

11. ВОДНЫЙ БАЛАНС

Обстоятельные исследования водного баланса Каспийского моря, многолетней изменчивости его основных составляющих впервые провел Б. Д. Зайков [148, 149]. В 40-х годах впервые за период инструментальных наблюдений он доказал, подтвердив мнение А. И. Воейкова [94], климатическую обусловленность снижения уровня моря.

В последние десятилетия были разработаны и уточнены различные расчетные методы определения основных составляющих водного баланса моря для годовых и месячных периодов, значения которых раньше принимались в большинстве случаев весьма приближенно. Расчеты водного баланса в 60—80-е годы были выполнены С. С. Ремизовой (с 1847 по 1965 г.), К. И. Смирновой (с 1925 по 1969 г.), С. Н. Крицким, Д. В. Коренистовым и Д. Я. Ратковичем (с 1890 по 1969 г.), Е. Г. Архиповой (с 1940 по 1970 г.), А. И. Шикломановым (с 1880 по 1972 г.), В. Ю. Георгиевским (с 1880 по 1977 г.) и другими.

Эти исследования водного баланса базировались на более точных данных о морфометрии моря, были уточнены с помощью современных методик значения поверхности притока и стока морских вод в зал. Кара-Богаз-Гол, плотностные изменения уровня, подземный приток.

С. С. Ремизова [335] подтвердила мнение О. А. Дроздова, Т. В. Покровской и А. В. Шнитникова о непосредственной связи колебаний уровня моря с колебаниями климата и общей увлажненности огромной территории его бассейна. Расчеты водного баланса объяснили причины понижения уровня моря в 30-х годах.

Е. Г. Архипова [382, 404] по уточненным методикам, разработанным в ГОИНЕ, получила качественно новые значения испарения и осадков. Расчеты водного баланса для различных частей моря показали, что для Среднего и Южного Каспия пресный баланс отрицателен и компенсируется притоком вод соответственно из Северного и Среднего Каспия, и только Северный Каспий имеет избыток вод.

Расчеты К. И. Смирновой уточнили уравнение водного баланса по поверхностному притоку, а при расчете испарения так же, как и в работе Е. Г. Архиповой, учитывалась стратификация приводного слоя атмосферы [377, 379]. В расчеты годовых значений водного баланса были включены среднемноголетние плотностные изменения уровня моря, полученные на основе натурных данных.

В работе С. Н. Крицкого, Д. В. Коренистова и Д. Я. Ратковича [233] проведен анализ водного баланса Каспийского моря по характерным периодам и календарным десятилетиям. Авторы отмечают, что высокие уровни моря в 1830—1932 гг. и резкое снижение уровня в 1933—1940 гг. могут быть полностью объяснены колебаниями гидрометеорологических факторов: водности рек, осадков, испарения с акватории моря.

И. А. Шикломанов и В. Ю. Георгиевский [99, 443] при расчетах водного баланса уточнили основ-

ную приходную его составляющую — поверхностный приток. И. А. Шикломанов отметил значение антропогенной деятельности, оказывающей в настоящее время существенное влияние на уменьшение суммарного годового притока вод в море и его внутригодовое распределение, в связи с чем меняется и характер сезонных колебаний уровня моря.

Р. В. Николаева уточнила морфометрические характеристики моря [189], что важно для более строгого определения составляющих водного баланса. В ряде работ [99, 233, 443] исследована межгодовая изменчивость основной расходной составляющей водного баланса — испарения, которое ранее в большинстве работ принималось в уравнении водного баланса как остаточный член.

Особенность современного периода — значительная зарегулированность речного стока, поступающего в море. Таким образом, изучение водного баланса непосредственно связано с оценкой роли антропогенного фактора в изменчивости отдельных элементов водного баланса. Однако начавшееся в 1978 г. повышение уровня Каспия еще раз подтвердило климатическую обусловленность изменений составляющих водного баланса и уровня моря. В то же время вновь появились попытки объяснения современного повышения уровня моря тектоническими причинами без каких-либо обоснованных подтверждений. Некоторые исследователи связывают современное повышение уровня с разгрузкой подземных вод в Каспий в значительных объемах. Поэтому перед нами стояла задача исследования многолетней изменчивости составляющих водного баланса моря в связи с изменчивостью климатических условий в бассейне моря, выделения закономерностей и оценки вклада каждой составляющей водного баланса в колебания уровня моря, изучения роли климатических, антропогенных факторов и тектонических движений в многолетней изменчивости уровня моря и составляющих водного баланса.

Для расчета водного баланса использовано уравнение:

$$\Delta H_{\text{бал}} = Q_{\text{пов}}/S + Q_{\text{под}}/S + P - E - Q_{\text{КБГ}}/S \pm \Delta H_0, \quad (11.1)$$

где $Q_{\text{пов}}$ — суммарный объем речного стока, поступающего в море, с учетом потерь воды на испарение в дельтах рек, km^3 ; $Q_{\text{под}}$ — подземный приток в море, km^3 ; P — атмосферные осадки, мм слоя; E — испарение или конденсация, мм слоя; $Q_{\text{КБГ}}$ — объем стока морской воды в зал. Кара-Богаз-Гол, km^3 ; ΔH_0 — плотностные изменения уровня моря, см слоя; S — площадь моря, km^2 ; $\Delta H_{\text{бал}}$ — приращение уровня моря, обусловленное изменением составляющих водного баланса, см слоя. Средний уровень моря определялся по четырем ГМС: Баку, Махачкала, Форт-Шевченко и Красноводск (табл. 11.1, рис. 11.1).

Для определения площади и объема вод моря при различных отметках уровня использовались

Таблица 11.1

Среднемноголетние годовые значения составляющих водного баланса Каспийского моря ($\text{km}^3/\text{см слоя}$)

Период	Сток рек	Подземный сток	Осадки	Испарение	Сток в Кара-Богаз-Гол	$\Delta Q_{\text{бал}}/\Delta H_{\text{бал}}$
1900—1929	333,4	5,5	69,8	389,4	21,8	-3,5
	82,4	1,4	17,3	95,7	5,4	-1,0
1930—1941	266,6	5,5	72,9	394,8	12,4	-50,2
	65,3	1,4	18,5	100,4	3,2	-15,4
1942—1959	285,4	4,0	74,1	355,3	10,6	-3,4
	77,3	1,1	20,0	96,4	2,9	-0,9
1970—1977	240,5	4,0	87,6	374,9	7,1	-49,9
	65,7	1,1	24,3	103,9	2,0	-13,8
1978—1990	306,6	4,0	86,1	343,7	1,8	51,2
	81,9	1,1	23,0	91,8	0,5	13,7
1992—1990	283,5	4,0	79,9	357,8	7,7	2,0
	76,3	1,1	21,5	96,3	2,1	0,5
1900—1990	299,0	4,0	76,6	376,6	13,0	-10,0
	77,0	1,0	19,7	97,0	3,3	-2,6

Примечания. 1. Составляющие водного баланса с 1900 по 1941 гг. рассчитаны по данным Б. Д. Зайкова; с 1942 г.—данные ГОИИи.

2. С 1980 до 1984 г. сток морских вод в зал. Кара-Богаз-Гол был прекращен, с 1985 г. в залив поступает ежегодно около 1,6 km^3 воды.

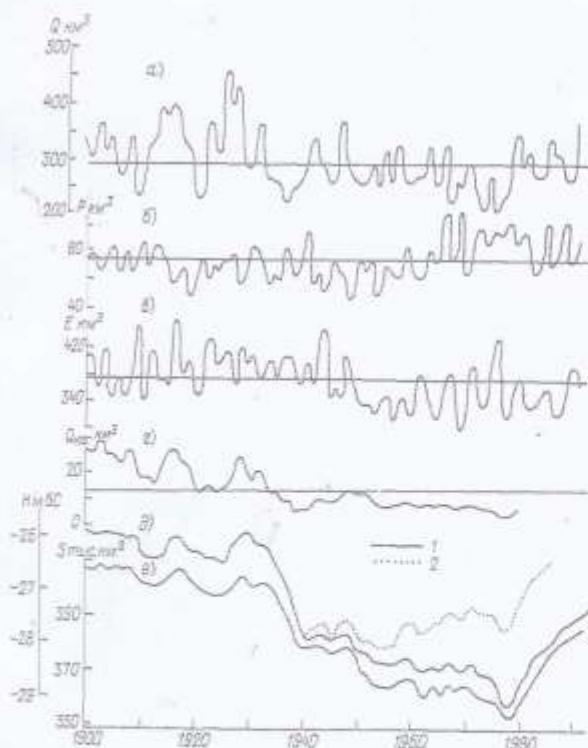


Рис. 11.1. Межгодовые изменения составляющих водного баланса, уровня и площади Каспийского моря с 1900 по 1990 г.
а—сток рек; б—осадки; в—испарение; г—сток в зал. Кара-Богаз-Гол; д—уровень моря; е—площадь моря.

Штриховая линия — засекреченный уровень моря.

морфометрические характеристики, полученные Р. В. Николаевой [189].

В расчетах водного баланса использовались гидрометеорологические наблюдения на прибрежных и островных ГМС, гидрометрические данные на замыкающих створах рек Волги, Урала, Тerek, Самура, Сулака и Куры.

Речной сток. На огромной территории бассейна Каспийского моря, занимающего площадь около 3,5 млн km^2 , характер ландшафтов, климатические условия и типы рек весьма различны. Несмотря на обширность бассейна, только около 62,6 % его площади приходится на сточные области, около 26,1 % — на бессточные, а площадь самого Каспийского моря составляет 11,3 %.

Около 85 % всего стока в Каспий поступает с северной части его бассейна, в пределах которой находятся реки Волга и Урал. Основной объем стока в море приносят Волга (до 80 %), Урал (около 5 %), Тerek, Сулак, Самур (в сумме до 5 %), Кура (около 6 %). Сток рек иранского побережья, малых рек Кавказа и прочих рек составляет 4—5 %.

В приходной части водного баланса поверхностный приток составляет в среднем 74—85 %, в том числе на долю волжского стока приходится в среднем 65 %, поэтому колебания уровня моря в значительной степени обусловлены его изменчивостью.

Расходы р. Волги измеряются в с. Верхнее Лебяжье, где располагаются основные гидропости, по которым проводят расчеты стока в море: р. Волга — с. Верхнее Лебяжье, рукав Ахтуба — с. Верхнее Лебяжье, Волго-Ахтубинская пойма — с. Верхнее Лебяжье. Эти посты удалены от вершины устьевой области на 4 км, а от морского края дельты на 150—160 км. Потери волжского стока в дельте составляли в среднем с 1940 по 1990 г. около 8,6 km^3 в год, что соответствует примерно 3 % среднемноголетнего стока в вершине дельты.

Замыкающий гидроствор на р. Урал до 1972 г. был расположен в с. Тополи в 200 км от морского края дельты на входе в устьевую область, затем перенесен в с. Махамбет, находящееся в 145 км от морского края дельты. Площадь водосбора р. Урала у с. Махамбет равна 235 тыс. km^2 . Среднемноголетние потери стока в дельте за время инструментальных наблюдений (1936—1990 гг.) составили 0,4 km^3 в год.

Сток р. Тerek, отличающийся большими естественными колебаниями, за последние годы существенно изменился. До 1973 г. сток р. Тerek поступал в Кизлярский залив Северного Каспия через узкий пролив, с 1973 г.—непосредственно в Средний Каспий через искусственную прорезь Аграланского полуострова.

В настоящее время р. Тerek, расходы которой с 1930 г. измеряются по створу в станице Карагалинской, впадает в море общим указом на открытый побережье. Наибольший среднегодовой сток в устье (гидроствор Аликазган) отмечался в 1933 г. (11,7 km^3), а в последние годы (1978—1990) сократился до 5,8 km^3 . Потери стока между станицей Карагалинкой и устьем равны приблизительно 1 km^3 в год.

Река Сулак (замыкающий гидроствор расположена в 123 км от устья в пос. Мкатлы) впадает в море, образуя одиорукавное русло. В 1957 г. река

ниже пос. Главный Сулак была направлена по искусственной прорези на юго-восток.

Измерение расходов р. Самура проводится по гидроствору в с. Усух. Потери стока между с. Усух и устьем реки незначительны, поэтому в расчетах они не учитываются.

Река Кура впадает в море двумя рукавами: юго-восточным, по которому в море поступает около 95 % стока, и северо-восточным. Расходы измеряются на гидростворе в пос. Сальянцы, находящемся на расстоянии 78 км от вершины устьевой области и 65 км от морского края дельты.

По данным за 1900—1990 гг. среднемноголетний суммарный речной сток в море составил примерно 300 км³ в год (см. табл. 11.1). Поверхностный приток подвержен существенной межгодовой изменчивости.

Наибольшей межгодовой изменчивостью стока отличаются р. Урал ($C_v = 0,59$, среднемноголетний сток за 1936—1990 гг. составил около 8 км³ в год) и реки иранского побережья ($C_v = 0,28$, среднемноголетний сток по данным ГГИ около 10 км³ в год). Волжский сток изменился в значительных пределах: от 350 км³ в 1926 г. до 150 км³ в 1973 и 1975 гг. Среднемноголетний сток за 1900—1990 гг. составил 240 км³ в год ($C_v = 0,18$).

Разница между максимальным и минимальным годовым поверхностным притоком речных вод в море составляет в текущем столетии около 260 км³, что в пересчете на водную поверхность моря соответствует изменению уровня моря более чем на 1 м.

Внутригодовое распределение общего поверхностного притока в море, несмотря на различие физико-географических условий речных бассейнов и особенности годового хода стока отдельных рек, почти полностью соответствует внутригодовому распределению стока Волги. В сезонном ходе волжского стока выделяется максимум в мае—июне.

В период прохождения пика половодья. В это время в море ежемесячно поступает от 13 до 26 % годового объема стока.

Продолжительность волжского половодья за 1947—1990 гг. составила в среднем 86 сут (38 сут в 1975 и 161 сут в 1947 гг.), за это время в море поступало около 104 км³ воды (33—236 км³), или до 40 % годового объема стока. В последние годы объем волжского половодья несколько увеличился по сравнению с 1970-ми годами, когда он составлял около 76 км³ в год ($\sigma = 31,86$, $C_v = 0,42$), и равен в среднем 90 км³ в год ($\sigma = 26,06$, $C_v = 0,28$). Межгодовые изменения продолжительности и объема половодья довольно значительны. На фазе подъема половодья в море поступает в среднем около 55 км³ в год волжских вод (14 км³ в 1975 и 111 км³ в 1966 гг.), на фазе спада — 51 км³ в год (19 км³ в 1975 и 126 км³ в 1947 гг.).

Самое раннее начало половодья было 16 марта 1966 г., а самое позднее — 2 мая 1964 г.

Меньше всего воды Волга приносит в море в зимние месяцы (декабрь — февраль) (табл. 11.2).

С начала текущего столетия отмечалась тенденция сокращения поступающего в море речного стока. Так, многоводный период, наблюдавшийся в начале столетия (1900—1929 гг.), сменился катастрофической маловодностью Волги и Урала в 1930-е годы.

Волжский сток в 1930—1941 гг. сократился на 50 км³/год, или на 25 % по сравнению с предшествующим периодом (см. табл. 11.2).

Наиболее катастрофический характер маловодности в 1930-е годы отмечался в восточной половине бассейна Волги, в бассейне Камы, сток которой составляет 80 % объема волжского стока. В бассейнах рек Верхней Волги и Оки, в западной части волжского бассейна, маловодность, установившаяся в результате резкого сокращения количества атмосферных осадков, глазным образом

Таблица 11.2

Сток (км³/%) Волги (с. Верхнее Лебяжье) в Каспийское море

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1881—1891	9,9	9,1	10,6	16,0	48,8	55,8	27,3	15,3	12,7	13,3	13,5	11,1	242,7
	3,8	3,8	4,4	6,6	20,2	23,1	11,3	6,3	5,2	5,5	5,6	1,6	100
1891—1900	9,8	9,7	11,3	16,3	48,7	53,8	26,6	15,3	12,8	13,5	13,6	11,8	243,4
	4,0	4,0	4,6	6,7	20,0	22,1	10,9	6,3	5,3	5,5	5,7	4,8	100
1900—1929	10,3	10,2	12,0	16,6	48,7	51,2	24,5	14,9	12,6	13,5	13,7	11,5	239,7
	4,3	4,2	5,0	6,9	20,3	21,4	10,2	6,2	5,2	5,6	5,7	4,8	100
1929—1941	7,8	6,8	7,6	14,9	49,8	55,8	32,0	15,8	13,1	13,2	13,4	10,4	250,6
	3,1	2,7	3,0	5,9	19,8	26,2	12,8	8,3	5,2	5,3	5,3	4,1	100
1942—1969	6,5	6,3	6,7	12,8	44,9	50,3	28,3	12,0	8,7	9,4	11,2	8,4	200,5
	3,2	3,2	3,4	6,4	22,5	25,2	13,6	6,0	4,4	4,7	5,6	4,2	100
1970—1977	10,3	11,4	13,6	18,4	51,5	50,1	22,4	14,7	12,7	13,4	13,5	9,3	241,2
	3,2	4,7	5,6	7,6	21,4	20,8	9,3	6,1	5,3	5,6	5,6	3,8	100
1978—1990	13,6	13,2	15,9	16,0	42,5	28,1	15,0	13,2	11,7	12,0	12,2	14,2	207,6
	6,6	6,4	7,6	7,7	20,5	13,5	7,2	6,4	5,6	5,8	5,9	6,8	100
1942—1977	11,0	11,8	14,1	17,9	49,5	45,2	20,8	14,4	12,5	13,1	13,2	10,4	233,9
	4,7	5,0	6,0	7,7	21,2	19,3	8,9	6,2	5,4	5,6	5,6	4,4	100
1978—1990	17,7	17,4	21,1	19,7	47,0	34,4	19,0	16,6	15,4	16,8	18,1	20,2	263,4
	6,7	6,6	8,0	7,5	19,0	13,1	7,2	6,3	5,8	6,4	6,9	7,7	100

осенне-зимних, формирующих основную часть годового объема речного стока, сказалась в меньшей степени (рис. 11.2). Потепление климата, охватившее все Северное полушарие и достигшее максимума в 1930-е годы, — основная причина резкого сокращения поверхностного притока и падения уровня Каспийского моря (см. табл. 11.1).

В первую половину 1970-х годов в бассейне Каспия сложились неблагоприятные в гидрологическом отношении условия, аналогичные периоду 1930-х годов. В засушливых условиях 1970-х годов произошло резкое падение уровня моря, вызванное крайней маловодностью рек, главным образом Волги (см. табл. 11.2 и 11.3). В 1970—1977 гг.

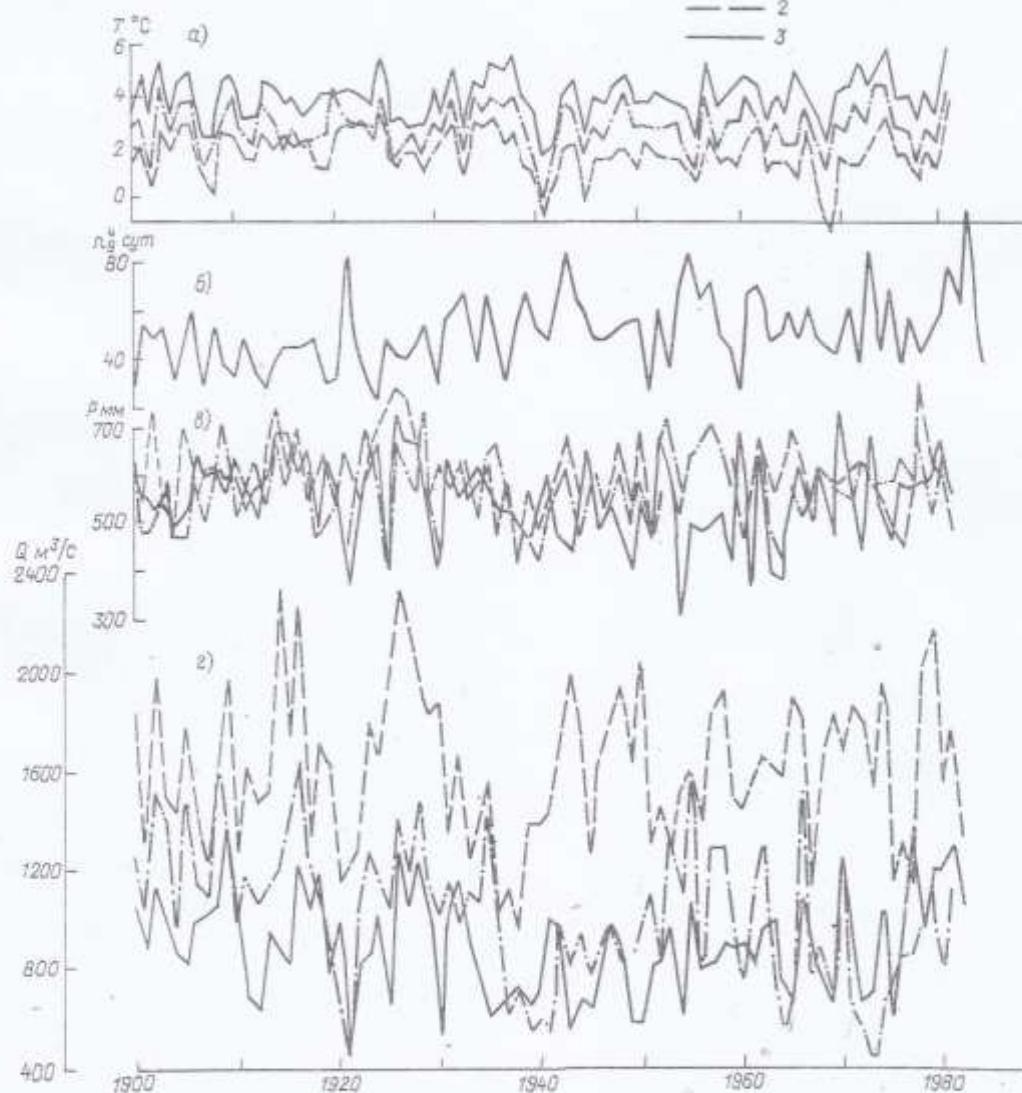


Рис. 11.2. Межгодовые изменения климатообразующих [температуры воздуха (а), развития циклической циркуляции в районе 4 по классификации Вительса (б)] и гидрометеорологических [осадков (в) и расходов (с)] факторов в бассейнах рек Верхней Волги (1), Оки (2) и Камы (3).

Основная роль в формировании многолетней изменчивости стока рек принадлежит крупномасштабным атмосферным процессам. Изменение климатических условий в 1940—1950-е годы способствовало увеличению увлажненности и как следствие повышению водности рек, что наиболее ярко проявилось в водосборных частях волжского бассейна: Верхней Волги, Оки и Камы (см. рис. 11.2, табл. 11.3). В 1941—1948 гг. объем стока Волги увеличился, что существенно замедлило темпы снижения уровня моря.

в море поступало в среднем около 240 км³ в год речных вод, что значительно меньше, чем в 1930-х годах. Сток Волги сократился до 207 км³ в год (что практически соответствовало стоку в 1930—1941 гг.) и был на 8,5 % ниже среднемноголетней нормы.

Изменение климатических условий в бассейне моря в конце 1970-х годов способствовало резкому увеличению объема стока, обусловленному заметным ростом количества атмосферных осадков в водосборном бассейне Волги (см. табл. 11.3). Это

Таблица 11.3

Среднемноголетние значения гидрометеорологических характеристик в бассейнах рек волжского водосбора с 1900 по 1986 г.

Период	Верхняя Волга			Ока			Кама		
	Т, °С	Q, м³/с	Р, мм/год	Т, °С	Q, м³/с	Р, мм/год	Т, °С	Q, м³/с	Р, мм/год
1900—1929	2,8	1190	572	4,0	996	586	2,0	1692	621
1930—1941	3,1	921	546	4,3	820	548	2,1	1379	552
1942—1969	2,8	997	561	4,1	844	515	1,5	1557	595
1970—1977	3,5	742	593	4,9	942	577	2,0	1585	551
1978—1986	3,0	1026	599	4,6	1089	575	1,8	1850	629
1942—1986	3,0	958	586	4,3	905	561	1,7	1675	594
1900—1986	3,0	1033	576	4,2	915	568	1,9	1640	598

Примечание. Т — температура воздуха; Q — расход воды; Р — количество выпавших осадков.

привело к значительному повышению уровня моря, которое началось с 1978 г. и продолжается до настоящего времени.

Режим стока рек Каспийского бассейна до середины 1950-х годов можно считать естественным, так как построенные в 1930-е годы водохранилища не оказывали на него существенного влияния. Наиболее ощущимое антропогенное воздействие море стало испытывать в последние десятилетия. Роль радикальных антропогенных факторов в изменении гидрологического режима рек в 1940—1980 гг. далеко не одинакова: в довоенные годы уменьшение речного стока происходило за счет агротехнических мероприятий в бассейне моря, в 1950-е и 1960-е годы наибольшему снижению притока к морю в основном способствовали сооружение и эксплуатация водохранилищ, в 1970—1980-е годы ведущую роль играет орошаемое земледелие. Сток почти всех рек Каспийского бассейна к началу 1970-х годов был значительно регулирован.

За счет влияния хозяйственной деятельности приток вод в Каспий уменьшился на 8 % по отношению к норме притока в естественных условиях, в том числе только с 1956 по 1990 г. это уменьшение составило примерно 12 %. В 1930-е годы море «недополучило» около 50 км³ речной воды, в период наполнения водохранилищ — 350 км³, всего с 1936 г. по настоящее время сумма безвозвратных изъятий речного стока составила свыше 1000 км³, что может быть соизмеримо с трехлетним стоком рек в многоводных условиях.

В бассейнах рек Терека, Сулака и Куры снижение водности произошло главным образом в связи с развитием площадей орошаемого земледелия. Годовой сток этих рек снизился к середине 1970-х годов по сравнению со стоком в естественных условиях на 17—25 % [443].

Максимальные значения среднегодового суммарного поверхностного притока к морю наблюдались в 1979 и 1985 гг. (около 350 км³ в год) и в 1990 г. (более 360 км³). В естественных, не нарушенных антропогенной деятельностью условиях приток составил бы 380—390 км³ в год. Это соответствует стоку 3—4 %-ной обеспеченности при среднемноголетней норме естественного притока за 1900—1990 гг., равной 300 км³ в год. Основной объем увеличившегося притока к морю приходится

на долю волжского стока: в 1978—1990 гг. Волга приносila в море в отдельные годы свыше 300 км³ воды (около 310 км³ в изобиле многоводные 1979 и 1990 гг.). Объем ее естественного стока мог бы доходить до 330 км³ в год (норма естественного волжского стока за 1881—1990 гг. составляет около 250 км³ в год). Наблюдающий в последние годы объем речного стока в море (около 307 км³ в год) с учетом безвозвратных изъятий значительно больше среднего объема за последние 40—50 лет и может быть сопоставим с многоводным периодом 1900—1929 гг., когда море получало около 330 км³ речной воды в год (см. табл. 11.1).

Зарегулирование речного стока в бассейне Каспия привело к изменению его годового хода и некоторому сглаживанию сезонных колебаний уровня моря. В современных условиях половодье на Волге начинается на 1,0—1,5 мес раньше и проходит быстрее, чем до середины 1950-х годов. По оценкам ГГИ, уменьшение объема стока весеннего половодья Волги за 1960—1980 гг. составило в среднем около 50 км³ в год. Наибольшее снижение объема весеннего половодья (около 70 км³) наблюдалось в 1964 г., наименьшее (около 30 км³) — в 1973 г.

Следует отметить также, что интенсивность половодья и наступление его максимума определяются водностью рек. В многоводные годы наблюдается более раннее прохождение пика половодья и большая его интенсивность.

Исследование межгодовой изменчивости суммарного речного стока за характерные отрезки времени показало, что наибольшая изменчивость ($C_v = 0,18$) наблюдалась в многоводный период 1900—1929 гг., наименьшая — в современный многоводный период 1978—1990 гг. ($C_v = 0,11$). Сезонная изменчивость речного стока возрастает в многоводные годы.

Атмосферные осадки. Метеорологические станции, осуществляющие наблюдения за атмосферными осадками на Каспии, расположены в основном на побережье и на немногочисленных островах. В открытом море наблюдения за осадками практически не проводятся.

Многие авторы [7, 15, 16, 283, 353 и др.] по-разному определяли количество атмосферных осадков, выпадающих на поверхность моря, поэтому значения, полученные для одних и тех же периодов времени, различаются. Количество осадков, выпадающих на акваторию моря, рассчитывалось двумя способами: первый — как среднегарифметическое (или средневзвешенное) значение по числу станций и второй — по изогнатам. Результаты, полученные по первому способу, существенно зависят от выбранных для расчета станций. Поскольку станции расположены на побережье моря неравномерно, данные по осадкам в большинстве случаев отражают орографические особенности района. Карты изогнат, построенные разными авторами, также отличаются как по количеству использованных станций, так и по полученному количеству осадков.

Осадки, измеренные на станциях, имеют систематические погрешности, обусловленные потерями собранных осадков на смачивание стенок водоборного сосуда, на испарение из сосуда за время между выпадением осадков и сроком измерения, искажением поля ветра около осадкомера и изме-

нением в связи с этим поля траекторий падения частиц осадков. Точность определения осадков на станциях зависит от учета этих погрешностей. При определении средних сумм осадков необходимо также учитывать поправку, связанную с приведением данных наблюдений за весь период к какому-либо одному из приборов — осадкомеру или дождеметру, если измерения осадков проводились разными приборами.

Впервые попытка определения суммы осадков была предпринята А. И. Воейковым [94], получившим приближенное значение — около 200 мм в год. Н. М. Книпович [212] по данным метеорологических станций получил завышенное значение (263 мм в год) вследствие недостаточного количества наблюдений, а также из-за неточно построенной карты изогиет.

Б. А. Аполлов [7] оценил среднее количество осадков по всему морю за 1881—1932 гг. в 204 мм в год и сделал вывод, что по мере удаления от берега оно уменьшается: осадков на побережье выпадает на 25 % больше, чем на островных станциях.

Наиболее точно количество атмосферных осадков, выпадающих на море, было определено Н. Г. Николаевым [283] методом изогиет. Расчет проводился по данным 81 станции за 1878—1937 гг. Среднемноголетнее количество осадков оказалось разным 177 мм, а в работах [49, 149], выполненных аналогичным методом по 26 прибрежным станциям — около 200 мм. Среднемноголетнее количество осадков за 1878—1945 гг., по расчетам Б. Д. Зайкова [147, 149], продолжившего расчеты Н. Г. Николаева, составило 177 мм.

С. С. Ремизова [335] определяла количество осадков на поверхность Каспия за 1946—1965 гг., также используя метод изогиет и полученные связи количества осадков, рассчитанных Н. Г. Николаевым и Б. Д. Зайковым, со средними значениями по станциям. Среднемноголетнее количество осадков составило 174 мм, а с учетом уменьшившейся площади моря — 171 мм. С. С. Ремизова впервые ввела поправки на недоучет осадков осадкомерами. В результате суммы осадков на поверхность Каспийского моря увеличилась в среднем на 15—20 мм (186 мм).

Первая попытка оценки атмосферных осадков, выпадающих на морскую акваторию, с привлечением данных в открытом море (по судовым наблюдениям) в совокупности с данными прибрежных и островных станций была предпринята В. С. Самойленко [353], по расчетам которого среднее количество осадков по морю составило 171 мм (по данным 58 станций).

Н. А. Белинский [379] предложил формулу для приближенного расчета месячных сумм осадков в условиях Каспийского моря по средним для моря значениям температуры T и влажности воздуха F и температуре воды T_w :

$$P = [0,40(T_w - T) + 3,2] E - 8D - 0,25D^2, \quad (11.2)$$

где P — количество осадков, мм; E — давление насыщенного водяного пара, вычисленное по температуре воздуха, гПа; D — дефицит влажности воздуха, гПа.

Однако отсутствие сведений по открытой части моря за конкретные годы и месяцы не всегда позволяет использовать эту формулу на практике.

Для расчета осадков К. И. Смирнова [377] использовала иную зависимость:

$$P_m = 0,98P_{cr} + 1,7(T_w - T) - 1, \quad (11.3)$$

где P_m — месячная сумма осадков, выпадающих на поверхность моря; P_{cr} — среднемесячная сумма осадков, выпадающих на станциях Остров Тюлений, Остров Кулалы, Свиной остров, Огурчинский остров, Форт-Шевченко, Нефтяные Камни, Изберг, Махачкала, Баку, Красноводск; $(T_w - T)$ — средняя разность температуры воды и воздуха на станциях. Годовая поправка, принятая в расчете осадков, составила 14 %, среднемноголетнее количество осадков с 1925 по 1969 г. — 209 мм.

Е. Г. Архипова [15] рассчитала среднемноголетнее количество осадков (250 мм за 1940—1966 гг.), выпадающих на акваторию моря, по данным ГГО с учетом погрешностей, связанных с потерями на смачивание водосборных сосудов и на испарение из осадкомерного сосуда, зависящих от климатических особенностей района, повторяемости выпадения осадков и их суммы, от дефицита влажности воздуха и скорости ветра (эти потери достигают в районе Каспийского моря 0,8 мм в сутки), обусловленных неточностью измерения осадков за счет их выдувания (устраняется введением редукционного коэффициента, зависящего от скорости ветра на высоте установки осадкомерных приборов, от параметра, характеризующего структуру осадков, и от средней температуры воздуха).

Значения поправок к нормам осадков достигают 50 % измеренной годовой их суммы в районах с сильными ветрами и большим количеством твердых осадков (у северо-восточных берегов). По акватории значения поправок распределены неравномерно: в южных районах моря они уменьшаются до 2—5 %.

Учет всех погрешностей очень труден, поэтому Архипова для получения достоверного результата ввела поправки в месячные и годовые нормы осадков для конкретных акваторий моря, а затем методом планиметрирования находила суммарные и исправленные для всего моря нормы.

В работе [382] норма осадков для открытого моря была уточнена (199 мм в год), проведен анализ пространственно-временной изменчивости осадков и выделены опорные станции, на которых кривые распределения выпадающих осадков, а также среднемесячные их значения и среднемноголетний годовой ход соответствовали средним для моря в целом. В качестве опорных были выбраны для Северного Каспия станции Острова Жесткий и Остров Кулалы, для Среднего и Южного Каспия — Нефтяные Камни, Кули-Маяк, Огурчинский остров. Предполагалось, что эти станции representative в каждом отдельном месяце и отдельном году.

Для расчета осадков, выпадающих на морскую акваторию, нами использовалась методика, подробно изложенная в работе [382].

Для каждой выбранной опорной станции (вместо закрытой ГМС Остров Жесткий — Остров Тюлений) вычислялись среднемноголетние месячные и годовые суммы осадков P_{cr} , затем по наблюден-

ным месячным суммам P_i для каждого месяца и года определялись показатели межгодовой изменчивости осадков $K_i = P_i/P_{i0}$ в каждом пункте относительно их средних значений. Далее вычислялся средний из 5 пунктов показатель межгодовой изменчивости K_i . Умножением K_i на норму осадков для всего моря или отдельных его частей определялись месячные и годовые суммы осадков за конкретный год.

Объем атмосферных осадков по сравнению с объемом речного стока незначителен, поэтому и их влияние на колебания уровня моря значительно меньше, чем речного стока.

В многолетнем ходе атмосферных осадков, выпадающих на морскую поверхность, кроме района Нефтяных Камней, с начала текущего столетия прослеживается тенденция роста, особенно в последние годы (рис. 11.3). Относительный вклад осадков в приходную часть водного баланса изменяется в соответствии с гидрометеорологическими условиями от 15 % в начале столетия (1914—1917 гг.) до 26 % в 1970-е годы (1970—1977). Наибольшее количество атмосферных осадков — 326 мм слоя (около 120 км³) — выпало в 1969 г., наименьшее — 122 мм слоя (около 50 км³) — в 1944 г. Размах межгодовых колебаний количества атмосферных осадков составил около 70 км³, что соответствует изменению уровня моря на 204 мм слоя, а по отдельным станциям на 230—260 мм (станции Северного Каспия и Нефтяные Камни).

Различие физико-географических условий определяет крайне неравномерное распределение осадков, выпадающих на морскую акваторию. На побережье Каспия выпадает значительно больше осадков, чем в центральных районах моря, кроме того, на различных участках побережья и районах моря выпадает неодинаковое количество осадков (см. рис. 11.3).

Кривые распределения годовых сумм осадков показали, что для большинства районов северного и западного побережья, открытого моря распределение осадков подчиняется нормальному закону при значительном ряде наблюдений.

В сухих пустынных районах восточного побережья и на некоторых островах, расположенных на пути движения циклонов, распределение осадков носит биномиальный характер.

Межгодовая изменчивость количества атмосферных осадков C_v , выпадающих на морскую поверхность, в текущем столетии составила 0,20, в отдельные периоды она менялась от 0,09 до 0,20. Наибольшая межгодовая изменчивость количества осадков наблюдается на станциях восточного побережья в районе пустынь, а наименьшая — на станциях западного побережья Среднего и Южного Каспия, где количество осадков значительно в течение всего года.

С 1942 по 1986 г. наибольшая межгодовая изменчивость количества осадков, выпадающих на морскую акваторию, наблюдалась в районе о. Кулалы ($C_v = 0,39$, $\sigma = 5,6$ мм) и о. Огурчинского ($C_v = 0,40$, $\sigma = 4,6$ мм). С 1960-х годов климат в бассейне Каспийского моря становится более увлажненным. Интенсивное развитие циклонической деятельности с конца 70-х годов способствовало увеличению осадков практически по всему побережью и морю в целом. В отдельные месяцы

количество выпавших осадков в 2—3 раза и более превышало среднемноголетнюю норму. В сезонном ходе осадков наблюдаются два максимума: осенне-зимний (сентябрь — январь) и весенний (март — апрель), когда на морскую акваторию выпадает 69—73 % годового количества для моря в целом и 41—48 % — для Северного Каспия, и два

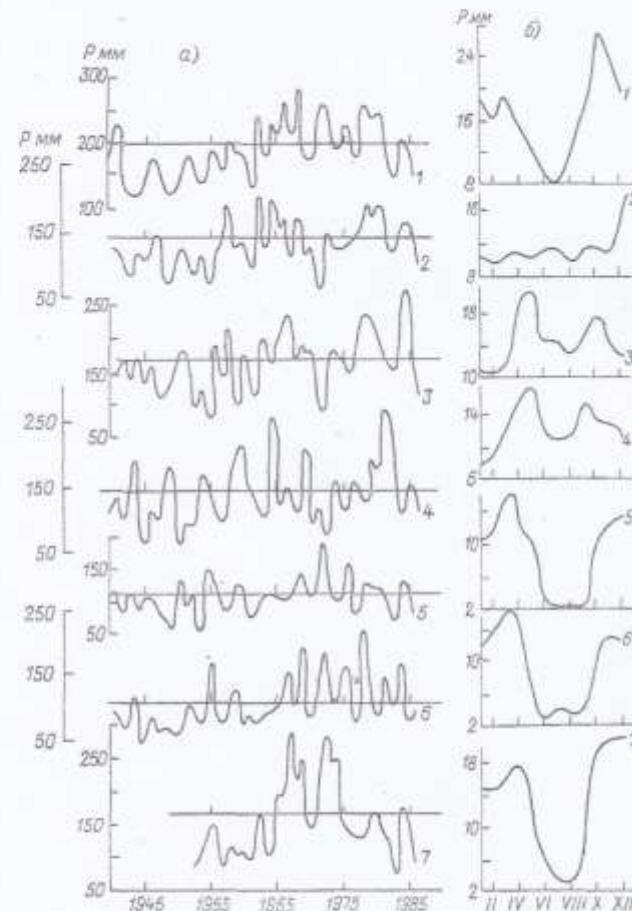


Рис. 11.3. Межгодовые (а) и сезонные (б) изменения количества атмосферных осадков в различных районах Каспийского моря.
1 — море в целом; 2 — Северный Каспий; 3 — Остров Тюленев; 4 — Остров Кулалы; 5 — Огурчинский остров; 6 — Куулым-Мак; 7 — Нефтяные Камни.

минимума: весенне-летний (май — август) и зимний (февраль). Причем в Северном Каспии внутригодовое распределение осадков более равномерное по сравнению со всем морем: в отдельные месяцы здесь выпадало в среднем от 5 (май — август) до 16 % (декабрь) годовой суммы [189].

В Северном Каспии годовое количество осадков колеблется в среднем в пределах 100—200 мм и распределяется по морской акватории относительно равномерно, что обусловлено орографическими особенностями побережья. По годовому количеству осадков Северный Каспий — самая бедная область европейской части страны и наиболее засушливая.

Наибольшее количество осадков на Северном Каспии выпадает под воздействием отрогов азорского антициклона, приносящего влагу с Атлантического океана. Это подтверждается выпадением

большого количества (до 50 %) осадков в теплое время года (апрель — сентябрь), когда влияние антициклона усиливается, а также преобладанием осадков при соответствующих направлениях ветра (при северо-западном, западном и юго-западном направлениях выпадает около 40—50 % годового количества осадков и даже больше).

На Каспийском море вследствие преимущественно западного (с Атлантики) переноса воздушных масс наибольшее количество атмосферных осадков выпадает на западном побережье: от 160 мм в Северном Каспии до 1600 мм в отдельных районах Южного Каспия, т. е. очень неравномерно.

На западном и южном побережье осадки носят местный характер, выпадают в основном в прибрежной полосе и не распространяются далеко в море. Зона повышенного количества осадков располагается вдоль берега узкой полосой шириной не больше нескольких десятков километров. На восточном побережье осадки распределяются более равномерно, чем на западном. Преобладающий по-всему вид осадков — дождь.

Подземный сток. Это наиболее трудноопределяемая и поэтому недостаточно изученная составляющая водного баланса. Подземные воды поступают в Каспий тремя путями: за счет дегазацииmantы Земли (ювелирные воды), как подземная составляющая расхода рек и в виде подземного стока, формирующегося на суше и разгружающегося непосредственно в море. Произвести количественную оценку ювелирных вод в настоящее время практически невозможно.

Подземный сток, дренируемый реками, в водобалансовых расчетах входит в общее значение речного стока. Поступление инфильтрационных вод непосредственно с побережья в море исследовалось многими авторами [7, 49, 159, 214, 235, 271, 312 и др.].

С. А. Ковалевский [214] впервые приводит чисто условное значение подземного стока в море, равное 23,9 км³/год, позднее А. И. Михалевский и Г. Р. Брегман [49] рассчитывают его как разность между основными элементами водного баланса и принимают равным 49,3 км³/год.

По ходу получения и накопления сведений о гидрогеологических условиях побережья Каспийского моря появилась возможность более точно определять подземный приток к морю [159, 160, 333, 335 и др.].

В ряде работ [159, 160, 312, 335], выполненных в 1960—1980-е годы, подземный сток в море рассчитывался по имеющимся гидрогеологическим данным каспийского побережья с использованием формулы Дарси. Все морское побережье разбивалось с учетом орографических, климатических, гидрогеологических и геологических условий на участки (от 15 до 19), по которым проводился подсчет подземного стока. Таким образом, каждый участок был выделен с учетом особенностей природных факторов, оказыывающих влияние на формирование подземных вод.

Сравнение подземного притока в Каспий по данным разных авторов показывает, что эти значения отличаются друг от друга более чем в 160 раз (от 0,3 до 49,3 км³/год). Основная причина этого — отсутствие необходимого количества достоверных гидрогеологических материалов, а также ненадеж-

ность применяемых методов расчета. Однако большинство исследователей считает, что в море поступает ежегодно в среднем около 3—5 км³ подземных вод [147, 149, 159, 160, 312 и др.].

В расчетах водного баланса Каспийского моря объем подземного стока был принят нами постоянным, равным 4 км³ в год [271], поэтому по сравнению с другими составляющими водного баланса его роль весьма незначительна и не может определять существенных колебаний уровенной поверхности.

Хотя использование в водобалансовых расчетах постоянного значения подземного притока снижает их точность, определение межгодовой и сезонной изменчивости подземного притока к морю в ближайшее время не представляется возможным.

Дальнейшее уточнение этого значения позволит более объективно оценить вклад подземного притока в многолетнюю и сезонную изменчивость уровня Каспия.

Испарение. Испарение с поверхности моря — основная расходная составляющая водного баланса Каспийского моря. Достаточно надежных методов измерения этой величины до настоящего времени не существует.

Исследования испарения Каспийского моря проводятся с конца прошлого века. А. И. Воейков [94] впервые, используя метод водного баланса, т. е. предполагая, что испарение равно сумме осадков, выпадающих на поверхность моря, и стока рек, впадающих в море, определил годовое значение испарения в 1085 мм. Впоследствии выполнен ряд работ [7, 17, 49, 147, 149, 212, 343, 377], в которых проводилась оценка испарения.

Для определения испарения используются два основных метода: по уравнениям водного и теплового балансов моря и по эмпирическим и полуэмпирическим соотношениям. Наиболее распространеными являются балансовые методы, позволяющие рассчитать интегральное испарение и теплообмен всего водоема. Возможности этих методов ограничены условием пространственной однородности испарения и теплообмена, которое в большинстве случаев не выполняется. Недостаток балансовых методов расчета испарения заключается и в том, что оно определяется косвенно — как остаточный член в уравнении водного баланса, поэтому в его значение входят погрешности определения всех составляющих водного баланса.

Методы второго направления позволяют получить представление о пространственном изменении испарения, изучить его региональные особенности. Эти методы представляют собой различные варианты диффузонного метода определения испарения.

Для определения испарения использовались различные формулы: Бигелоу, Мейера, Свердрупа, Саймиленко [49, 139, 277, 309, 343, 353 и др.]. Расчеты испарения проводились по пяти ГМС, расположенным в различных частях Каспийского моря и позволяющим относительно полно рассчитать испарение с поверхности всего моря. В качестве опорных станций были выбраны: в Северном Каспии — Остров Тюлений и Остров Кулалы, в Среднем и Южном Каспии — Куули-Маяк, Нефтяные Камни и Огурчинский остров.

При вычислении давления насыщенного водяного пара E_s учитывалось наличие ледяного покрова. Параметр шероховатости z_0 , входящий в коэффициент $R_{a,z}$, принимался равным 0,06 см [125, 382].

Для расчета испарения использована методика, позволяющая учесть влияние температурной стратификации воздуха на интенсивность влагообмена.

Учет температурной стратификации при расчетах испарения позволяет установить следующее: в холодную часть года (январь—март, сентябрь—декабрь), когда температура воды выше температуры воздуха, т. е. преобладает неустойчивая стратификация атмосферы, испарение заметно больше (на 6—10 %), чем при расчетах без учета стратификации, а в теплую часть года (апрель—август), когда происходит прогрев воды и температура воздуха в среднем выше температуры воды, испарение за счет влияния стратификации на 6—10 % меньше. Особенно важно учитывать стратификацию при расчетах испарения для районов с большой межгодовой и сезонной изменчивостью метеорологических условий.

Расчет испарения проводился таким же методом, как и расчет осадков: по опорным станциям и для всего моря определялись коэффициенты межгодовой изменчивости испарения, а затем с учетом нормы испарения для каждой части и моря в целом — значение испарения за конкретные месяцы и годы.

Анализ пространственно-временной изменчивости испарения показал, что в некоторых районах с аномальным распределением гидрометеорологических характеристик, особенно в прибрежных, где наблюдаются такие явления, как выход холодных глубинных вод, преобладание малых или больших скоростей ветра, испарение значительно отличается от среднемноголетнего.

Среди составляющих водного баланса испарение с поверхности моря характеризуется незначительной межгодовой изменчивостью ($C_v = 0,09$). Однако в связи с изменением положения уровня моря и площади испаряющей поверхности происходит соответствующее уменьшение или увеличение объема испаряющихся вод.

Наиболее интенсивно процессы испарения были развиты в 1930-е и в первую половину 1970-х годов. Этому способствовало установление на значительной территории Каспийского бассейна антициклической циркуляции атмосферы, обусловившей рост испарения. В начале текущего столетия с поверхности моря ежегодно испарялось около 970 мм слоя воды, или около 390 км³, а в 1930-е годы море потеряло за счет испарения значительно больше — 1004 мм слоя, или 395 км³ воды в год, что намного превышало ее поступление. Расходная составляющая водного баланса была больше приходной, и происходило интенсивное падение уровня моря. За 1930—1941 гг. море потеряло свыше 700 км³ воды, что привело к снижению его уровня на 1,8 м.

В 1940—1960-е годы объем испарившихся вод с поверхности моря в связи с сокращением его площади при снижении уровня составлял в среднем около 360 км³ воды в год, а испарение (964 мм слоя в год) было близко к среднемноголетней норме. В 1970-е годы испарение достигло 1039 мм в год (см. табл. 11.1).

В последнее время испарение заметно снизилось: в 1978—1990 гг. с поверхности моря испарялось ежегодно в среднем около 920 мм слоя, или 344 км³ воды.

Таким образом, ежегодное испарение с поверхности Каспийского моря в текущем столетии изменилось от 920 до 1040 мм слоя, а в среднем море теряло до 970 мм слоя воды (около 375 км³) в год. Размах значений испарения составлял в среднем около 50 см слоя, или 190 км³ воды. Отклонения годового значения от многолетней нормы достигали $\pm 27\%$ (или $\pm (10—20)$ см), что соответствует примерно 30—50 % размаха годового уровня Каспийского моря. Наиболее значительная межгодовая изменчивость испарения C_v и размах его сезонного хода характерны для восточного побережья моря. В различных частях Северного Каспия размах колебаний испарения достигал больших значений: около 90 см слоя (300 км³) в западной и около 70 см слоя (255 км³) в восточной частях.

Значительная межгодовая изменчивость испарения наблюдалась в периоды, когда его интенсивность возрастала, т. е. в засушливых климатических условиях 1930-х и первой половины 1970-х годов. В периоды, отличающиеся повышенной увлажненностью (1978—1986 гг.), изменчивость испарения меньше.

В связи со значительной меридиональной протяженностью моря и существенными различиями орографии отдельных районов воздушные массы при прохождении над морем трансформируются и их влияние на увлажненность различных районов моря неодинаково. Поэтому тенденции многолетних изменений влажности воздуха и испарения в отдельных частях моря могут быть различными (рис. 11.4). Анализ многолетнего хода испарения с поверхности моря и отдельных его частей показал, что в целом отмечается тенденция к его снижению. Наиболее интенсивно процессы испарения развиты в Северном Каспии, где ежегодно испаряется в среднем свыше 1000 мм слоя воды.

С поверхности моря с июня по декабрь испаряется около 70 % годового объема испарившихся вод, а с поверхности Северного Каспия с мая по сентябрь — 75 % годового объема.

Минимальные значения испарения в Северном Каспии отмечаются в зимние месяцы и начале весны (с января по март), максимальные — летом (в июне—августе). Почти во всех районах Северного Каспия в зимние месяцы, особенно в феврале, наблюдается обратный испарению процесс — конденсация. В результате интенсивного весеннего прогрева вод на мелководье испарение к началу мая резко возрастает. Наибольшего значения испарение достигает в июне—августе, что объясняется высокой температурой воды в сочетании с наименьшей относительной влажностью воздуха над морем. В районах Среднего и Южного Каспия процессы испарения наиболее развиты в августе—сентябре.

Наибольшая внутригодовая изменчивость испарения отмечается в периоды прогрева и охлаждения моря, когда наиболее отчетливо проявляются особенности основных климатических факторов, определяющих испарение. Исследование статистических характеристик месячных значений испарения показало, что за многолетний период (1942—1986 гг.) наибольшие значения среднеквадратиче-

ких отклонений ($\sigma = 20 \dots 40$ мм) отмечаются в сентябре, наибольшие значения коэффициентов многолетней сезонной изменчивости ($C_v = 0,30 \dots 0,40$) — в декабре—феврале, а наименьшие ($C_v = 0,10 \dots 0,15$) — в июле—августе, т. е. соответственно в периоды охлаждения и прогрева моря.

Сток вод в зал. Кара-Богаз-Гол. К расходным составляющим водного баланса относится сток мор-

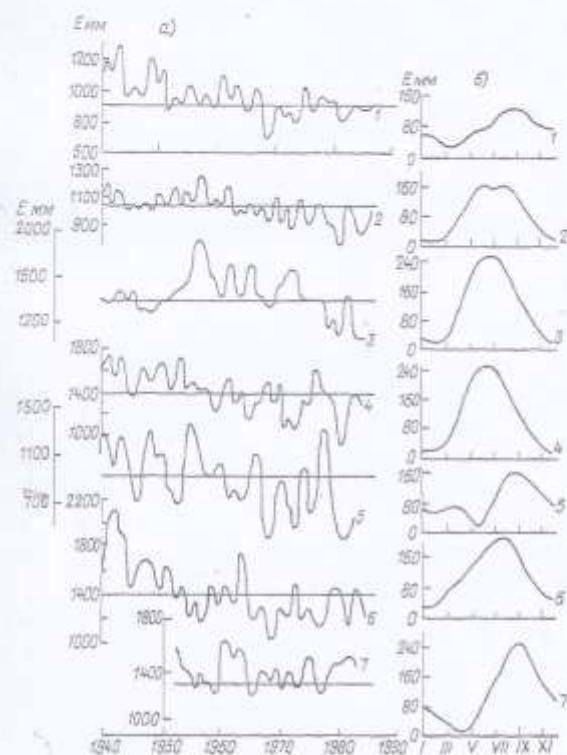


Рис. 11.4. Межгодовые (а) и сезонные (б) изменения испарки с поверхности в различных районах Каспийского моря.
1 — моря в заливе; 2 — Северный Каспий; 3 — Остров Тюзекай; 4 — Остров Кулаклы; 5 — Кууда-Макк; 6 — Отчуждикский остров; 7 — Нефтяные камины.

ских вод в зал. Кара-Богаз-Гол. Залив соединялся с морем неглубоким проливом одноименного названия. Наблюдения за стоком воды в залив проводятся с 1928 г.

Сток морских вод в залив определялся разностью высот уровней моря и залива и изменениями сечений русла пролива, соединяющего залив с морем.

До начала 30-х годов в залив ежегодно поступало 20—25 км³ каспийских вод, а перепад уровней моря и залива составлял 0,5 м.

Резкое падение уровня моря в 30-е годы привело к сокращению стока каспийских вод в залив, падению его уровня. В конце 30-х годов разность уровней моря и залива составляла 0,7 м. По мере падения уровня моря происходило размывание дна пролива, которое пристановилось лишь в середине 40-х годов, когда его дно достигло скалистого известнякового основания и образовался водопад. Это привело к исчезновению непосредственной ги-

дравлической связи между уровнями моря и залива.

Существовавшую до этого тесную зависимость между стоком в залив и уровнем использовал Б. Д. Зайков [148] для расчета стока из моря в залив:

$$Q_{\text{КВГ}}/\sqrt{Q_n} = f(H), \quad (11.4)$$

где $Q_{\text{КВГ}}$ — годовой сток из моря в залив, км³; Q_n — годовой приток поверхностных вод в море, км³; H — средний уровень моря по Бакинскому футштоку, см.

Точность расчета по этому методу составляла $\pm 3\%$.

Вследствие размыва бара в проливе и образования водопада эта зависимость в 1940 г. была нарушена. В 1921 г. разность уровней моря и залива составляла 0,44 м, а в 1946 г. — 2,88 м.

К середине 60-х годов сток морских вод в залив Кара-Богаз-Гол уменьшился до 8—10 км³. Падение уровня продолжалось, поэтому объем стока в залив к концу 70-х годов сократился до 5—10 км³, уровень залива снизился до отметки —32,0 м, площадь уменьшилась до 10 тыс. км², объем вод — до 20—22 км³, а соленость рапы возросла до 270—290‰ (до начала 30-х годов составляла 200—210‰), максимальные глубины в заливе не превышали 3—4 м. Современная площадь залива при стоке в него 5—6 км³ воды в год по приближенным расчетным оценкам [404, 405] составляет 6—7 тыс. км².

На фоне общей тенденции понижения уровня залива можно выделить несколько периодов колебаний, аналогичных ходу уровня в среднем по морю. Наибольший уровень залива (—26,0 м) отмечался в 1929 г., а наименьший (—29,15 м) — в 1977 г. Таким образом, размах многолетних колебаний уровня залива за период наблюдений на ГМС Кара-Богаз-Гол составил 3,15 м.

В марте 1980 г. прол. Кара-Богаз-Гол был перекрыт глухой плотиной, морская вода перестала поступать в залив.

Площадь залива в конце 1982 г. составляла около 2 тыс. км². В современных условиях она значительно меняется за счет периодического затопления рапой высохших районов при паводках. В начале 80-х годов после отчленения залива максимальные глубины снизились до 1,2 м при средней глубине 0,75 м, а объем поверхностной рапы в заливе сократился с 22 до 1,5 км³. К 1984 г. соленость рапы возросла до 370—390‰ и завершился процесс усыхания поверхностных рассолов и превращения залива в «сухое озеро» [405]. Активное осаждение огромной массы солей привело к изменению морфометрических характеристик котловины залива, уменьшению его глубины и быстрому обмелению.

В сентябре 1984 г. сток в зал. Кара-Богаз-Гол был возобновлен при помощи временного водопропускного сооружения. С этого времени в залив ежегодно поступает примерно 1,6 км³ морской воды.

С начала текущего столетия в зал. Кара-Богаз-Гол поступило более 1000 км³ морских вод, что может быть сопоставимо с объемом Аральского моря и трехкратным объемом Азовского моря. В переводе на слой, отнесенный к средней для периода 1900—1989 гг. площади моря, это составляет

около 3 м. Ежегодное снижение уровня моря за счет стока в зал. Кара-Богаз-Гол составляло в среднем 7—9 см в начале столетия и около 1,5 см в конце 70-х — начале 80-х годов. Суммарная экономия морских вод за счет антропогенного фактора (отчленение залива и регулируемая подача воды) составила за 1980—1990 гг. примерно 135 км³, что способствовало дополнительному повышению уровня моря на 35—40 см, или на 25 % фактического роста. В настоящее время в условиях резкого повышения уровня антропогенное воздействие на сток морских вод в зал. Кара-Богаз-Гол становится все более ощутимым фактором, влияющим на гидрологический режим моря, в том числе и его уровень. Это воздействие может быть соизмеримо с ежегодными безвозвратными изъятиями волжского стока, т. е. как бы компенсирует их. Сток в зал. Кара-Богаз-Гол отличался наибольшей межгодовой изменчивостью ($C_v = 0,48$) среди составляющих водного баланса, среднемноголетний сток за 1900—1979 гг. составил около 15 км³ в год ($\sigma = 7,1 \text{ км}^3$).

Наибольший коэффициент межгодовой изменчивости ($C_v = 0,44$) стока в залив наблюдался в период резкого падения уровня моря в 30-е годы (сток вод сократился с 20 до 6 км³), а в период замедленного снижения уровня моря (1942—1977 гг.), когда в залив поступало около 10 км³ в год, его межгодовая изменчивость была незначительной ($C_v = 0,15$). Сезонные изменения стока в залив были невелики, уменьшение абсолютного значения стока на протяжении многих лет сопровождалось уменьшением и размаха сезонных изменений. В среднемноголетнем плане сезонное распределение стока аналогично годовому ходу уровня моря. До 40 % годового стока в залив приходится на летние месяцы (июнь—август) и сентябрь, в феврале—марте в залив поступало незначительное количество вод — около 7 % годового объема.

В расходной части водного баланса сток морских вод в залив достигал около 5—6 % объема.

В многолетнем ходе уровня Каспийского моря можно выделить несколько периодов, соответствующих различному соотношению элементов водного баланса. Высокое положение уровня и относительная его стабильность в начале столетия (1900—1929 гг.) были обусловлены благоприятными гидрологическими условиями, определяющими многоводность рек и относительное равновесие между элементами баланса: поступлением воды в Каспий и ее расходом на испарение с поверхности моря (см. табл. 11.1). Последовательно чередующиеся 4—5-летние циклы многоводных и 5—8-летние маловодных лет приводили к соответствующим повышениям и понижениям уровенной поверхности моря, достигавшим за этот период 0,5 м. Тенденция снижения уровня была незначительной, колебания уровня происходили около отметки —26,2 м.

Относительно равновесное состояние сменилось в 30-е годы периодом крайнего дефицита водного баланса, достигавшего 60 км³ в год, в связи с этим и произошло значительное понижение уровня (на 1,8 м). Такое резкое падение уровня было вызвано крупномасштабными климатическими изменениями. На значительной территории европейской части СССР, в том числе и в бассейне моря, отмечались засушливые условия. Дефицит атмосферных осадков в водосборной части волжского бассейна, фор-

мирующих значительную часть годового объема речного стока, в сочетании с интенсивно развитыми процессами испарения с поверхности моря и привели к значительному падению уровня Каспия (см. табл. 11.1 и 11.3). Скорость его снижения составляла в среднем около 16 см в год.

В 40—50-е годы при более умеренных климатических условиях в бассейне Каспийского моря темпы падения уровня замедлились. Аномально развитые процессы меридиональной (C) формы циркуляции способствовали увеличению увлажненности. В 1949—1956 гг. дефицит водного баланса составлял около 19 км³ в год, а в 1957—1969 гг. в море поступало приблизительно на 7 км³ в год больше воды, чем ее испарялось. В результате в 60-е годы отмечалась некоторая стабилизация уровня около отметки —28,4 м.

В 70-е годы в бассейне моря вновь сложились гидрометеорологические условия, аналогичные периоду 30-х годов. Дефицит баланса (около 50 км³ в год) привел к падению уровня моря в 1977 г. до самой низкой отметки (—29,0 м). В среднем за 1942—1977 гг. дефицит баланса составил 13,7 км³ в год, что соответствовало ежегодному снижению уровня моря на 3,7 см (за весь период на 1,2 м).

С 1978 по 1990 г. при положительном водном балансе уровень быстро повышался и уже в 1990 г. его среднегодовая отметка поднялась до —27,5 м БС. Современное повышение уровня моря обусловлено климатическими факторами, определившими увеличение приходных составляющих водного баланса — стока рек и атмосферных осадков. В результате этого в море последнее время поступало в среднем на 50 км³ в год воды больше, чем ее расходовалось на испарение и сток в зал. Кара-Богаз-Гол, что определило положительные приращения уровня моря и его повышение (около 14 см в год в год).

Период с 1942 по 1986 г. в целом можно считать временем равновесного водного баланса; в Каспий поступало в виде атмосферных осадков и стока рек примерно столько же воды, сколько ее испарялось с поверхности моря и стекало в зал. Кара-Богаз-Гол. Современный уровень моря (—27,5 м БС) соответствует отметкам начала 40-х годов.

Долго ли будет сохраняться современное повышение уровня моря — сказать трудно, так как ретроспективный анализ не дает однозначного ответа. В пользу гипотезы о кратковременном характере современного повышения уровня свидетельствуют сходные ситуации, неоднократно наблюдавшиеся и ранее, например, в 60-х и 70-х годах прошлого столетия. После этих подъемов (0,6—1,0 м) следовали не менее резкие спады уровня. Если же исходить из гипотезы существования квазизеровых циклов изменения уровня моря, то можно предложить, что современный его подъем представляет собой переход к эпохе высокого положения, так как общая тенденция снижения уровня продолжалась более 100 лет. Ответить на поставленные вопросы с достаточностью не представляется возможным. По существу они связаны со сверхдолгосрочным прогнозом не только региональных, но и глобальных климатических условий, оказывающих сложное влияние на условия формирования и многолетнюю изменчивость составляющих водного баланса Каспийского моря.