

## WHY THE ARAL SEA BECAME SHALLOW

V. N. MIKHAILOV

*The causes of the drying of the Aral Sea in previous decades and its environmental implications are discussed. Drastic changes in the water balance of the Aral Sea, the shrinkage of the water table, and the lowering of the sea level resulted from significant anthropogenic reduction of water runoff of the AmuDarya and SyrDarya Rivers.*

**Рассмотрены причины обмеления Аральского моря в последние десятилетия. Описаны резкие изменения водного баланса Арала, объема его вод, площади и уровня, обусловленные значительным антропогенным сокращением водного стока рек Амударьи и Сырдарьи. Рассмотрены также некоторые экологические последствия усыхания водоема.**

© Михайлов В.Н., 1999

## ПОЧЕМУ ОБМЕЛЕЛО АРАЛЬСКОЕ МОРЕ

В. Н. МИХАЙЛОВ

Московский государственный университет  
им. М.В. Ломоносова

### ВВЕДЕНИЕ

Аральское море — второй по величине после Каспия бессточный водоем на Земле. Арал не связан с океаном и поэтому является не морем, а озером. Морем его называют благодаря огромным размерам и режиму, сходному с морским.

Совсем недавно Аральское море славилось рыбными запасами. Дельты рек Амударьи и Сырдарьи были своеобразными зелеными оазисами среди пустыни. Природные богатства дельт составляли густые заросли тростника, тугайные леса, озера, богатые рыбой, водоплавающей птицей и ондатрой, сенокосные угодья, пастбища и орошаемые земли.

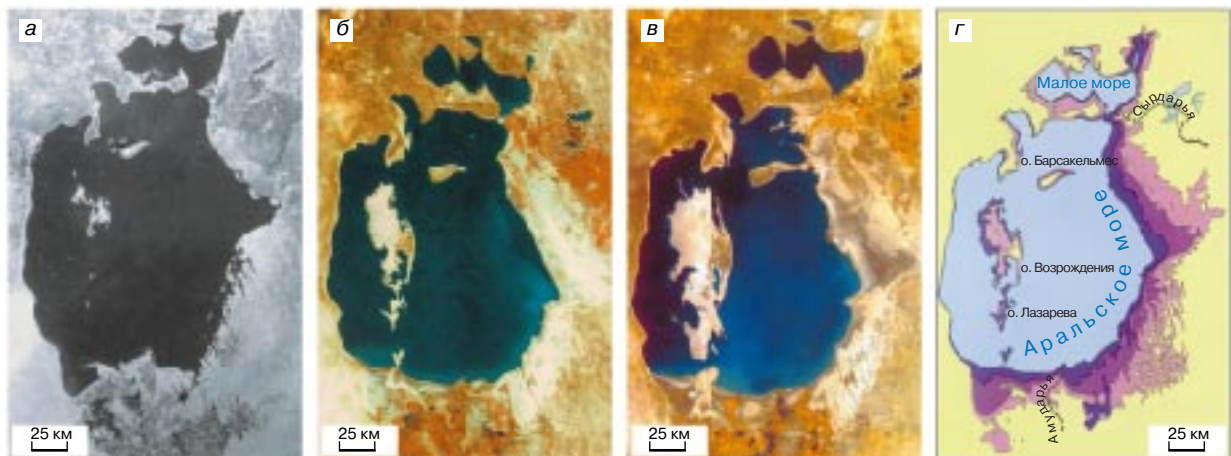
В первой половине XX века режим Аральского моря был довольно устойчив. Водоем получал регулярное питание водой впадающих в него Амударьи и Сырдарьи. Уровень моря был почти стабилен. Мы не случайно говорим о природных богатствах Аральского моря в прошедшем времени. За последние десятилетия в природе Арала и условиях жизни населения на его берегах произошли катастрофические изменения. С 1961 года уровень Арала начал быстро падать и водоем стал усыхать (рис. 1). При жизни практически одного поколения произошла крупнейшая на Земле экологическая катастрофа.

Режим Арала до середины 80-х годов находился под пристальным наблюдением специалистов и был довольно хорошо изучен [1–5]. В последнее время данных об изменениях природных условий Арала стало поступать значительно меньше.

### ЧТО ПРОИЗОШЛО С АРАЛОМ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

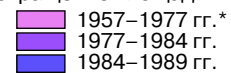
Начиная с 1961 года уровень Аральского моря стал понижаться (рис. 2), причем падение уровня шло с ускорением. За 1961–1970 годы уровень моря понизился на 2,0 м, средняя интенсивность этого понижения была 20 см/год. В 1971–1980 и 1981–1990 годах уровень упал соответственно на 5,7 и 7,2 м, средняя интенсивность его падения увеличилась до 57 и 72 см в год. В отдельные годы уровень снижался более чем на 1 м.

С 1961 по 1990 год уровень Аральского моря снизился на 14,8 м. Одновременно значительно сократился объем воды в Арале (с 1093 до 330 км<sup>3</sup>, то есть на 763 км<sup>3</sup>, или более чем в три раза) и площадь водоема (с 68 500 до 36 500 км<sup>2</sup>, то есть на 32 000 км<sup>2</sup>,

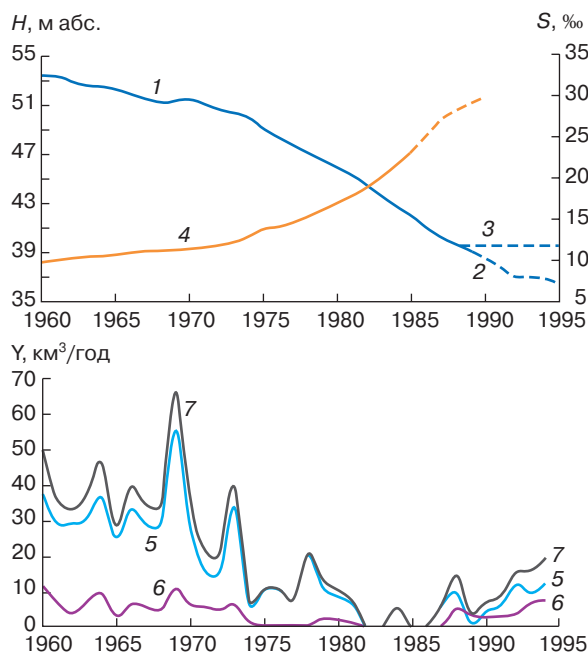


**Рис. 1.** Изменение очертаний Аральского моря по данным космических снимков: а – в июне 1975 года (спутник “Салют”); б – 22 апреля 1989 года (спутник “Ресурс 0”); в – 8 октября 1996 года (спутник “Ресурс 0”); г – схема смещения береговой линии за 1957–1989 годы (по [8])

Сокращение площади моря



\* В районе о. Возрождение – 1957–1984 гг.



**Рис. 2.** Изменение уровня Аральского моря (1) и его частей – Большого моря (2) и Малого моря (3) (в м абс.); солёности воды водоема (4) (в ‰); стока Амударьи (5), Сырдарьи (6) и суммарного речного стока в Аральское море (7) (в км³/год). Пунктиром показаны изменения уровня и солёности по приближенным данным

или почти вдвое) (табл. 1). Средняя глубина уменьшилась с 16,0 до 9,0 м. К 1995 году уровень водоема упал еще приблизительно на 2 м. Таким образом, за 35 лет уровень Арала снизился почти на 17 м.

По мере снижения уровня Аральское море быстро изменяло свои привычные очертания (см. рис. 1). Береговая линия выдвинулась в водоем и выровнялась, некоторые острова причленились к берегу, многие заливы высохли.

В 1988–1989 годах Аральское море разделилось на две части: меньшую северную – Малое море (или Малый Арал), куда поступал небольшой сток Сырдарьи, и большую южную – Большое море (или Большой Арал), питающееся водой Амударьи.

Как видно на космических снимках за 1989 и 1996 годы (см. рис. 1), в последнее время площадь Малого моря изменилась незначительно. Это говорит

**Таблица 1.** Морфометрические характеристики Аральского моря

Год	Уровень воды, м абс.	Площадь, км²	Объем, км³	Средняя глубина, м
1945	52,76	65 260	1054	16,1
1950	52,83	65 610	1058	16,1
1955	53,17	67 290	1079	16,0
1960	53,41	68 480	1093	16,0
1965	52,30	63 310	1026	16,2
1970	51,42	60 920	972	16,0
1975	49,01	56 760	824	14,5
1980	45,76	51 740	649	12,5
1985	41,95	44 380	475	10,7
1990	38,6*(39,5)	33 500(3000)	310(20)	9,0
1995	36,5(39,5)	—	—	—

\* Данные по Большому морю, в скобках – по Малому. Данные за 1995 год приближенные.

о том, что его уровень стабилизировался. Площадь Большого моря продолжала уменьшаться. Пролив Берга, соединявший ранее Малое и Большое моря, превратился в небольшой, но достаточно длинный проток, по которому излишки воды из Малого сбрасывались в Большое море.

## О НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ ПРИЧИНЕ ПАДЕНИЯ УРОВНЯ АРАЛА

Непосредственная физическая причина снижения уровня Аральского моря – это нарушение водного баланса водоема: превышение расхода воды над приходом.

Запишем уравнение водного баланса Арала для некоторого интервала времени  $\Delta t$  в виде

$$Y + X - Z = Y - Z_{в.и} = \Delta V, \quad (1)$$

где  $Y$ ,  $X$  и  $Z$  – соответственно средние годовые значения стока рек (Амударьи и Сырдарьи), атмосферных осадков на поверхность моря, испарения с его поверхности;  $Z_{в.и}$  – так называемое видимое испарение (разница между испарением и осадками, которая в условиях засушливого климата Приаралья всегда положительна);  $\Delta V$  – изменение объема вод в море за тот же интервал времени. Размерность составляющих уравнения –  $\text{км}^3$  в год.

Из уравнения (1) следует, что если сток вместе с осадками меньше испарения ( $Y + X < Z$ ) или (что то же самое) сток меньше видимого испарения ( $Y < Z_{в.и}$ ), то объем воды в водоеме должен уменьшаться ( $\Delta V < 0$ ). При соотношении  $Y + X > Z$  (или  $Y > Z_{в.и}$ ) объем воды должен увеличиваться ( $\Delta V > 0$ ).

Поскольку объем воды  $V$ , площадь поверхности водоема  $F$  и высота стояния уровня  $H$  жестко связаны друг с другом, то по рассчитанному изменению объема воды  $\Delta V$  можно легко определить соответствующие изменения площади водоема и его уровня.

Данные о водном балансе Аральского моря в период, когда оно еще окончательно не разделилось на две самостоятельные части, приведены в табл. 2. Пересчет изменений объема воды в море  $\Delta V$  (в  $\text{км}^3$ ) в приращение уровня  $\Delta H$  (в см) в табл. 2 вели по формуле  $\Delta H = k\Delta V/F$ , где  $F$  – площадь моря (в  $\text{км}^2$ ) при данном диапазоне изменения уровня,  $k$  – коэффициент, равный  $10^5$ . По аналогичным формулам

рассчитаны и отнесены к площади моря слою стока, осадков, испарения, выраженные в см/год.

До 1961 года водный баланс Аральского моря был близок к установившемуся, то есть в среднем приход и расход воды были одинаковыми. После 1961 года потери воды на испарение с поверхности моря стали превышать приход воды – сумму речного стока и осадков. Это привело к уменьшению объема воды в водоеме и падению его уровня. Превышение расхода воды над приходом нарастало, что вызывало ускоренное сокращение объема моря и понижение его уровня, особенно в 70–80-е годы (рис. 2).

Начиная с 1989 года Аральское море разделилось на Малое и Большое. Между этими водоемами установился односторонний переток вод через пролив Берга из Малого в Большой Арал. Поэтому для последнего десятилетия уравнение водного баланса (1) для всего Аральского моря должно быть заменено на два уравнения:

для Малого моря

$$Y_{сд} + X_{м} - Z_{м} - Y_{пер} = \Delta V_{м}; \quad (2)$$

для Большого моря

$$Y_{ад} + X_{б} - Z_{б} + Y_{пер} = \Delta V_{б}, \quad (3)$$

где  $Y_{сд}$  и  $Y_{ад}$  – годовой сток Сырдарьи и Амударьи,  $X$  и  $Z$  – осадки и испарение,  $Y_{пер}$  – переток из Малого моря в Большое,  $\Delta V$  – изменение объема водоема. Индексы М и Б относятся соответственно к Малому и Большому Аралу. В уравнениях (2) и (3)  $Z_{м} - X_{м}$  и  $Z_{б} - X_{б}$  могут быть аналогично (1) заменены на соответствующие величины видимого испарения  $Z_{в.и.м}$  и  $Z_{в.и.б}$ . Единицы измерения в уравнении –  $\text{км}^3$  в год.

Данные о водном балансе отдельно Малого и Большого моря приведены в табл. 3. Эти сведения приближенные, поскольку данных для оценки реальных изменений состояния моря в последние годы недостаточно. Тем не менее данные табл. 3 показывают, что в период с 1988 по 1994 год водный баланс и, следовательно, уровень Малого моря в целом стабилизировались. В Большом море продолжались уменьшение объема воды и снижение уровня.

**Таблица 2.** Средние годовые составляющие водного баланса Аральского моря за 1911–1988 годы (по [1, 2])

Период (число лет)	Приход		Расход (испарение)	Результирующий баланс	Фактическое приращение объема и уровня	Невязка баланса
	речной сток	осадки				
1911–1960 (50)	56,0*(84,7)	9,1(13,8)	66,1(100,0)	-1,0(-1,5)	0,1(0,1)	-1,1(-1,6)
1961–1970(10)	43,3(68,5)	8,0(12,7)	65,4(103,5)	-14,1(-22,3)	-13,3(-21,0)	-0,8(-1,3)
1971–1980(10)	16,7(29,3)	6,3(11,0)	55,2(96,8)	-32,2(-56,5)	-32,8(-57,6)	0,6(0,1)
1981–1985(5)	2,0(4,1)	7,1(14,7)	45,9(96,2)	-36,8(-77,4)	-38,0(-80,0)	1,2(2,6)
1986–1988(3)	10,8(28,0)	6,2(15,4)	47,0(116,3)	-30,0(-72,9)	-27,0(-65,6)	-3,0(-7,3)

\* В  $\text{км}^3/\text{год}$ , в скобках – см/год.

**Таблица 3.** Средние годовые составляющие водного баланса частей Аральского моря за 1988–1994 годы (в км<sup>3</sup>/год) по [6]

Часть Аральского моря	Год	Речной сток	Видимое испарение (испарение минус осадки)	Водообмен через пролив Берга (перелив)	Результирующий баланс	Фактическое приращение объема вод	Невязка баланса
Малое море	1988	4,80	2,34	-2,46	0	-	-
	1989	3,04	2,70	-0,34	0	-	-
	1990	2,52	2,52	-0,00	0	-	-
	1991	2,58	2,58	-0,00	0	-	-
	1992	3,18	2,12	-1,06	0	-	-
	1993	6,17	2,09	-4,10	0	-	-
	1994	7,14	2,34	-4,80	0	-	-
Большое море	1988	9,19	28,12	2,46	-16,47	-13,46	3,01
	1989	0,84	29,96	0,34	-28,78	-14,20	14,58
	1990	3,92	29,60	0,00	-25,68	-43,35	-17,67
	1991	5,76	28,24	0,00	-22,48	-16,10	6,38
	1992	11,44	22,06	1,06	-9,56	-9,50	0,06
	1993	9,08	21,31	4,10	-8,13	-2,41	5,72
	1994	11,71	23,38	4,80	-6,87	-	-

Анализ данных о водном балансе Арала (табл. 2 и 3) позволяет сделать важный вывод: главная причина изменения водного баланса Арала (а также его объема, площади поверхности и уровня) заключается в уменьшении речного стока.

### ПОЧЕМУ СОКРАТИЛСЯ РЕЧНОЙ СТОК В АРАЛ

Естественные водные ресурсы бассейнов Амударьи и Сырдарьи в зоне формирования стока, то есть в высокогорных районах Памира и Тянь-Шаня, оцениваются примерно в 75 и 37 км<sup>3</sup>/год соответственно (всего около 112 км<sup>3</sup>/год). К устьям рек объемы стока вследствие потерь на испарение и инфильтрацию уменьшались в естественных условиях приблизительно наполовину, и в Аральское море в среднем поступало 50–60 км<sup>3</sup>/год [1, 2, 5, 7]. За 1911–1960 годы суммарный сток Амударьи и Сырдарьи в Арал составлял в среднем 56 км<sup>3</sup>/год (см. табл. 2). На долю Амударьи приходилось в среднем 46, а Сырдарьи – 10 км<sup>3</sup>/год. Этот объем речного стока был достаточным, чтобы поддерживать уровень Арала в первой половине XX века в относительно стабильном положении на отметках около 53 м абс.

С начала 60-х годов текущего столетия положение радикально изменилось: поступление речного стока к Аральскому морю стало быстро сокращаться. Большинство исследователей полагают [1–3, 7], что уменьшение притока вод к Аралу объясняется на 20% естественным маловодьем, а на 80% антропогенным фактором – безвозвратным изъятием стока на орошение. В последнее время появилась еще одна гипотеза сокращения речного стока в Арал: увеличение инфильтрационных потерь в рус-

лах Амударьи и Сырдарьи, вызванных землетрясениями, особенно сильными в 1981–1988 годах [4].

Основным потребителем водных ресурсов Амударьи и Сырдарьи явилось орошаемое земледелие. Площадь орошаемых земель возросла во второй половине XX века почти в два раза и составила около 6 млн га. Но на рост безвозвратных потерь стока рек повлияло не только расширение площадей орошения, но и увеличение интенсивности самого орошения. Большую роль в этом сыграло сооружение крупных оросительных каналов, например Каракумского, Большого Ферганского. Забор воды резко возрос в 60–70-е годы. Важную роль сыграли дополнительные потери воды на испарение с поверхности многочисленных водохранилищ, построенных в бассейнах Амударьи и Сырдарьи. На сокращении стока Амударьи и Сырдарьи сказались также нерациональное и неэкономное использование воды, нарушение норм полива.

Величины безвозвратного изъятия стока в бассейне Аральского моря неуклонно возрастали. К 1980 году естественные водные ресурсы Амударьи и Сырдарьи в устьях были использованы соответственно на 65 и 82%. Начиная с 1990 года по прогнозам эти цифры должны были возрасти соответственно до 87 и 90%.

Как показано на рис. 2, водный сток рек в Аральское море на протяжении последних 25–30 лет неуклонно снижался. Исключение составил лишь очень многоводный 1969 год. В 70–80-е годы сокращению стока в Арал способствовало естественное маловодье этих лет. Сток в море несколько возрос в относительно многоводные 90-е годы.

Начиная с 1982 года сброс воды Амударьи в Аральское море по основному руслу был прекращен:



у кишлака Кызылджар была построена глухая насыпная плотина. Весь поступающий в дельту остаточный речной сток стал направляться на орошение территорий левобережья и обводнение осохших водоемов дельты. Незначительная часть воды по небольшим протокам и через систему озер поступала в море. Приток к морю в 1982, 1983, 1985 и 1986 годах полностью отсутствовал. В последующие относительно многоводные годы (например, в 1987–1988, 1990–1994) часть амударьинского стока все же попадала в Арал (см. рис. 2).

С 1974 года вследствие практически полного хозяйственного использования вод Сырдарьи и перекрытия основного русла реки в пределах дельты несколькими глухими насыпными плотинами сток воды в море почти прекратился. Незначительное количество воды, сбрасываемое в дельту Казалинским гидроузлом, использовалось на обводнение водоемов дельты. В 1982–1987 годах сток Сырдарьи в Арал полностью отсутствовал. В море вода попадала в небольших объемах лишь в относительно многоводные годы, например в 1988–1994.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ УСЫХАНИЯ АРАЛА

**Изменение берегов и дна водоема.** Большая часть осохшего бывшего дна Аральского моря превратилась в солончаки, которые постепенно осваиваются растительностью, характерной для солончаковых пустынь. Вблизи прежних берегов моря возникли эоловые формы рельефа. Дельты Амударьи и Сырдарьи практически полностью высохли, утратив уникальные природные особенности.

**Изменение свойств самого водоема.** В последние десятилетия в водной толще Арала произошли следующие изменения.

1. Существенно возросла соленость воды. Если до 1961 года средняя соленость вод Арала  $S$  составляла около 10 г/кг (10‰), то к 1990 году она возросла до 30‰ (см. рис. 2), а к 1995 году, по-видимому, до 33–35‰. Водоем изменил свой гидрохимический класс, превратившись за короткое время из солоноватого ( $S < 24,7‰$ ) в соленый ( $S > 24,7‰$ ).

2. Изменился солевой состав вод. По мере увеличения солености воды и частичного осаждения карбонатов кальция уменьшилось относительное содержание кальция, магния, сульфатов и заметно возросло относительное содержание ионов хлора, натрия и калия.

3. Изменился термический режим водоема. В связи с увеличением солености снизилась температура замерзания (вплоть до  $-1,5...-2,0^{\circ}\text{C}$ ) и соответственно температура воды зимой. Одновременно с уменьшением глубин и объема воды возросла температура воды весной (на  $1-1,5^{\circ}\text{C}$ ) и летом (на  $0,5^{\circ}\text{C}$ ).

4. Ледовый режим стал более суровым. Водоем теперь замерзает быстрее и на несколько дней раньше, таяние льда начинается позже и проходит за более длительный период.

5. Нарушилась экосистема водоема. Необратимые изменения экосистемы Арала проявились в сокращении численности микроорганизмов, изменении их видового состава, уменьшении в 5–6 раз биомассы фито- и зоопланктона, резком ухудшении кормовой базы, условий нереста, обитания и воспроизводства рыбного стада, резком сокращении рыбных запасов.

**Изменение природной среды Приаралья.** К основным последствиям усыхания Арала относят:

1) ухудшение режима влажности воздуха и уменьшение влагосодержания в нижнем слое атмосферы;

2) возрастание повторяемости ранних заморозков;

3) увеличение повторяемости пыльных бурь, усиление выноса песка и солей с высохшей части моря;

4) прогрессирующее опустынивание Приаралья.

## ВОЗМОЖНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА АРАЛА В БУДУЩЕМ

Изменение режима обеих частей Арала – Малого и Большого морей – в будущем будет зависеть от величины поступающего в них речного стока, а также от возможных местных гидротехнических мероприятий по регулированию их режима.

По различным прогнозам [1–3, 5, 6], уровень Малого моря может изменяться в пределах 35–40 м абс. при колебаниях стока Сырдарьи в диапазоне 0,5–2 км<sup>3</sup>/год. Возможна (как естественная, так и искусственная) полная изоляция Малого моря от Большого. При недостатке речного стока этот водоем ждет прогрессирующее усыхание и осолонение.

Уровень равновесия (когда приход воды сравняется с расходом) в Большом море при стоке Амударьи 19,5 км<sup>3</sup>/год будет равен 33,2 м абс. [1, 2], при меньшем стоке уровень равновесия еще ниже. Поскольку сток Амударьи в море вряд ли удастся поддерживать в достаточных объемах, уровень Большого моря будет продолжать снижаться. При уровне около 30 м абс. Большое море разделится на две части: меньшую по площади и более глубокую западную и большую, но мелководную восточную. При малом стоке Амударьи уровень в западной части может понизиться до отметки 20 м абс. и ниже. Снижение уровня и уменьшение объема Большого моря и его частей будут сопровождаться быстрым осолонением воды, сначала до 40–50‰, а потом и до больших значений. При малом речном стоке восточная часть Большого моря высохнет, а западная превратится в небольшой высокосоленый водоем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За 40 лет в результате расточительного использования водных ресурсов в бассейнах рек уникальный, ценнейший в экологическом и экономическом отношении Арал обмелел и практически утратил свое рыбохозяйственное, транспортное и рекреационное значение. Усыхающий водоем оказывает отрицательное влияние на природные, социально-экономические, санитарно-эпидемиологические условия окружающих территорий. Возникли серьезные проблемы с трудоустройством и переселением значительной части населения прибрежных районов. Негативные процессы в самом Арале и Приарале продолжают развиваться и усиливаться. Прогнозы в этом отношении весьма неблагоприятны.

Восстановить Аральское море в прежнем виде невозможно. В настоящее время возможна лишь стабилизация режима Арала при уровнях, близких к современным. Для этого надо либо существенно сократить потери воды в бассейнах рек, что потребует крупномасштабной реконструкции оросительных и дренажных систем, либо осуществить местные гидротехнические меры по регулированию режима самого водоема. Среди наиболее реальных мер рассматриваются следующие: сохранение Малого моря с подачей сырдарьинской воды в объеме 3–5 км<sup>3</sup>/год и регулируемым сбросом вод в Большое море; сохранение водоема в западной части Большого моря на отметках 31–32 м абс. с подачей амударьинской воды в объеме 8–10 км<sup>3</sup>/год; обвалование и восстановление водоемов в некоторых бывших заливах на юге моря и в дельте Амударьи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. Т. 7: Аральское море. 195 с.
3. Гидрометеорологические проблемы Приаралья / Под ред. Г.Н. Чичасова. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 277 с.
4. Кривошей М.И. Арал и Каспий: (Причины катастрофы). СПб., 1997. 130 с.
5. Кукса В.И. Южные моря (Аральское, Каспийское, Азовское и Черное) в условиях антропогенного стресса. СПб.: Гидрометеоиздат, 1994. 319 с.
6. Шиварева С.П., Смердов Б.А. О моделировании уровней Аральского моря и его частей на перспективу // Гидрометеорология и экология. 1996. № 3. С. 96–115.
7. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 334 с.
8. Космические методы геоэкологии / Под ред. В.И. Кравцовой. М., 1998. 108 л.

\* \* \*

Вадим Николаевич Михайлов, доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ, заслуженный деятель науки Российской Федерации, действительный член Академии водохозяйственных наук. Область научных интересов – гидрология и водные ресурсы, взаимодействие рек и морей, дельты и эстуарии, гидроэкология. Автор и соавтор более 240 научных работ, в том числе десяти монографий, двух учебников, четырех научно-методических руководств.