



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **Проблемы восстановления**
водного режима Аральского моря

Исполнитель _____ Ахмедова Альбина Рафиковна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ д.г.н. профессор
(ученая степень, ученое звание)

_____ Догановский Аркадий Михайлович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

_____ 
(подпись)

_____ К.Г.Н., доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Сикан Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

« 07 » июня 2016 г.

Санкт-Петербург
2016



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(магистерская диссертация)

На тему **Проблемы восстановления**
водного режима Аральского моря

Исполнитель _____ Ахмедова Альбина Рафиковна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ д.г.н профессор
(ученая степень, ученое звание)

_____ Догановский Аркадий Михайлович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

_____ (подпись)

_____ К.Г.Н., ДОЦЕНТ
(ученая степень, ученое звание)

_____ Сикан Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

« 07 » июня 2016 г.

Санкт–Петербург
2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. Общие сведения.	5
1.1. Физико-географическая характеристика	5
2. История возникновения и разделение Аральского моря и его бассейна	18
3. Строение котловины	24
4. Краткая климатическая характеристика	27
4.1. Климатообразующие факторы	27
4.2. Характеристика отдельных элементов климата	29
4.2.1. Температура воздуха	29
4.2.2. Влажность воздуха	33
4.2.3. Атмосферные осадки	35
5. Водный баланс	37
5.1. Общие сведения и уравнение водного баланса	37
5.2. Характеристика составляющих водного баланса	42
5.2.1. Речной сток	42
5.2.2. Атмосферные осадки	45
5.2.3. Испарение	46
6. Уровень моря	49
6.1. Общие сведения и изученность уровня моря	49
6.2. Многолетние колебания уровня моря	49
6.3. Сезонные колебания уровня моря	52
7. Соленость воды	54
7.1. Основные факторы определяющие соленость	54
7.2. Соленость вод прибрежной зоны	56
7.3. Многолетние изменения средней солености вод моря и его отдельных районов	57
8. Деградация моря и Приаралья	59
9. Восстановления моря	68
10. Заключение	79
11. Литература	80

ВВЕДЕНИЕ

Проблема Аральского моря почти уже пять десятилетий привлекает пристальное внимание научных и народнохозяйственных организаций и широкой общественности. В настоящее время режим моря подвергается беспрецедентному антропогенному воздействию и на повестке дня остро стоит вопрос о самом существовании моря как единого географического объекта. Ведутся поиски ослабления негативных последствий, связанных с его прогрессирующим усыханием и осолонением, путем сохранения части моря и реконструкции его отдельных районов.

Аральское море – крупный внутриматериковый бессточный соленый водоем, имеющий характерные морские и озерные черты. Существование моря и основные характеристики его режима прежде всего зависят от притока вод Амударьи и Сырдарьи. До начала 1960-х, несмотря на постоянный рост безвозвратных изъятий речного стока в бассейне моря, который является основным районом орошаемого земледелия моей страны, приток речных вод к морю и его режим сохранялись относительно стабильными. В эти годы Аральское море играло заметную роль в экономике Средней Азии и Казахстана – в благоприятные годы уловы рыбы достигали 400 – 500 тыс. ц, в дельтах Амударьи и Сырдарьи заготавливалось более 1 млн. шкурок ондатры. Определенный вклад в экономику моря давало судоходство. Аральское море оказывало благотворное влияние на природно-климатические условия окружающих территорий.

Уже в 1950-х годах в связи с планировавшимся резким возрастанием водохозяйственного строительства в бассейне Аральского моря, увеличением безвозвратных изъятий и регулированием стока Амударьи и Сырдарьи были выполнены ориентировочные расчеты возможных изменений

гидрологических и гидрохимических условий моря, свидетельствовавшие о серьезных негативных последствиях сокращения речного стока в море.

Действительность превзошла все ожидания. Интенсивный рост в последние десятилетия орошаемого земледелия в бассейне моря и нерациональное использование водных ресурсов привели к их практическому исчерпанию, в результате чего приток речных вод к морю снизился в 1981 – 1985 гг. до уровня санитарных попусков. Одновременно происходило ухудшение качества поступающего в море водного стока, а в настоящее время речные воды Амударьи вообще не доходят до моря. Все это привело к необратимым изменениям режима моря и его экосистемы.

Море полностью потеряло свое рыбохозяйственное и судоходное значение. Высыхание моря привело к существенным изменениям природной среды Приаралья, вызвало большие изменения социально-экономической структуры народнохозяйственного комплекса прилегающих территорий.

Аральское море является по существу огромной природной лабораторией, где проявляется весь комплекс негативных последствий антропогенного вмешательства в естественный режим крупного внутриматерикового водоема и природную среду прилегающих территорий.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

1.1. Физико – географическая характеристика

Аральское море расположено на территории двух республик: северо-восточная его часть находится на территории Казахстана, а юго-западная – на территории Узбекистана (Республика Каракалпакстан) (рис. 1). Граница между республиками пересекает западное побережье у $45^{\circ}35'$ с.ш. и восточное побережье у $44^{\circ}13'$ с.ш.



Рис. 1. Расположение Аральского моря

Аральское море – один из наиболее крупных внутриматериковых водоёмов земного шара – расположено в зоне пустынь Средней Азии – в Туранской низменности, у восточного края плоскогорья Устюрт. Аральское море занимало второе место в мире среди внутриматериковых бессточных

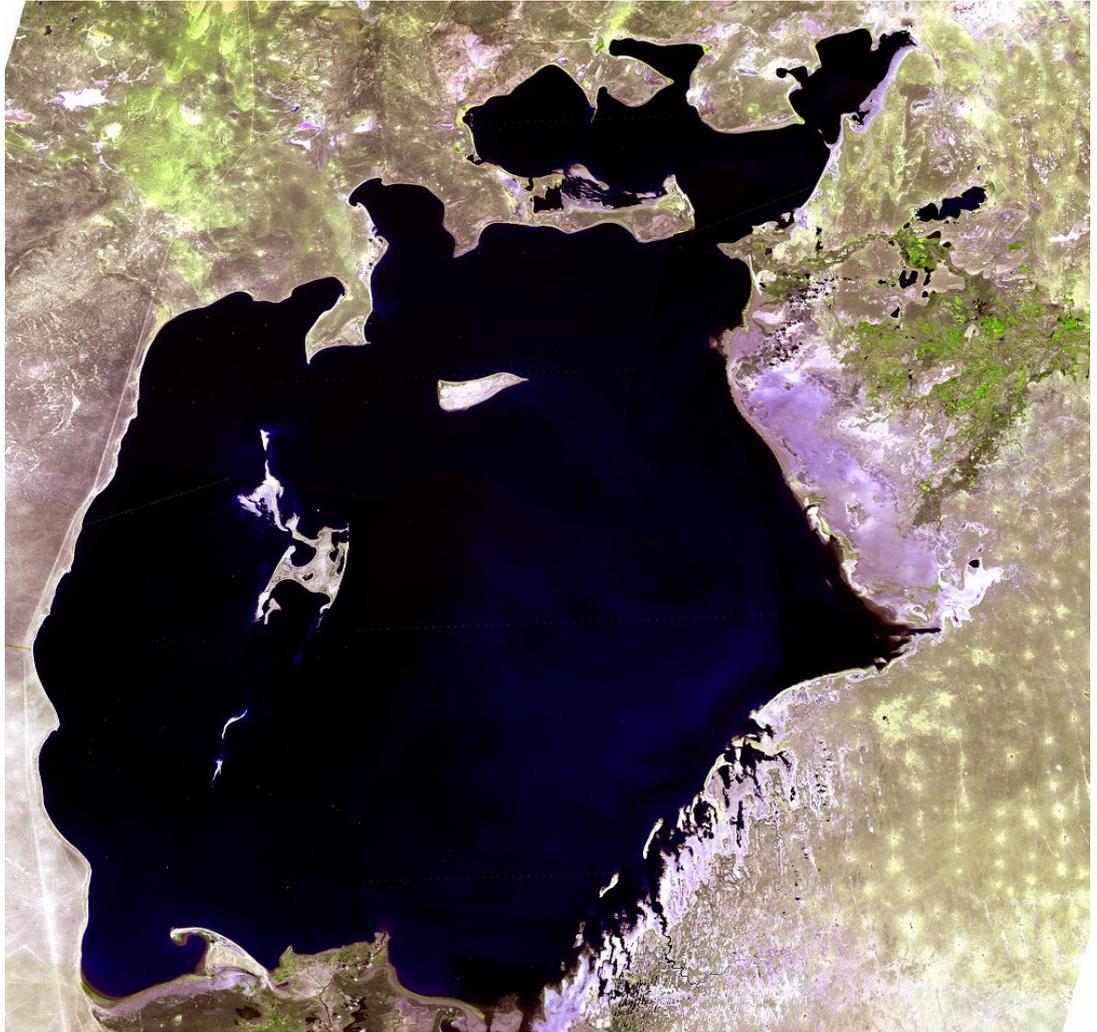


Рис. 3. Аральское море до 1960 г.

Аральское море – замкнутый природный бессточный соленый водоем, имеющий черты, свойственные и морю. До 1960 г. площадь моря составляла около 68,3 тыс. км² (площадь водной поверхности ~ 66,1 тыс. км²), объём воды 1064 км³, а средняя глубина 16,1 м. при отметке уровня 53,0 м. абс. Геологически Аральское море молодо. Абсолютный его возраст равен 139 ± 12 тыс. лет. В него впадают две крупнейшие реки Центральной Азии – Амударья¹ и Сырдарья².

Длина Амударьи 2620 км (по другим источникам 2540 км). Она образуется после слияния рек Вахш (собирающей воды Алайской долины и

¹ Окс, Оксус (греч.), Джейхун (араб.). Современное название произошло от г.Амуль (Амус, Амуй, Аму), который лежал на берегу Амударьи, на месте нынешнего Туркменабата.

² Яксарт (греч.), Сейхун (араб.).

Северного Памира) и Пянжа, с основными притоками Гунт и Бартанг, дренирующих юго-восточную часть Памирского нагорья. С точки слияния ее длина – 1400 км. В бассейн Амударьи впадают реки Кафирниган и Сурхандарья, стекающих с южных склонов Гиссарского хребта, и река Кундуз, которая формирует сток в пределах Афганистана (рис. 4).

Площадь Амударьинского бассейна 465 км^2 , из которых только горная часть дает сток около 217 тыс. км^2 . Воды реки отличаются сильной мутностью $2500 - 4000 \text{ г/м}^3$. Характерен сильный размыв берегов (дейгиш).



Рис. 4. Река Амударья

Длина Сырдарьи от место слияния рек Нарына и Карадарьи – 2206 км. Площадь бассейна около 462 тыс. км² (из которых 160 тыс. км² занимает горная часть, дающий сток). Русло извилистое неустойчивое, мутность высокая – 2000 г/м³ (рис. 5).



Рис. 5. Река Сырдарья

Сток этих двух рек, формирующийся в высокогорных районах Тянь-Шаня и Памира, где суммарные средние годовые ресурсы бассейнов этих рек (без бессточных областей) оцениваются примерно в 116 км³/год, в том числе Сырдарьи – 38 и Амударьи – 78 км³ в год. Поверхностный приток к Аральскому морю зависит как от естественной водности впадающих в него рек, так и от возрастающих безвозвратных изъятий воды в его бассейне,

предназначенных для нужд народного хозяйства и в первую очередь для орошаемого земледелия.

Бассейн Аральского моря, общая площадь которого более 2,7 млн. км² является основным районом орошаемого земледелия нашей страны, благоприятным для выращивания многих сельскохозяйственных культур, в том числе хлопчатника, риса, винограда, плодовых и цитрусовых. Плодородие почв и большая продолжительность вегетационного периода позволяет получать на полевых землях в южной части бассейна по два и даже по три урожая в год. Площадь орошаемых земель в бассейне моря в настоящее время превышает 6,9 млн. га. Численность населения, проживающей на этой территории, достигает 50 млн. человек. Море и питающий его бассейн необходимо рассматривать как единое целое, так как значительная часть водных ресурсов расходуется и теряется в пределах самих речных систем. В море поступало лишь остаток речных вод, который и определяет основные его гидрологические особенности (рис. 6).

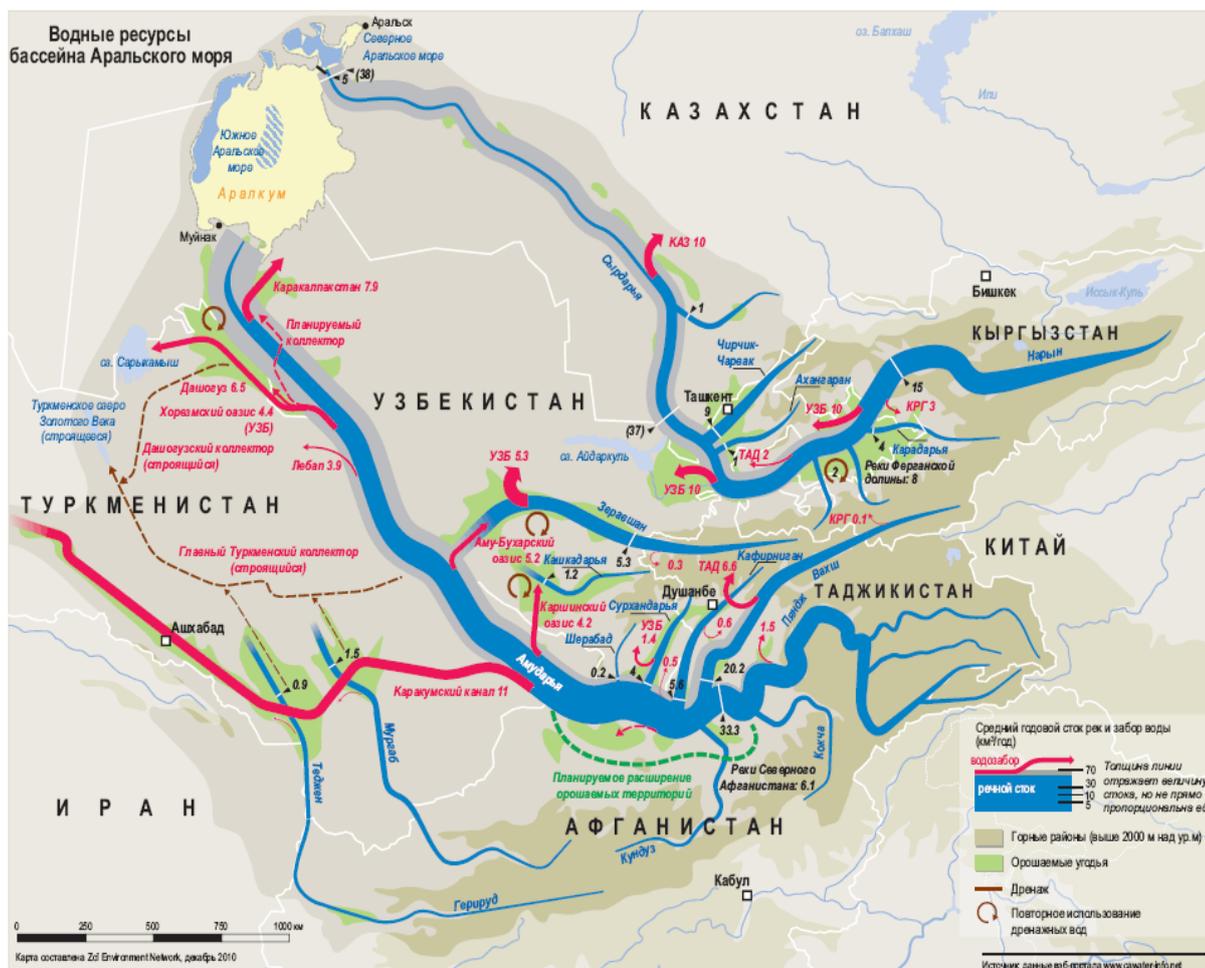


Рис. 6 Бассейн Аральского моря

С начала текущего столетия до начала 60-х годов режим Аральского моря был относительно стабилен. Годовые объёмы притока речных вод и осадков, выпадающих на поверхность моря, компенсировали потери воды на испарение, что и обуславливала незначительные колебания уровня моря около отметки 53,0 м. абс., которая и принималась за среднюю многолетнюю. В период квазистационарного режима моря относительно большой годовой объём речного стока (1/19 объёма моря) обуславливал сравнительно низкую солёность (9,6 – 10,3%) и своеобразные солевой состав Аральских вод, отличающийся от солевых составов других внутренних замкнутых и полузамкнутых морей большим содержанием углекислых и серно-кислых солей.

Море было расположено между 43°24' и 46°53' с.ш. и 58°12' и 61°59' в.д. и в целом вытянуто с юго-запада на северо-восток. Максимальная протяженность моря в этом направлении 432 км, наибольшая ширина (по параллели 45°) 292 и средняя ширина 156 км. На Аральском море до 1960 г. насчитывалось более 1100 островов общей площадью примерно 2235 км², наиболее крупные из них – Кокарал, Возрождения,³ Барсакельмес⁴, Лазарева. Именно большое количество островов и дало название морю: «арал» по-казахски означает «остров».

В начале 60-х годов под воздействием осуществляемых в бассейне моря водохозяйственных мероприятий, при дальнейшем возрастании безвозвратных изъятий стока, главным образом на нужды ирригации, началось существенное уменьшение притока речных вод в море. Этот процесс проходил на фоне некоторого снижения естественной водности рек. В результате резко нарушились водный и солевой балансы режима моря, началось быстрое снижение уровня, увеличение солености вод моря, уменьшение его площади и объёма.

К началу 1986 г. уровень моря находился уже на отметке примерно 41,4 м. абс., то есть снизился по сравнению со средним многолетним до начала 60-х годов на 11,6 м. Площадь моря сократилась на 23 тыс. км², а объём вод на 624 км³ (соответственно 35 и 59 % площади и объёма вод моря на отметке 53,0 м. абс.).

Исходя из особенностей морфологического строения Аральской котловины, в Аральском море выделяют относительно обособленную его меньшую северо-западную часть – Малое море, площадь которой при отметке уровня 53 м абс. 6 тыс. км² и объём вод примерно 80 км³ (9,1 и 7,5%

³ Интересен своей судьбой остров Возрождения площадь которого 169,8 км², который был открыт в середине 19-го века и назван в честь русского царя Николаем. Он входил в состав царских островов, наряду с островом Константин, названного в честь великого царя Константина Романова. Долгие годы этот безлюдный безводный остров был секретным военным полигоном, на котором испытывались средства защиты от биологического оружия.

⁴ Остров Барсакельмес, в переводе с казахского языка означает «пойдешь – не вернешься».

общей площади и объема моря) и остальную акваторию – Большое море. В настоящее время площадь Малого моря сократилось до 3,5 тыс. км², а объем вод - до 28 км³. Малое и Большое моря соединяются между собой проливом Берга, ширина которого в связи с падением уровня моря уменьшилось с 15 до 5 км, а максимальные глубины с 1,5 до 0,5 м. Ранее существовавший между Малым и Большим морями с западной стороны острова Кокарал еще один узкий и мелководный пролив Аузы-Кокарал давно высох, и острова Кокарал стал полуостровом.

Отличительной особенностью рельефа дна Большого моря является подводная гряда, простирающаяся от полуострова Куланды до полуострова Муйнак и выходящая на поверхность моря в виде островов Комсомольский, Возрождения и Лазарева. К западу от этой гряды расположена наиболее глубоководная часть Аральского моря, в которой находится узкая впадина с максимальными современными глубинами до 50—57 м, а к востоку — обширная котловина с пологими восточными и юго-восточными склонами, в большей части которой глубины не превышают 10—12 м. Морфометрические характеристики Аральского моря и его отдельных частей при различных высотных отметках уровня приведены в таблице 1.

Таблица 1. Площадь водной поверхности и объем вод Аральского моря и его отдельных частей при различных высотных отметках уровня

Н, м абс.	Площадь, км ²			Все море	Объем, км ³			Все море
	Малое море	Большое море			Малое море	Большое море		
		западное	восточное			западное	восточное	
53,0	5992	13628	46466	66086	79,7	302,8	681,2	1063,7
51,0	5361	13364	40885	59610	68,7	275,9	593,8	938,4
48,0	4830	12962	37556	55348	53,5	236,3	476,3	766,1
43,0	3846	11385	31417	46648	31,9	175,2	304,1	511,2
33,0	1363	6203	15817	23383	6	85,0	70,1	161,1
23,0	-	2689	-	2689	-	40,8	-	40,8
13,0	-	1597	-	1597	-	20,6	-	20,6
3,0	-	954	-	954	-	8,6	-	8,6
-16,0	-	0	-	0	-	0	-	0

Берега Аральского моря довольно разнообразны по рельефу. Северный берег Аральского моря в основном высокий и обрывистый, за исключением небольших низких участков в глубоко вдававшихся в сушу крупных заливах Большой Сарычаганак, Бутакова, Шевченко, Тще-Бас. К настоящему времени значительные площади мелководных заливов Малого моря обсохли. К северному берегу моря подходят пески Большие Барсуки, Малые Барсуки и Приаральские Каракумы.

Западный берег Аральского моря представляет собой высокий (до 190 м) и обрывистый край отрогов пустынного плато Устюрт. Западное побережье изрезано слабо и лишь на северо-западе имеется крупный залив Чернышева.

Южный берег Аральского моря низкий и образован наносами реки Амударьи, которая неоднократно меняла свое русло. Для южного побережья была характерна значительная изрезанность и неустойчивость береговой черты. Наиболее крупными заливами южного побережья являлись уже высохшие мелководные заливы Аджибай, Муйнакский, Рыбацкий, Джилтырбас. В настоящее время здесь произошло значительное выравнивание береговой линии.

Восточный берег моря низкий и песчаный к нему вплотную подходят пески Кызылкум. Это мелководное и ранее сильно изрезанное побережье моря имело большое количество заливов, култуков и низкие песчаные острова, которые образовались в юго-восточной части моря Акпеткиеского архипелага (более 600 островов). В связи со значительным снижением уровня эти мелководные районы обсохли и береговая линия существенно выровнялась.

В Аральском море преобладают мягкие рыхлые грунты, твердые грунты встречаются лишь на небольших участках в районе западного побережья. Большую часть площади дна моря занимают различные илы.

Песчаный грунт расположен в прибрежной к настоящему времени обсохшей зоне в основном в пределах бывшей изобаты 10 м, а также на подводной возвышенности от полуострова Куланды до озера Лазарева. Пески сменяются узкой полосой илистого песка, переходящего затем в песчанистый ил. За зоной песков расположены алевроитовые илы желтовато-бурого цвета. В центральной части моря расположены более плотные глинистые илы серого цвета. Глинистым илам дельтовых областей свойственен более темный коричневатый цвет. Алевроитовые и глинистые серые илы, как правило, покрыты сверху тонким слоем светло-коричневого ила. Для глубоководной впадины характерны черные глинисто-известняковые полужидкие илы.

Климатические условия Аральского моря определяются внутриконтинентальным положением моря в глубине обширного Азиатского материка и большим количеством поступающей солнечной радиации, среднее годовое значение которой составляет около 5860 МДж/м². Большую роль в формировании климата играют атмосферные процессы, развивающиеся над Казахстаном и Средней Азией. Основной особенностью климата является его хорошо выраженная континентальность с жарким сухим летом и относительно холодной зимой, большими внутригодовыми колебаниями температуры воздуха, незначительной облачностью и малым количеством осадков. Смягчающее влияние Аральского моря на аридный климат окружающей территории ограничивается лишь узкой прибрежной полосой. Средняя температура воздуха над морем в июле 25—26°C, в феврале —10... —13°C, а экстремальные значения температуры достигают 43 и —36°C. Продолжительность периода с отрицательными температурами 120—150 суток в году. Средняя годовая относительная влажность воздуха 65—70%.

Ветровой режим Аральского моря характеризуется преобладанием в течение всего года ветров северо-восточной четверти, повторяемость

которых достигает 45—55 %. Средняя скорость ветра 5—6 м/с, а максимальная достигает 20—25 м/с.

Средняя годовая сумма осадков, выпадающих в районе Аральского моря 110—150 мм, при этом максимальное их количество наблюдается в холодный период года. Летом количество осадков незначительно, в отдельные годы в летние месяцы наблюдается полное отсутствие осадков по всему морю.

Несмотря на сравнительные размеры, Аральское море отличается пространственной неоднородностью гидрометеорологических и гидрохимических характеристик. Это вызвано климатическими особенностями отдельных районов моря, неодинаковым влиянием на них речного стока, а также различиями морфометрических характеристик этих районов.

Границы северного района, а также западного района выделяются достаточно надежно по морфометрическим признакам. Для устьев взморьев Сырдарьи и Амударьи естественной границей служит зона гидрологического фронта – резкого изменения солености, прозрачности и других гидролого-гидрохимических характеристик при переходе от распресненных вод этих районов к более соленым водам. Эти границы подвержены миграции вследствие колебаний стока вод Амударьи и Сырдарьи. В последние годы в условиях крайне незначительного поступления речных вод или полного прекращения речного стока зоны распресненных вод отсутствуют и районы устьевых взморьев не выделяются.

Условная граница района восточных и юго-восточных мелководий проходила по изобате 10 м, и ее положение постоянно изменялось в связи с современным падением уровня. В последние годы по указанной причине этот район моря потерял свои некоторые специфические черты (обилие островов,

проливов и заливов), и в настоящее время его самостоятельное значение практически утрачено.

В период квазистационарного режима Аральское море играло заметную роль в экономике страны. В эти годы Аральское море давало 5 – 7% общего улова рыбы во внутренних водоемах страны и 11—13% уловов ценных рыб (осетровых, леща, сазана, воблы, судака, шемаи). В благоприятные годы уловы рыбы достигали 400—500 тыс. ц. В обширных дельтах Амударьи и Сырдарьи интенсивно развивалось ондатроводство.

Таким образом, Аральское море представляет собой весьма специфический природный объект, режим которого подвергается в настоящее время все возрастающему антропогенному воздействию. Беспощадное по своим масштабам активное антропогенное вмешательство в естественный режим крупного замкнутого морского водоема привело к значительным негативным последствиям. Которые связаны как непосредственно с усыханием и изменениями режима моря, его падением и народнохозяйственного значения, так и с изменениями природной среды Приаралья.

Аральское море является по существу огромной природной лабораторией, на которой можно исследовать весь комплекс негативных последствий антропогенного вмешательства в естественный режим крупных внутриматериковых водоемов.

2. ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ И ЕГО БАССЕЙНА.

История Аральского моря противоречива и неясна. Первые более или не менее достоверные источники о существовании Аральского моря принадлежат к арабским письменам, запечатлевшим свидетельства завоевателей Хорезма в 712 г. Из чего видно, что уже в 800-х годах Аральское море существовало, и оно располагалось недалеко от Хорезма, так как описание его вполне совпадает с характером восточного берега Аральского моря.

Геологические исследования, которые были проведены в конце 19-го и в начале 20-го века, сводились к тому, что часть пустыни Каракум между чинком Устюрта на севере, устьями Мургаба и Теджена на юге, на западе подошвы Копетдага была затоплена Большим Аралом. Восточная половина соединенного Арало-Каспийского моря имела, в качестве границы бывшего Каракумского залива чинк береговой линии Унгузов. Это объединенное море покрывало широкую полосу современного Прикаспия вплоть до подошвы западных отрогов Копетдага и соединялось с Каракумским и Чильметкумским заливами по двум проливам — Большому и Малому Балхскому. Аральская часть заливала в этот же период всю Сарыкамышскую котловину и образовывала до Питняка залив, занятый ныне современной дельтой Амударьи и Хивинским оазисом. Узбой был проливом, соединявшим обе эти акватории, но нынешний его вид с большими уклонами формировался по мере отчленения Каспия от Арала и увеличения разницы отметок между ними. В течение последующего геологического периода до наших дней происходило расчленение объединенного Арало-Каспийского бассейна на его составные части и его постепенное сокращение до нынешних пределов.

В неогеновый период в результате мощных тектонических движений на территории Центральной Азии в центре Туранской равнины сформировались три глубокие впадины - Аральская, Хорезмская и Сарыкамышская. В это же время предшественница Амударьи - Праамударья текла через центр Каракумов на запад в Каспийское море. Около 70 тыс. лет назад она повернула на север и, прорезав глубокое ущелье в районе Туя-Муяна, достигла Хорезмской впадины, где образовалось обширное озеро. С течением времени оно, в результате отложений огромного количества наносов, превратилось в плоскую равнину, изрезанную протоками.

10-12 тыс. лет назад Амударья повернула на запад и достигла Сарыкамышской впадины, превратив ее в озеро. Около 4 тыс. лет назад Амударья повернула на север и потекла в огромную Аральскую впадину, в которую уже впадала Сырдарья. Тогда на месте Аральской впадины расстилалась обширная равнина с расчлененным рельефом, ограниченная на западе обрывами Устюрта, на севере - Приаральскими возвышенностями, на востоке - пустыней Бетпак-Дала и хребтом Каратау, на юге - пустынями Каракум и Кызылкум.

Арало-Каспийская низменность запечатлена более чем на десятке карт. Начиная от «Географии» Птолемея (II век до Р.Х.), в которой имеется Каспий во всем его величии, но нет никакого упоминания об Арале (рис. 7), через схему Аль Идриси (1132 г.) (рис. 8), где Арал есть через «Каталонский Атлас» (1352 г.) (рис. 9) и до карты Бутакова, где Арал показан уже в знакомом нам виде (см. рис. 2).



Рис. 7. Карта из «Географии» Птолемея

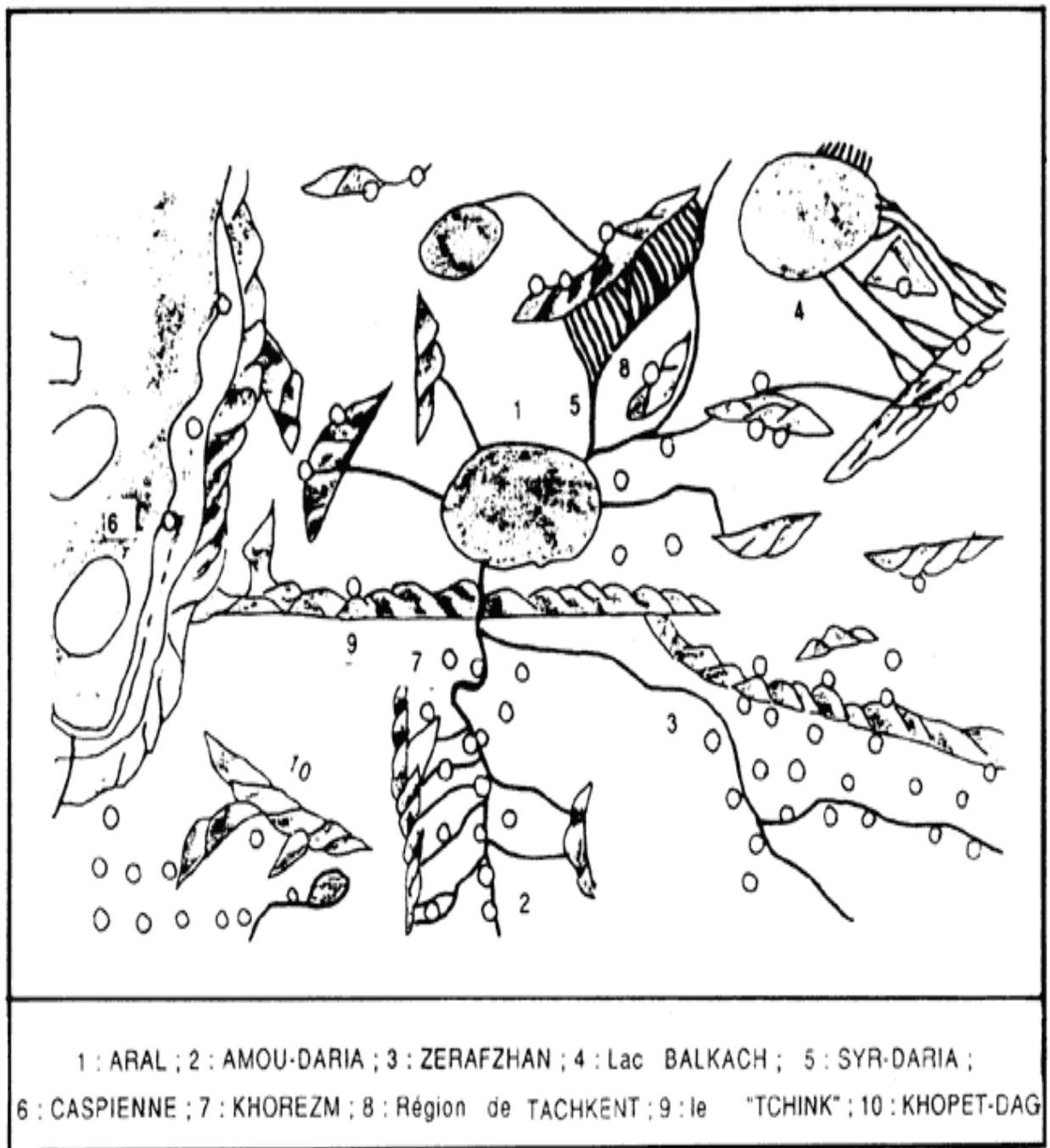


Рис. 8. Схема Аль Идриси



1 : VOLGA ; 2 : OXUS ; 3 : SAMARCANDE ; 4 : TACHKENT ; 5 : BAKOU ; 6 : ASTRABAD

Рис. 9. Схема из Каталонского атласа

В течение влажной климатической фазы Сырдарья и Амударья были многоводны, и озеро достигало максимального уровня 72-73 м. В противовес этому в фазы засушливого климата обе реки становились маловодными, уровень Арала тоже падал и росла степень засоления Приаралья. В историческое время с момента существования древнего Хорезма изменения уровня зависели, в некоторой степени, от изменения климата, но в основном от ирригационной деятельности в регионе по обеим рекам. В периоды интенсивного развития прилежащих к Аралу стран увеличение орошения земель приводило к изъятию большей части воды для этой цели, и уровень воды в Арале незамедлительно снижался. В течение неблагоприятных периодов в регионе (войны, революции и т. д.) орошаемые земли сокращались, и реки, и Арал опять наполнялись водой.

Амударья и Сырдарья, постоянно меняя свои трассы и мигрируя по системе Средней Азии в исторический период часто не достигали Аральского моря, и Аральское море высыхало, а на его территории образовывалось пустынная местность. При этом во время усыхания моря минерализация воды резко поднималась и способствовала выпадению солей.

Следует отметить, что за всю историю древнего орошения в Средней Азии забор воды для орошения из рек Амударья и Сырдарья никогда не влиял на уровни Аральского моря, т.к. количество воды, расходуемое для орошения по всему бассейну моря, несмотря на огромную площадь освоения территории (в античное время орошалось 3,5-3,8 млн. га, в том числе в низовьях Амударьи 1,3 млн. га, в низовьях Сырдарьи 2,2-2,5 млн. га) было незначительным. Колебания уровня Арала скорее всего было связано с разрушительными междоусобными войнами государств Средней Азии и нашествиями иноземных захватчиков. Тогда часть стока Амударьи в результате разрушения искусственно сооруженных дамб в Хорезме быстрым течением устремилась по сухим руслам Дaudан и Дарьялык в Сарыкамыш и создала здесь и в Ассаке-Аудане обширное озеро, из которого вода в объеме приблизительно 20 % ее стока (это она определила гидравлическими параметрами Узбоя) стекала через Узбой в Каспийское море. Этот сток длился в течение 3 – 4 тысячелетия до н.э. и периодически во втором — начале первого тысячелетия до н.э. Сырдарья в это время впадала в Аральское море.

Современный период наполнения Арала начался в 1 тысячелетии до н. э., когда Амударья, образовав Присарыкамышскую и Акчадарьинскую дельты, продвигалась в Аральскую впадину и вместе с Сырдарьей, которая текла тогда через Жандарью и Кувандарью, стали наполнять ее и образовали современное море.

Итак, древний Арал, претерпевший 5 или 6 трансгрессий — увеличения и последующих усыханий — опять оказался на пороге нового иссушения.

3. СТРОЕНИЕ КОТЛОВИНЫ.

Котловина Аральского моря имеет специфическую форму, из-за которой незначительное увеличение объема воды приводит к существенному увеличению площади поверхности и, следовательно, к резкому увеличению уровня испарения. Увеличение испарения, непосредственно следующее за разливом, не позволяет морю сохранить набранный объем, и море снова отступает (рис 10.).

Западная котловина имеет очень крутые склоны, и прирост уровня моря в несколько метров приводит к незначительному увеличению объема воды и практически не сказывается на изменении площади поверхности водоема. После полного заполнения западной котловины (до уровня ~33м) объем воды продолжает увеличиваться приблизительно на одну и ту же величину на каждый метр приращения уровня моря.

Только с того времени, как сформировалась приаральская дельта Амударьи создались и условия для наполнения впадины водой, что произошло в течение всего нескольких сот лет. По уже существующим представлениям Аральское море в контурах, образовалось не более 10 тыс. лет назад, т. е. это очень молодое море. В настоящее время его побережье довольно сложное и представлено различными геоморфологическими типами берегов, с которыми в общем хорошо согласуется рельеф котловины Аральского моря.



Рис. 10. Аральское море

Чтобы оценить возможное влияние неотектонической впадины на водный баланс Арала был приближенно восстановлен рельеф западной котловины более раннего Арала – без прогиба западной части глубоководной котловины (рис. 11)



Рис. 11. Цифровые модели рельефа западной глубоководной котловины: а) современного Арала, б) более раннего Арала.

В настоящее время, даже в условиях продолжающего высыхания, благодаря желобообразной форме западной глубоководной впадины Аральское море еще долго сможет сохранять воду в этой своей части и, возможно, не прекратит свое существование как все еще крупный водоем.

4. КРАТКАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.

Интенсивное снижение уровня Аральского моря в 1961—1985 гг. привело к значительному сокращению площади его водной поверхности и существенному изменению конфигурации береговой линии. В результате, гидрометеорологические станции, ранее располагавшиеся на побережье, оказались теперь под значительным влиянием окружающих пустынь.

Средние многолетние значения метеорологических характеристик на станциях, где море значительно отступило, не могут достаточно объективно описывать нестационарный режим морского бассейна. Поэтому были выбраны климатические изменения за временные периоды, которые могли бы характеризовать метеорологические особенности района до и после нарушения режима Аральского моря, а именно: 1951—1960, 1961—1970, 1971—1980 и 1981—1985 гг.

4.1. Климатообразующие факторы

Район Аральского моря занимает крайнее северное положение в зоне континентального субтропического климата. Эта территория получает большое количество солнечного тепла, в среднем за год суммарная радиация составляет здесь 5860 МДж/м².

Радиационные особенности и положение в глубине обширного Азиатского материка вызывают засушливость и континентальность климата. Несмотря на наличие такого крупного водоема, как Аральское море, влияние окружающих его пустынь оказывается преобладающим. Смягчающее влияние водного бассейна на метеорологические элементы ограничивается лишь узкой прибрежной полосой.

Лето характеризуется высокой температурой при безоблачном небе. Северные и северо-западные вторжения в этот период вызывают некоторое понижение температуры.

По многолетнему изменению повторяемости каждого типа синоптического процесса можно, так же как и в общей циркуляции, выделить два крупных временных периода — до и после 1960 г. В первый период наблюдается заметное преобладание холодных вторжений и резкое уменьшение их во втором. Такие особенности характерны также для повторяемости группы циклонов и юго-западной периферии антициклона. Обратная картина отмечается в повторении малоградиентных полей повышенного и пониженного давления, когда происходит резкое их увеличение после 1960 г.

Изменения метеорологических полей связаны с интенсивностью и продолжительностью атмосферных процессов. Оказалось, что количество периодов длительного (>5 сут.) существования таких процессов, как холодные вторжения, группа южных циклонов и юго-западная периферия антициклона, в 1971—1980 гг. сократилось вдвое по сравнению с 1951—1960 гг., а такие процессы, как малоградиентные поля повышенного и пониженного давления, наоборот, стали более продолжительными.

Меньше стало в последнем 10-летии малоустойчивых (< 1 сут.) вторжений и циклонов, зато увеличилась повторяемость малоустойчивых процессов, таких, как юго-западная периферия антициклона и малоградиентные поля.

4.2. Характеристика отдельных элементов климата.

4.2.1. Температура воздуха

Формирование температурного режима на станциях Аральского моря в значительной мере зависит от воздействия водного бассейна в узкой прибрежной полосе: по мере удаления от водоема вглубь суши температура воздуха изменяется, подвергаясь влиянию континента.

Анализ многолетних изменений температуры воздуха и сравнение отклонений температуры от одного десятилетия к другому показывает, что наибольшие изменения произошли в последнем десятилетии, при значительном сокращении акватории моря.

Средняя годовая температура воздуха в районе Аральского моря как в многолетнем плане, так и в отдельные периоды изменяется по широте, убывая с юга на север. По мере удаления от водоема вглубь суши температура увеличивается (рис. 12), (таблица 2).

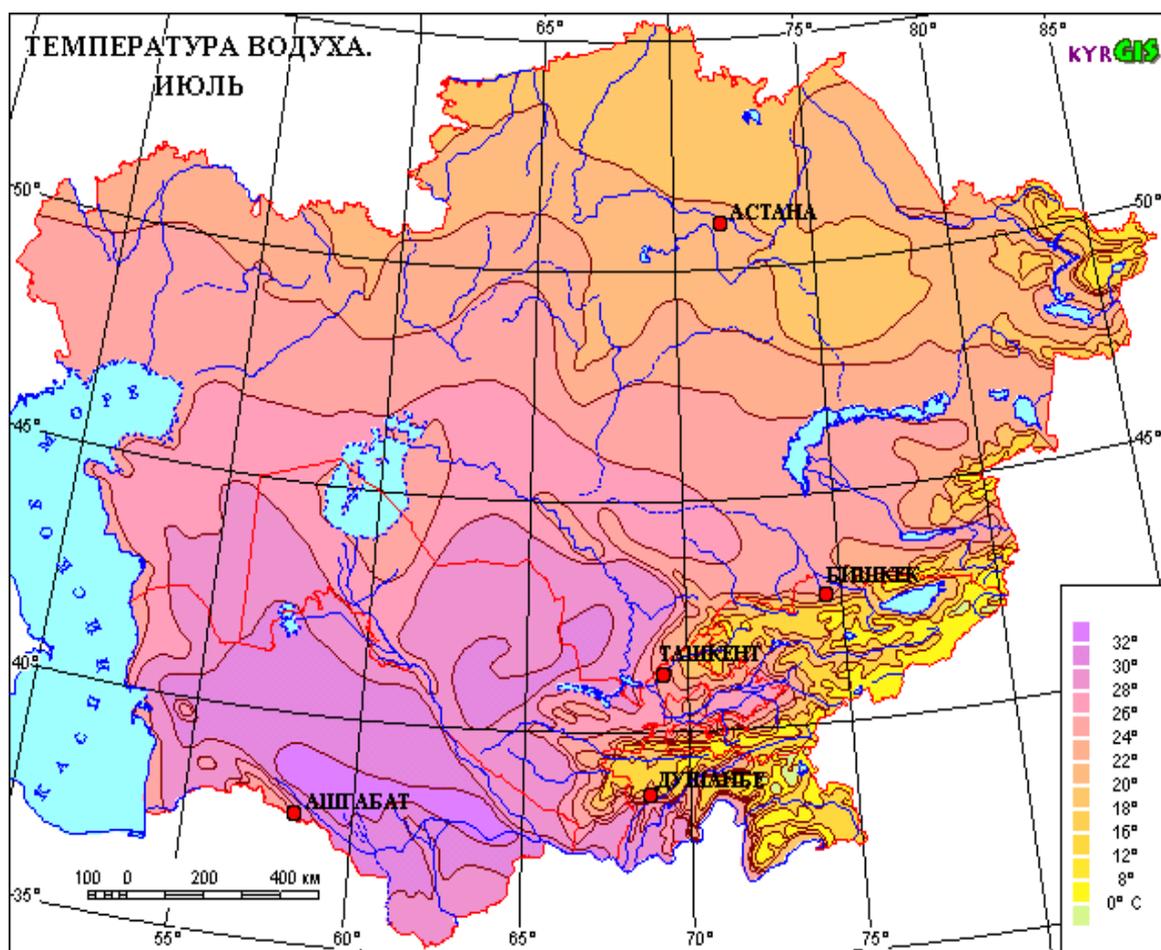


Рис. 12. Температура воздуха летом

Наиболее низкая температура отмечается в январе. На западе и юго-западе средняя месячная температура колеблется от -6 до -8°C ; на востоке и северо-востоке — от -8 до -11°C , а самая низкая средняя температура января ($-12,8^{\circ}\text{C}$). Зимой море замерзает ежегодно, в суровые зимы полностью. Вследствие этого на формирование зимнего температурного режима влияние водоема сказывается незначительно (рис. 13).

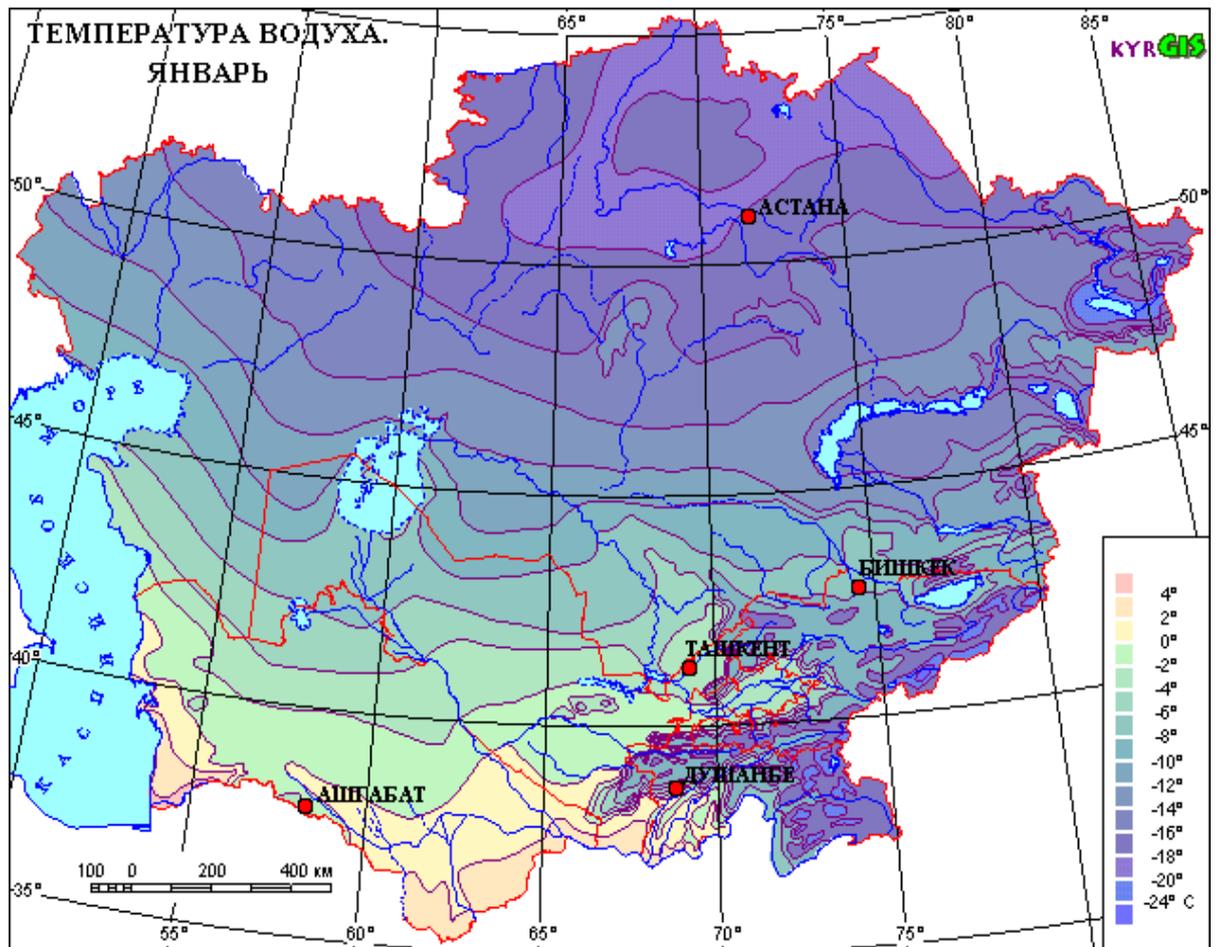


Рис. 13. Температура воздуха зимой

Разница средних январских температур между морскими (береговыми) и континентальными станциями составляет в среднем $0,5^{\circ}\text{C}$. Наибольших значений средняя месячная температура достигает в июле, составляя $25 - 26^{\circ}\text{C}$. По мере удаления от моря температура воздуха возрастает до 30°C .

Таблица 2. Средняя месячная и средняя годовая температура воздуха, °С Аральского моря

Месяцы	Периоды				
	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1985	1929-1985
I	-12,8	-12,3	-14,0	-9,7	-13,0
II	-10,9	-11,6	-13,8	-10,3	-11,8
III	-4,5	-1,7	-3,8	-3,0	-3,5
IV	8,6	9,3	9,0	11,2	9,1
V	17,3	18,1	18,8	18,3	17,9
VI	23,3	22,9	24,3	24,4	23,5
VII	25,6	25,9	27,2	28,6	26,3
VIII	24,1	23,6	24,0	25,5	24,2
IX	17,8	17,6	17,7	17,5	17,3
X	8,0	7,8	7,2	8,1	7,9
XI	-2,9	0,0	0,1	-0,5	-1,2
XII	-8,7	-8,2	-6,2	-8,9	-8,5
год	7,1	7,1	7,5	8,4	7,4

Максимальная температура мало изменяется по территории. Зимой она в среднем имеет значения $-3 - 5$ °С, а летом $29 - 32$ °С. Абсолютный максимум температуры достигает $40 - 44$ °С.

В период усыхания Аральского моря произошли изменения и в температурном режиме: зимой в 1971—1980 гг. температура воздуха оказалась ниже нормы на $5-6$ °С, а межгодовая изменчивость σ составила $7 - 9$ °С, тогда как в 1951 — 1960 гг. изменчивость температуры колебалась от 4 до 6 °С. Существенное похолодание зимой в последнем десятилетии и некоторое потепление летом, происшедшее как в районе Аральского моря, так и в отделении от него, нельзя объяснить только нарушением режима моря.

Большое влияние на изменение температурного режима оказали атмосферные процессы. Если сопоставить многолетнее изменение осредненной по всем станциям Аральского моря температуры в разные сезоны и изменение циркуляционных процессов в это же время, то можно отметить, что каждая циркуляционная эпоха отличается особенностями в

формировании температурного режима: более резкие изменения произошли во второй циркуляционной эпохе, когда после 1960 г. Наблюдалась смена знака аномалии температуры зимой и летом; в этот период наблюдается положительная аномалия температуры летом и отрицательная – зимой.

Резкие изменения температурного режима происходили в период, когда в значительной мере изменялась не только хозяйственная деятельность и режим Аральского моря, но и антропогенные факторы.

4.2.2. Влажность воздуха

Влияние Аральского моря на режим влажности сказывается непосредственно у береговой полосы, повторяя контуры водоема. При этом на расстоянии менее 100 км влажность воздуха в теплое время года снижается на 20 – 25 % , достигая в этой зоне больших градиентов. В холодный период влияние моря на влажность значительно уменьшается, сглаживаются различия между берегом моря и пустыней.

Относительная влажность воздуха в районе Аральского моря (таблица 3), достаточно высока по сравнению с прилегающими пустынями. Наибольшие значения относительной влажности характерны для зимних месяцев, а наименьшие – для летних.

Таблица 3. Средняя месячная и средняя годовая относительная влажность, % Аральского моря

Месяцы	Периоды				
	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1985	1929-1985
I	81	80	81	83	81
II	81	79	80	80	80
III	78	77	79	77	77
IV	59	53	57	54	57
V	49	46	42	43	46
VI	42	45	39	38	42
VII	44	41	35	32	40
VIII	45	41	35	34	40
IX	46	45	41	43	45
X	58	61	60	63	60
XI	73	73	77	76	75
XII	80	80	81	79	80
год	61	60	59	58	60

Подобную закономерность можно проследить и в изменениях парциального давления (таблица 4). Сравнение годового хода влажности между последовательными 10-летиями свидетельствует о том, что более существенные изменения влажности произошли в последнем 10-летии, когда происходило ее уменьшение на береговых станциях, в то время как пустынные станции отмечали ее увеличение. Зимой как на берегу моря, так и в пустыне многолетние изменения влажности вполне согласуются с особенностями циркуляции атмосферы. В летнее время такая согласованность наблюдается только на пустынной станции. Для береговых станциях после 1960 г. Происходит непрерывное уменьшение влажности, совпадающее с интенсивным усыханием Аральского моря.

Таблица 4. Среднее месячное и годовое парциальное давление, гПа
Аральского моря

Месяцы	Периоды				
	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1985	1929-1985
I	2,2	2,4	1,7	2,8	2,2
II	2,7	2,4	1,4	2,8	2,3
III	3,7	4,4	3,1	4,1	3,9
IV	6,2	5,9	7,0	6,5	6,4
V	9,2	9,2	10,4	8,7	8,8
VI	11,6	12,3	13,5	10,7	12,2
VII	13,9	14,3	16,3	11,4	14,2
VIII	13,1	12,5	14,1	10,6	12,6
IX	9,2	8,6	9,5	7,9	8,9
X	6,2	6,5	5,4	6,6	6,2
XI	4,0	4,7	3,8	4,7	4,3
XII	3,0	3,0	2,6	2,9	2,9
год	7,1	7,2	7,4	6,6	7,1

Следовательно, можно предполагать, что формирование режима влажности в районе моря в летнее время зависит в большей мере от влияния моря, нежели от циркуляционных особенностей – антропогенный фактор превзошел циркуляционный.

4.2.3. Атмосферные осадки

Район Аральского моря относится к зоне, слабо увлажненной атмосферными осадками, где за год выпадает в среднем около 90—120 мм осадков (таблица 5).

В годовом ходе осадков максимум отмечается в марте — апреле, имея вторичный максимум в октябре — ноябре. В течение года преобладают жидкие осадки, причем количество дней с дождем распределяется от месяца

к месяцу достаточно равномерно. В общем, за год наблюдается от 30 до 45 суток с дождем и от 12 до 30 суток – со снегом.

Таблица 5. Среднее месячное и годовое количество осадков, мм

Месяцы	Периоды				
	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1985	1929-1985
I	8	7	11	13	8
II	9	9	4	9	8
III	16	15	8	12	12
IV	10	15	23	13	14
V	15	7	13	18	12
VI	7	13	6	8	10
VII	16	13	4	6	9
VIII	12	10	7	4	8
IX	4	6	6	17	6
X	15	17	25	14	15
XI	7	15	14	11	10
XII	15	10	13	7	10
год	134	137	134	132	122

Сравнение количества осадков в разных 10-летиях показало, что наиболее существенные различия имеются между периодами 1951-1960 и 1971-1980 гг. В последнем 10-летии отмечается также смещение максимума с марта на апрель, а минимума – с сентября на июль. Периода с аномалиями осадков совпадают и на станциях Аральского моря, и в пустыне, и в предгорных районах Средней Азии. Аномально сухие периоды также совпадают по всей территории Средней Азии. Подобная закономерность может проявляться в том случае, если вся территория находится под значительным воздействием одинаковых факторов, формирующих режим осадков.

5. ВОДНЫЙ БАЛАНС.

5.1. Общие сведения и уравнение водного баланса

Водный баланс Аральского моря рассчитывался неоднократно многими исследователями. Первые водные балансы моря были составлены еще в конце 19-го и начале 20-х.

Водные балансы Аральского моря составлены за различные периоды времени с неодинаковыми климатическими условиями и режимом моря, а для их расчетов использовались исходные материалы различной надежности.

Непосредственная физическая причина снижения уровня Аральского моря начиная с 1961 г. – это нарушение водного баланса озера, где расход воды преобладает над приходом.

Уравнение водного баланса для Арала (до 1989 г.) для некоторого интервала времени Δt имеет вид:

$$V_{\text{пр}} + V_{\text{ос}} - V_{\text{ис}} = V_{\text{пр}} - V_{\text{ви}} = \pm \Delta V, \quad (1)$$

где $V_{\text{пр}}$ – среднегодовые значения стока рек (Амударьи и Сырдарьи), $V_{\text{ос}}$ – атмосферные осадки на поверхности моря, $V_{\text{ис}}$ – испарение с его поверхности, $V_{\text{ви}}$ – видимое испарение (разница между испарениями и осадками), ΔV – изменения объема вод в море за тот же интервал времени. Из уравнения (1) следует, что если сток с осадками меньше испарения ($V_{\text{пр}} + V_{\text{ос}} < V_{\text{ис}}$) или сток меньше видимого испарения ($V_{\text{пр}} < V_{\text{ви}}$), то объем воды в водоеме уменьшается ($\Delta V > 0$).

Данные о водном балансе до того когда оно еще не разделилось на две самостоятельные части приведены в таблице 6.

Таблица 6. Средние годовые составляющие водного баланса
Аральского моря за 1911 – 1988 гг.

Период (число лет)	Приход, км ³		Расход, км ³	Водный баланс
	сток	осадки	испарение	
1911-1960(50)	56,0	9,1	66,1	-1,0
1961-1970(10)	43,3	8,0	65,4	-14,1
1971-1980(10)	16,7	6,3	55,2	-32,2
1981-1985(5)	2,0	7,1	45,9	-36,8
1986-1988(3)	10,8	6,2	47,0	-30,0

До 1961 года водный баланс Арала был близок к уровню равновесия, то есть в среднем приход и расход были одинаковыми. А после 1961 г. потери воды на испарения стали превышать суммарную сумму стока и осадков. Это привело к уменьшению объема воды в озере и соответственно к падению его уровня. Расход воды над приходом становился все больше и больше, что привело к ускоренному сокращению объема моря и понижению его уровня, особенно это пришлось в 70 – 80-е годы (рис. 15).

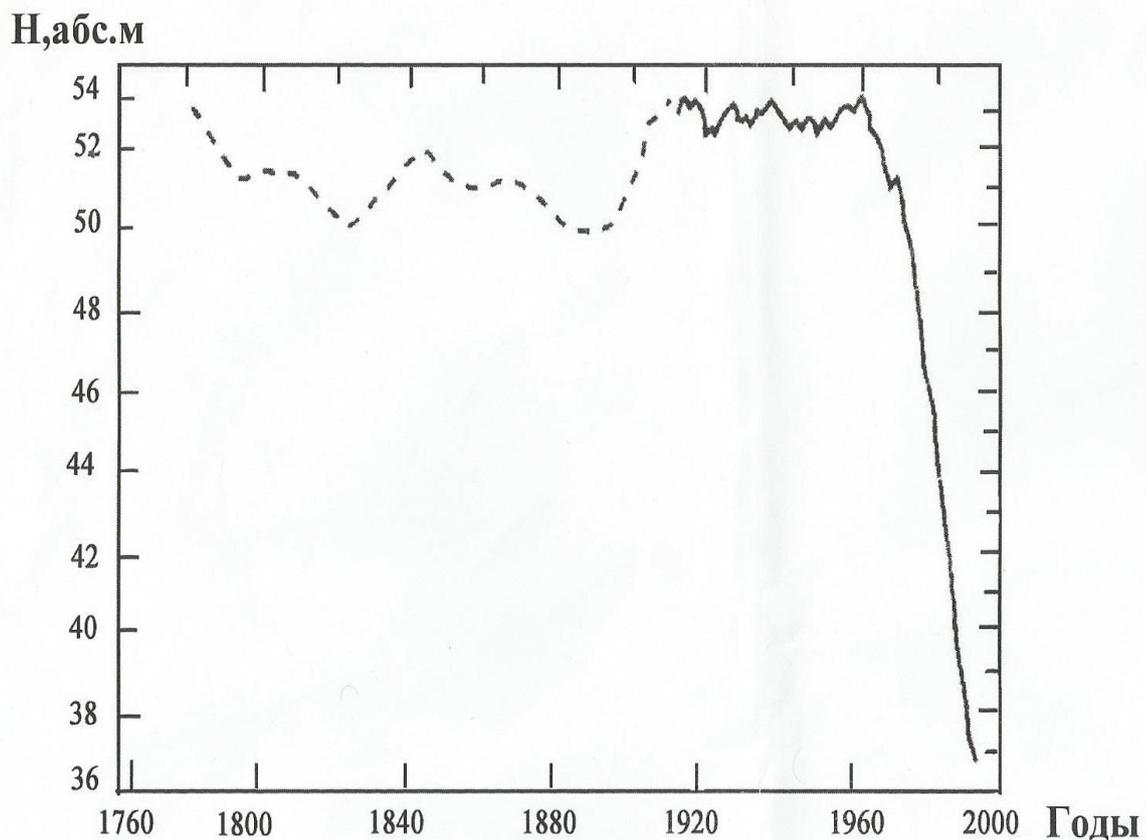


Рис. 15. Водный баланс Аральского моря

Начиная с 1989 г. Арал разделился на две части – Большой Арал (Узбекистан) и Малый Арал (Казахстан). В 1988 году Республика Казахстан возводит Коккаральскую плотину в протоке на месте пролива Берга, дабы сохранить уровень Малого моря (рис. 16). Данные о водном балансе уже разделившихся морей приведены в таблице 7 (площадь разделившихся морей см. таблицу 1).

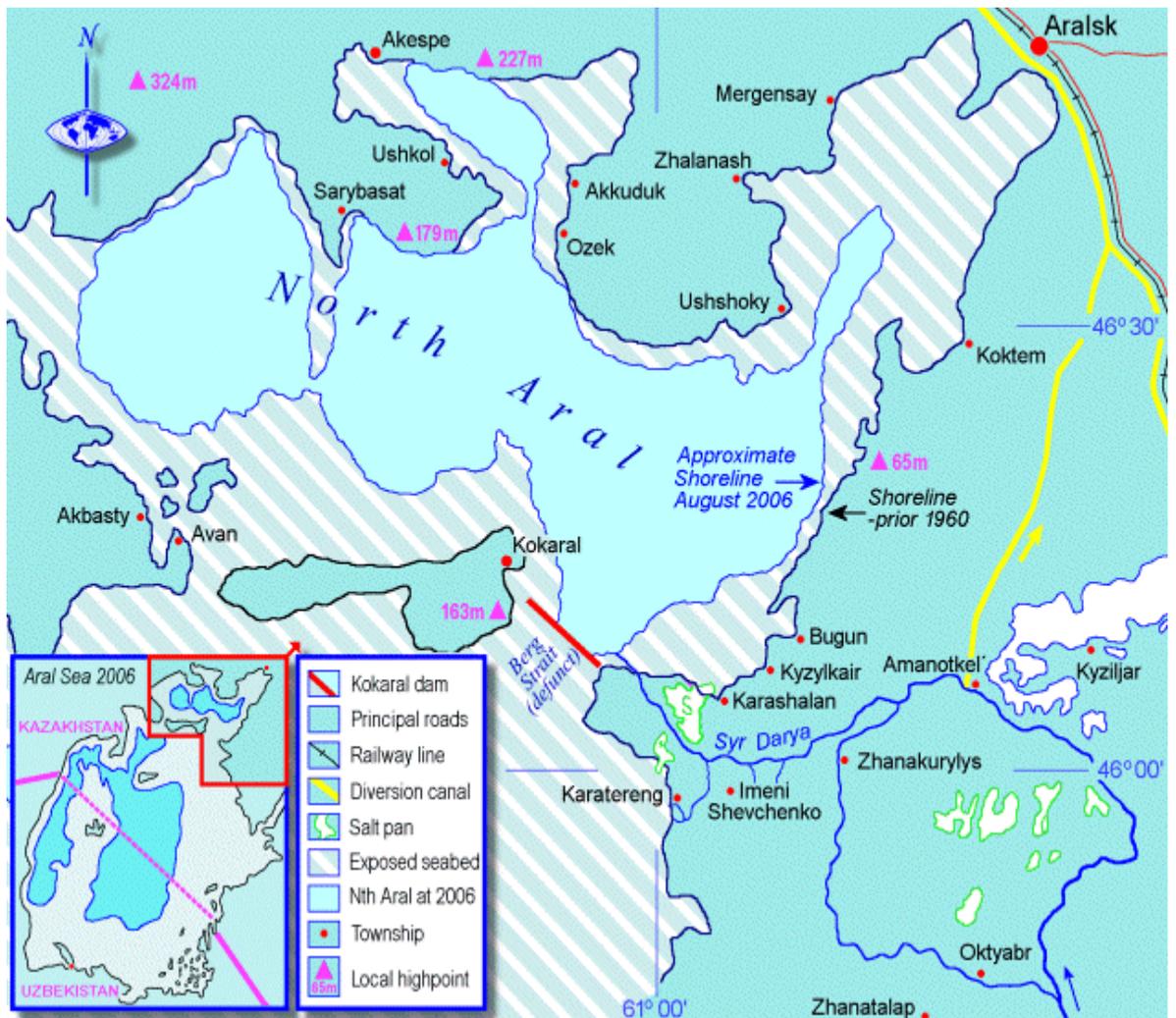


Рис. 16. Кокаральская дамба на проливе Берга (Казахстан)

Таблица 7 Средние годовые составляющие водного баланса частей Аральского моря за 1988 – 1994 гг.

Часть Аральского моря	Период (число лет)	Сток	Видимое испарение	Водообмен через Берг	Баланс
Малое море	1988	4,80	2,34	-2,46	0
	1989	3,04	2,70	-0,34	0
	1990	2,52	2,52	0	0
	1991	2,58	2,58	0	0
	1992	3,18	2,12	-1,06	0
	1993	6,17	2,09	-4,1	0
	1994	7,14	2,34	-4,80	0
Большое море	1988	9,19	28,12	2,46	-16,47
	1989	0,84	29,96	0,34	-28,78
	1990	3,92	29,60	0	-25,68
	1991	5,76	28,24	0	-22,48
	1992	11,44	22,06	1,06	-9,56
	1993	9,08	21,31	4,10	-8,13
	1994	11,71	23,38	4,80	-6,87

Из таблицы 7 видно, что уровень Малого моря в целом стабилизировался, тогда как в Большом море продолжались уменьшение объема и снижение уровня.

Главная причина изменения водного баланса Аральского моря (объема, сокращение площади поверхности и уровня) заключается в уменьшении стока.

5.2. Характеристика составляющих водного баланса.

5.2.1. Речной сток

Поверхностный приток к Аральскому морю зависит как от естественной водности впадающих в него рек, так и от всевозрастающих безвозвратных изъятий воды на нужды народного хозяйства, главным образом орошаемого земледелия.

Естественные водные ресурсы бассейна Амударьи и Сырдарьи в зоне формирования стока (высокогорные районы Памира и Тянь—Шаня) оцениваются примерно в 78 и 38 км³/год соответственно.

Бассейны рек Амударьи и Сырдарьи являются районами древнего орошения, накладывающего отпечаток на сток в течение длительного времени.

С начала двадцатого столетия до настоящего времени площади орошаемых земель возросли более чем в 2 раза (с 3,2 до 7 млн. га). В перспективе только за счет собственных водных ресурсов региона предполагается увеличение орошаемых площадей до 8—9 млн. га.

Данные об отборах воды на орошение до 50-х годов весьма ограничены. Объемы безвозвратных изъятий стока колебались в этот период незначительно и составляли примерно 26—33 км³ в год. В начале и особенно с середины 50-х годов безвозвратные изъятия стока начинают увеличиваться более интенсивно. Это было вызвано значительным ростом площадей орошаемого земледелия (рис. 17).

Показатели потребления воды



Рис. 17. Показатели потребления воды

На последующих этапах развития ирригации компенсационные возможности рек были исчерпаны, дальнейший рост безвозвратных изъятий стока и наступивший длительный период маловодья привели к резкому снижению притока речных вод к морю. В 1961—1970 гг. в среднем безвозвратные изъятия стока в бассейне моря составляли 55—57, а в 1971—1980 гг. они возросли до 64—66 км³ в год. В 1981—1985 гг. безвозвратные изъятия стока в бассейне моря оценивались примерно в 70—75 км³ в год (таблица 9).

Таблица 9. Приходные и расходные составляющие

Аральского моря, км³/год

Периоды	Водные ресурсы	Приток	Потери в дельтах	Орошение 95%	Естественные потери
1932-1960	116	56	13	35	18
1961-1990	105	3	1,0	97	4,0

Начиная с 1982 г. сброс речных вод Амударьи в Аральское море по основному руслу прекращен. В районе кишлака Шуак (60 км ниже гидрологического поста в кишлаке Кызылджар) построена глухая насыпная плотина, и весь поступающий в дельту Амударьи остаточный речной сток направляется на орошение территорий левобережного междуречья и

обводнение водоемов дельты. Незначительная часть этих вод по протокам и через системы озер поступает в Аральское море. Для оценки притока вод Амударьи к морю за эти годы использовались данные в створе Кызылджар за вычетом потерь стока в дельте. Фактически приток амударьинских вод к морю в 1982, 1983 и 1985 гг. полностью отсутствовал, а в 1984 г. не превышал 4 км^3 .

Для периода квазистационарного режима моря потери стока в дельте Амударьи оценивались в размере $6\text{—}10 \text{ км}^3$. Потери вод Амударьи в дельте в последние годы (1981 – 1985) практически полностью определялись антропогенными факторами – объемам пропусков речных вод в дельту Тахиаташским гидроузлом и использованием этих вод искусственное обводнение обсохших территорий и водоемов дельты. В среднем за этот период эти потери составляли $1,4 \text{ км}^3/\text{год}$.

Сток реки Сырдарьи ниже г.Казалинска в дельту в моря нет. Для различной водности обычно принимаются потери стока от 0 до 2 % ($0\text{—}0,3 \text{ км}^3$). Для периода 1951—1960 гг. потери стока в дельте Сырдарьи принимались равными 2 %, а для относительно маловодного периода 1961—1973 гг.— 1 %. С 1974 г. вследствие практически полного хозяйственного использования вод Сырдарьи и перекрытия основного русла реки в пределах дельты несколькими глухими насыпными плотинами сток речных вод в Аральское море прекращен. Незначительное количество вод, сбрасываемых в дельту Казалинским гидроузлом, полностью используется на обводнение обсыхающих водоемов дельты.

Изменился и внутригодовой ход стока рек Сырдарьи и Амударьи. Если для периода квазистационарного режима моря для них было характерно растянутое весенне-летне-осеннее половодье, то в настоящее время приток речных вод к морю в годовом плане практически полностью определяется режимом попусков из расположенном в нижнем течение рек гидроузлов, а также хозяйственным использованием этого стока в дельтах. В отдельные

месяцы, периоды и маловодные годы, когда идет накопление речных вод в водохранилищах и их интенсивный забор для нужд ирригации, обводнение дельтовых территорий и водоемов сток речных вод в море полностью прекращается. Оценка изменения притока речных вод к Аральскому морю в современный период, показала, что примерно 80 % суммарного снижения притока к морю обусловлено влиянием антропогенного фактора, а остальная часть приходится на долю природных факторов – естественной маловодности последних десятилетий. В современный период антропогенные потери стока составляют 92 – 95 % его суммарных потерь (см. таблицу 9).

5.2.2. Атмосферные осадки

Количество атмосферных осадков, выпадающих на акваторию Аральского моря, невелико, однако в связи с резким сокращением речного стока в маловодные годы относительная роль их в водном балансе моря существенно возросла.

По акватории моря осадки распределяются не равномерно. Наблюдается постепенное уменьшение годовых сумм осадков с севера на юг от 15,0 до 11,0 см. В центральной части моря выпадает 11,0 – 12,5 см осадков.

Сезонный ход количества осадков характеризуется максимальным количеством в марте — апреле и октябре—ноябре, минимальным — в августе—сентябре.

Средний многолетний годовой слой осадков, выпадающих на акваторию моря, для периодов 1911—1960 и 1951—1960 гг. был одинаковым — 13,8 см в год. В период 1961—1985 гг. среднее количество осадков было

несколько меньшим — 12,4 см в год, при этом наибольшей сухостью отличался период 1971—1980 гг. — 11,0 см в год, в то время как последняя пятилетка (1981—1985) была более влажной (см. приложение 1).

В целом за 1911—1985 гг. средняя многолетняя годовая сумма осадков на поверхность моря составила 13,3 см. Максимальное количество осадков наблюдалось в 1981 г. (235 мм), минимальное в 1944 г. (67 мм). Коэффициент изменчивости годовых сумм осадков $C_v=0,26$ при значительной асимметрии — выборочное значение $C_s = 0,82$.

5.2.3. Испарение

Натурные наблюдения за испарением отсутствуют не только в открытом море, но и на большинстве береговых гидрометеорологических станций. Поэтому для расчета испарения с поверхности Аральского моря пользуются теоретическими или эмпирическими формулами, либо определяют его из уравнения водного баланса, если известны остальные члены уравнения.

Поскольку объем воды V , площадь поверхности озера F и высота уровня H сильно связаны между собой, то по рассчитанному изменению объема воды ΔV можно определить соответствующие ему изменения площади озера и его уровня (рис. 18 и 19).

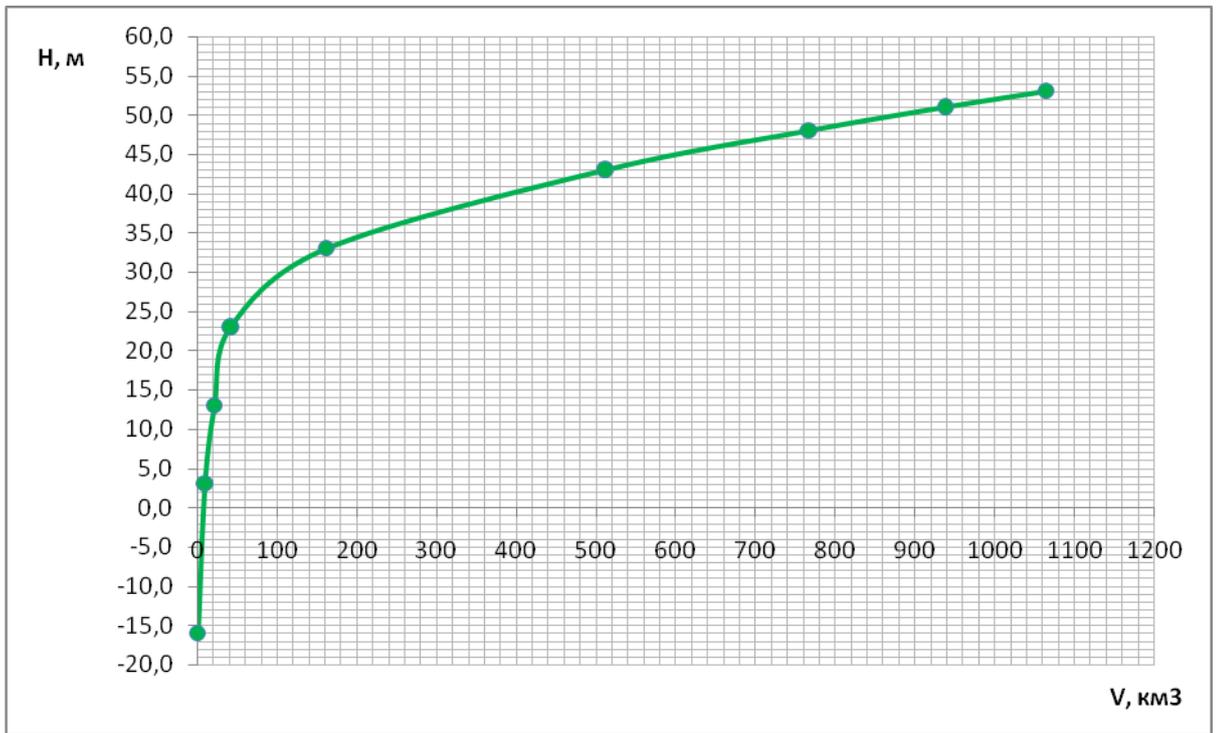


Рис. 18. Объем от высоты уровня

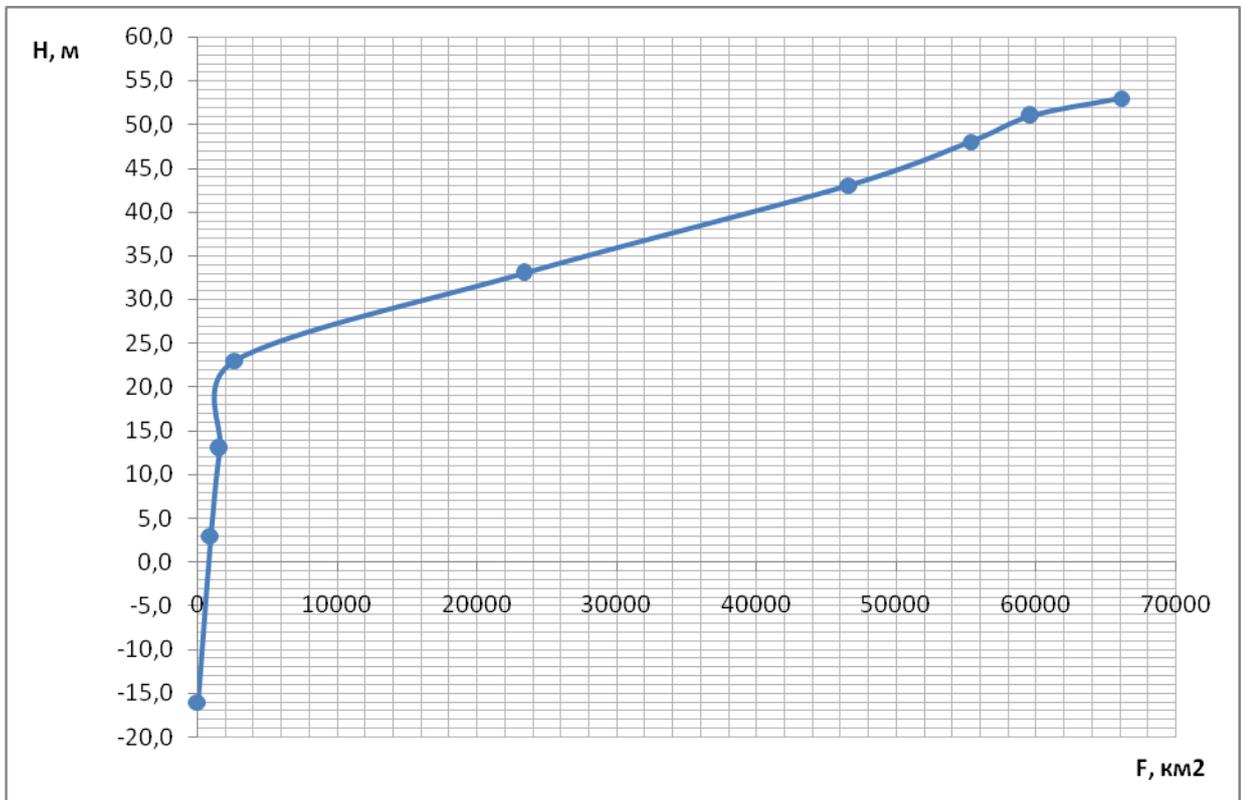


Рис. 19. Площадь от высоты уровня

Сезонная изменчивость испарения показали расхождение в годовом ходе испарения береговых и островных станций. Максимум испарения островных станций, расположенных в открытом море, (август – сентябрь) сдвинут по отношению к максимуму испарения береговых станций (июнь - август). Это связано с особенностями термического режима моря. Наибольшие различия наблюдаются в переходные (осенний и весенний) периоды. Осенью в прибрежной зоне, где происходит быстрое понижение температуры и образуется ледяной покров, испарение весьма мало. В центральных районах, обладающих большим теплозапасом, испарение еще довольно интенсивно. Весной, наоборот, в связи с интенсивным прогревом прибрежных районов, испарение быстро возрастает, а в центральных районах моря, где в это время наблюдается низкая температура, испарение невелико.

Средний многолетний годовой слой испарения с поверхности моря для периода 1911—1960 гг. составил 100,0 см. В последующее десятилетие (1961—1970 гг.) отмечалось несколько повышенное испарение, а периоды 1971—1980 и 1981 —1985 гг. характеризовались более низкими его средними значениями, соответственно 103,5, 96,8 и 96,2 см. Межгодовая изменчивость испарения хорошо согласуется с изменчивостью средних годовых значений температуры воды и воздуха, суровостью и продолжительностью зим. В целом для 75-летнего периода 1911—1985 гг. среднее годовое значение испарения с поверхности моря 99,8 см, при колебаниях годовых значений от 78,1 см в 1982 г. до 120,6 см в 1983 г. Сейчас с поверхности озера испаряется 900 – 1000 см/год.

6. УРОВЕНЬ МОРЯ.

6.1. Общие сведения и изученность уровня моря

Уровнем моря называется высота его поверхности, свободная от влияния ветровых волн, измеряемая относительно условного горизонта. За условный горизонт на морях принимается единый нуль уровенных постов моря, который для Аральского моря принят равным плюс 51,494 м абс.

Уровень Аральского моря, крупного бессточного водоема, испытывает колебания двух основных видов: эвстатические, связанные с колебаниями объема вод моря при сезонных и многолетних изменениях составляющих его водного баланса, и денивеляционные, представляющие собой отклонения поверхности моря от горизонтального положения под действием ветра, резких изменений атмосферного давления и других причин. В зависимости от характера изменений во времени определяющих факторов колебания уровня моря могут быть непериодическими или периодическими, с периодами колебаний от нескольких часов до нескольких десятилетий и более. Часто поверхность моря подвержена одновременно нескольким видам колебаний с различными периодами и размахом, накладывающимися друг на друга, что обуславливает весьма сложный характер изменения уровня моря.

6.2. Многолетние колебания уровня моря

Для замкнутого бессточного Аральского моря характерны разномасштабные длиннопериодные колебания его уровня — многовековые, вековые, многолетние.

Многовековые колебания уровня моря связаны с чередованием фаз изменчивости общей увлажненности Евразии и материков северного полушария (около 1850 лет). За последние 4 – 4,5 тыс. лет для района Аральского моря были выделены три длительных периода многоводья. Между периодами многоводья отмечались относительно маловодные периоды. В многоводные периоды происходило заполнение Сарыкамышской котловины, служащей показателем пополнения бассейна Аральского моря водами Амударьи, образование озера Сарыкамыш и возникновение периодического стока по ныне сухому руслу Узбоя в Каспийское море. Размах колебаний уровня Аральского моря за многовековой период достигал более 6 м.

В конце 18-го века уровень моря стоял высоко, на отметках около 53 м. Затем наступил период быстрого снижения уровня моря и к началу 20-х годов 19-го века он опустился почти до отметки 50 м. К середине этого века отмечался подъем уровня моря примерно на 2 м, а к 80-м годам он снова снизился до отметки 50 м. С 1895 по 1905 г. уровень моря довольно быстро поднялся почти на 3 м и достиг отметок, близких к 53 м (см. рис. 15). Это повышение уровня Аральского моря на рубеже нашего столетия явилось следствием циклических изменений климата всего северного полушария, которое привело к постепенному увеличению речного стока. Таким образом, размах вековых колебаний уровня Аральского моря достигал в этот период 3 м.

На фоне вековых колебаний происходят многолетние изменения уровня моря. За период наблюдений в многолетних изменениях уровня Аральского моря выделяется два периода: условно-естественный (1911—1960) и современный резко нестационарный период активного антропогенного воздействия на режим моря (с 1961 г. по настоящее время).

Для первого периода характерна относительная стабильность уровня моря. Средние годовые уровни моря колебались около

его средней многолетней отметки 146 см над единым нулем поста (таблица 14). Размах межгодовых колебаний уровня моря не превосходил 1 м. Так, наибольшие отклонения средних годовых уровней от его среднего многолетнего значения на станции Аральское Море составляли +40 см (1912, 1960) и —45 см (1920).

Природа формирования многолетних циклов в колебаниях уровня Аральского моря может быть связана с наличием в многолетних колебаниях речного стока повторяющихся группировок многоводных и маловодных лет, которые формируют фазу роста или спада многолетнего цикла колебаний уровня моря, а также с характерным для Аральского моря довольно длительным временем «спокойствия», т. е. временем возвращения возмущенного уровня моря к уровню тяготения (равновесия) при неизменном речном стоке, равном норме. Для формирования многолетних циклов в колебаниях уровня моря время «спокойствия» должно в несколько раз превышать длительность лет с многоводным или маловодным стоком, вызвавшим резкое отклонение уровня водоема от горизонта тяготения.

Начиная с 1961 г. в связи с постоянным уменьшением речного стока, используемого для орошения, средний годовой уровень Аральского моря стал снижаться. Небольшое его повышение произошло лишь в 1970 г. после экстремально многоводного 1969 г. В среднем за 1961—1985 гг. понижение уровня моря происходило примерно на 46 см в год. Падение уровня моря заметно ускорилось с 1975 г. Если за 1961—1974 гг. уровень понижался в среднем на 27 см в год, то за 1975—1985 гг. — на 71 см в год. К концу 1985 г. уровень моря снизился до отметки примерно — 41,4 м, или на 11,6 м по сравнению с его средним многолетним значением за 1911—1960 гг.

Резко нестационарный уровенный режим моря в 1961—1985 гг. может быть охарактеризован средней скоростью снижения или трендом уровня моря и отклонением средних годовых значений уровня моря от линии тренда, представляющей собой осредненную «траекторию» снижения уровня моря за

указанный период. Линию тренда можно рассматривать лишь в нестационарный период. Отклонения фактических средних годовых значений уровня от линии тренда могут быть довольно значительны: +128 см (1974 г.) и —158 см (1985 г.). Положительные отклонения соответствуют превышениям отметок уровня моря над отметками тренда, а отрицательные, наоборот, отвечают случаям превышения отметок тренда над отметками средних годовых значений уровня моря.

6.3. Сезонные колебания уровня моря

Сезонные или внутригодовые колебания уровня Аральского моря определяются в основном сезонным ходом и соотношением составляющих водного баланса моря. Плотностные колебания уровня моря, связанные с сезонными изменениями температуры и солености морской воды, для мелководного Аральского моря не превышают 1 см и не имеют практического значения. Внутригодовые колебания уровня Аральского моря, связанные с сезонными изменениями силы и направления ветра, течений и атмосферного давления, также невелики и не превышают 3—5 см.

Для замкнутого Аральского моря сезонные колебания уровня находятся в тесной взаимосвязи с его многолетними изменениями. В зависимости от результата годового соотношения составляющих водного баланса выделяются типы сезонных колебаний уровня, положительный, нулевой и отрицательный водный баланс. Эти типы сезонных колебаний различаются по характеру деформаций кривых уровня и по диапазону вариаций основных характеристик — времени наступления экстремальной высоты уровня, продолжительности времени роста и падения уровня, годового приращения уровня.

Общей чертой всех типов сезонных колебаний уровня моря является наличие летнего максимума и зимнего минимума в его годовом балансе. При положительном годовом водном балансе моря на фазе увеличения его водности уровень моря к концу года будет выше, чем в начале года. Время роста уровня больше времени его падения и сезонный максимум смещается на более поздние сроки. При нулевом годовом водном балансе наблюдается равенство отметок уровня моря в начале и конце года и примерное равенство времени роста и падения уровня. В случае отрицательного водного баланса на фазе уменьшения его водности уровень моря к концу года будет ниже, чем в начале года, время роста уровня меньше времени его падения и сезонный максимум смещается на более ранние сроки.

В период условно-естественного режима (1911— 1960 гг.) отклонения средних месячных высот уровня моря от их средних годовых значений не превышали +40 см и - 47 см (Аральское Море) при их средних для моря значениях ± 15 см. Начиная с 1960-х годов отмечается постепенное изменение характера сезонных колебаний уровня моря. Увеличились не только отрицательные годовые приращения уровня моря, достигшие в 1981— 1985 гг. в среднем —74 см в год, существенно деформировалась и кривая сезонных колебаний уровня моря. Подъем уровня моря в его сезонном ходе уменьшился до 5—10 см, а в отдельные годы — почти до нуля. Время наступления сезонного максимума сместилось с июля—августа на апрель—май. Исключение составил только аномально многоводный 1969 г., когда годовое приращение уровня моря составило 47 см, а его сезонный максимум отмечался в сентябре. Сократилась продолжительность времени роста и возросла продолжительность времени падения уровня моря во внутригодовом цикле. Наиболее быстрое снижение уровня моря происходит в августе—октябре, а его интенсивность в отдельные месяцы достигает 30—35 см.

7. СОЛЕННОСТЬ ВОДЫ.

7.1. Основные факторы, определяющие соленость

Соленость вод Аральского моря определяется главным образом соотношением составляющих его водного и солевого баланса — речного стока, атмосферных осадков и испарения, взаимодействие которых обуславливает сезонные и многолетние колебания объема вод и солезапаса моря. На формирование солености существенное влияние оказывают процессы льдообразования и таяния льда, характер циркуляции вод и морфометрические особенности бассейна.

Первые сведения о солености вод Аральского моря были получены на основании анализа отдельных проб морской воды в 70—80-х годах прошлого и начале текущего столетия. В 1930-е годы после организации Аральской научной рыбохозяйственной станции были начаты гидрохимические исследования моря, в том числе и солености его вод.

Систематические исследования солености прибрежных вод Аральского моря проводятся с 1941 г.

С 1950-х годов активизируются исследования гидролого-гидрохимического режима Аральского моря в связи с начавшимся интенсивным снижением его уровня (таблица 10).

Таблица 10. Среднегодовые уровни моря и соленость Аральского моря

Год	Отметка уровня	Соленость г/л
1950	52,9	10,2
1951	52,77	9,74
1952	52,79	10,7
1953	52,94	9,82
1954	53,21	10,2
1955	53,27	10,1
1956	53,32	10,2
1957	53,27	10,0
1958	53,23	10,4
1959	53,39	10,2
1960	53,5	9,93
1961	53,38	9,97
1962	53,07	10,8
1963	52,72	10,6
1964	52,58	10,1
1965	52,4	10,8
1966	51,98	11,8
1967	51,66	11,0
1968	51,35	11,5
1969	51,39	10,9
1970	51,44	11,2
1971	51,1	11,4
1972	50,65	12,0
1973	50,32	12,0
1974	49,92	13,0
1975	49,09	13,4
1976	48,36	14,6
1977	47,74	15,4
1978	47,06	15,0
1979	46,45	15,1
1980	45,75	16,8
1981	45,18	17,7
1982	44,39	18,8
1983	43,65	20,3
1984	42,75	21,9
1985	41,94	22,9
1986	41,1	21,5

Год	Отметка	Соленость г/л
1987	40,19	23,9
1988	39,67	25,0
1989	39,09	28,0
1990	38,24	30,0
1991	37,66	32,0
1992	37,2	32,3
1993	36,97	34,4
1994	36,6	36,0
1995	36,2	37,0
1996	35,48	40,1
1997	34,8	43,5
1998	34,21	49,8
1999	33,81	50,6
2000	33,19	65,0
2001	32,09	58,6
2002	30,92	70,0
2003	30,34	78,7
2004	30,51	86,3
2005	30,31	90,0
2006	30,09	92,1
2007	29,52	95,3
2008	28,31	97,6
2009	27,38	102
2010	26,66	132
2011	27,37	122

Соленость Аральской воды рассчитывалась по содержанию хлора, которое определялось аргенто-метрическим методом.

7.2. Соленость вод прибрежной зоны

Режим солености вод узкой прибрежной зоны характеризуется значительной межгодовой, сезонной и короткопериодной изменчивостью. Особенности режима солености отдельных гидрометеорологических станций

связаны с их физико-географическим положением, удаленностью от устьевых районов, характером циркуляции вод и интенсивностью водообмена с прилегающими водами открытого моря.

Анализ средних годовых значений солености прибрежных вод Аральского моря для современного периода нестационарного режима моря (1961— 2011) свидетельствует, что начиная с 1961 г. на всех станциях наблюдался общий рост солености воды, обусловленный резким снижением уровня и уменьшением объема вод моря. Особенно значительное возрастание солености отмечается после 1970 г., что связано с увеличением темпов падения уровня моря.

Наибольшие изменения солености прибрежных вод за сопоставимые периоды характерны для северного и северо-восточного побережья и связаны с полным прекращением с середины 1970-х годов поступления в море вод Сырдарьи. Минимальный рост солености отмечался на южном побережье в зоне влияния сока Амударьи и в центральных районах моря.

Изменился и сезонный ход солености. Увеличился размах внутригодовых колебаний, практически не проявляется летний минимум даже на станциях, расположенных в зоне влияния речного стока. В то же время достаточно четко прослеживается весенний минимум, связанный с опреснением вод при таяния льда.

7.3. Многолетние изменения средней солености вод моря и его отдельных районов

Средняя соленость вод моря является одной из важнейших характеристик его гидролого-гидрохимического режима. Для периода условно-естественного режима моря межгодовые колебания средней

солености всего моря и его отдельных районов были невелики и определялись в основном изменениями речного стока. Наблюдалась обратная зависимость средней солености от высоты стояния уровня моря.

Первые расчеты средней солености Аральского моря, выполненные в начале 1950-х годов по средним многолетним данным с учетом особенностей ее пространственного и вертикального распределения, дали весьма близкие значения 10.2 ‰ .

В таблице 10 приведены среднегодовые значения уровни и солености Аральского моря за 1950 – 2011 гг. Соленость вод моря возросла за этот период более чем в двенадцать раз. Возрастание солености обуславливается в основном уменьшением объема вод моря, так как солевая масса моря довольно устойчива во времени и ее значения играют второстепенную роль (рис. 18).

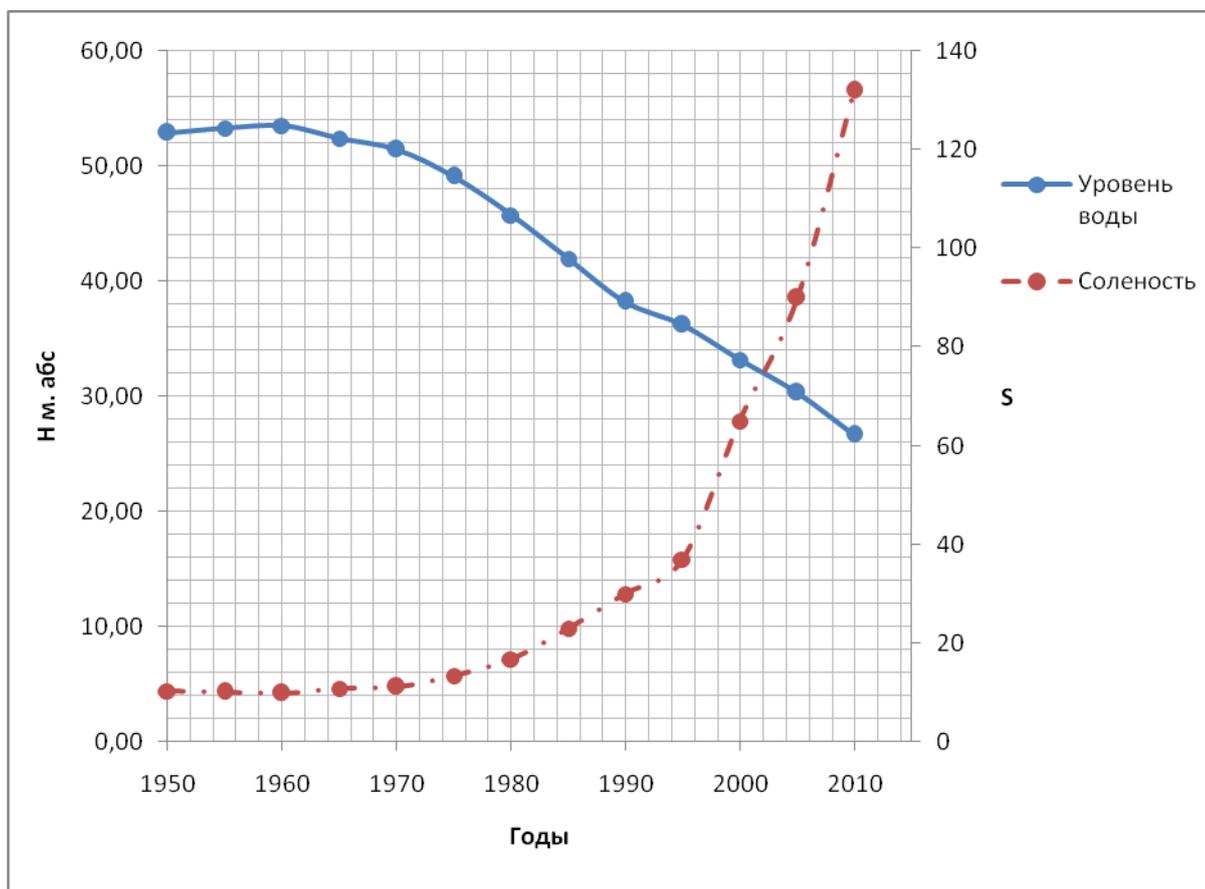


Рис 18. График зависимости уровня и солености Аральского моря.

8. ДЕГРАДАЦИЯ МОРЯ И ПРИАРАЛЬЯ.

Исчезновение Аральского моря это природно-антропогенная катастрофа, которая принесла Арал в жертву развитию орошения и росту сельскохозяйственного производства

До 1960 г. отбор воды на орошение сопровождался ростом коллекторных сетей и соответственно ростом возвратных вод, в результате чего существенных изменений в дельтах рек и в море не происходило.

Для 1911-1960 гг. характерно квазиравновесное состояние солевого баланса моря. Ежегодно в море поступало 25,5 млн. т солей, основная масса которых подвергалась седиментации при смешении морских и речных вод (из-за перенасыщенности аральских вод карбонатом кальция) и осаждалась на мелководьях, в заливах, бухтах и фильтрационных озерах северного, восточного и южного побережий моря (рис. 19). Благодаря замерзанию моря и оттаиванию, средняя соленость моря в этот период изменялась в интервале 9,6-10,3%. Относительно большой годовой объем речного стока (около 1/19 объема моря) обуславливал весьма своеобразный солевой состав аральских вод, отличающийся от солевого состава других внутренних замкнутых и полузамкнутых морей большим содержанием карбонатных и сернокислых солей.



Рис. 19. Соль осевшая на берегах.

Современный период в жизни моря, начиная с 1961 г., можно охарактеризовать как период активного антропогенного влияния на его режим. Резкое возрастание безвозвратных изъятий стока, достигающих в последние годы $70-75 \text{ км}^3/\text{год}$, истощение компенсационных возможностей рек, а так же естественная маловодность двух десятилетий 1960-1980 гг. (92%) привели к нарушению равновесия водного и солевого балансов. Для 1961-2002 гг. характерно значительное превышение испарения над суммой приходных составляющих (Лишь в 1998 г. приток $29,8 \text{ км}^3$ превысил

испарение 27,49 км³). Приток речных вод к морю сократился за этот период в среднем в 1965 г. до 30,0 км³/год, а для 1971-1980 гг. он составил всего 16,7 км³/год или 30% от среднемноголетнего, в 1980-1999 гг. — 3,5-7,6 км³/год или 6-13% от среднемноголетнего. В отдельные маловодные годы сток Амударьи и Сырдарьи практически не доходил до моря.

Изменилось и качество речного стока. Увеличение в нем доли высокоминерализованных сбросных и дренажных вод привело к значительному росту минерализации и ухудшению санитарного состояния речных вод. В маловодные годы среднегодовая минерализация вод Амударьи, поступающих в море, достигает 0,8-1,6, а в Сырдарье — 1,5-2,0 г/л. В отдельные сезоны отмечаются еще более высокие ее величины. В результате, несмотря на то, что среднегодовой речной сток в 1961-1980 гг. сократился более, чем на 46%, среднегодовой ионный сток за этот же период уменьшился всего на 4 млн. т. или на 18%. Существенно изменились и другие составляющие солевого баланса. Так, уменьшение в речном стоке относительного содержания карбонатов привело к сокращению вдвое количества солей, подвергающихся седиментации при смешении речных и морских вод.

В результате с 1961 г. уровень моря стал устойчиво снижаться. Общее падение уровня по сравнению со среднемноголетним (до 1961 г.) достигло к началу 1985 г. 12,5 м. Средняя многолетняя интенсивность падения уровня составляла примерно 0,5 м, достигая в маловодные годы 0,6-0,8 м/год. Изменилось и внутригодовое колебание уровня моря. В настоящее время подъем уровня в годовом разрезе практически не прослеживается, в лучшем случае он не меняется зимой, а в летнюю половину года происходит его резкое падение.

Постепенное падение уровня моря намного превысило по темпам ожидаемые прогнозы. Предполагалось, что уровень моря к 1990 г. достигнет 41-42,5 м с 90 % обеспеченностью, а к 2000 г. — 35,5-38,5 м. Фактически, к

1990 г. отметка моря составила 38,24 м, а к 2000 г. — около 34 м. Аналогично более быстрыми темпами увеличивалась минерализация воды в море — к 1990 г. 32% фактически вместо 26% по прогнозу и к 2000 г. 40% вместо 38% по прогнозу (рис. 20).

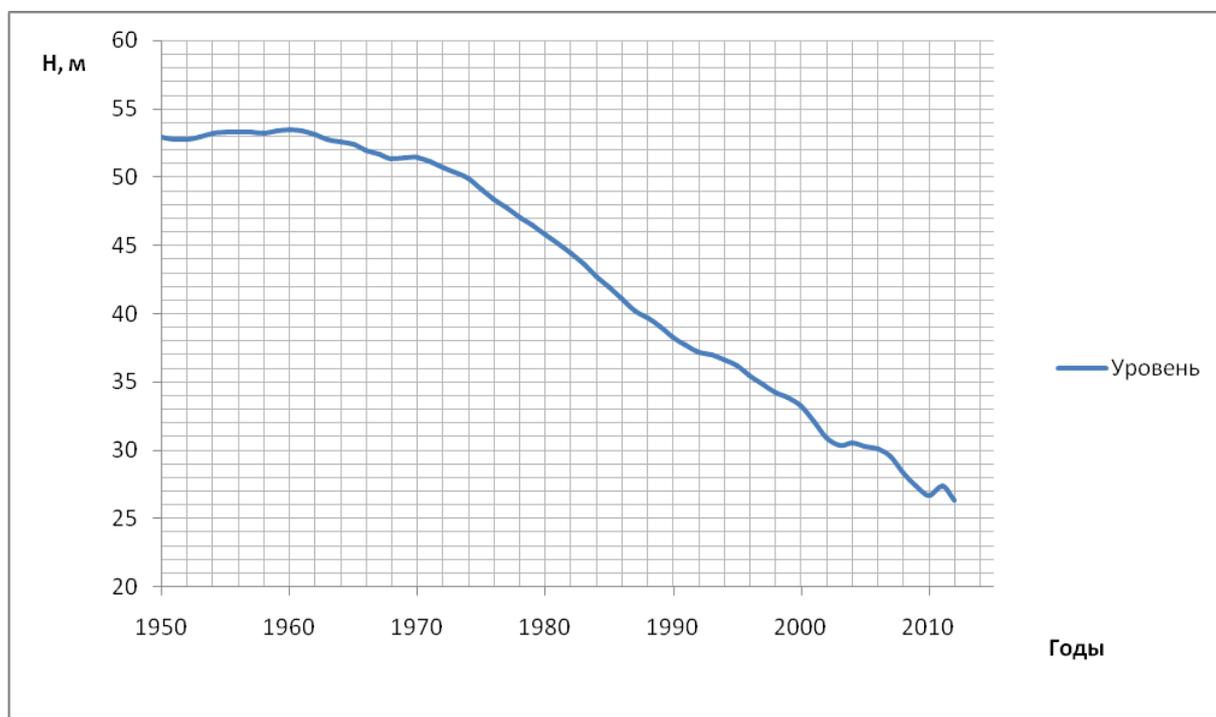


Рис. 20. Современный уровень Аральского моря

Насыщение Аральского моря сульфатом кальция и начало осаждения гипса происходит при солёности, превышающей 25-26 г/л. Однако наиболее интенсивная садка гипса началась при солёности выше 34-36%. В этих условиях одновременно с осаждением гипса в зимний период происходит оседание мирабилита, представляющего наибольшую опасность для природы Приаралья. Сульфат натрия доступен ветровой эрозии и может легко перемещаться на большие расстояния. Последствия Аральской катастрофы уже давно вышли за рамки региона. С высохшей акватории моря ежегодно, как из кратера вулкана, разносятся свыше 100 тысяч тонн соли и тонкодисперсной пыли с примесями различных химикатов и ядов, пагубно влияя на всё живое. Эффект загрязнения усиливается тем, что Арал расположен на пути мощного струйного течения воздуха с запада на восток,

способствующего выносу аэрозолей в высокие слои атмосферы. Следы солевых потоков прослеживаются по всей Европе и даже в Северном Ледовитом океане (рис. 21).

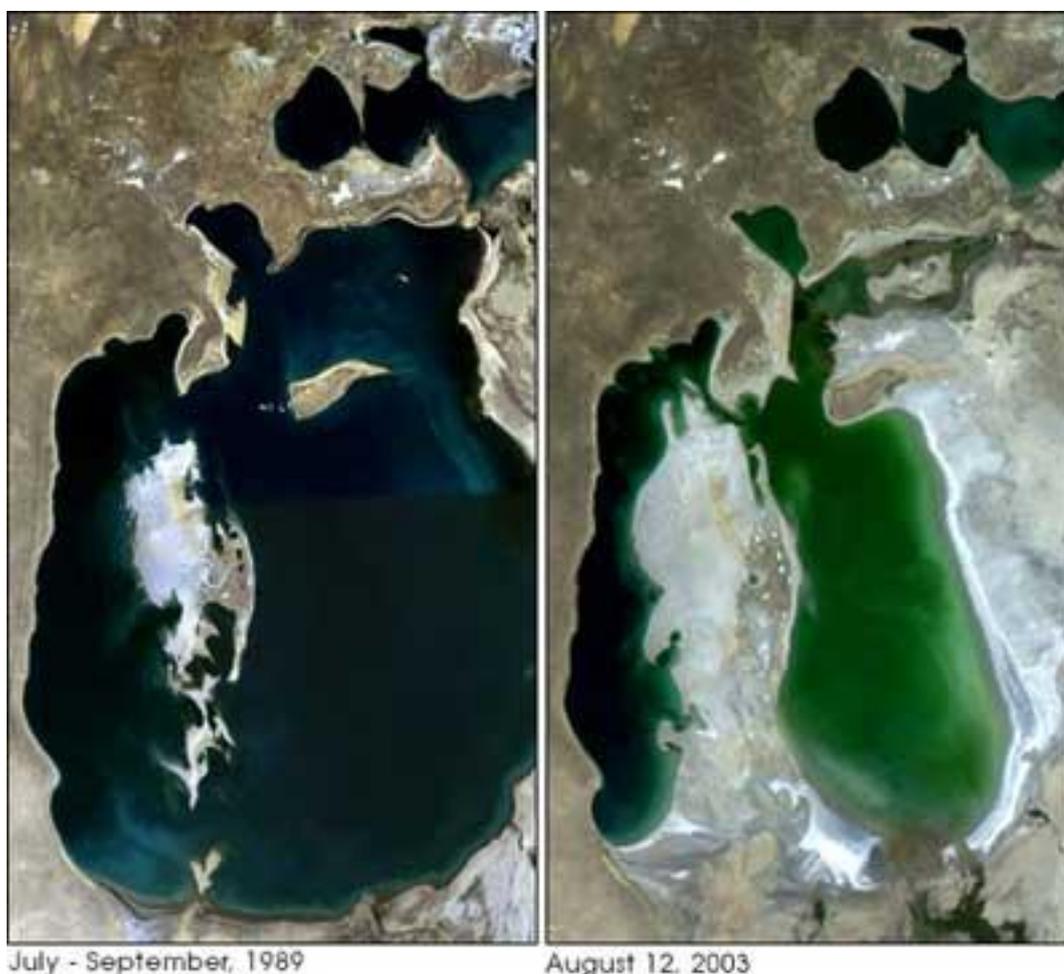


Рис. 21. Солевая пустыня

Количественная оценка роли антропогенного фактора в современных изменениях режима Аральского моря проводилась путем расчета восстановленных значений уровня и солености за 1950-2011 гг. по величинам восстановленного условно-естественного притока к морю. Как показали расчеты, более 70% современного падения уровня моря и роста его солености обусловлено влиянием антропогенного фактора, остальная часть этих изменений приходится на долю климатических факторов — естественной маловодности периода.

Основные последствия усыхания Аральского моря, кроме уменьшения объема, поверхности, роста и изменения характера минерализации проявились в образовании на месте осушенного дна огромной солевой пустыни площадью к настоящему времени почти 3,6 млн. га. В результате,

уникальный пресноводный водоем уступил место огромному горько-соленому озеру в комбинации с колоссальной соленой пустыней на стыке трех песчаных пустынь.



В 1985-1986 гг. при отметке 41 м абсолютной высоты произошло полное отчленение Малого моря от Большого. Это привело к образованию новой пустынной территории с площадью 6000 км² с запасом солей в верхнем слое до 1 млрд. тонн. В настоящее время происходит осадка из морской воды раствора насыщенного гипса. При понижении уровня моря до 30 м абсолютной высоты (на 23 м) западная часть глубоководного Большого моря островами отделилась от восточного, более мелководного.

После отчленения Малого моря режимы его и Большого моря начали развиваться по различным сценариям. В связи с тем, что приток по реке Сырдарья поддерживается в последние годы более высокий, чем по реке Амударья, уровень Малого моря стал повышаться, а минерализация воды снижаться. Прорыв временной плотины Малого моря вызвал снижение уровня, однако предыдущее наполнение показало правильность решения о создании обособленного водоема Малого моря на отметке 41 - 42,5 м. Разработанный проект инженерной плотины с регулируемым водосбросом в районе пролива Берга сможет создать устойчивый экологический профиль этого водоема и его окружающей среды.

Таким образом, Аральское море как единый в прошлом водоем прекратило свое существование и превратилось в ряд расчлененных водоемов со своими водно-солевыми балансами и своим будущим в зависимости от того, какую линию поведения выберут пять стран как субъекты, хозяйствующие в этом бассейне (рис. 22, 23).

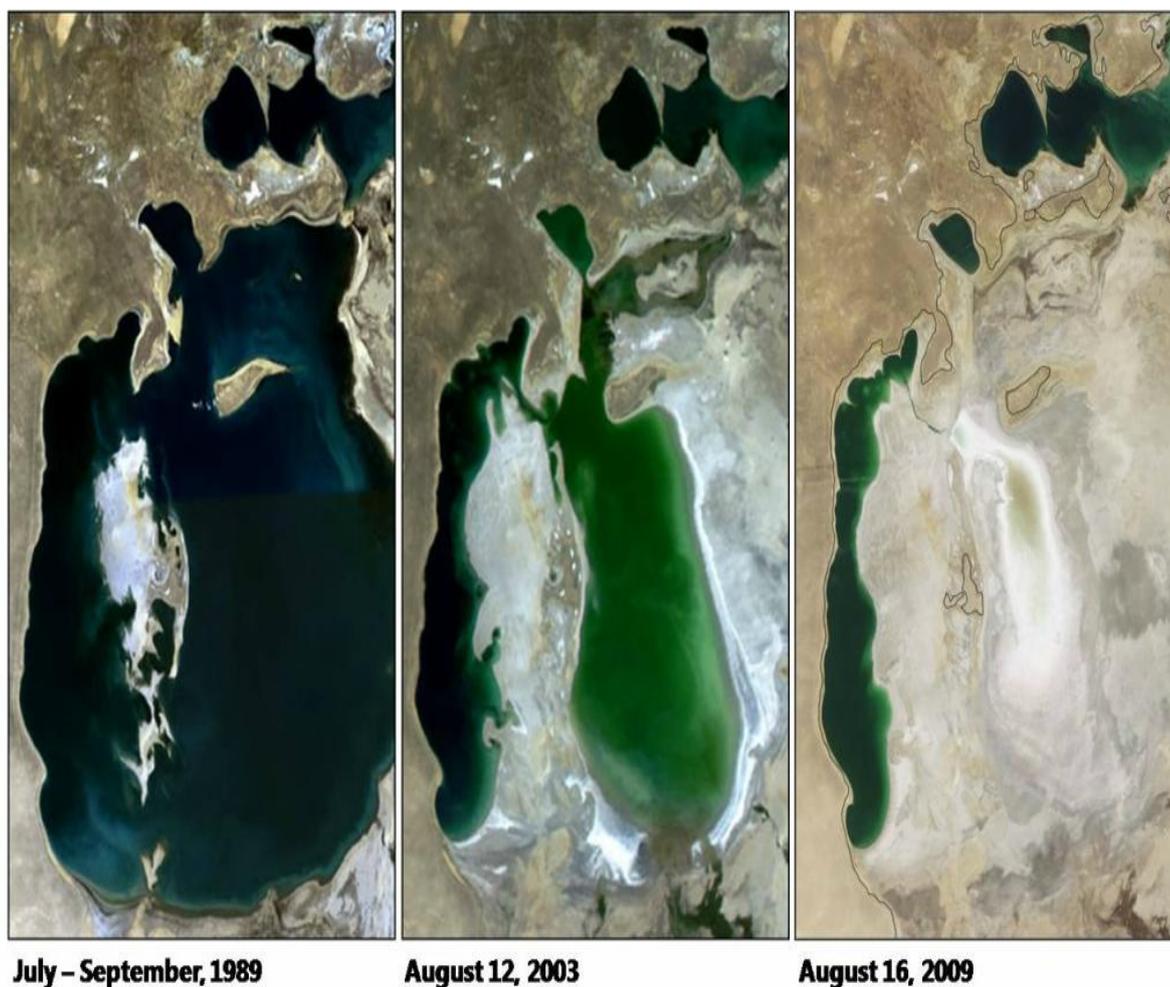


Рис. 22. Снимки с космоса

Вот только некоторые характеристики деградации природного комплекса Приаралья под влиянием усыхания моря:

- сокращение площади озер в дельте Амударьи до 26 тыс. га против 400 тыс.га в 1960 г.;
- падение уровня грунтовых вод в зависимости от удаления от берега моря до 8 м;
- врезка в дно русел рек на глубину до 10 м;
- развитие солепылепереноса в полосе до 500 км с интенсивностью от 0,1 до 2,0 т/га;

- изменение почвенного покрова — гидроморфные почвы снизились с 630 до 80 тыс. га;
- площадь солончаков возросла с 85 тыс. га до 273 тыс. га;
- площадь тростников сократились с 600 тыс.га до 30 тыс.га или в 20 раз;
- изменение климата в полосе 150-200 км;

Все эти изменения, связанные с усыханием моря, сопровождались и уменьшением притока воды к дельте и, как следствие, ухудшением питьевого водоснабжения — увеличением минерализации и снижением притока грунтовых вод. И все это вызвало резкий рост заболеваемости населения.



Рис. 23. Кладбище кораблей

9. ВОССТАНОВЛЕНИЕ МОРЯ.

Изъятие воды из поверхностного стока или из его вековых запасов могут быть подразделены на 2 вида: единовременные и систематические. К Аралу применяется систематическое изъятие воды из поверхностного притока рек для орошения земель. Такие изъятия ведут к нарушению существующего равновесия водного баланса и понижению уровня озера, до той отметки пока не появится новое равновесие между приходной частью и расходной.

Водный баланс Аральского моря был рассчитан отдельно для периода квазистационарного режима моря (1911—1960 гг.) (таблица 11) и для современного периода (1961—1985 и 2000 – 2014 гг.) (таблица 12, 13), характеризующегося резким падением уровня. Подробный расчет составляющих водного баланса по средним месячным данным с использованием всех новых материалов наблюдений, уточненных и исправленных данных уровенных наблюдений был выполнен для 1951—1985 и 2000 – 2014 гг.

Таблица 11. Весь Арал

Период (число лет)	Приход		Расход	Водный баланс
	сток	осадки	испарение	
1911-1960(50)	56,0	9,1	66,1	-1,0
1961-1970(10)	43,3	8,0	65,4	-14,1
1971-1980(10)	16,7	6,3	55,2	-32,2
1981-1985(5)	2,0	7,1	45,9	-36,8
1986-1988(3)	10,8	6,2	47,0	-30,0

Таблица 12. Большой Арал

Период (число лет)	Приход		Расход	Водный баланс
	сток	осадки	испарение	
1988	9,19	2,46	28,12	-16,47
1989	0,84	0,34	29,96	-28,78
1990	3,92	-	29,60	-25,68
1991	5,76	-	28,24	-22,48
1992	11,44	1,06	22,06	-9,56
1993	9,08	4,10	21,31	-8,13
1994	11,71	4,80	23,38	-6,87

Таблица 13. Современные данные Большого Арала

Период (число лет)	Приход		Расход	Водный баланс
	сток	осадки	испарение	
2000	-	30,90	937	-905,64
2001	-	30,60	978	-947,86
2002	-	29,60	957	-927,81
2003	-	38,40	916	-877,44
2004	-	63,10	1032	-968,76
2005	-	40,30	1010	-970,07
2006	-	18,70	1131	-1112,08
2007	-	4,60	1000	-995,09
2008	-	31,10	1086	-1055,27
2009	-	19,50	968	-948,41
2010	-	81,30	1064	-983,13
2011	-	84,70	1010	-925,67
2012	-	55,30	1120	-1064,31
2013	-	106	1043	-936,88
2014	-	71,80	1010	-938,57

Так как наблюдения за испарением не проводятся не только в открытом море, но и на береговых гидрометеорологических станций, и отсутствуют необходимые данные для расчета испарения по формуле Зайкова Б.Д., которая имеет вид:

$$E=0,14(e_0 - e_{200})(1+0,72W_{200}) \quad (2)$$

Имея данные лишь о температуре воздуха, мною был произведен расчет за испарение (см. таблицу 13) с применением формулы А.Н. Постникова, которая имеет вид:

$$E = 4(21,3t_{\text{п}} + 27)(0.026 t_{\text{п}} + 0.62), \quad (3)$$

$$\text{где } t_{\text{п}} = \sum t_i / 12, \quad (4)$$

где t_i – средняя температура за i -й месяц теплого периода.

Расчитав испарение каждый год (2000 - 2014) по формуле А.Н. Постникова (3) показало что среднемноголетнее испарение над Аральским море составляет 1018 мм. Тогда как для квазистационарного режима и 70 – 80-х годов испарение было в пределах 100 мм.

Наша задача состояла в том, чтоб рассчитать, сколько потребуется времени, чтобы восстановить Аральское море до нового уровня равновесия, по формуле:

$$T = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta t_i = \sum_1^n \frac{\Delta V_i}{\Delta V_{\text{пр}} - \eta_i} \quad (5)$$

где, T – общее число лет необходимое для заполнения водоема, Δt_i – число лет за каждый уровень подъема, $\Delta V_{\text{пр}}$ – величина ежегодного изъятие из стока рек, η_i – средняя экономия при увеличении объема озера на величину ΔV_i .

А для современного режима уравнения равновесного среднего многолетнего водного баланса имеет формулу:

$$V_{\text{пр}} = \frac{(h_{\text{ис}} - h_{\text{ос}}) F}{10^6} \quad (6)$$

Предполагается подавать разное количество воды, которое приведет к стабилизации уровня к отметке 53м. Мы специально сделали несколько вариантов, чтобы посмотреть как будет происходить заполнение Аральского моря. Так как Аральское море разделилось на три составные части – северная часть (Казахстан) отделилась в 1988 г. когда уровень отметки стоял на 43 м. абс, тогда Республика Казахстан на проливе Берга построила Кокаральскую плотину (см. рис. 16), для поддержания уровня моря в Малом Арале, остатки сбрасываются в Большой (Узбекистан). Восточное и западная часть осталась на территории Узбекистана. Ниже отметки 33 м восточная часть Большого Арала полностью высыхает, оставив лишь, западную часть некогда существовавшего Аральского моря (см. рис. 22).

Сейчас (на 2016 г.) отметка уровня Арала (западного Большого моря) составляет 23 м. абс. чтобы поднять уровень до отметки 43, при подачи 40 км^3 (соединившись с Малым), было подсчитаны следующие значения (таблица 14 и рис. 22) по формулам .

Таблица 14. Пример подачи воды в 40 км³/год.

Большой Арал

Изобата, м	H	F	Vис	Vос	Vис-Vос	$\Delta V_{пр}$	ΔV_i	Δt_i	T
0	23	2689	1,91	0,00	1,91	40	3,81	0,10	0,10
2	25	6500	8,25	7,00	1,3	40	16,5	0,43	0,53
4	27	10000	12,0	7,00	5,0	40	24,0	0,69	1,22
6	29	14000	16,0	7,00	9,0	40	32,0	1,03	2,25
8	31	18000	20,0	7,00	13,0	40	40,0	1,48	3,73
10	33	22020	24,3	7,00	17,3	40	48,5	2,13	5,86
12	35	26500	28,6	7,00	21,6	40	57,5	3,13	8,99
14	37	31000	33,6	7,00	26,6	40	67,1	4,99	14,0
16	39	36100	38,7	7,00	31,7	40	77,3	9,26	23,2
18	41	41200	43,9	7,00	36,9	40	87,8	28,5	51,7
20	43	46648	46,6	7,00	39,6	40	93,3	103	155

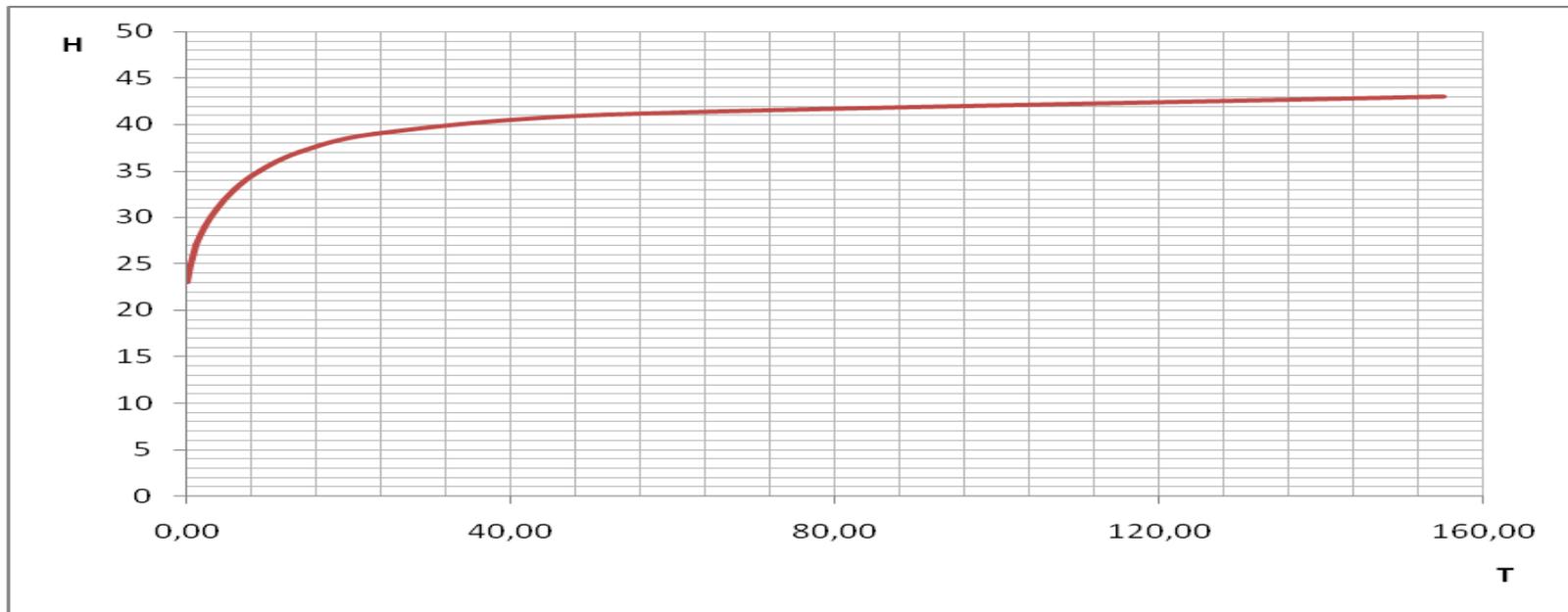


Рис. 22 Кривая повышения уровня до наступления уровня равновесия

Пример подачи воды в 50 км³/год

Таблица 15.

Изобата, м	H	F	V _{ис}	V _{ос}	V _{ис} -V _{ос}	ΔV _{пр}	ΔVi	Δti	T
0	23	2689	1,91	0,00	1,91	50	3,81	0,08	0,08
2	25	6500	8,25	7,00	1,3	50	16,5	0,34	0,42
4	27	10000	12,0	7,00	5,0	50	24,0	0,53	0,95
6	29	14000	16,0	7,00	9,0	50	32,0	0,78	1,73
8	31	18000	20,0	7,00	13,0	50	40,0	1,08	2,81
10	33	22020	24,3	7,00	17,3	50	48,5	1,48	4,29
12	35	26500	28,6	7,00	21,6	50	57,5	2,02	6,31
14	37	31000	33,6	7,00	26,6	50	67,1	2,86	9,17
16	39	36100	38,7	7,00	31,7	50	77,3	4,21	13,4
18	41	41200	43,9	7,00	36,9	50	87,8	6,71	20,1
20	43	46648	46,6	7,00	39,6	50	93,3	8,97	29,1

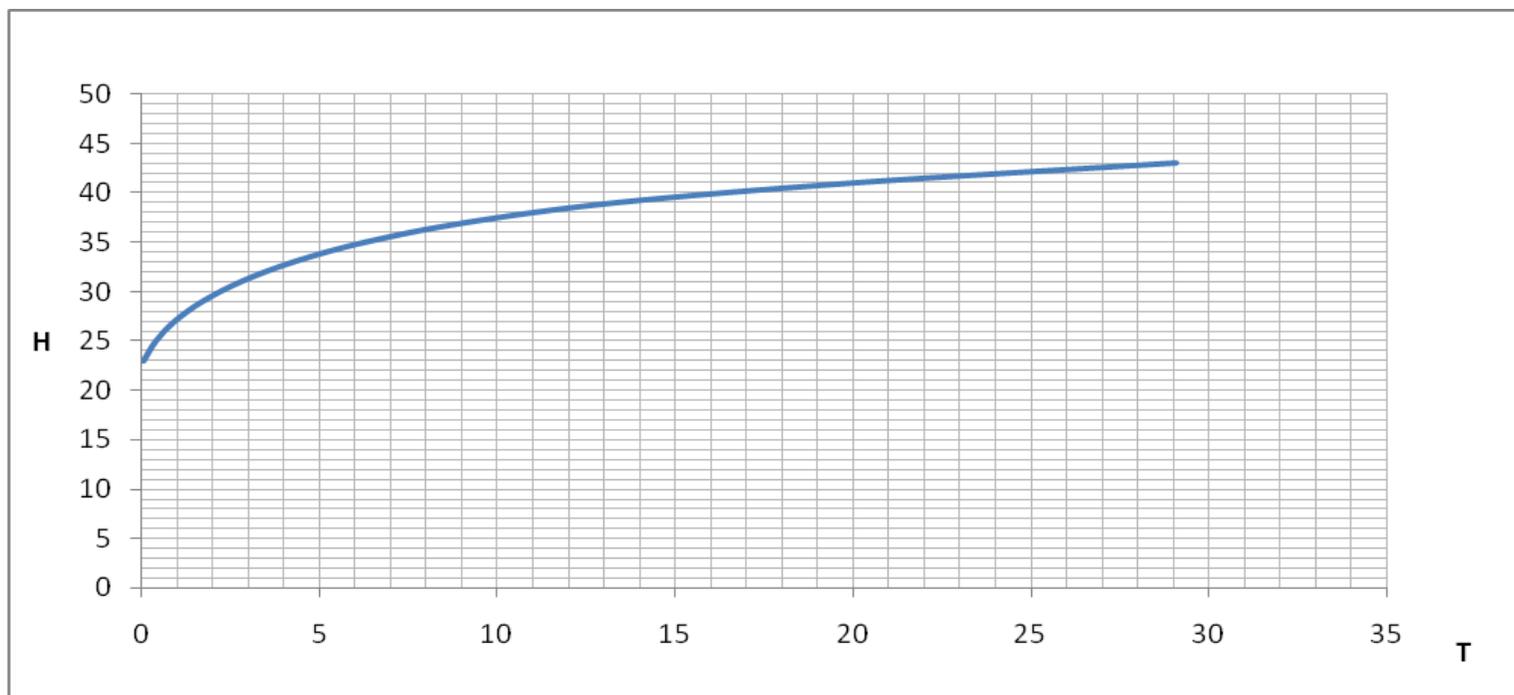


Рис. 23. Кривая повышения уровня до наступления уровня равновесия

Теперь с отметки 43 поднимаем Арал до отметки 53 м. абс. – 1960 г. С этой отметкой соединяемся с Малым морем и рекой Сырдарьей.

Таблица 16. Пример подачи воды в 50 км³/год

Весь Арал

Изобата, м	H	F	Vис	Vос	Vис-Vос	$\Delta V_{пр}$	ΔV_i	Δt_i	T
0	33,0	23383	25,7	9,00	16,7	50	51,4	1,54	1,54
2	35,0	28000	29,9	9,00	20,9	50	59,8	2,05	3,59
4	37,0	31800	34,4	9,00	25,4	50	68,7	2,79	6,38
6	39,0	36900	39,3	9,00	30,3	50	78,5	3,98	10,4
8	41,0	41600	44,1	9,00	35,1	50	88,2	5,92	16,3
10	43,0	46648	48,1	9,00	39,1	50	96,2	8,83	25,1
12	45,0	49500	51,3	9,00	42,3	50	103,0	13,4	38,5
14	47,0	53250	55,0	9,00	46,0	50	110,0	27,5	65,9
16	49,0	56700	58,2	9,00	49,2	50	116,0	145	211
18	51,0	59610	62,8	9,00	53,8	50	126,0		
20	53,0	66086	66,1	9,00	57,1	50	132,0		

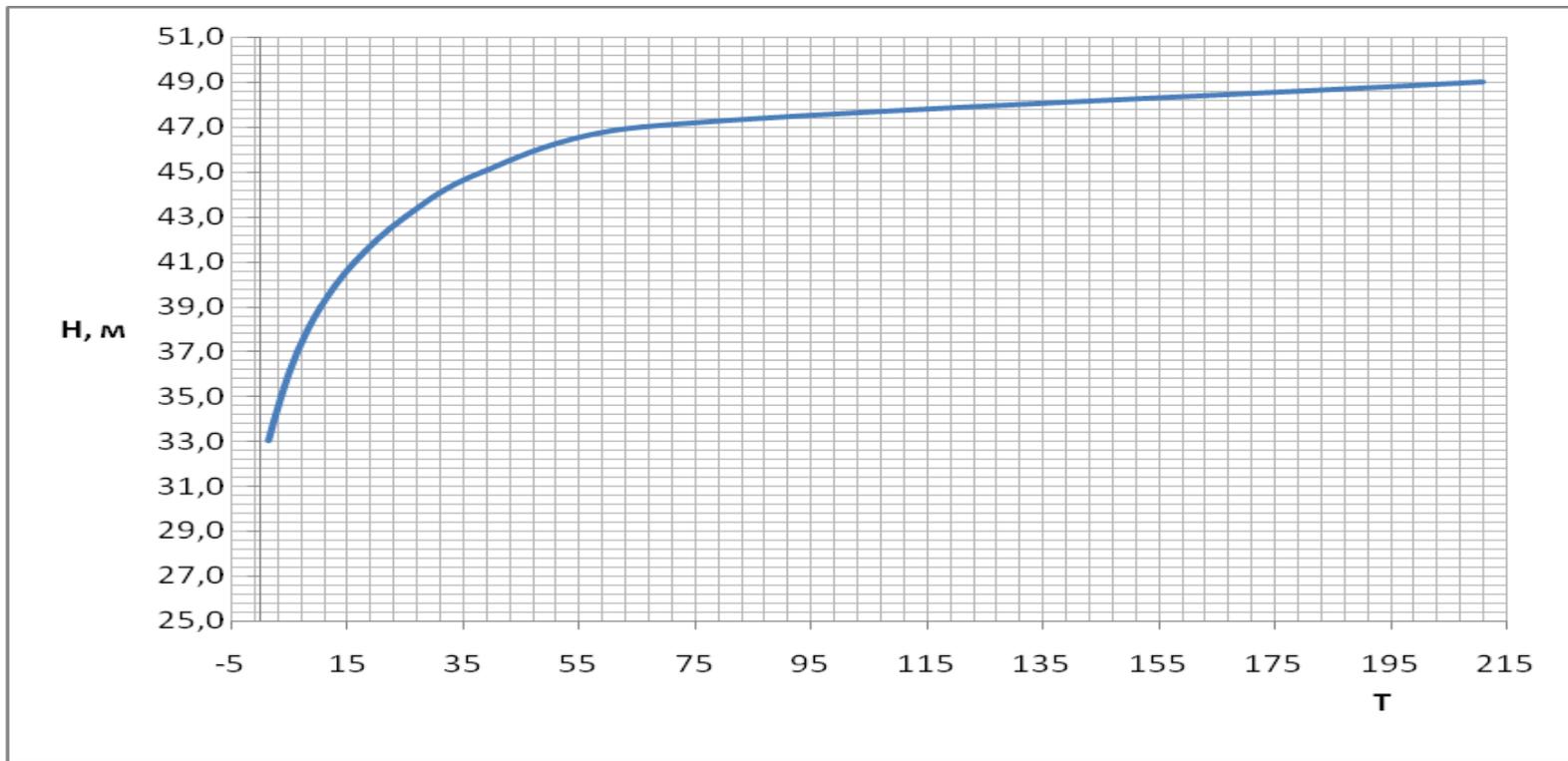


Рис. 24. Кривая повышения уровня до наступления уровня равновесия

Пример подачи воды в 60 км³/год

Таблица 17.

Изобата, м	H	F	Vис	Vос	Vис-Vос	$\Delta V_{пр}$	ΔV_i	Δt_i	T
0	33,0	23383	25,7	9,00	16,7	60	51,4	1,19	1,19
2	35,0	28000	29,9	9,00	20,9	60	59,8	1,53	2,72
4	37,0	31800	34,4	9,00	25,4	60	68,7	1,99	4,71
6	39,0	36900	39,3	9,00	30,3	60	78,5	2,64	7,35
8	41,0	41600	44,1	9,00	35,1	60	88,2	3,54	10,9
10	43,0	46648	48,1	9,00	39,1	60	96,2	4,60	15,5
12	45,0	49500	51,3	9,00	42,3	60	103,0	5,82	21,3
14	47,0	53250	55,0	9,00	46,0	60	110,0	7,86	29,2
16	49,0	56700	58,2	9,00	49,2	60	116,0	10,7	39,9
18	51,0	59610	62,8	9,00	53,8	60	126,0	20,3	60,2
20	53,0	66086	66,1	9,00	57,1	60	132,0	45,5	106

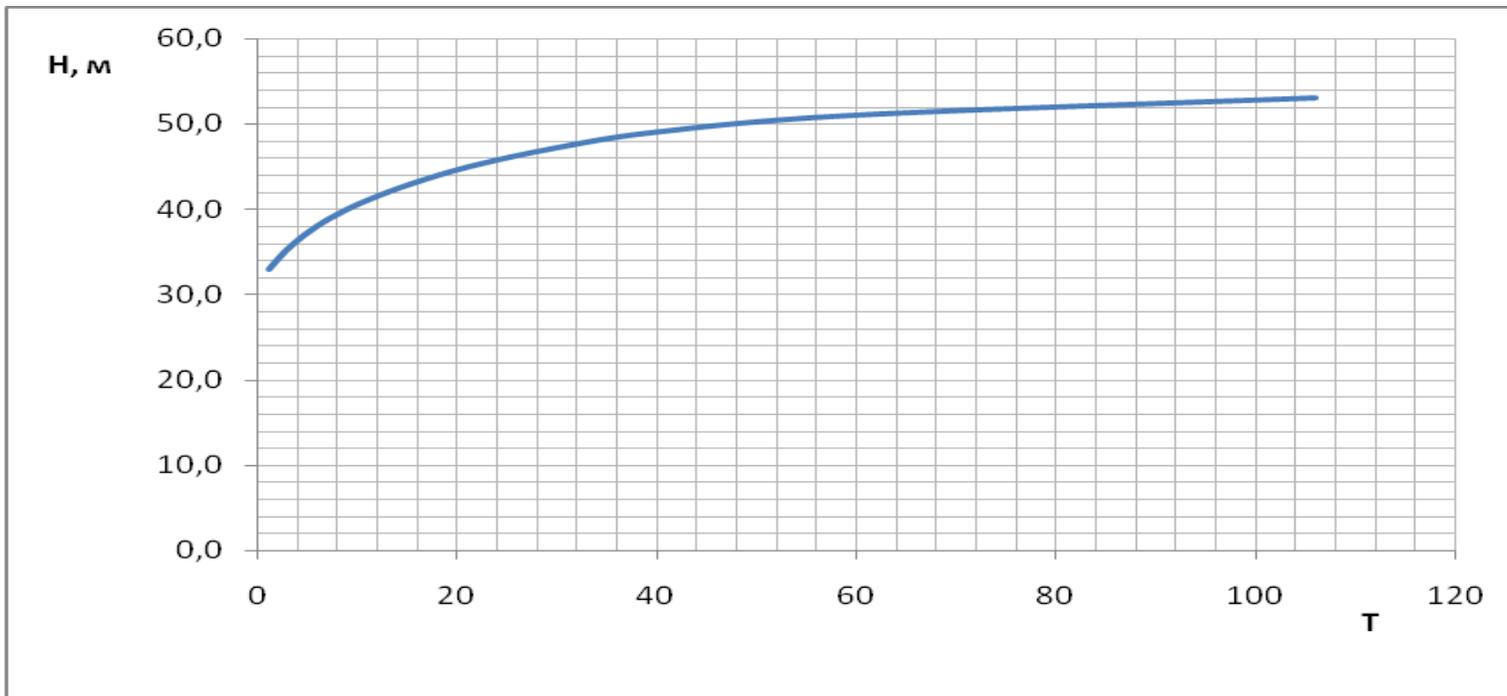


Рис. 25. Кривая повышения уровня до наступления уровня равновесия

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассчитаны время заполнения Аральского моря водой, при разном количестве подачи в Арал сток рек Амударьи и Сырдарьи.

Она включает: а) сначала наполнения Большого Арала рекой Амударьей до отметки, при которой Малый Арал разделился;

б) после объединившись с Малым Аралом подавать воду вместе с Сырдарьей, и поднимать уровень до отметки соответствующего 1960 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асарин А.Е. Уровенный режим Аральского моря при развитии водопотребления в бассейнах Амударьи и Сырдарьи. – Тр. Гидропроекта, 1964, вып. 12, с. 211-221.
2. Бортник В.Н., Кукса В.И., Цыцарин А.Г. Современное состояние и возможное будущее Аральского моря // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1991. № 4. с. 62-68.
3. Викулина З.А., Натрус А.А., Кашинова Т.Д., Затидулина Р.И. Водный баланс озер и водохранилищ. – В кн.: Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л., Гидрометеиздат, 1967, с. 29-31.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1990. Т. 7: Аральское море. 195с.
5. Зайков Б.Д. Очерки по озероведению., часть вторая. Л., Гидрометеиздат, 1960. С. 240.
6. Косарев А.Н. Гидрология Каспийского и Аральского морей. М.: МГУ. 1975. с.272
7. Кривошей М.И. Арал и Каспий: (Причины катастрофы) СПб., 1997. 130 с.
8. Михайлов М.Н. Почему обмелело Аральское море. Наука о земле. Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Соросовский образовательный журнал, 1991, вып. 2.
9. Постников А.Н. Приближенный метод оценки испарения с озер и водохранилищ.// Ученые записки РГГМУ, 2012, № 26, с. 25-33.
10. Рафиков А.А. Природные условия осушающегося южного побережья Аральского моря. – Ташкент: ФАН, 1982. с. 148.

11. Рафиков А.А. Снижение уровня Аральского моря и изменение природных условий низовьев Амударьи. Ташкент: Изд-во «Фан», 1981.
12. Рогов М.М. Гидрология дельты Амударьи. – Л.: Гидрометеоиздат, 1957. с. 254.
13. <http://ec-ivas.org/p001.php> [электронный ресурс].
14. Справочник основных гидрологических характеристик по Аральскому морю. – Аральск – Ташкент: УГМС УзССР, 1972, т. с. 14-96.
15. http://www.geogr.msu.ru/science/aero/center/int_sem6/3.1.htm [электронный ресурс].
16. http://ru-ec-ivas.waterunites-ca.org/main/aryl_basin/aryl_sea/93-aryl-sea-history.html [электронный ресурс].

