моря. В 2000–2001 гг. была сильная засуха, и тогда речной сток в среднем составлял только около 2 км<sup>3</sup>/год. Период 2002–2010 гг. характеризовался увеличением речного стока и значительным сокращением дефицита водного баланса [25].

Высыхание Аральского моря привело к серьезным негативным последствиям для всей его фауны. В результате повышения солености (а также и вселения новых видов) в ней произошли значительные изменения [4, 15, 36]. С ростом солености первыми исчезли разнообразные виды беспозвоночных пресноводного происхождения, а затем и солоноватоводные каспийские виды. Обитавшие в Арале двустворчатые моллюски рода *Hupanis* и 2 вида из 3 видов рода *Dreissena* вымерли. В результате к концу 1980-х гг. остались только широко эвригалинные виды. В донной фауне из числа аборигенных видов сохранялись только двустворчатый моллюск *Cerastoderma isthmicum* и брюхоногие моллюски *Caspihydrobia* spp., а также некоторые фораминиферы, ресничные черви, нематоды и несколько видов ракушковых рачков. Остальные пережившие осолонение представители зообентоса – это вселенцы морского происхождения: двустворчатый моллюск *Syndosmya segmentum*, полихета *Hediste diversicolor* и, только в Большом Арале, краб *Rhithropanopeus harrisi tridentata*. Зоопланктон был представлен только несколькими видами аборигенных инфузорий и эвригалинных коловраток, веслоногим рачком *Halicyclops rotundipes aralensis*, несколькими видами гарпактицид и новым доминантом – вселенцем морского происхождения копеподой *Calanipeda aquaedulcis*.

Промышленное рыболовство на Аральском море прекратилось в начале 1980-х гг., когда из-за роста солености исчезли составлявшие основу промысла пресноводные (аборигенные и вселенные человеком) виды рыб. В составе ихтиофауны остались только не имеющие промыслового значения аборигенные рыбы – ёрш *Gymnocephalus cernuus* девятииглая колюшка *Pungitius platygaster aralensis*, а также вселенцы морского происхождения – салака *Clupea harengus membras*, атерина *Atherina boyeri caspia* и бычки: *Pomatoschistus caucasicus*, *Neogobius fluviatilis pallasii*, *Neogobius melanostomus affinis*, *Neogobius syrman eurystomus*, *Proterorochinus marmoratus* и *Neogobius kessleri gorlap* [16]. В результате значительная часть местного населения осталась без работы из-за прекращения промышленного рыболовства и связанной с ним деятельности [29]. В 1979–1987 гг. в Арал вселили толерантную к солености азово-черноморскую камбалу *Platichthys flesus luscus* [16], которая стала единственным промысловым видом и обеспечивала значительные некоммерческие уловы на Малом Арале.

В результате падения уровня и пересыхания пролива Берга Арал разделился 1987 г. на два водоема – «Малое» Аральское море на севере и «Большое» Аральское море на юге. В один впадает Сырдарья, а в другой – Амударья. Образовался соединяющий эти два озера канал, по которому вода стала стекать из первого во второе [3, 25, 27]. В 1992 г. местные власти построили в проливе Берга земляную дамбу, чтобы блокировать отток воды из Малого моря в целях повышения его уровня и снижения солености, а также улучшения

экологических условий и условий для рыболовства [1]. Это импровизированное сооружение несколько раз разрушалось, и его ремонтировали. В апреле 1999 г., после подъема уровня Малого Арала выше отметки 43 м (т.е. выше гребня плотины), во время шторма плотина была прорвана и полностью разрушена, при этом погибли 2 человека [3, 27].

В дальнейшем Всемирный банк и правительство Казахстана профинансировали строительство надежной 13-километровой земляной дамбы с бетонным водосбросным сооружением, регулирующим сток из Малого моря в Большое (Рис. 7). Строительные работы завершились в августе 2005 г., и к марту следующего года уровень Малого Арала поднялся, стабилизировавшись на отметке 42 м над уровнем моря [27]. Общая стоимость этого проекта составила 23,2 млн. долларов. Другие проекты на Сырдарье, направленные на увеличение ее стока в море, подачу большего объема воды для обводнения дельты, повышение безопасности и улучшение инфраструктуры находящихся выше по течению большой Чардаринской плотины и водохранилища, а также сокращение аварийных сбросов из него в оз. Арнасай, тем самым увеличивая поступление воды в низовья реки, и другие меры прибавили еще 62,6 млн. долларов к стоимости проекта, в общей сложности составившей 85,8 млн. долларов. Всемирный банк предоставил кредит в размере 64,5 млн. долларов, а оставшиеся 21,3 млн. долларов добавило правительство Казахстана [27, 40].

Богатым экосистемам дельт Амударьи и Сырдарьи нанесли значительный урон сокращение стока рек, прекращение весенних паводков и ведущее к распространению опустынивания снижение уровня грунтовых вод. Аккумуляция солей на поверхности земли привела к образованию пространства, на котором практически ничего не будет произрастать. Резко сократилась площадь уникальных тугайных лесов вдоль главных и второстепенных водотоков. Высыхание дельт значительно сократило площадь озер, водно-болотных угодий и связанных с ними тростниковых сообществ. Эти изменения привели к резкому падению числа видов млекопитающих и птиц [37]. Сильные ветры сдувают песок, соль и пыль с высохшего дна Аральского моря на окружающие земли, причиняя этим вред естественной растительности, сельскохозяйственным культурам, диким и домашним животным. Когда с высыханием моря обнажилась значительная часть его дна, стали более частыми и интенсивными пыльные бури, захватывающие соли в виде частиц и аэрозолей и охватывающие время от времени более 100000 км<sup>2</sup>, простираясь по направлению ветра более чем на 500 км [17, 23, 37].

Из-за отступления моря изменился климат в полосе шириной до 100 км вдоль бывшей береговой линии на территории Казахстана и Узбекистана. Лето стало теплее, а зима – холоднее, весенние заморозки стали более поздними, а осенние заморозки – более ранними, влажность стала ниже, вегетационный период стал короче [22, 37].

У жителей Приаралья существуют серьезные проблемы со здоровьем [20, 29, 37]. Одни из них – это прямое следствие отступления моря (например, болезни дыхательной и пищеварительной систем, рак вследствие вдыхания и заглатывания сдуваемой ветром соли и пыли и плохое питание из-за утраты аральской рыбы как важного источника пищи). Другие обязаны загрязнению окружающей среды, связанному с интенсивным использованием токсичных химикатов в орошаемой земледелии, главным образом, в советское время. Тем не менее, наиболее серьезные проблемы со здоровьем напрямую связаны с состоянием медицины, здравоохранения, питания, гигиены и водоснабжения в странах «третьего мира».

Пожалуй, наиболее ироничным и мрачным последствием современного усыхания Арала является история о. Возрождения. Советские вооруженные силы выбрали в начале 1950-х гг. этот крошечный, изолированный остров посреди Аральского моря в качестве главного полигона для сверхсекретной программы по биологическому оружию. Эта программа завершилась с распадом СССР в 1991 г. По мере высыхания моря, о. Возрождения увеличивался в размерах и в 2001 г. соединился на юге с материком, превратившись в полуостров [20]. Существовала серьезная обеспокоенность тем, что представляющие собой биологическое оружие организмы пережили проведенные уходившими российскими военными мероприятия по обеззараживанию и вместе с

инфицированными грызунами могли попасть на материк, или, что к ним могут получить доступ террористы. Правительство США совместно с правительством Узбекистана работало над тем, чтобы обеспечить уничтожение любых выживших патогенных организмов [22].

К сентябрю 2009 г. Аральское море, уменьшившееся до небольшого остатка от того, каким оно было в 1960 г., оказалось разделенным на четыре части [22] (Табл. 1; Рис. 8.).

Дамба и плотина, построенные для регулирования стока из Малого Арала в Большой Арал, подняли и стабилизировали уровень первого, значительно улучшив экологические условия. Соленость Малого Арала стала снижаться, и постепенно он вновь становится солоноватоводным. К настоящему времени его средняя соленость стала даже ниже, чем до современной регрессии. Значительное снижение средней солености и наличие обширной сильно опресненной зоны около дельты Сырдарьи сделало возможным обратное вселение в Малое море естественным путем многих видов пресноводных и солоноватоводных беспозвоночных, а также рыб, выпавших из его фауны из-за осолонения. Это – виды, обитающие в рефугиумах – Сырдарье и имеющихся в ее низовьях озерах, или же виды беспозвоночных, имеющие латентные яйца, сохраняющие свою жизнеспособность на протяжении длительного времени.

К настоящему времени [15, 38] в Малом Арале вновь появились такие виды пресноводных коловраток, как *Filinia longiseta*, *Asplanchna priodonta*, *Brachionus calyciflorus*. Растет и биоразнообразие планктонных ракообразных. Вернулись пресноводные и солоноватоводные ветвистоусые ракообразные – *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Podonevadne camptonyx*, *P. angusta*, *Evadne anonyx*; веслоногие ракообразные – *Phyllodiptomus blanci*, *Cyclops vicinus*, *Mesocyclops leuckarti*, *Megacyclops viridis*. Возвращается вселенец – мизида *Paramysis intermedia*. Вновь появились и стали важной составляющей донной фауны личинки хирономид. В опресненной зону возвратился двустворчатый моллюск *Dreissena polymorpha aralensis*. С другой стороны, сильное снижение солености становится неблагоприятным для прежде многочисленных представителей морской фауны и галофильных видов, таких как копепода *Halicyclops rotundipes aralensis*, моллюски *Cerastoderma isthmicum* и *Caspiohydrobia* spp.

Стало возможным возвращение и процветание коммерчески ценных аборигенных пресноводных видов, таких как судак *Stizostedion lucioperca*, сазан *Cyprinus carpio aralensis*, лещ *Abramis brama orientalis* и вобла *Rutilus rutilus aralensis*, а также ряда других, и это позволило возродить рыболовство на Малом Арале [16]. Тем не менее, занятость населения в промышленном рыболовстве и переработке рыбы сегодня составляет только небольшую часть от того, что было в прошлом [39].

Расположенному на юге Большому морю не столь повезло. После его отделения рост солености не только продолжился, но и ускорился. Уровень его более глубокого Западного бассейна упал на 26 м, и соленость там превышает 100 г/л. Восточный бассейн тоже пережил подобное падение уровня и стал мелководным водоемом с соленостью, возможно, выше 150 г/л (Табл. 1). Ожидалось, что в течение лета 2010 г. он полностью высохнет. Однако в 2010 г. значительный сток Амударьи вновь наполнил и восстановил этот бассейн, который с этого времени то уменьшался, то увеличивался в сезонном ритме, связанном с годовой динамикой речного стока в сочетании с многолетними циклами чередования влажных и сухих годов (Рис. 4 и 8) [23, 27].

Превращение Большого моря в конце 1990-х гг. в гипергалинный водоем привело к новым и очень значительным изменениям в фауне этой части Арала. В результате исчезновения большинства сохранявшихся видов сократилось и так уже низкое видовое разнообразие [4, 8, 9, 11, 31, 33]. Исчезли представители морской фауны – планктонные рачки *Calanipeda aquaedulcis* и *Halicyclops rotundipes aralensis* и коловратки *Synchaeta* spp. Из числа гарпактицид остались только наиболее галотолерантные, например, *Cletocamptus retrogressus*. В прошлом малочисленные коловратки – *Hexarthra fennica* и *Brachionus plicatilis* – сначала становятся сравнительно многочисленными видами, однако при

дальнейшем росте солености они исчезают. Стала беднее и донная фауна. Исчезли полихета *Hediste diversicolor* и все моллюски.

При этом, естественным путем вселился ряд ранее отсутствовавших видов беспозвоночных, характерных для фауны гипергалинных водоемов. Появились галофильные инфузории *Frontonia marina* и *Fabrea salina*, жаброногий рачок *Artemia parthenogenetica*, ставший доминирующим в зоопланктоне, копепода *Apocyclops dengizicus*, ракушковый рачок *Eucypris mareotica* и личинки хирономиды *Baeotendipes noctivaga* [4,6, 7, 8, 9, 14, 15, 30, 31, 33].

Из аборигенных видов беспозвоночных в донной фауне Большого Арала сохранились только некоторые фораминиферы, ресничные черви и разнообразные нематоды [4, 15, 32, 33].

На момент разделения Аральского моря ихтиофауна Большого Арала состояла только из ранее вселенных морских видов – нескольких видов бычков, салаки *Clupea harengus membras*, атерины *Atherina boyeri caspia* и камбалы. С ростом солености их численность снижалась, и к 2006 г. все они окончательно исчезли [14].

### Сценарии для будущего Арала

Какое будущее у Аральского моря? Утверждение, что озеро полностью высохнет в XXI веке, не соответствует истине. Даже если сток рек Амударьи и Сырдарьи сократился до нуля (а такой сценарий очень маловероятен) то сохранится остаточное поступление дренажных вод с орошаемых земель, грунтовых, талых и дождевых вод. Они поддержат существование, по меньшей мере, двух больших озер: западной части Малого Аральского моря на севере и западного бассейна Большого моря на юге. Эти водоемы будут гиперминерализованными, а их экологическое и экономическое значение будет небольшим, возможно, за исключением заготовки яиц (цист) артемии (*Artemia parthenogenetica*) [22].

В обозримом будущем возвращение Аральского моря к его состоянию на 1960 г. очень маловероятно. Это потребует восстановления среднегодового речного стока до  $56 \text{ км}^3$  и займет около 103 лет. Восстановление шло бы по логистической кривой: сначала быстро, так как речной сток значительно превышает чистое испарение, но далее замедляясь и приближаясь к нулю по мере роста чистого испарения и его приближения к объему речного стока. Тем не менее, площадь моря достигла бы  $60000 \text{ км}^2$  (91% его площади в стабильном состоянии) всего за 43 года.

Среднегодовой речной сток в Аральское море в 2001–2010 гг. составлял только  $11 \text{ км}^3$  – 20% от необходимого для реализации этого сценария. Единственный реальный способ существенно увеличить его – это сократить потребление воды на орошение. А оно составляет 92% от совокупного изъятия воды [26]. Существенно повысить эффективность орошения возможно, но это дорого и потребует много времени. Можно значительно сократить площадь орошаемых земель, но это нанесет большой экономический ущерб, так как ирригация играет важную роль в экономике новых государств Центральной Азии. Повышение эффективности орошения и другие меры по сокращению использования воды в этой отрасли, безусловно, полезны, и к этому нужно стремиться. Но это – долгосрочные частные решения проблемы нехватки воды в регионе, а не краткосрочные панацеи [22].

Конечно, технически возможно подавать воду в Аральское море из-за пределов Центральной Азии. Советское правительство в 1960-х и 1970-х гг. разрабатывало планы переброски в бассейн Аральского моря до  $60 \text{ км}^3$  воды из сибирских рек Иртыша и Оби как лучшего средства для решения в долгосрочной перспективе региональных водных проблем. Начальный этап ( $27 \text{ км}^3$ ) уже находился на грани реализации, когда он был остановлен в 1986 г., главным образом по причине его чрезмерно высокой стоимости [28]. Этот грандиозный план продолжают обсуждать и поддерживать в водохозяйственных и правительственных кругах стран Центральной Азии, а также и в России. Тем не менее, как нам представляется, у него мало шансов на осуществление в обозримом будущем. Причина в

его высокой стоимости, продолжительности строительства, сильной оппозиции со стороны влиятельных общественных, научных и правительственных сил в России, откуда будут забирать воду, в отсутствии среди международных доноров интереса в финансировании и в необходимости переговоров для выработки сложных международных соглашений между отдающими и получающими воду странами. Даже если проект и будет реализован, то до Аральского моря дойдет гораздо меньше воды, чем забранные  $27 \text{ км}^3$ , вероятно, даже меньше чем  $15 \text{ км}^3$ , из-за существенных ее потерь на испарение и фильтрацию в подводящей системе, попутного отбора на орошение и другие цели и использования для расширения ирригации в Центральной Азии.

С другой стороны, весьма перспективны различные сценарии частичной реабилитации Аральского моря и дельт рек Амударьи и Сырдарьи. Около  $2,6 \text{ км}^3/\text{год}$  в среднем – это всё, что требуется для поддержания современного уровня Малого Арала (около 42 м над у. м., площадь примерно  $3200 \text{ км}^2$ ). Тем не менее, необходимы дополнительные  $0,65 \text{ км}^3$ , чтобы для регулирования солености обеспечить достаточный сток через Кок-Аральскую плотину в проливе Берга. Таким образом, нужно будет поддерживать общий средний ежегодный речной сток  $3,24 \text{ км}^3$  как минимум. Для периода 1992–2011 гг. средний ежегодный речной сток оценивается в  $5,9 \text{ км}^3$ , а минимальный годовой расход – в  $3,23 \text{ км}^3$ . Это показывает, что доступной воды более чем достаточно для поддержания современного стабилизировавшегося гидрологического статуса Малого Аральского моря.

После завершения в 2005 г. строительства Кок-Аральской плотины избыток воды сбрасывается в южном направлении, образуя простирающееся на запад и на юг большое озеро, получившее название Центральный Арал. В отдельные годы оно распространяется достаточно далеко на юг, способствуя пополнению Восточного бассейна Большого Аральского моря. Это озеро приближается к бывшему заливу Тшебас и дополняет его водный баланс. Также некоторое количество воды поступает из этого озера по соединительному каналу в Западный бассейн Большого Арала. Вместе с водой, сбрасываемой из Малого моря через плотину в проливе Берга, в это озеро уносится значительное количество ценных промысловых рыб.

Центральный Арал – большое и очень мелкое озеро с обширными зарослями тростника (его восточная часть представляет собой скорее водно-болотное угодье, чем настоящее озеро), способствующими высокой эвапотранспирации и, таким образом, значительным потерям воды. Кроме того, соленость в его западной части слишком высока (около 70 г/л) для выживания там рыб. И, наконец, площадь озера сильно меняется в течение года: она значительно увеличивается в течение зимы и весны (в период максимального стока Сырдарьи) и быстро сокращается в течение лета и осени (а в отдельные годы даже полностью исчезает). Можно аргументировать, что было бы разумнее существенно сократить сток из Малого моря и использовать сохраненную воду для дальнейшего повышения уровня этого водоема. Но это, конечно, уменьшит размер Центрального Арала.

Правительство Казахстана планирует второй этап проекта восстановления Малого Арала. Один из его альтернативных вариантов состоит в повышении уровня воды до 50 м над уровнем моря только в заливе Сарышаганак, который простирается на северо-восток от восточной части Малого моря. Для этого нужно будет построить в горле залива новую дамбу и плотину с водопропускным сооружением и судоходным шлюзом для входа и выхода из создаваемого водохранилища Сарышаганак (Рис. 9). Часть стока Сырдарьи будет отведена по 44-километровому каналу на север в Сарышаганак для поддержания его уровня. Этот, превращенный в водохранилище, залив вновь приблизится к г. Аральску, бывшему главному порту на северной оконечности Аральского моря, что позволит рыболовецким судам подходить по короткому каналу непосредственно к новому рыбообработывающему заводу в Аральске. По своей солености (согласно авторской модели физического водного баланса) водохранилище будет почти пресноводным (менее 2 г/л после заполнения и стабилизации солености). Стоимость данного проекта оценивается в 200 млн. долларов США.

Если ежегодно подавать в водохранилище  $1 \text{ км}^3$  воды, то его заполнение займет около 10 лет (Рис. 10). Увеличение до  $1,5 \text{ км}^3$  сократило бы время заполнения до 6 лет. Забор воды из низовья Сырдарьи по главному каналу, чтобы компенсировать транспортировочные потери на испарение, транспирацию и фильтрацию, будет больше этого значения. Разумно предположить, что такие потери (в зависимости от того, как будет проложен канал) составят, как минимум, 15% от исходного объема; это означает, что потребовалось бы  $1,15 \text{ км}^3$  для сценария  $1 \text{ км}^3$  и  $1,725 \text{ км}^3$  для сценария  $1,5 \text{ км}^3$ . В конце фазы заполнения ежегодно в среднем  $0,55 \text{ км}^3$  может сбрасываться в основную часть Малого Арала (Северное Аральское Море, сокращенно – САМ) по первому сценарию и  $1,05 \text{ км}^3$  – по второму сценарию. Как показано выше, потребуется только  $3,24 \text{ км}^3$  для поддержания уровня основной части САМ на отметке 42 м и обеспечения стока через Кок-Аральскую плотину в проливе Берга, достаточного для поддержания солености на солоноватоводном уровне (6–8 г/л), подходящем для аборигенных рыб. Так как общий среднегодовой сток в основную часть САМ (по данным за 1992–2011 гг.) по-прежнему превышает  $5 \text{ км}^3$ , то будет избыток воды и для поддержания уровня, и для достаточного ее сброса, чтобы поддерживать стабильную соленость. Сток через плотину в проливе Берга будет достаточен для поддержания имеющего немалые размеры Центрального Арала.

Если данный проект будет реализован, то в этом практически пресноводном водоеме за счет выноса в него пресноводных гидробионтов со стоком Сырдарьи, а также заноса их покоящихся стадий водоплавающими птицами или ветром с пресных или солоноватых водоемов Приаралья, сформируется фауна пресноводного типа. Вагильные виды донных беспозвоночных – мизиды и бокоплав *Dikerogammarus aralensis* – могут непосредственно сами мигрировать из низовий Сырдарьи, где они обитают, в Малый Арал и расселяться по нему. Вселение тех донных беспозвоночных, которые сами неспособны к миграции, возможно при наличии у них планктонных личинок. К ним, например, принадлежит двустворчатый моллюск *Dreissena polymorpha aralensis*. При этом обитающие в нем в настоящее время морские (в их числе коловратки *Synchaeta* spp., полихета *Hediste diversicolor*, моллюски *Syndosmya segmentum* и *Cerastoderma isthmicum*, креветка *Palaemon elegans*), солоноватоводные (ветвистоусые рачки из семейства Podonidae) беспозвоночные и выходцы из осолоненных водоемов аридной зоны (моллюски *Caspihydrobia* spp.) в итоге должны будут исчезнуть из-за очень низкой солености [15]. Низкая соленость будет благоприятна для являющихся пресноводными аборигенных промысловых рыб, т.к. многие из них смогут нереститься непосредственно в этом водохранилище, а не обязательно мигрировать для размножения в Сырдарью и связанные с ее нижним течением озера.

Другой альтернативой может стать реконструкция отделяющей Малый Арал от Большого Арала Кок-Аральской плотины, чтобы повысить уровень всего озера до отметки 48 м (Рис. 11). Эта альтернатива, скорее всего, даст больше экономических и экологических выгод, чем план по созданию водохранилища Сарышаганак, но при этом потребуется больший объем минимального стока Сырдарьи. Ее среднегодовой сток, необходимый для поддержания уровня на отметке 48 м, оценивается в  $3,96 \text{ км}^3$ . Тем не менее, вызывает беспокойство то, что наполнение всего Малого Арала до отметки 48 м займет слишком много времени. Модель аннуализированного физического водного баланса показывает, что озеро можно наполнить до отметки 48 м за 17 лет при среднегодовом речном стоке  $5,0 \text{ км}^3$ . Первоначально наполнение пойдет быстро, постепенно затем замедляясь (Рис. 12). После достижения проектного уровня сброс из Малого моря в среднем около  $1 \text{ км}^3/\text{год}$  будет поддерживать его относительно стабильный уровень. Это – сценарий для случая среднего значения годового притока речной воды. Очевидно, что фактический годовой приток меняется из года в год, иногда значительно. Но эти его изменения можно будет корректировать тщательным контролем сброса (большего в годы с большим речным стоком и меньшего, даже нулевого, в маловодные годы с небольшим речным стоком). Если приток был  $5,5 \text{ км}^3$ , то время наполнения сократится до 12–13 лет, после чего сброс в среднем около  $1,5 \text{ км}^3/\text{год}$  будет поддерживать уровень на отметке 48 м. Учитывая, что примерный



среднегодовой речной сток за 1992–2011 гг. составляет 5,9 км<sup>3</sup>, представляется обоснованным, что может потребоваться и меньший срок. И даже возможен больший приток, особенно учитывая гидрологическую мелиорацию в среднем и нижнем течении Сырдарьи, как уже проведенную для увеличения достигающего САМ речного стока, так и намеченную на ближайшее будущее.

Тем не менее, не все обстоит так хорошо. Мониторинг ясно показывает, что из-за изменения климата в виде антропогенного глобального потепления сокращаются ледники и снежники в горах Тянь-Шаня, служащие главным источником воды для Сырдарьи. (То же самое верно и для Амударьи, которую питают, главным образом, ледники и снежники на Памире.) Со временем (несколько десятилетий?) их ускорившееся таяние увеличит речной сток. Но, в итоге, масса льда и снега станет настолько малой, что сток с них начнет снижаться [19]. Следовательно, предположения, основанные на данных по стоку Сырдарьи за 1992–2011 гг., могут оказаться слишком оптимистичными. Этот предмет заслуживает тщательного исследования, мониторинга и моделирования.

На рис. 11 изображены средние изменения солёности САМ во время и после заполнения по сценарию со среднегодовым притоком 5 км<sup>3</sup>. Если предположить начальную солёность 6 г/л, то она снизится до 4,56 г/л за 17 лет при заполнении водохранилища относительно пресной водой. Затем начинается ее сброс, и солёность начинает расти с постоянно замедляющейся скоростью, так как в водоем фиксированного объема поступает соли больше, чем выводится со стоком через плотину в проливе Берга. Солёность достигает 5 г/л на 25-й год, и в течение длительного периода она стабилизируется на 6 г/л.

Для связи Аральска с заливом Сарышаганак нужно будет построить несколько более длинный канал, что не создаст каких-либо серьезных проблем. Этим значительно улучшатся перспективы рыболовства на Малом Арале, так как рыболовецкие суда, как и другие типы судов, получают легкий доступ из любой части моря к бывшему порту в Аральске.

Если реализовать этот альтернативный проект, то все Малое море останется солоноватоводным с опресненной зоной перед дельтой Сырдарьи. С одной стороны, солёность 5–6 г/л будет благоприятна для существования множества пресноводных видов беспозвоночных, но она негативно скажется, вплоть до их возможного исчезновения, на таких морских беспозвоночных, как фораминиферы, некоторые ресничные черви, коловратки *Synchaeta* spp., циклоп *Halicyclops rotundipes aralensis*, моллюски *Cerastoderma isthmicum*, *Syndosmya segmentum*, креветка *Palaemon elegans* и выходцах из осолоненных водоемов аридной зоны – *Caspihydrobia* spp., а также и на солоноватоводных видах – ветвистоусые рачки *Podonevadne camptonux*, *P. angusta* и *Evadne anonyx* [15]. Солёность 5–6 г/л будет благоприятной для аборигенных промысловых рыб Малого Арала. Те из них, для которых миграция для размножения в реки не является обязательной, смогут нереститься непосредственно в море.

Решение, какой из альтернативных вариантов будет реализован, отложено на неопределенный срок, и правительство Казахстана при поддержке кредита Всемирного банка выполняет второй этап проекта по северной части Аральского моря. Это влечет за собой только дальнейшие мелиоративные работы на Сырдарье с целью увеличения стока в Малый Арал, уменьшения наводнений в нижнем течении реки, снабжения водой некоторых дельтовых озер, а также расширения орошения.

Будущее Большого (южного) моря более проблематично. Восточный бассейн, зависящий от притока сбрасываемой через плотину в проливе Берга воды и стока из Амударьи, представляет собой или очень обширное мелководное озеро, или сухой солончак, способствующий солевым/пыльным бурям, возникающим на обсохшем дне Аральского моря (Рис. 13). Это озеро, когда в нем есть вода, имеет высокую солёность, и его экологическая или экономическую ценность невелика (за исключением потенциальной возможности заготовки яиц артемии). Западный бассейн сильно зависит от притока грунтовых вод, непосредственного стока дождевых и талых вод и некоторого стока из Центрального Арала,

когда тот водоем достаточно наполнен сбрасываемой из Малого Арала водой. Его уровень 8 августа 2015 г. находился между отметками 24 и 25 м, а его площадь составляла около 3000 км<sup>2</sup> (Рис. 13). Если сохранятся нынешние тенденции, то в течение некоторого времени уровень Западного бассейна продолжит падать, и его площадь – сокращаться, и, возможно, наступит стабилизация около отметки 21 м при площади 2560 км<sup>2</sup> (предполагаемое испарение – 1100 мм, осадки – 111 мм, чистый приток подземных вод – 2 км<sup>3</sup>/год, поверхностный сток – 0,53 км<sup>3</sup>/год). Вероятно продолжение этого процесса в направлении гиперсалинизации с неуклонным приближением к условиям, характерным для Большого Соленого озера в США, Мертвого моря на Ближнем Востоке и озера Урмия в Иране (соленость более 300 г/л) [27].

Если рост солености Западного бассейна Большого Арала не остановится, то его и так уже низкое биоразнообразие будет сокращаться. Первыми исчезнут коловратки *Brachionus plicatilis* и *Hexarthra fennica*, ракушковый рачок *Cyprideis torosa*, затем – инфузория *Frontonia marina* и циклоп *Apocyclops dengizicus*. В дальнейшем выпадут из фауны гарпактициды *Cletocamptus retrogressus*, инфузория *Fabrea salina*, личинки хирономиды *Baeotendipes noctivaga* и остракода *Eucypris mareotica*. Исчезнут и представители остальных групп беспозвоночных. В результате может остаться только *Artemia parthenogenetica*, но и этот рачок исчезнет, когда соленость приблизится к 350 г/л.

Фауна свободноживущих беспозвоночных Восточного бассейна Большого Арала, представленная до его высыхания, вероятнее всего, только *Artemia*, сможет восстановиться и после ее гибели, если в очередной раз этот остаточный водоем получит воду из Амударьи. Источником для восстановления популяции артемии станут цисты, оставшиеся на обсохшем его дне или же заносимые ветром с других гиперсалинных водоемов.

Но для Западного бассейна Большого Арала есть и более оптимистичные сценарии. На рис. 11 показана концепция, разработанная на основе более ранней работы 1970-х гг. двух советских экспертов [12]. Это потребовало бы среднегодового стока в низовье Амударьи в размере около 12,5 км<sup>3</sup>. Здесь среднегодовой сток за 1990–2011 гг. оценивается как около 5,4 км<sup>3</sup>/год. Следовательно, потребуется чуть больше, чем его удвоение, чего можно достичь за счет реально осуществимого повышения эффективности орошения в бассейне р. Амударьи. Эта альтернатива, скорее всего, будет стоить больше затраченных на первом этапе восстановления Малого Арала 85 млн. долларов США. Наибольшие препятствия на пути осуществления этого плана – политические и экономические. Это связано с тем, что усложнятся разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений на некоторых участках сейчас сухого дна южной части Западного бассейна Аральского моря.

Реабилитация и сохранение низовьев дельты Амударьи стали приоритетом с конца 1980-х гг. Это осуществляется путем создания искусственных водоемов и водно-болотных угодий и реабилитации бывших озер и болот в дельте и на обсохшем дне Аральского моря. Преимуществом является повышение биоразнообразия, улучшение условий для рыболовства, увеличение кормопроизводства, очистка сточных вод водной растительностью и некоторое снижение выноса соли и пыли с обсохшего дна моря. Дополнительной мерой служит фитомелиорация с помощью солеустойчивых кустарников, трав и деревьев участков осушенного дна для их стабилизации и снижения дефляционного потенциала. Также делаются попытки улучшить состояние водно-болотных угодий и озер (например, Карашалан, Камыслыбас и Тущибас) в низовьях Сырдарьи.

## Заключение

Современное высыхание Аральского моря еще раз показывает, что природная среда может быть легко и быстро разрушена действиями человека, но ее восстановление, если оно возможно – длительный и трудный процесс. Следовательно, человечество должно быть очень осторожным с масштабным вмешательством в сложные природные системы. Важно

тщательно оценивать потенциальные последствия таких предлагаемых мер, прежде чем действовать, надеясь на лучшее, так, как Советский Союз поступил с Аральским морем.

Даже если конкретная человеческая деятельность не привела к серьезным проблемам в прошлом, это не является гарантией, что она не создаст проблем в будущем. Широкое распространение орошения в бассейне Аральского моря серьезно не влияло на море до 1960-х гг., потому, что большие объемы отбора воды возмещались компенсирующими факторами. Однако они были полностью использованы или подавлены.

Следует остерегаться привлекательных, но легковесных решений сложных экологических и человеческих проблем. Ситуация с Аралом развивается уже в течение более чем 50 лет и ее не исправить за ночь. Предлагаемые чтобы сберечь воду и помочь морю «быстрые решения» вполне могут создать проблемы более серьезные, чем те, которые мы пытаемся решить. Устойчивые решения потребуют в долгосрочной перспективе не только крупных инвестиций и технических инноваций для повышения эффективности использования воды на орошение, но также фундаментальных политических, социальных и экономических изменений, на что нужно время.

Но не все настолько мрачно. Природная среда удивительно устойчива. Следовательно, не надо терять надежду и оставлять усилия по ее сохранению, даже когда задача выглядит пугающе. Многие сбросили Арал со счетов как безнадежный, но сейчас однозначно показано, что значительные его части можно сохранить и экологически восстановить. Более того, хотя в обозримом будущем это и нереально, в отдаленной перспективе даже станет возможным в достаточной степени сократить потребление воды, чтобы обеспечить необходимый для возвращения моря к состоянию, в каком оно находилось более чем полвека назад, объем речного стока. Как доказывают археологические и седиментологические свидетельства, Арал в прошлом высыхал столь же сильно, как сейчас, и восстанавливался.

Сохранение биологических рефугиумов является ключом к спасению видов, которым угрожает исчезновение. Если альтернативное местообитание сохраняется, то, если и когда условия обитания в исходном месте становятся благоприятными, эти виды могут возвратиться самостоятельно, или же могут быть обратно вселены людьми. Это именно то, что произошло в Малом Аральском море.

Крупномасштабные проекты восстановления окружающей среды, такие как проект восстановления Малого Аральского моря, требуют тщательного мониторинга. Это необходимо не только для того, чтобы убедиться в том, что они работают как ожидалось, и для обеспечения обратной связи, но и для того, чтобы выучить новые уроки, что поможет сделать более успешными подобные мероприятия где-нибудь в другом месте.

## **Выводы**

Учитывая приведенные выше данные можно сделать следующие выводы.

Еще до начала антропогенной регрессии и осолонения Арала его экосистема испытала последствия вселения новых видов, начавшегося в конце 1920-х гг.

Основной и единственной причиной современного высыхания и осолонения Аральского моря является изъятие вод Амударьи и Сырдарьи для орошения.

Можно выделить 3 основных стадии процесса снижения биоразнообразия Арала вследствие его осолонения:

- в 1971–1976 гг., когда соленость превысила 12–14 г/л, исчезли солонатоводные виды пресноводного происхождения;
- в 1986–1989 гг., когда соленость превысила 23–25 г/л, исчезли солонатоводные виды каспийского происхождения;
- в конце 1990-х – начале 2000-х гг. из Большого Арала, когда его соленость превысила 80-100 г/л, исчезают виды морского происхождения.

В 1989 г. Аральское море в результате высыхания разделилось на 2 части: Малый Арал на севере и Большой Арал на юге. На месте одного водоема образовалось 2 сестринских.

После разделения Аральского моря в 1989 г. Малый Арал имеет положительный водный баланс, его соленость снижается (после постройки новой плотины в проливе Берга его уровень повысился). Стало возможным восстановление его биоразнообразия и возрождение рыболовства.

Большой Арал, имея отрицательный водный баланс, продолжает высыхать и осолоняться, превратившись к концу 1990-х гг. в гипергалинный водоем. Восстановление его биоразнообразия и рыболовства не представляется реальной возможностью. Единственной возможностью хозяйственной деятельности на Большом Арале является промышленная заготовка цист рачка артемии.

К настоящему времени Большой Арал разделился на 3 отдельных водоема: Западный и Восточный бассейны, связанные протокой, и озеро Тще-Бас.

Существенное повышение эффективности орошения земель в бассейне Аральского моря могло бы сберечь значительный объем воды, который смог бы существенно пополнить водный баланс Арала. Однако это требует всеохватывающей и очень дорогостоящей реконструкции оросительных систем, а также существенных перемен в социально-экономической сфере, что пока маловероятно.

Объем поступления подземных вод в Аральское море существенно больше, чем считалось раньше.

Ставший теперь полуостровом остров Возрождения, который в советское время был полигоном для исследования и испытания биологического оружия, остается «бомбой замедленного действия», т.к. сохранившиеся там активные возбудители болезней могут попасть на материк.

Планы добычи нефти и газа на высохшем дне Аральского моря могут снизить интерес властей к его спасению.

Кроме вышеперечисленных выводов следует отметить, что нужно сделать для сохранения биоразнообразия и биологических ресурсов Аральского моря:

- Как можно скорее поднять на 2-3 м плотину в проливе Берга.
- В ближайшие годы построить плотину в горле залива Сарышаганак.
- Построить простейшую плотину к югу от полуострова Куланды.
- Отказаться от мелководных водохранилищ в дельте Амударьи.
- Направить остаток стока Амударьи в Западное Большое Аральское море.

Таблица 1.

Гидрологические и соленостные характеристики Аральского моря (1960–2015 гг.).

Год и часть моря	Уровень, м н.у.м.	Площадь, км <sup>2</sup>	% от площади в 1960 г.	Объем, км <sup>3</sup>	% от объема в 1960 г	Средняя глубина, м	Средняя соленост ь, г/л	% от соленост и в 1960 г.
1960 (все море)	53,4	67499	100	1089	100	16,1	10	100
Большое	53,4	61381	100	1007	100	16,4	10	100
Малое	53,4	6118	100	82	100	13,4	10	100
1971 (все море)	51,1	60200	89	925	85	15,4	12	120
1976 (все море)	48,3	55700	83	763	70	13,7	14	140
1989 (все море)		39734	59	364	33	9,2		
Большое	39,1	36930	60	341	34	9,2	30	300
Малое	40,2	2804	46	23	28	8,2	30	300
22.09.2009 (все море)		7146	10,6	83	7,7	10,8		
З. бассейн Большого	27	3588	26,2	56	17,9	15,1	>100	>1000
В. бассейн Большого	27	516	1,1	0,64	0,07	0,7	>150?	>1500
залив Тще-Бас	28	292		0,51	7,1	1,4	~85	850
Малое	42	3200	52	27	33	8,4	8	100–130
29.8 и 25.11 2014 г. (все море)		6990	10,4	48,2	4,4	6,9		
З. бассейн Большого	25,0	3120	22,8	54	17,2	15,4	>150	>1000
В. бассейн Большого	25	0	0	0	0	0	0	0
залив Тще-Бас	28,5	372		0,72		1,4	89	890
Малое	41,9	3197	52,3	27	33,2	8,5	6-8	0,6–0,8

Таблица 2.

Массовые виды свободноживущих беспозвоночных фауны Аральского моря.

Виды	Статус	1960-е	Конец 1980-х – начало 1990-х	Конец 1990-х – начало 2000-х		В настоящее время		
				Малый Арал	Большой Арал	Малый Арал	Большой Арал	
Protozoa								
<i>Fabrea salina</i> Hennequy	I	–	–	–	?	–	+	
<i>Frontonia marina</i> Fabre-Domergue	I	–	–	–	?	–	+	
Turbellaria								
<i>Gyratrix hermaphroditus</i> Ehrenberg	A	+	–	–	–	–	–	
Rotatoria								
<i>Synchaeta vorax</i> Rousselet	A	+	+	+	–	+	–	
<i>S. cecilia</i> Rousselet	A	+	+	+	–	+	–	
<i>Brachionus quadridentatus</i> Hermann	A	+	?	+	–	+	–	
<i>Brachionus plicatilis</i> Müller	A	+	+	+	+	+	–	
<i>K. tropica</i> (Apstein)	A	+	+	+	–	+	–	
<i>Keratella quadrata</i> (Müller)	A	+	+	+	–	+	–	
<i>Hexarthra fennica</i> (Levander)	A	+	–	?	+	?	+	
<i>Hexarthra oxyuris</i> (Zernov)	A	+	–	?	+	+	–	
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg)	A	+	–	?	–	?	–	
Oligochaeta								
<i>Psammorhynchides albicola</i> (Michaelson)	A	+	–	–	–	–	–	
Polychaeta								
<i>Hediste diversicolor</i> (O.F. Müller)	I	+	+	+	–	+	–	
Cladocera								
<i>Diaphanosoma brachyurum</i> Lievin	A	+	–	+	–	+	–	
<i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Müller)	A	+	–	–	–	+	–	
<i>Alona rectangularis</i> G. Sars	A	+	–	–	–	+	–	
<i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller)	A	+	–	–	–	+	–	
<i>Ceriodaphnia reticulata</i> (Jurine)	A	+	–	+	–	+	–	
<i>Moina mongolica</i> Daday	A	+	–	+	+	+?	–	
<i>Podonevadne camptonyx</i> (G. Sars)	A	+	+	+	–	+	–	
<i>Evadne anonyx</i> G. Sars	A	+	–	+	–	+	–	
<i>Cercopagis pengoi aralensis</i> M.-Boltovskoi	A	+	–	–	–	–	–	
Anostraca								
<i>Artemia parthenogenetica</i> Bowen et Sterling	I	–	–	–	+	–	+	
Copepoda								
<i>Phyllodiaptomus blanci</i> (Guerne et Richard)	A	+	–	–	–	+	–	
<i>Arctodiaptomus salinus</i> (Daday)	A	+	–	–	–	–	–	
<i>Calanipeda aquaedulcis</i> Kritchagin	I		+	+	+	–	–	
<i>Halicyclops rotundipes aralensis</i> Borutzky	A	+	+	+	–	+?	–	
<i>Cyclops vicinus</i> Uljanin	A	+	–	–	–	+	–	
<i>Acanthocyclops viridis</i> (Jurine)	A	+	+	+	–	+	–	
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus)	A	+	–	+	–	+	–	
<i>Apocyclops dengizicus</i> (Lepeshkin)	I	–	–	–	+	–	+	
<i>Schizopera aralensis</i> Borutzky	A	+	+	+	–	+	–	
<i>S. reducta</i> Borutzky	A	+	?	?	–	?	–	
<i>Nitocra lacustris</i> (Schmankewitsch)	A	+	+	+	+	+	+?	
<i>Mesochra aestuarii aralensis</i> Borutzky	A	+	+?	+	–	+	–	
<i>Cletocamptus retrogressus</i> Schmankewitsch	A	+	+	+	+	+	+	

Виды	Статус	1960-е	Конец 1980-х – начало 1990-х	Конец		В настоящее время		
				1990-х – начало 2000-х				
				Малый Арал	Большой Арал	Малый Арал	Большой Арал	
<b>Ostracoda</b>								
<i>Cyclocypris laevis</i> (O. F. Müller)	A	+	–	?	–	?	–	
<i>Plesiocypris newtoni</i> (Brady et Robertson)	A	+	–	?	–	?	–	
<i>Cyprideis torosa</i> (Jones)	A	+	+	+	+	+	+	
<i>Amnicythere cymbula</i> (Livental)	A	+	+	?	–	?	–	
<i>Tyrrhenocythere amnicola donetziensis</i> (Dubowsky)	A	+	+	?	–	?	–	
<i>Limnocythere (Limnocythere) inopinata</i> (Baird)	A	+	–	?	–	?	–	
<i>L. (Galolimnocythere) aralensis</i> Schornikov	A	+	+	?	–	?	–	
<i>Cyprinotus salinus</i> (Brady)	I	–	+	+	–	+	–	
<i>Eucypris mareotica</i> (Fischer)	I	–	+	+	+	+	+?	
<b>Malacostraca</b>								
<i>Dikergammarus aralensis</i> (Uljanin)	A	+	–	–	–	–	–	
<i>Paramysis (Mesomysis) intermedia</i> (Czerniavsky)	I	+	–	–	–	+	–	
<i>Palaemon elegans</i> Rathke	I	+	+	+	–	+	–	
<i>Rhithropanopeus harrisi tridentata</i> Maitland	I	+	+	+	–	+	–	
<b>Bivalvia</b>								
<i>Dreissena polymorpha aralensis</i> (Andrusov)	A	+	–	–	–	+	–	
<i>D. p. obtusicarinata</i> (Andrusov)	A, E	+	–	–	–	–	–	
<i>D. caspia pallasii</i> (Andrusov)	A, E	+	–	–	–	–	–	
<i>Cerastoderma rhomboides</i> (Lamarck)	A, E	+	–	–	–	–	–	
<i>C. isthmicum</i> Issel	A	+	+	+	–	+	–	
<i>Hypanis minima minima</i> (Ostroumoff)	A, E	+	–	–	–	–	–	
<i>Syndosmya segmentum</i> Récluz	I	+	+	+	–	+	–	
<b>Gastropoda</b>								
<i>Theodoxus pallasii</i> Lindholm	A	+	–	–	–	–	–	
<i>Caspiohydrobia</i> spp.	A	+	+	+	+	+	–	
<b>Chironomidae</b>								
<i>Chironomus behningi</i> Goetghebuer	A	+	–	+?	–	+	–	
<i>Chironomus plumosus</i> (Linnaeus)	A?	+?	–	–	–	+	–	
<i>Baeotendipes noctivaga</i> (Kieffer)	I	–	–	–	+	–	+	

A – абориген; I – вселенец; E – вымер.

Видовой состав ихтиофауны Аральского моря.

Вид	Статус вида
Асипенсеридеи	
Шип <i>Acipenser nudiiventris</i> Lovetsky	A, C, E
Салмонидеи	
Аральский лосось <i>Salmo trutta aralensis</i> Berg	A, C, R, E
Слупеидеи	
Салака <i>Clupea harengus membras</i> (Linnaeus)	I, R
Есочидеи	
Щука <i>Esox lucius</i> Linnaeus	A, C
Супринидеи	
Аральская вобла <i>Rutilus rutilus aralensis</i> Berg	A, C
Туркестанский язь <i>Leuciscus idus oxianus</i> (Kessler)	A, C-
Жерех <i>Aspius aspius iblioides</i> (Kessler)	A, C
Красноперка <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus)	A, C-
Туркестанский усач <i>Barbus capito conocephalus</i> Kessler	A, C, RB
Аральский усач <i>Barbus brachycephalus brachycephalus</i> Kessler	A, C, RB
Лещ <i>Abramis brama orientalis</i> Berg	A, C
Белоглазка <i>Abramis sapa aralensis</i> Tjapkin	A, C
Аральская шемая <i>Chalcalburnus chalcoides aralensis</i> (Berg)	A, C
Чехонь <i>Pelecus cultratus</i> (Linnaeus)	A, C
Серебряный карась <i>Carassius carassius gibelio</i> Bloch	A, C
Сазан <i>Cyprinus carpio aralensis</i> Spitzshakow	A, C
Белый амур <i>Stenopharyngodon idella</i> (Valenciennes)	I, C
Белый толстолобик <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> (Valenciennes)	I, C
Пестрый толстолобик <i>Aristichthys nobilis</i> (Richardson)	I, C
Силуриды	
Сом <i>Silurus glanis</i> Linnaeus	A, C
Атеринидеи	
Каспийская атерина <i>Atherina boyeri caspia</i> (Eichwald)	I+, N
Гастеростидеи	
Девятиглая колюшка <i>Pungitius platygaster aralensis</i> (Kessler)	A, N, R
Перциды	
Судак <i>Stizostedion lucioperca</i> (Linnaeus)	A, C
Окунь <i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus	A, C
Ёрш <i>Gymnocephalus cernuus</i> (Linnaeus)	A, N
Чанниды	
Змееголов <i>Channa argus warpachowskii</i> Berg	I+, C
Гобиидеи	
Бычок-бубырь <i>Pomatoschistus caucasicus</i> Berg [= <i>Knipowitschia caucasica</i> (Berg)]	I+, N
Бычок-песочник <i>Neogobius fluviatilis pallasii</i> (Berg)	I+, N
Бычок-цуцик <i>Proterorhinus marmoratus</i> (Pallas)	I+, N
Бычок-кругляк <i>Neogobius melanostomus affinis</i> (Eichwald)	I+, N
Бычок-головач <i>Neogobius kessleri gorlap</i> Ijgin	I+, N
Бычок-ширман <i>Neogobius syrman eurystomus</i> (Kessler)	I+, N
Плеуронектиды	
Камбала <i>Platichthys flesus luscus</i> (Pallas)	I, C

A – абориген; I – вселенец; I+ – вселен попутно при плановой интродукции; C – промысловый; N – непромысловый; R – редкий, RB – в Красной книге; E – вымер.



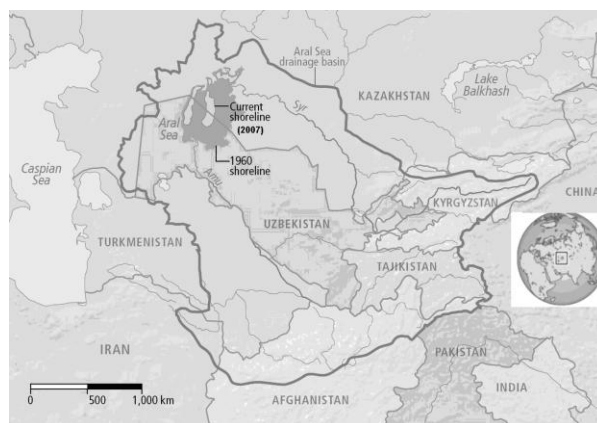


Рисунок 1. Расположение бассейна Аральского моря в Центральной Азии (Micklin and Aladin 2008, с изменениями).

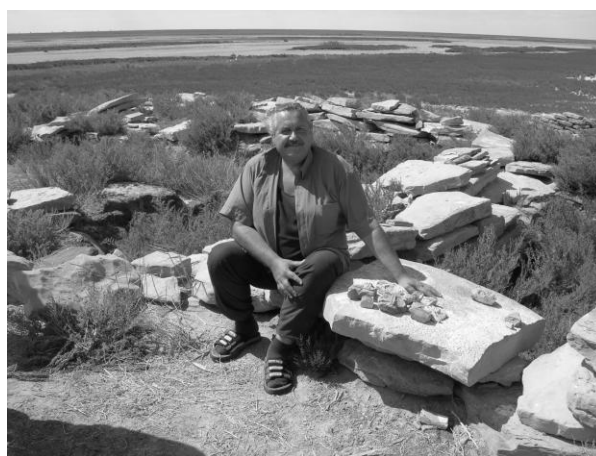


Рисунок 2. Кердери 1. Мавзолей и реликтовый канал, отходящий от древнего русла Сырдарьи (Н. Аладин сидит рядом с керамическими артефактами; фото: Р. Micklin).

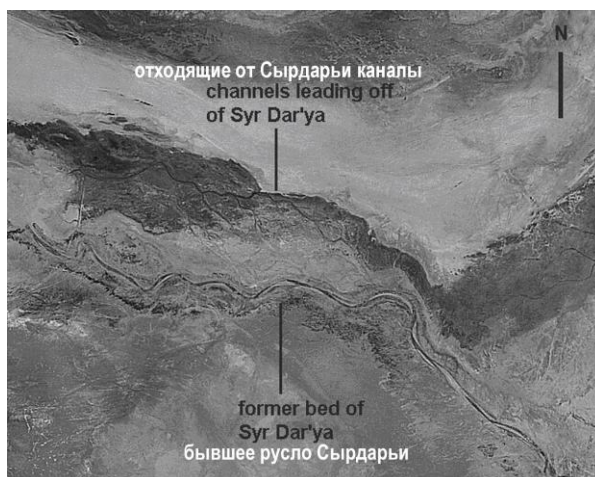


Рисунок 3. Landsat band 5 космический снимок от 09.11.2007, показывающий древнее русло Сырдарьи на обсохшем дне Восточного бассейна Большого Арала и отходящие на северо-запад протоки.

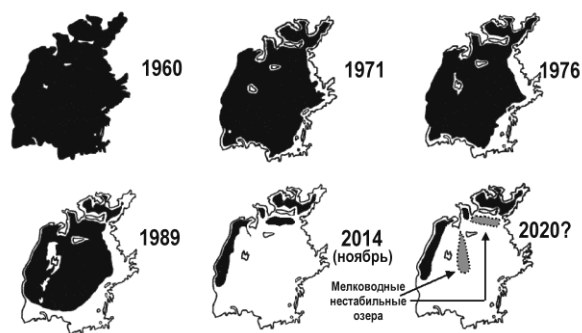


Рисунок 4. Изменение очертаний Аральского моря, (1960–2020 гг.).

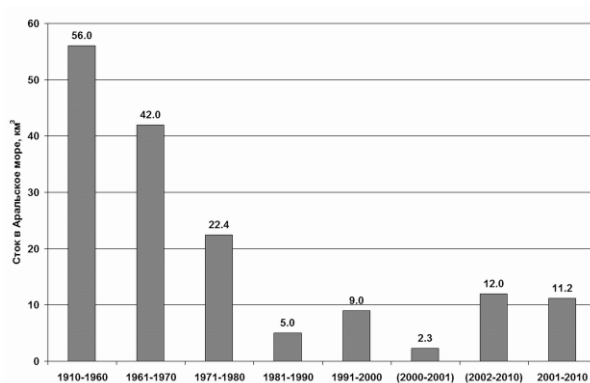


Рисунок 5. Сток в Аральское море в 1910–2010 гг.

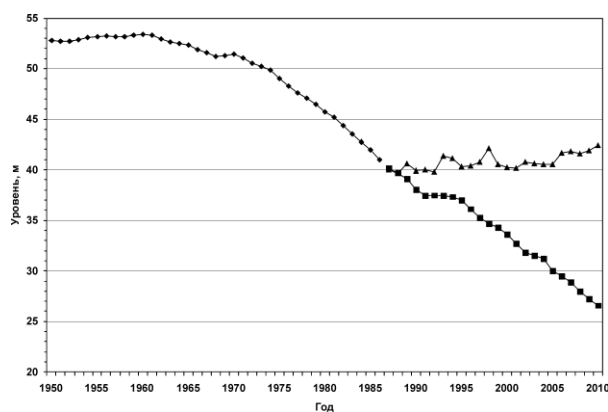


Рисунок 6. Изменение уровня Аральского моря (1950–2010 гг.).



Рисунок 7. Кок-Аральская дамба с плотиной, вид с нижнего бьефа (сентябрь 2007 г.) (фото: И. Плотников).

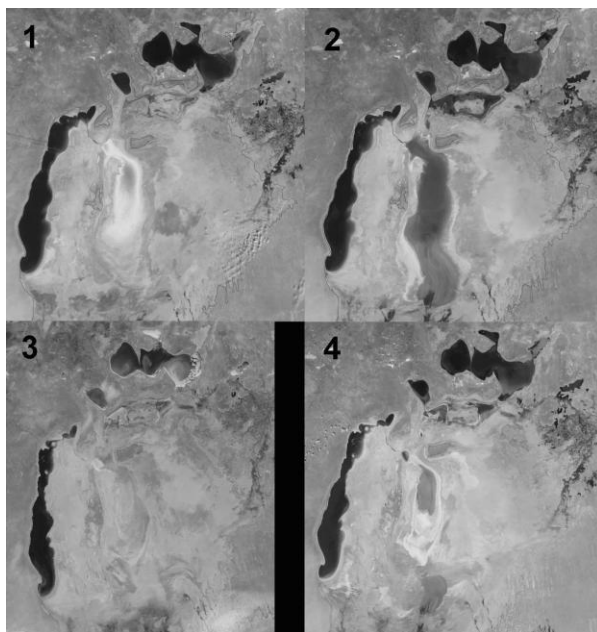


Рисунок 8. Аральское море (MODIS 250 m, true color images, bands 1-4-3). 1 – 22.08.2009, 2 – 23.08.2010, 3 – 1.11.2014, 4 – 22.05.2015.

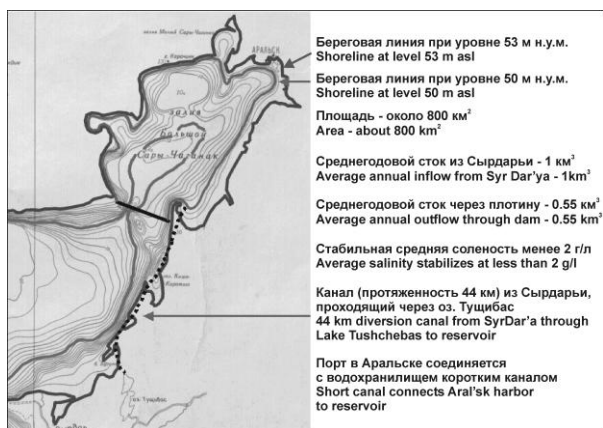


Рисунок 9. План создания водохранилища Сарышаганак.

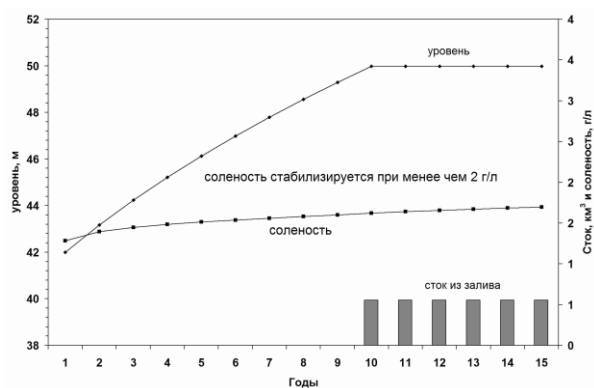


Рисунок 10. Изменение уровня и солёности водохранилища Сарышаганак.

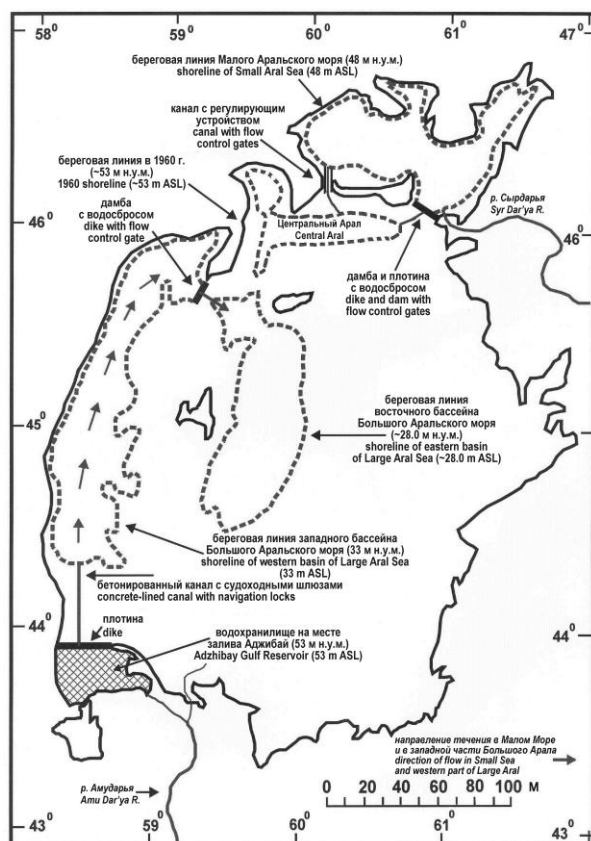


Рисунок 11. Оптимистический сценарий будущего Аральского моря (после 2030 г.). *Малое Аральское море*: уровень 48 м, площадь 4830 км<sup>2</sup>, объем 53,5 км<sup>3</sup>, среднегодовой речной сток 5,0 км<sup>3</sup>, среднегодовой сток из Малого моря 1,0 км<sup>3</sup>, среднегодовая соленость 6 г/л; *западный бассейн Большого Аральского моря*: уровень 33 м, площадь 6200 км<sup>2</sup>, объем 85 км<sup>3</sup>, среднегодовой речной сток 6,4 км<sup>3</sup>, среднегодовой приток грунтовых вод 2,0 км<sup>3</sup>, среднегодовой сток в восточный бассейн 3,6 км<sup>3</sup>, 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 км<sup>2</sup>, объем ~7,6 км<sup>3</sup>, приток из западного бассейна Большого Арала 3,6 км<sup>3</sup>, приток их Центрального Арала сильно изменчив, среднегодовая соленость >200 г/л.; *водохранилище на месте залива Аджибай*: уровень 53 м, площадь 1147 км<sup>2</sup>, объем 6,43 км<sup>3</sup>, приток 8 км<sup>3</sup>, сток в Западный бассейн Большого Аральского моря 6,6 км<sup>3</sup>, среднегодовая соленость 2 г/л.

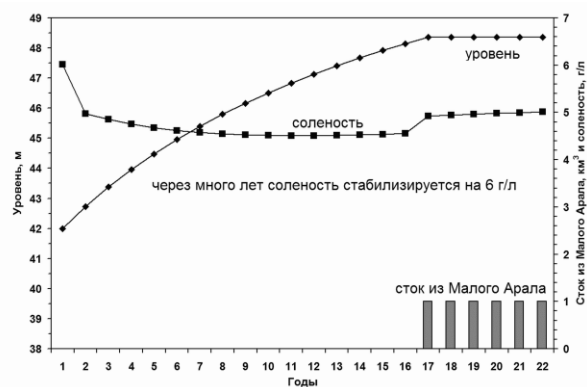


Рисунок 12. Время заполнения и изменение солености Малого Аральского моря по сценарию с уровнем ниже 48 м и среднем притоке 5 км<sup>3</sup>.



Рисунок 13. MODIS снимок Аральского моря (22.05.2015).

## Литература

1. Аладин Н.В. 2012. Плотина жизни или плотина длиною в жизнь. Часть первая. «Пролог» или Первая Пятилетка (1988–1992 гг.). *Астраханский вестник экологического образования*, 3(21): 206–216.
2. Аладин Н.В., Плотников И.С. 1995. Изменения уровня Аральского моря: палеолимнологические и археологические доказательства. *Тр. Зоол. ин-та РАН*, 262: 17–46.
3. Аладин Н.В., Плотников И.С. 1995. Высыхание Аральского моря и возможные пути реабилитации и консервации его северной части. *Тр. Зоол. ин-та РАН*, 262: 3–16.
4. Аладин Н.В., Плотников И.С. 2008. Современная фауна остаточных водоемов, образовавшихся на месте бывшего Аральского моря. *Тр. Зоол. ин-та РАН*, 312(1/2): 145–154.
5. Бортник В.И., Чистяева С.П. (Ред.) 1990. Аральское море. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, 7. Гидрометеиздат, Л., 196 с.
6. Жолдасова И.М., Казахбаев С., Ельбаева М.К., Ембергенова У.С., Любимова С.К., Мирабдуллаев И.М. 2000. Обнаружение артемии в открытой части Аральского моря. *Доклады АН РУз*, 12: 48–50.
7. Жолдасова И.М., Павловская Л.П., Елбаева М.К. 1999. Кардинальные изменения в составе биоты Аральского моря. *Узбекский биологический журнал*, 5: 68–70.
8. Завьялов П.О., Арашкевич А.Г., Бастида И. и др. 2012. Большое Аральское море в начале XXI века: физика, биология, химия. Наука, М., 229 с.
9. Завьялов П.О., Арашкевич А.Г., Грабовский А.Б., Дикарев С.Н., Джалилов Г., Евдокимов Ю.В., Кудышкин Т.В., Курбаниязов А.К., Матчанов А.Т., Ни А.А., Сапожников Ф.В., Томашевская И.Г. 2006. Квазисиноптические экспедиционные исследования в западном и восточном бассейнах Аральского моря (октябрь 2005 г.). *Океанология*, 46(5): 750–754.
10. Карпевич А.Ф. 1975. Теория и практика акклиматизации водных организмов. Пищевая промышленность, М., 432 с.
11. Курбаниязов А.К., Байназаров К.К., Избасаров Б.Ж. 2009. Результаты наблюдения гидрологического и гидробиологического состояния Аральского моря (2002–2006 гг.). *Вестник Актюбинского университета Дуние*, 1(14): 92–96.
12. Львович М.И., Цигельная И.Д. 1978. Управление водным балансом Аральского моря. *Изв. АН СССР, сер. географ.*, 1: 42–54.
13. Мордухай-Болтовской Ф.Д. (Ред.) 1974. Атлас беспозвоночных Аральского моря. Пищевая промышленность, М., 272 с.
14. Мусаев А.К., Жолдасова И.М., Мирабдуллаев И.М., Темибеков Р.О. 2012. Развитие ресурсов артемии Аральского моря. Материалы Международной научной конференции «Животный мир Казахстана и сопредельных территорий», посвященной 80-летию Института зоологии Республики Казахстан. 22-23 ноября 2012 года. Алматы: 144–146.
15. Плотников И.С. 2016. Многолетние изменения фауны Свободноживущих водных беспозвоночных Аральского моря. ЗИН РАН, СПб, 168 с.
16. Ermakhanov Z.K., Plotnikov I.S., Aladin N.V. and Micklin P. 2012. Changes in the Aral Sea ichthyofauna and fishery during the period of ecological crisis. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 17: 3–9.
17. Indoitu, R., Kozhoridze G., Batyrbaeva M., Vitkovskaya I., Orlovsky N., Blumberg D., Orlovsky L. 2015. Dust emission and environmental changes in the dried bottom of the Aral Sea. *Aeolian Research*, 17: 101–115.
18. Krivinogov S. 2014. Chapter 4. Changes of the Aral Sea level. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 77–111.

19. Lioubimtseva E. 2014. Chapter 17. Impact of Climate Change on the Aral Sea and Its Basin. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 405–427.
20. Micklin P. 2007. The Aral Sea Disaster. In: Jeanloz R. et al. (Eds). *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 35: 47–72, Palo Alto, California (doi: 10.1146/annurev.earth.35.031306.140120). <http://arjournals.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.earth.35.031306.140120>.
21. Micklin P. 2007. Destruction of the Aral Sea. In: Parkinson C.L. et al. (Eds). *Our Changing Planet: the View from Space*. Cambridge University Press, New York: 320–326.
22. Micklin P. 2010. The past, present, and future Aral Sea. *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, 15: 193–213.
23. Micklin P. 2014. Chapter 1. Introduction. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 1–11.
24. Micklin P. 2014. Chapter 2. Introduction to the Aral Sea and Its Region. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 15–40.
25. Micklin P. 2014. Chapter 5. Aral Sea Basin Water Resources and the Changing Aral Water Balance. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 111–137.
26. Micklin P. 2014. Chapter 8. Irrigation in the Aral Sea Basin. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 207–233.
27. Micklin P. 2014. Chapter 15. Efforts to Revive the Aral Sea. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 361–405.
28. Micklin P. 2014. Chapter 16. The Siberian Water Transfer Schemes. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 381–404.
29. Micklin P. and Aladin N.V. 2008. Reclaiming the Aral Sea. *Scientific American*, April: 64–71.
30. Mirabdullayev I., Abdullaeva L., Musaev A., Zholdasova I., Mustafaeva Z. and Jumaniezova N. 2007. Sharp fluctuations in ecosystem parameters of the East Big Aral. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9. SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-00722, European Geosciences Union.
31. Mirabdullayev I.M., Joldasova I.M., Mustafaeva Z.A., Kazakhbaev S., Lyubimova S.A. and Tashmukhamedov B.A. 2004. Succession of the ecosystems of the Aral Sea during its transition from oligohaline to polyhaline water body. *Journal of Marine Systems*, 47(1): 101–107.
32. Mokievsky V.O. 2009. Quantitative distribution of the meiobenthos in the Large Aral Sea in 2003 and 2004. *Journal of Marine Systems*, 76: 336–342.
33. Mokievsky V.O. and Miljutina M.A. 2011. Nematodes in meiofauna of the Large Aral Sea during the desiccation phase: taxonomic composition and redescription of common species. *Russian Journal of Nematology*, 19(1): 31–43.
34. Plotnikov I.S. and Aladin N.V. 2014. Chapter 14. The Biological Future of the Aral Sea. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 355–359.
35. Plotnikov I.S., Aladin N.V., Ermakhanov Z.K., and Zhakova LV. 2014. Chapter 3. Biological Dynamics of the Aral Sea before Its Modern Decline (1900–1960). In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 41–47.
36. Plotnikov I.S., Aladin N.V., Ermakhanov Z.K., and Zhakova LV. 2014. Chapter 6. The New Aquatic Biology of the Aral Sea. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 137–171.
37. Reimov P. and Fayzieva D. 2014. Chapter 7. The Present State of the South Aral Sea Area. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 171–204.
38. Toman M.J., Plotnikov I., Aladin N., Micklin P. and Ermakhanov Z. 2015. Biodiversity, the present ecological state of the Aral Sea and its impact on future development. *Acta Biologica Slovenica*, 58(1): 45–59.
39. White K.D. 2014. Chapter 12. Nature and Economy in the Aral Sea Basin. In: Micklin P., Aladin N. and Plotnikov I. (Eds). *The Aral Sea: The Devastation and Partial Rehabilitation of a Great lake*. Springer, Heidelberg: 301–335.
40. World Bank 2001. Project appraisal document on a proposed loan in the amount of US\$64.5 million to the Republic of Kazakhstan for the Syr Darya control and northern Aral Sea Phase-I Project, Report No. 22190-KZ, 98 p. (PDF format).
41. Zavialov P. 2010. Physical oceanography of the large Aral Sea. In: Kostianoy A.G. and Kosarev A.N. (Eds). *The Aral sea environment*, Vol. 7, The handbook of environmental chemistry. Springer, Berlin/Heidelberg: 123–147.