

ВОДНЫЙ БАЛАНС

Изучением водного баланса Каспийского моря занималось много исследователей, начиная с А. И. Восойкова (1884). Рассчитав баланс Каспийского моря, можно найти причину колебаний его уровня и предсказать будущее положение, что очень важно для народного хозяйства.

Наиболее полные исследования водного баланса Каспийского моря были проведены в 1937--1945 гг. в ГГИ под руководством Б. Д. Зайкова. На основании исследований водного баланса по годам и за многолетние периоды Б. Д. Зайков (1946) пришел к выводу, что изменения уровня вызваны не случайными отклонениями от нормы отдельных элементов баланса, а недостатком в основном поверхностного притока. Ю. М. Шокальский (1913), П. С. Кузин (1941), Б. А. Аполлов (1935, 1954) также доказали, что изменения уровня Каспия зависят от изменения элементов его водного баланса и, в первую очередь стока рек, особенно Волги. В. А. Леднев и Г. Н. Зайцев продолжили исследования Б. Д. Зайкова за период 1946--1952 гг.

Начавшееся в 1929 г. значительное падение уровня моря продолжается до настоящего времени. Лишь в последние годы (1963, 1965) наблюдаются положительные вариации уровня моря.

С 1953 по 1967 г., т. е. за 15 лет, водный баланс моря не подчинялся. В последнее время появились работы, в которых методами статистики оценивалось влияние изменения элементов водного баланса непроточных озер и Каспия на колебания их уровня. М. И. Будыко и М. И. Юдин (1960), проследив статистически изменения уровня абстрактного озера с плоским дном и вертикальными стенками, пришли к выводу, что колебания уровня непроточных озер, и в частности Каспия, не указывают на изменения климата в их бассейне, а обусловлены ежегодными колебаниями членов водного баланса около постоянных средних значений.

О. А. Дроздов и Т. В. Покровская (1961) не соглашались с выводом М. И. Будыко и М. И. Юдина и показали на примере Каспия, что «бессточные озера являются наиболее четкими индикаторами систематических изменений и долгопериодических колебаний климата».

П. А. Багров (1963) согласился с выводами О. А. Дроздова и Т. В. Покровской, но не столь категорично. Он считает, что изменения уровня только за период более чем 125-летний могут указать на климатические изменения в бассейне Каспийского моря.

А. В. Шинтихов (1957, 1963) на основании исследований колебаний уровня многих непроточных озер подчеркивает, что колебания уровня непроточных озер и Каспия, в частности, «всегда находятся в отличном соответствии с колебаниями определяющих их элементов климата и общей увлажненности своих бассейнов, представляя собой их сложную функцию».

За прошедшие 20 лет появились новые материалы наблюдений и многочисленных исследований, позволяющие уточнить расчеты элементов водного баланса Каспия за прежние годы, рассчитать по уточненному уравнению водный баланс за 1953—1965 гг. и на основании этих данных дать расчет как будущего водного баланса моря, так и за прошлые годы (1847—1877), почти не освещенные наблюдениями.

Расчет водного баланса за 119 лет, сделанный автором, позволяет проработать с большей достоверностью причины колебаний уровня Каспийского моря как за отдельные годы, так и за периоды разной продолжительности.

Автор выражает глубокую благодарность проф. Б. А. Аполлову, под чьим непосредственным руководством были проведены эти исследования и расчеты.

В работе произведены расчеты водного баланса за 1847—1877 гг., несколько уточнены, на основании исследований, составляющие водного баланса, рассчитанные Б. Д. Зайковым за 1878—1945 гг. и В. А. Ледневым и Г. Н. Зайцевым за 1946—1952 гг., а также подсчитан водный баланс за 1953—1965 гг. и за 1966—1975 гг.

ПРИТОК ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В КАСПИЙСКОЕ МОРЕ

Значительные расхождения результатов подсчета речного стока в Каспий, проведенного разными авторами, объясняются главным образом различиями в продолжительности и надежности рядов наблюдений. Так, в распоряжении А. И. Восойкова и других исследователей конца XIX—начала XX в. имелись кратковременные ряды наблюдений небольшого числа рек, а по другим рекам были лишь единичные замеры стока или данные о стоке часто совсем отсутствовали. В распоряжении Б. А. Аполлова, Г. Р. Брегина, А. И. Михалевского были материалы более длительных наблюдений. Наиболее точно сток рек в Каспий был подсчитан П. С. Кузи-

тым (1941) и Б. Д. Зайковым (1946), но и в их распоряжении был и ограниченный сведения: по стоку Волги за 68 лет, по Уралу — за 34, по Куре — за 16, по Тереку и Сулаку — за 10 лет. Крайне немногочисленны и ненадежны были данные по рекам Иранского побережья и по стоку малых рек западного побережья.

К 1965 г. был накоплен значительный материал, позволяющий увеличить ряды наблюдений, включить в расчеты новые данные и в целом оценить надежность ранее полученных величин стока.

Автором этой главы был полностью пересчитан сток речных вод в море за 1936—1952 гг. и подсчитан сток за 1953—1965 гг. Ранее полученные данные были уточнены новыми данными по рекам иранского и западного побережья, данными по створам, лежащим ближе к морю, а также внесены поправки на потери стока между створом и устьем.

Сток Волги. Наблюдения над стоком Волги начались с 1876 г., но данные по стоку приводятся Б. Д. Зайковым с 1878 г. При подсчете данных по стоку Волги за 1878—1935 гг. были приняты данные П. С. Кузина, а за 1936—1965 гг. — данные гидрологических ежегодников с внесением поправок на потери по методике Кузина. При этом учитывались данные по площади затопления дельты и Волго-Ахтубинской поймы на основе материалов облетов КаспНИРО.

В данные гидрологических ежегодников по стоку Волги у Волгограда за 1936—1965 гг. введены поправки на потери стока Волги от Волгограда до устья со знаком минус для каждого года.

Сток с побережья между Волгой и Тереком при подсчете поверхностного стока в Каспий принят нулевым, поскольку р. Кума не доносит свои воды до моря, а остальная часть побережья является бессточной и не имеет ни одного поверхностного водотока.

Сток Терека подсчитан по данным гидрологических наблюдений с 1936 по 1965 г. по створу Каргалинская. При подсчете потерь стока между Каргалинской и устьем использованы данные И. П. Беляева (1963). В среднем, по этому автору, они равны 1 км^3 в год при колебаниях от 0,8 до $1,2 \text{ км}^3$.

Сток с побережья между Тереком и Сулаком принят равным нулю, так как реки Аксай, Акташ, Яман-су и Ярык-су не достигают моря, теряясь в заболоченных пространствах Сулакской низменности и прибрежных песках.

На участке побережья между Сулаком и Самуром имеется 12 рек, впадающих в море, с площадями бассейнов стока от 100 до 2000 км^2 . П. С. Кузин (1941) сток с этого участка подсчитывал по модулю стока, принятому равным 4 л/сек/км^2 . В настоящее время имеются данные по расходам рек Шура-озень, Манас-озень, Гамри-озень, Уллу-чай, Рубас-чай, с суммарной площадью водосбора 5270 км^2 . Расходы первых трех рек редко превышают $1 \text{ м}^3/\text{сек}$, летом нередко падают до нуля, расход Уллу-чая — от 1,71 до $7,85 \text{ м}^3/\text{сек}$, Рубас-чая в среднем — $3 \text{ м}^3/\text{сек}$. Для остальной территории бассейна площадью 3750 км^2 сток подсчитан по среднему модулю стока по карте К. П. Вокресенского.

Сток Сулака у с. Миатла хворина учтен с 1936 г., причем, вследствие близости створа наблюдений к устью, потери между подпостом и морем учитывать нет необходимости.

Сток Самура подсчитан по данным у Ахты, а не у створа Зухул, как это сделано Кузиным до 1948 г., а позднее по створу у с. Усух-чай. Данные наблюдений по створу Усух-чай наиболее полно отражают расход Самура, его сток в море. Потери стока между Усух-чаем и устьем незначительны и в расчетах они не учитывались.

Площадь бассейна стока на участке побережья между Самуром и Курой 15 980 км². П. С. Кузин оценивал сток с этой площади по среднему модулю стока, равному для площади между Самуром и Гильгиль-чаем 4 л/сек/км², а между Гильгиль-чаем и Курой — 0,2 л/сек/км². В настоящее время есть данные по расходам рек Кусар-чай, Куднал-чай, Кара-чай, Вельвели-чай, Дивичи-чай, Гильгиль-чай. По этим данным суммарный годовой сток на участке Самур — Гильгиль-чай оценивается нами в 0,6 км³. Сток с участка между Гильгиль-чаем и Курой рассчитывался как суммарный по рекам Пирсагат, Сумгаит и Джейран — Кучмез, а для остальной площади — по средним модулям стока по карте К. П. Воскресенского (1962).

Сток Куры подсчитывался П. С. Кузиным за 1904—1925 гг. по наблюдениям на створе Мингечаур, а за 1925—1937 гг. — на створе Сабирабад. Нами сток Куры подсчитан по данным непосредственных наблюдений у Сальян за 1938—1939, 1947—1965 гг. и по графику связи между данными по Сабирабаду и Сальянам пересчитан за 1936—1937 и 1940—1946 гг. Необходимость использования данных по низовому створу диктовалась большим разбором воды на орошение на участке выше Сальян.

Сток с побережья между реками Курой и Астара-чай подсчитывался отдельно для северного и южного участков, границей которых является р. Виляж-чай. Южный участок характеризуется более крупными и более постоянными реками — Ленкорань-чай, Инча-чай и Виляж-чай, по которым имеются гидрологические наблюдения. Средний многолетний сток с побережья от Куры до Астара-чай оценивается в 0,60 км³ в год.

Сток рек иранского побережья в некоторых работах по водному балансу Каспийского моря вообще не учитывался. Отсутствие данных по иранским рекам приводило к весьма значительным расхождениям в оценке суммарного стока речных вод в Каспий (до 17 км³). Автором (1964) были использованы данные фактических наблюдений за стоком рек иранского побережья за 1951—1955 гг. Суммарный средний многолетний сток рек Ирана в Каспий оказался значительным — 14 км³ в год, что составляет 5% поверхностного стока в Каспийское море. Суммарный сток рек за 1936—1950 и 1956—1965 гг. восстановлен по корреляционной связи со стоком Куры по створу Сабирабад.

К полученной на связи величине стока рек Ирана, основанных гидрометрическими наблюдениями, прибавлена величина среднего многолетнего стока $4,5 \text{ км}^3$ в год для рек, не охваченных гидрометрическими наблюдениями, не изменяющаяся значительно для малых рек.

Сток с восточного побережья между реками Атрек и Урал принят равным нулю, так как реки Атрек и Эмба, самые крупные на этой территории, достигают моря лишь в отдельные многоводные годы.

Сток Урала П. С. Кузин рассчитывал по данным створа у с. Кушумского. Потери стока между Кушумским водостом и устьем он не учитывал. Нами рассчитан сток Урала по данным водности у Тополинского, в 200 км от устья. Сравнение с наблюдениями по расходу в устьевой части реки показали, что потери стока между водостом Тополинским и устьем ничтожны и ими можно пренебречь. За 1941—1942, 1946, 1952 и 1960 гг. сток Урала восстановлен по корреляционным связям стока у водостомов Кушумского и Тополинского. Результаты подсчетов поверхностного стока приведены в табл. 12, из которой видно, что расхождение данных, приведенных в ней, с результатами определения поверхностного стока, выполненного Б. Д. Зайковым, составляет за 1936—1945 гг. до $9,2\%$ из-за завышенного (4 км^3) стока иранских рек, недоучета потерь Волги на устье (1 км^3), потерь Терека (1 км^3), а также более точного учета стока малых рек западного побережья Каспия и учета стока рек Урала, Куры, Терека, Самура по створам, близлежащим к морю (1 км^3).

В связи с проведенными исследованиями приток поверхностных вод в Каспий за 1878—1935 гг. принят по данным П. С. Кузина с внесенной поправкой — 7 км^3 в год (см. табл. 16).

Исследования Б. Д. Зайкова (1940, 1946), Б. А. Аюллова и И. В. Самойлова (1946) и Б. А. Аюллова (1954) показали хорошую связь уровня Каспийского моря со стоком всех рек в море, в частности Волги.

По нашим исследованиям, корреляционная связь ($r=0,86 \pm \pm 0,03$) между приращениями уровня моря по в/п Баку и суммарным стоком рек в море оказалась довольно высокой за 1900—1940 гг.

Суммарный сток рек в Каспий за 1847—1877 гг. подсчитан (см. табл. 16) по формуле:

$$Q = 0,78H + 818.$$

ПОДЗЕМНЫЙ ПРИТОК

Подсчет подземного притока вод в Каспий — наиболее трудная задача, которая решается наименее надежно. Расхождения между определениями у разных авторов здесь особенно велики — от 4 до 59 км^3 в год. Некоторыми исследователями подземное питание вообще не принималось в расчет.

Приток поверхностных вод в Каспийское море за 1936—1965 гг. (км³/год)

Название реки или бассейна	Площадь водосбора, км ²	Год							1941
		1936	1937	1938	1939	1940	1941		
Волга	1 964 000	177,5	155,1	167,9	173,2	186,6	236,3	0	
Между Волгой и Терек	129 800	0	0	0	0	0	0	0	
Терек	43 710	9,5	9,7	8,1	10,6	9,9	8,5	8,5	
Между Терек и Сулак	4 200	0	0	0	0	0	0	0	
Сулак	13 370	5,5	6,0	6,2	5,9	6,1	5,7	5,7	
Между Сулаком и Самур	9 020	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	
Самур	4 450	1,2	1,7	1,8	2,1	2,3	2,9	2,9	
Между Самуром и Курой	15 980	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	
Кура	188 040	19,2	21,1	14,9	18,2	24,0	18,0	18,0	
Между Курой и Астара-чаем	12 280	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,3	0,3	
Суммарный сток с Иранской территории от Астара-чая до Атрека	102 780	12,5	12,9	11,8	12,4	13,4	12,3	12,3	
Атрек	39 170	0	0	0	0	0	0	0	
Между Атреком и Уралом	782 870	0	0	0	0	0	0	0	
Урал	213 900	3,7	2,9	4,3	5,9	4,3	19,6	19,6	
Между Уралом и Волгой	150 400	0	0	0	0	0	0	0	
Суммарный сток рек в Каспий, км ³	3 063 950	230,9	212,1	216,6	228,1	248,2	304,7	304,7	

Таблица 12

Название реки или бассейна	Продолжение табл. 12									
	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950	1951
Волга	258,9	235,2	230,6	206,1	270,3	319,2	275,4	214,6	232,1	
Между Волгой и Терекон	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Терек	8,5	10,5	11,0	7,5	8,2	6,6	7,0	7,0	6,2	
Между Терекон и Сулакон	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сулак	7,0	6,0	7,0	4,9	6,3	5,0	5,5	5,9	4,2	
Между Сулакон и Самурон	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Самур	2,7	2,3	2,8	3,8	3,5	2,5	2,9	1,9	1,8	
Между Самурон и Курой	0,9	0,9	1,1	0,9	0,9	0,7	0,9	0,8	0,7	
Куря	20,4	17,2	19,6	15,9	20,8	15,1	18,7	17,2	15,9	
Между Курой и Астрахань	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	1,0	0,6	
Суземный сток с Иранской территории от Астрахань до Атрек	12,7	12,2	12,6	11,9	12,8	11,8	12,5	12,2	11,9	
Атрек	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Между Атрекон и Уралон	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Урал	17,7	(9,4)	4,5	5,6	22,2	17,5	20,5	10,1	6,3	
Между Уралон и Волгой	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Суземный сток рек в Каспий, кас	329,5	284,7	290,1	256,5	345,9	379,3	344,4	271,0	280,0	

Название реки или бассейна	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Волга	229,0	227,5	269,2	211,6	298,1	201,7	274,5	265,2	216,3
Между Волгой и Терехом	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Терек	7,4	7,3	6,7	5,8	4,9	5,8	4,9	5,7	5,9
Между Терехом и Сулаксом	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сулак	5,0	5,0	4,8	4,8	5,4	6,0	4,4	5,4	5,4
Между Сулаксом и Самуром	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4
Самур	2,0	2,4	1,7	1,8	2,6	2,9	2,7	3,1	3,0
Между Самуром и Курой	0,8	1,0	0,7	0,9	0,9	1,0	1,0	0,8	0,9
Куря	15,9	22,3	11,7	16,2	11,1	16,5	17,5	12,8	19,1
Между Курой и Астара-челек	0,9	0,5	0,8	0,7	0,5	0,9	0,9	0,9	0,8
Суммарный сток с Иранской территории от Астара-челек до Атрека	8,5	12,1	11,8	14,1	8,6	12,0	12,2	11,4	12,5
Атрек	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Между Атреком и Уралом	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Урал	4,6	8,6	6,9	5,3	3,1	6,1	17,8	10,3	8,9
Между Уралом и Волгой	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Суммарный сток рек в Каспий, км³	273,4	287,1	314,5	261,4	335,6	253,3	336,2	315,9	274,2

В ГГИ впервые была сделана попытка подсчета подземного питания по фактическим гидрогеологическим данным. Однако поскольку они освещают лишь 20% площади побережья, то полученный результат — 5,5 км³ в год — также не может рассматриваться как надежный. При этом рассчитывался только грунтовый сток, артезианский не оценивался.

Некоторые азоты, например Х. К. Улянов (1962), подземному стоку в Каспий придают очень большое значение. Улянов относит за счет влияния этого фактора широко известную температурную аномалию прибрежных вод восточного побережья Каспия, полагая, что причина аномалии — обильная «разгрузка» подземных вод из грунтовых и артезианских водоносных бассейнов Мангышлака у восточного побережья.

Подсчет грунтового стока. К настоящему времени имеется довольно значительный материал по гидрогеологии побережья Каспийского моря, что позволяет сделать более точный подсчет грунтового стока. Нами сделана попытка подсчета грунтового стока по формуле Дарси по отдельным участкам побережья, с учетом всех водоносных горизонтов данных участков, разгружающихся ниже уровня моря. При расчетах использовались средние величины мощностей и коэффициентов фильтрации каждого водоносного комплекса.

Все побережье Каспия характеризуется небольшими уклонами водоносных горизонтов в сторону моря, значительной глинистостью отложений, небольшими коэффициентами фильтрации (в среднем 3 м/сут), малой водоотдачей.

Наиболее детально подземный сток в Каспий был определен А. П. Поповым по участку Самурско-Дивичинского побережья. Он оказался равным 0,55 км³ в год. При этом расчет охватывал всю рыхлую толщу мощностью 350 м, включая и грунтовый, и артезианский сток. В результате оказалось, что $\frac{2}{3}$ стока приходится на верхнечетвертичные отложения, около $\frac{1}{3}$ — на среднечетвертичные и не более 4% — на нижнечетвертичные.

В целом гидрогеологическая изученность различных участков побережья далеко неоднородна. Кроме данных по Самурско-Дивичинскому побережью сравнительно хорошие данные имеются по Западно-Туркменскому побережью, ряду участков Кавказского побережья, участку северного побережья между Волгой и Уралом. Очень неполные данные на большую часть восточного и северо-восточного побережий и совершенно отсутствуют сведения о грунтовом питании иракского побережья. Расчет грунтового стока с иракской территории сделан приблизительно по аналогии с соседними территориями. Так, для участка от р. Астара-чай до м. Чалус приняты данные участка Ленкоранской низменности ввиду сходства физико-географических условий этих территорий. Грунтовый сток с территории между м. Чалус и р. Атреком подсчитан по аналогии с данными по Западно-Туркменской низменности.

Для отдельных районов Каспийского побережья исследователями отмечаются инфильтрация морских вод и на этих участках, следовательно, могут быть отрицательные значения для подземного питания. Так, в дельте Терека, в районе заливов Кирова, Балханского уровень грунтовых вод имеет уклон от моря в сторону суши. С. А. Шаговица (1959) указывает на наличие инфильтрации также для участка побережья между Терекком и Сулаком. О районе дельты Куры относительно инфильтрации имеются противоречивые сведения.

Результаты расчетов подземного питания по отдельным участкам побережья и суммарные результаты даны в табл. 13.

Полученная суммарная величина грунтового стока в Каспий 0,71 км³ в год округлена при расчетах водного баланса до 1,0 км³ в год из-за приближенности расчетов по отдельным участкам побережья и недоучета подземного стока на некоторых дельтовых участках побережья.

Расчеты показали, что грунтовый сток в море незначителен и его величина находится в пределах точности расчетов составляющих водного баланса.

Подсчет артезианского питания производится впервые. В пределах Каспийского побережья выделяется восемь артезианских бассейнов: Северокаспийский, Терско-Кумский, Южнодагестанский, Прикуришский, Приталышский, Иранский, Прикетдагский, Устурт-Манрышлакский. Данные о количестве водоносных горизонтов, их глубинах залегания, мощности и коэффициентах фильтрации приведены в табл. 14.

Северокаспийский артезианский бассейн занимает огромную территорию Прикаспийской низменности. В геологическом отношении это закрытая структура, характеризующаяся относительным покоем подземных вод, застойным режимом и сильно затрудненной циркуляцией. Из табл. 14 видно, что до глубины 1500 м имеется небольшое число водоносных горизонтов с незначительной мощностью и малыми коэффициентами фильтрации. В целом возможности питания моря из этого бассейна крайне ограничены.

Терско-Кумский артезианский бассейн соответствует предгорному прогибу Большого Кавказа. Для этого бассейна характерно изменение состава отложений от грубообломочного до пылеватого в сторону Каспия, соответственно уменьшение скорости движения подземных вод в этом же направлении и возрастание напора внутри каждого водоносного горизонта.

До глубины 500 м в этом бассейне известно всего 10 водоносных горизонтов с небольшой мощностью (обычно 4—6 м) и малыми коэффициентами фильтрации, уменьшающимися к Каспию (например, в хазарских отложениях — от 21 на западе до 0,9 м/сут на востоке). Глубже 600 м бассейн в гидрогеологическом отношении изучен слабо. Известно лишь, что восточная часть бассейна и на этих горизонтах — зона слабого водообмена. Частичная разгрузка подземных вод, по мнению С. А. Шаговица (1959), осуще-

Грунтовый сток в Каспийское море (к.м³/год)

Территория	Длина береговой линии, км	Название водосового горизонта	Промытые в расчетах выкливы				Результат грунтового стока в море, к.м ³ /год
			глубина до донной породы, м	ширина в м	площадь залуживания водосового горизонта, кв. км	коэффициент фильтрации, м/сут	
Междуречье Урал—Волга	300	1—3	3,5	1 050 000	0,0001	0,00002
			3—5	5,0	1 300 000	0,0001	0,00016
			10—20	6,0	1 800 000	0,0001	0,00005
Дельта Волги Σ	263	0—5	6,0	1 758 000	0,0001	0,00020
			2—18	8,0	2 344 000	0,0001	0,00026
			17—23	6,0	1 758 000	0,0001	0,00064
От Волги до Кумы Σ	150	5—10	1,5	225 000	0,00012	0,00110
			4—17	1,7	255 000	0,00012	0,00034
			20—27	23,0	3 450 000	0,00012	0,00005
Σ						0,00014	
От Кумы до г. Махачкалы	278						
От г. Махачкалы до р. Самура	158						
От Самура до Дивичаи	113						
От Дивичаи до г. Алаты	266						
От г. Алаты до г. Порт Ильяса	188						
От г. Порт Ильяса до Астрахани Σ	49						
						0,54596	
						0,09462	
						0,00053	
						0,00032	
						0,00017	
						0,00291	
						0,00340	

по С. А. Шагомну, в этом районе инфльтрация

данные отсутствуют о водоносности пород

по данным А. П. Петрова и Балинского филиала Волго-поводельный сток в море равен 17,31 м³/сек

территория безводна, кроме Апшеронского полуострова.

По данным И. С. Кузнецова сток с Апшерона равен 3 м³/сек

современные

отложения

новоязские

хвалынские

Продолжение табл. 13

Территория	Длина береговой линии, км	Название водоема	Проекты в расчетах				Условие выполнения проекта	Риски
			глубина залегания горизонта, м	количество горизонтов, шт	площадь разгрузки, тыс. га	улов водоема, т		
От Астрахани до м. Чапур	360	новобайрацкие	3-8	5	1 800 000	0,004	3,0	0,00079
		хвалынские	12-30	20	7 200 000	0,004	3,0	0,00154
		хайкорские	45	15	5 400 000	0,004	3,0	0,00285
От м. Чапур до Астрахани	293	хвалынско-хайкорские	5-60	40	11 720 000	0,0008	2,0	0,00508
		хвалынско-хайкорские	0-56	15	2 700 000	0,0008	2,0	0,00158
От 39 параллели до зал. Кара-Богат-Гол	488	акчагыл	0-60	сток принят равным нулю				
От зал. Кара-Богат-Гол до зал. Кочак	641	новобайрацкие	1-3,5	3	1 923 000	0,0008	0,64	0,00036
		хвалынские	3-15	6	3 846 000	0,0008	1,2	0,00135
От зал. Кочак до р. Ураля	750	новобайрацкие	0,5-4	3	2 250 000	0,0001	0,64	0,00005
		хвалынские	2-15	6	4 500 000	0,0001	1,2	0,00023
		хайкорские	3-20	11	8 250 000	0,0001	1,2	0,00036
Суммарный грузовой сток в Каспий								0,71271

Таблица 14
Характеристика водоносности артезианских бассейнов Каспийского моря

Артезианский бассейн	Водоносный горизонт в отложениях	Глубина залегания горизонта, H , м	Мощность горизонта, M , м	Коэффициент фильтрации, K_{ϕ} , м/сут	Сток в море, км ³ /год	
Северокаспийский	а) междуречье Эмба—Урал	апшеронский	20—50	5—10	0,1—0,35	
		акчагальский	40—50	5—10	—	
		меловые	50—200	20—60	0,576	
		апт-селоманский	500—1000	10—30	—	
		юрский	300—1000			
		пермский	1732—1736	4		
			2033—2035	2		
	б) междуречье Урал—Волга	бакинский	2127—2131	4		
			30—70	6—12	0,5—1,75	
		апшеронский	94—260	6—12	0,1—0,35	
		меловой	600—1000	10—30		
		юрский	1178—1228	50		
			1242—1250	18		
			1300—1303	3	дебит	
			1338—1340	2	2 л/сек	
	в) дельта Волги	бакинский	1471—1474	2		
			125	25—30	—	
		апшеронский	360—470	6—12	0,1—0,35	
акчагальский		532—600	5—10			
Терско-Кумский	меловой	884—904	20			
		974—1003	29			
	хвалынский	120—185	3—9,16	4,93—5,00		
	хазарский	190—242	4—6	0,76—0,9		
	бакинский	168—228	4—6	0,76—0,9		
		282—302	4—5	0,42		
		304—329	2—3	0,42		
		328—352	6—8	0,42		
		407—462	5—6	9,6—16,3		
	гюргянский	510	12	18,9—19,6		
Южнодагестанский	апшеронский	576—605	4—9	18,9—19,6		
	апшеронский	490—590	4—20	5,3		
	палеоген и неоген меловой	350—550	60—160			
разнообразны по водности родники в пустотах						
Прикуринский степь	а) Мильская степь	хазаро-хвалынский	40—80	—	0,09—3,0	
			70—141	—	1,0—2,0	
	бююнский		72—362	20—60	0,11—9,53	
			80—160	80	1,3	
	апшеронско-бакинский		200—240	40		
			93—182			
акчагальский	132—365		3—4,0			
	117—275	5—140	1,0			

Артезианский бассейн	Водонесущий горизонт и отложения	Глубина залегания горизонта, H , м	Мощность горизонта, M , м	Коэффициент фильтрации, K_{ϕ} , m/sec	Сток в море, $км^3/год$
б) Ширванский степь	хазаро-хвалынский	42—60	4—17	1—3 (0,26—7,09)	
		80—256		3,0	
	бахинский	200—355		4,24—7,69 (3—4)	
		280—390			
Приталышский	хазаро-хвалынский	90—100	10	3,0	0,3—0,4
	гюрженский	150—170	5	3,0	
Прикоетдагский	турон-детский, альб, апт и сенонан		2000—1000—2500		
	майм-неокомский				
Узюртский	конско-караганский	0—115			
	турон		166		
	сенонан, апт и альб		большая глинистость		
	неоком	1255—1730	1,5—6,0		
Майчишлак	апт	1139—1260	130		
	альб		425		
	многочислые	0—30	0,5—20		
	палеоген		1—2		
	эоценовый	70—80	8—34		
	сенонан	120—500			
	юра		4—25		
альб		220—270			

ствляется путем медленного векового перемещения напорных вод вверх через глинистую кровлю водонапорного горизонта. Все это указывает на то, что питание Каспия за счет артезианских вод этого бассейна не должно быть значительным.

Южнодагестанский бассейн занимает меньшую площадь и изучен далеко недостаточно. Имеются общие сведения о водообильности анисеронских отложений, ниже 550 м породы акчагыла и пента практически безводны.

Обширную площадь занимает Прикуришский артезианский бассейн. Здесь воды хвалынского-хазарского комплекса дренируются крупными реками, воды бакинско-мамынского комплекса и нижележащих отложений имеют направление движения в сторону моря. Мощность водоносных горизонтов этого комплекса достигает 40—80 м, с коэффициентами фильтрации около 3 m/sec .

Прилегающий с юга Приталышский артезианский бассейн изучен в гидрогеологическом отношении до глубины 180 м. Здесь встречено всего два водоносных горизонта с коэффициентами фильтрации около 3 m/sec . Гидрогеологические характеристики иранского артезианского бассейна совершенно неизвестны.

Прикопетадагский артезианский бассейн самый водообильный, занимает крупную депрессию мезозойского фундамента, выполненную мощной толщей меловых, палеоген-неогеновых и четвертичных отложений, суммарная мощность которых достигает 3—5 км. О. Я. Калугина (1962) отмечает обилие водоносных горизонтов, среди них наиболее богатые — малам-неокомский и ант-сеноманский водоносные комплексы, общей мощностью более 2000 м. Суммарная величина подземного потока этих горизонтов, движущегося в сторону Каспия, достигает 10—20 м³/сек. Разгрузка этих горизонтов в значительной степени происходит еще в пределах Западно-Туркменской низменности вдоль крупных тектонических разрывов, оставшаяся часть подземных вод поступает в Каспий по тектоническим трещинам и через грязевые вулканы. По самым заниженным оценкам, т. е. если предположить, что вся масса воды из этого комплекса поступает в море, это даст не более 0,3—0,4 км³/год, что не может существенно повлиять на баланс Каспийского моря.

Вопрос разгрузки основных водоносных горизонтов Устюрт-Мангышлакского артезианского бассейна изучался В. Г. Тихомировой. На Устюрте область питания — Карабаурский вал, со склонов которого в отложениях мела, палеогена и неогена происходит подземный сток и к северу, и к югу. На юге разгрузка водоносных горизонтов происходит, в частности, испарением в Саркымышской впадине. С северного Устюрта в сторону Каспийского моря могут разгружаться лишь небольшие артезианские бассейны, областью питания которых служит Южноэмбенское поднятие. На Мангышлаке в питание Каспия также могут участвовать второстепенные артезианские бассейны, областью питания которых является горный Мангышлак, и запасы вод, в которых, видимо, невелики. Гидрогеологические данные об артезианских водах Мангышлака не подтверждают высказывания Х. К. Уланова (1962) о значительном подземном стоке этого района.

Артезианские бассейны изучены недостаточно, несколько лучше других — Прикопетадагский, Прикаспийский и Терско-Кумский бассейны. Все артезианские бассейны отличаются не очень высокой водообильностью. В значительных по мощности толщах глин залегают небольшие прослойки песков, с небольшой водоотдачей из горизонтов. Разгрузка вод артезианских бассейнов может происходить по крупным тектоническим трещинам и разломам, а также, по С. Я. Шагояицу, путем фильтрации через кровлю глинистых отложений. Движение вод через глинистую кровлю может сохраняться до тех пор, пока сохраняется разность между напорным уровнем водоносного горизонта и уровнем моря, что возможно только в непосредственной близости к берегу моря, т. е. может охватывать лишь небольшие прибрежные площади моря.

Согласно новейшей тектонической схеме Каспийского моря и прилегающих районов суши А. А. Борисова и других (1962), крупные глубинные разломы идут от устья Волги на север Мертвый

Култук, от Аграханского полуострова, напротив устья р. Самур, через все ложе моря на Краснодарский залив. Небольшая зона разломов в ложе моря находится у береговой линии от зал. Кирова до Пехлеви.

Таким образом, по разломам могут разгружаться Прикаспийский, Приталицкий, Дагестанский и частично Терско-Кумский артезианские бассейны, обладающие не очень большими запасами подземных вод.

В дельте моря может частично разгружаться Приконетдагский артезианский бассейн по отдельным разломам и подводным грязевым вулканам, по его разгрузка, по расчетам О. Я. Калугиной (1962), не превысит $0,3 \text{ км}^3/\text{год}$, хотя он самый водообильный.

Произведенные исследования гидрогеологических условий артезианских бассейнов и путей их возможной разгрузки позволили принять величину артезианского стока в море не более $1 \text{ км}^3/\text{год}$.

Таким образом, сток подземных вод в Каспийское море принят постоянным и равным $2 \text{ км}^3/\text{год}$, или 5 мм , на его водное зеркало. Величина подземного стока может быть несколько уточнена при дальнейших гидрогеологических исследованиях, но все равно она окажется незначительной для балансовых расчетов.

АТМОСФЕРНЫЕ ОСАДКИ

Атмосферные осадки играют важную роль в водном балансе Каспийского моря. Их подсчитывали или как средневзвешенные, или по методу изогет.

Для определения величины осадков на поверхность Каспия за 1946—1965 гг. мы воспользовались методом связи Н. Г. Николаева и Б. Д. Зайкова осадков по изогетам за 1936—1945 гг. со средними осадками по станциям. Для большей точности с осадками по изогетам связывали средние осадки по данным ис 4, а 11 станций (Зеленга, Тюлений, Форт Шевченко, Махачкала, Низовая Привстань, Бекташ, Краснодарск, Зюд-Остов, Култук, Челекен, Астара), равномерно расположенных по берегам моря. Высокий коэффициент (0,96) свидетельствует о надежности использования этой связи, выражающейся формулой:

$$x_{\text{зюг}} = 0,58x_{\text{ст}} + 9 \text{ мм.}$$

По этой формуле определена средняя величина количества осадков, выпадающих за год на поверхность Каспия в 1946—1965 гг.

Ряд осадкомерных наблюдений за 1952—1965 гг. предварительно был приведен к более длительному ряду дождемерных наблюдений на основании одновременных дождемерных и осадкомерных наблюдений за 1951—1952 гг. на станциях. Полученные величины осадков за 1946—1965 гг. приведены к уменьшившейся площади моря.

Таблица 15

Расчет величины осадков на поверхность Каспийского моря по данным
II станций за 1946—1965 гг., мм

Год	1946	1947	1948	1949	1950	1951	1952
Среднеарифметические значения осадков	312	242	262	381	245	306	258
Осадки по изогетам	190	149	161	172	151	187	159
Осадки по изогетам, приведенные к площади моря за 1946—1961 гг.	186	146	158	168	148	183	156
Поправка на недоучет осадков, %	9,4	9,0	9,4	9,5	9,4	9,0	9,2
Принятые осадки на поверхность моря	203	159	173	184	162	199	170

Продолжение табл. 15

Год	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959
Среднеарифметические значения осадков	312	246	287	310	278	301	341
Осадки по изогетам	190	152	175	189	170	184	207
Осадки по изогетам, приведенные к площади моря за 1946—1961 гг.	186	149	171	185	166	180	203
Поправка на недоучет осадков, %	9,0	8,8	9,0	9,4	9,0	9,5	9,4
Принятые осадки на поверхность моря	203	162	186	202	181	197	222

Продолжение табл. 15

Год	1960	1961	1962	1963	1964	1965
Среднеарифметические значения осадков	252	290	271	376	289	293
Осадки по изогетам	155	177	166	227	148	176
Осадки по изогетам, приведенные к площади моря за 1946—1961 гг.	152	173	163	223	145	172
Поправка на недоучет осадков, %	9,0	9,0	8,1	8,3	7,7	7,9
Принятые осадки на поверхность моря	166	189	176	242	156	186

В последнее время как за рубежом, так и у нас установлено, что приборы занижают величину выпавших осадков на 10—15%.

Сравнения среднегодовых поправок на недоучет осадков, определенных по фактическим данным для станций Дербент, Астара, о. Артем и Кара-Богаз-Гол, с поправками, вычисленными по формуле В. С. Голубева (1962), позволили установить, что она применима для условий Каспийского моря.

Поправки на недоучет осадков, по Голубеву, вычислены по усредненной средней годовой скорости ветра по данным 11 станций, выше перечисленных, за 1921—1965 гг. Средняя за 1921—1965 гг. поправка на недоучет осадков равна 9,1%. Рассчитанная поправка введена в данные Б. Д. Зайкова за 1921—1946 гг. и автора за 1946—1965 гг.

Для периода с 1847 по 1920 г. принята постоянная поправка 9% без особой погрешности, ввиду того, что за 1921—1965 гг. процент недоучета изменялся мало по годам — от 7,7 до 10,1%, в основном порядка 9,0—9,5%.

Величина осадков на поверхность моря за все годы увеличилась за счет поправки на недоучет осадков на 15—20 мм.

Результаты подсчетов величины осадков на поверхность Каспия представлены в табл. 15. За 119 лет величина осадков на поверхность Каспия за периоды разной продолжительности изменялась в пределах 185—192 мм.

Наиболее точным для подсчета величины осадков на поверхность Каспия может быть радиолокационный метод, находящийся в стадии разработки (Димаксия и др., 1962).

ИСПАРЕНИЕ С ПОВЕРХНОСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Испарение с поверхности моря — важнейшая статья расхода водного баланса Каспия. Определение величины испарения достигло большого числа работ и для получения этой величины использовались различные методы.

Б. Д. Зайков (1960) приводит сделанные им расчеты испарения с поверхности моря по разным методам и формулам и находит, что расхождения в величинах испарения с поверхности Каспия достигают —17, +19%. Он считает, что более точно можно получить величину испарения методом водного баланса, и принимал величину испарения по методу водного баланса как эталон.

Для Каспийского моря расчет величины испарения с его поверхности методом водного баланса наиболее надежен при достаточно точном определении других элементов водного баланса. Кроме того, методом водного баланса можно найти величину гидрологического испарения, включающую в себя физическое и механическое испарение, не учитываемое при расчете методом теплового баланса и при расчетах по формулам.

В связи с тем что составляющие водного баланса все более уточняются, величина испарения с поверхности Каспия может быть более точной, особенно за последние 30 лет. Для расчета величины испарения с поверхности моря принят метод водного баланса.

Расчет годовой величины испарения с водной поверхности Каспия проведен по уточненному уравнению водного баланса.

Полученные результаты определения величины испарения методом водного баланса за 1847—1965 гг. приведены в табл. 16.

Испарение за 1878—1935 гг. уточнено путем введения поправки на поверхностный сток ($-7 \text{ км}^3/\text{год}$, или 18 мм), на подземный сток ($-3,5 \text{ км}^3/\text{год}$, или 9 мм), на атмосферные осадки (9—10%) и некоторые другие. За 1847—1877 и 1953—1965 гг. величина испарения рассчитана впервые.

Величина испарения за периоды разной продолжительности колебалась в пределах 960—980 мм. За «норму» принята величина испарения за 1878—1965 гг. С 1929 г. эта величина становится выше нормы.

За последние 20 лет величина испарения выше нормы на 20 мм и мало изменяется за отдельные годы, что говорит о некотором потеплении климата.

Была сделана попытка рассчитать величину испарения с поверхности Каспия для проверки по данным испарителей и формуле Аполлова и Ремизовой. Были рассмотрены результаты непосредственных наблюдений за испарением при помощи испарителей. Однако, проанализировав материалы наблюдений по испарителям на островах Тюлений, Пешной, Артем, в Дербенте, Кара-Богаз-Голе и Астаре, пришли к выводу о невозможности использования этих данных для определения годовой и многолетней величины испарения. Различия в размерах испарителей, несоизмеримость их площадей с площадью Каспия, неравномерность и малая продолжительность наблюдений — все это делает результаты этих наблюдений малонадежными для наших целей.

Была сделана попытка рассчитать величину испарения по формуле Аполлова и Ремизовой (1960), учитывающей и механическое испарение, по данным 23 береговых и островных станций. Разница в величинах, полученных по данным островных и береговых станций, достигает 400—800 мм, что, очевидно, говорит о невозможности использования данных береговых станций для расчета величины испарения с поверхности Каспия по формулам. Такие расчеты, следовательно, можно производить лишь по данным островных и судовых станций, однако островных станций на Каспии, как уже указывалось, немного и они распределены неравномерно по площади моря. Судовые наблюдения немногочисленны и также не дают полного представления об испарении со всей площади моря. Отсутствие результатов наблюдений за скоростью ветра и влажностью воздуха открытой части моря не позволило рассчитать величину испарения по формуле Аполлова и Ремизовой. Неточности в исходных данных, разная высота наблюдений, отсутствие данных по открытой части Каспийского моря делают подсчет испарения с его поверхности приближенным по любой формуле.

Таким образом, сопоставить полученную по методу водного баланса величину испарения с рассчитанной по другому методу не удалось.

Сток морских вод в Кара-Богаз-Гол — постоянно действующий фактор, существенно влияющий на водный баланс, так как в результате его имеет место необратимое изъятие воды из моря.

Сток за 1946—1965 гг. подсчитан по данным гидрометрических наблюдений в проливе. За 1878—1945 гг. использованы данные по стоку в проливе Б. Д. Зайкова (1946), а за 1847—1877 гг. сток был восстановлен по зависимости между стоком в залив, уровнем моря и речным стоком, выведенной Б. Д. Зайковым.

За 119 лет сток в Кара-Богаз-Гол изменился от 39,5 до 6,0 км³/год. В среднем за 1878—1965 гг. в залив поступало 19,5 км³/год, а за 1935—1965 гг. — 10,0 км³/год. Таким образом, за последние 30 лет сток в залив сократился вдвое, в связи со значительным понижением уровня моря.

Влияние осадконакопления на объем котловины и на уровень Каспийского моря. Как известно, в Каспийское море ежегодно поступает большое количество разнообразного осадочного материала, который, отлагаясь на дне, влияет на изменение объема котловины и, следовательно, на положение уровня моря. Наиболее существенным является аллювиальный и золовый принос. По подсчетам Б. А. Аполлова (1927) и автора, влияние различных факторов заносимости котловины может быть оценено цифрами такого порядка:

аллювиальный материал взвешенный	+0,42 км
аллювиальный материал мелкозернистый (ориентировочно 5% от взвешенного)	+0,02
осаждение из раствора	+0,016
образия	+0,01
выносы из моря при нагонах	-0,01
золовый материал	+0,200
<hr/>	
Итого в год	0,80

За период 1830—1965 гг. это должно составить слой осадков толщиной 13,8 см, а за 1878—1965 гг. — 9,9 см. Отсюда следует, что заносимостью котловины при подсчетах водного баланса за много лет пренебрегать нельзя.

Забор воды из Каспийского моря. В результате хозяйственной деятельности для нужд рыбного хозяйства, нефтяной промышленности, электростанций, предприятий обрабатывающей промышленности и других целей из Каспийского моря изымается примерно 0,8 км³ воды в год. При расчете водного баланса за много лет эта величина должна также учитываться.

Колебания запасов воды в Каспийском море. При расчетах баланса воды в Каспийском море важное значение имеет наиболее точное определение изменений запасов воды моря. При расчетах многолетнего водного баланса Каспийского моря некоторые авторы (С. А. Ковалевский, А. И. Михалевский, Л. Ф. Рудовиц, Н. М. Кирикович, Г. Р. Брегман и др.) не учитывали изменения запасов воды, хотя они имели место.

Автором приводится обоснование расчета приращений уровня моря по данным четырех водноствов: Форт Шенченко, Махачкала, Баку и Красноводск (1966).

Приращения уровня Каспийского моря за 1847—1899 гг. были рассчитаны по уточненным Институтом океанологии (1956) данным наблюдений Бакинского водноства. За 1890—1921 гг. использованы данные Б. Д. Зайкова по наблюдениям за уровнем моря в г. Баку. За 1922—1965 гг. приращения уровня моря подсчитаны более точно по данным четырех водомерных постов: Форт Шенченко, Махачкала, Баку и Красноводск. Расхождения в приращениях уровня, по данным автора и Б. Д. Зайкова, за 1922—1945 гг. достигали 4—6 см, но чаще не превышали 2 см. За 1878—1889 гг. расхождения более значительны, так как Зайковым принят постоянный уровень моря.

С 1847 по 1965 г. уровень Каспия упал на 3,03 м, или на 24 мм/год. Падение уровня за 1847—1928 гг. составило всего 56 см, т. е. 6 мм/год в среднем, а за 1929—1965 гг. уровень моря упал на 247 см, или 67 мм/год.

Наибольшее повышение уровня наблюдалось в 1867 г. и было равно +54 см, наибольшее понижение уровня—44 см было в 1910 г.

Исследования приращений уровня Каспийского моря за 119 лет показали, что уровень моря постоянно изменяется, находясь в равновесии не больше года. Поэтому необходимо учитывать приращение уровня моря при расчетах водного баланса за период любой продолжительности.

Морфометрия Каспийского моря. На основании данных Д. М. Кудряцкого, уточненных Б. А. Аполловым (1956), были рассчитаны автором (1964) площади водного зеркала Каспийского моря за 1878—1965 гг. в зависимости от среднегодового уровня у Баку, приводимые в табл. 16.

Расчет водного баланса Каспийского моря. Для расчетов водного баланса Каспия применялась общая формула (Зайков, 1946)

$$Q + q + xF = zF + S \pm \Delta HF.$$

Довольно часто авторами (А. И. Михалевский, А. И. Воейков и др.) применялась упрощенная формула баланса: $Q + x = z$. Недоучет изменений уровня и створа в залив вызывал большие неточности при расчетах водного баланса.

В результате анализа составляющих водного баланса и их уточнения было предложено уточненное общее уравнение водного баланса Каспийского моря:

$$(Q - \Delta Q) + (q_r + q_a) + (x + \Delta x)F + (H_p + H_s) = (zF + \Delta zF) + S + Z_x + (\Delta H - \Delta h\delta)F,$$

где H_a и H_p — оловая и речная запосимость моря; zF и ΔzF — испарение с поверхности моря и с поверхности суши, заливаемой при нагонах; Z_x — забор воды из моря на хозяйственные нужды; ΔH и $\Delta h\delta$ — наблюдаемые и плотностные изменения уровня.

Общее уточненное уравнение водного баланса Каспийского моря при расчетах за периоды меньше года, год и многолетние будет иметь разный вид.

Так, забор воды из моря и заносимость моря учтены только за многолетние периоды значительной продолжительности, а плотностные изменения уровня — при расчетах водного баланса по месяцам и сезонам.

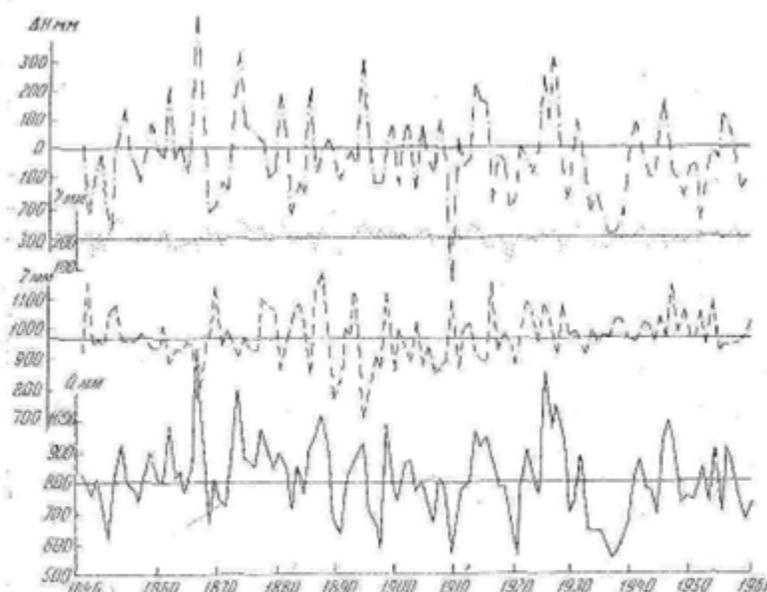


Рис. 25. Ход элементов водного баланса Каспийского моря (1846—1961 гг.): ΔH — изменение уровня (мм); x — осадки (мм); z — испарение (мм); Q — речной сток, распределенный по площади моря (мм)

По уточненному уравнению был подсчитан водный баланс Каспийского моря за 119 лет (1847—1965 гг.), причем водный баланс Каспия за 1847—1877 и 1953—1965 гг. подсчитывался впервые.

В табл. 16 приведен водный баланс Каспийского моря по годам за 119 лет — с 1847 по 1965 г., рассчитанный по уравнению

$$(Q - \Delta Q) + (q_r + q_d) + (x + \Delta x)F = zF + S \pm \Delta HF.$$

За 1847—1877 гг. водный баланс Каспия рассчитан приближенно, несколько точнее за 1878—1952 гг. (рис. 25) и точно рассчитан за 1953—1965 гг. Расчет элементов водного баланса за отдельные

Таблица 16

Возный баланс Каспийского моря за 1847—1965 гг., млн

Год	Площадь моря, км ²	Элементы прихода			Элементы расхода			Притоки и оттоки на море	
		осадки на поверхности моря	сумчатый сток рек в море	подземный приток	итого	испарение с поверхности моря	сток в заливы Кора-Возра-Гол		итого
1847	412 240	173	834	5	1012	902	90	902	20
1848	408 440	216	802	5	1023	1139	84	1223	-200
1849	404 680	125	756	5	886	887	89	966	-80
1850	403 560	236	810	5	1021	960	71	1031	-10
1851	402 760	186	685	5	846	850	66	1016	-170
1852	400 910	221	607	5	833	1052	51	1103	-270
1853	399 470	255	841	5	1101	1021	50	1071	-30
1854	400 640	232	927	5	1164	961	65	1024	140
1855	401 000	194	795	5	994	966	58	1024	-30
1856	400 820	186	779	5	970	963	57	1020	-50
1857	399 530	193	732	5	930	980	51	1040	-110
1858	399 740	180	810	5	995	951	54	1005	-10
1859	400 640	198	856	5	1099	937	62	999	100
1860	400 280	170	810	5	985	941	54	995	-10
1861	400 190	232	795	5	1032	1009	53	1062	-30
1862	400 910	169	990	5	1164	879	65	944	220
1863	401 320	164	802	5	971	928	63	991	-20
1864	401 240	175	834	5	1014	930	64	994	-80
1865	400 910	175	796	5	936	960	56	1016	-50
1866	401 400	195	857	5	1057	943	64	1007	540
1867	403 560	160	1239	5	1404	770	94	864	100
1868	413 920	239	856	5	1140	947	93	1040	-210
1869	415 320	198	654	5	857	984	83	1067	-200
1870	408 920	218	802	5	1025	1145	80	1225	-100
1871	403 260	164	740	5	909	936	73	1009	-130
1872	402 120	202	717	5	924	991	63	1054	100
1873	402 280	226	896	5	1127	956	71	1027	-100
1874	405 800	247	1063	5	1335	902	93	995	340
1875	412 240	247	875	5	1127	965	92	1057	70

Год	Площадь моря, км²	Земляги прихода				Земляги расхода			Получено или утрачено в море
		создана на возделанности моря	суммарный сток рек в море	подземный сток	итого	испарение с поверхности моря	сток в залива Кара-Богаз-Гоз	итого	
1876	411 680	213	865	5	1083	931	92	1023	60
1877	414 760	219	849	5	1073	938	95	1033	40
1878	414 750	228	980	5	1213	1101	92	1193	93
1879	414 250	171	890	5	1065	1075	81	1156	90
1880	412 000	226	841	5	1072	1070	72	1142	70
1881	415 500	240	891	5	1136	886	90	946	190
1882	417 000	208	839	5	1052	941	91	1032	20
1883	415 250	174	702	5	881	1024	77	1101	220
1884	410 250	195	853	5	1053	1088	75	1163	110
1885	405 500	172	762	5	939	1024	65	1089	150
1886	406 500	212	899	5	1116	841	65	906	210
1887	406 250	158	946	5	1109	1114	75	1189	80
1888	406 750	220	1015	5	1240	1178	72	1250	10
1889	405 750	177	918	5	1100	995	74	1070	30
1890	409 250	148	670	5	823	753	70	823	0
1891	405 250	149	622	5	776	825	61	886	110
1892	404 000	196	815	5	1016	999	67	1066	50
1893	403 250	184	860	5	1049	981	68	1049	0
1894	402 840	206	896	5	1110	1104	66	1170	60
1895	405 000	235	934	5	1174	790	74	864	310
1896	410 250	219	699	5	923	778	75	853	70
1897	409 250	193	656	5	864	913	71	984	130
1898	406 750	214	577	5	796	854	62	916	130
1899	406 250	189	989	5	1183	1103	80	1183	0
1900	405 250	210	780	5	1004	832	72	924	80
1901	404 000	202	791	5	928	992	66	1058	130
1902	402 500	204	845	5	1064	938	66	1004	50
1903	404 500	172	861	5	1038	885	73	958	80
1904	403 800	182	757	5	944	1017	67	1084	140
1905	402 680	208	798	5	1011	865	65	931	80

Продолжение табл. 16

Год	Площадь земл. кл. ¹	Элементы прихода				Элементы расхода			Прогноз для годов- ля, кол-во
		осадки на поверхности в мм	суточный сток рек в мм	подземный сток	итого	испарение с поверхности земли	сток в море Ката-Бора-Гоа	итого	
1906	403 250	523 218	423 735	574 5	1000 958	943 65	1008	50	
1907	402 680	523 171	423 649	574 5	1000 825	846 59	905	80	
1908	402 680	523 216	423 810	574 5	1000 1031	865 66	931	100	
1909	403 250	523 170	423 781	574 5	997 956	900 66	966	10	
1910	401 640	523 142	423 553	574 5	997 700	1092 48	1140	40	
1911	399 470	523 237	423 690	574 5	1000 932	851 41	892	40	
1912	399 560	523 185	423 781	574 5	997 971	987 44	1031	60	
1913	398 570	523 218	423 795	574 5	997 1018	1017 41	1058	40	
1914	399 380	523 234	423 963	574 5	1000 1202	930 52	962	250	
1915	401 180	523 206	423 911	574 5	997 1122	901 61	962	160	
1916	402 000	523 150	423 945	574 5	997 1109	889 70	959	150	
1917	402 460	523 152	423 862	574 5	997 1019	1142 67	1209	190	
1918	401 000	523 167	423 786	574 5	997 958	921 57	978	20	
1919	400 820	523 186	423 788	574 5	997 979	974 55	1029	30	
1920	399 650	523 119	423 662	574 5	997 786	942 44	986	20	
1921	398 890	523 171	423 537	574 5	997 713	870 33	903	190	
1922	397 490	523 205	423 813	574 5	1000 1023	986 37	1023	0	
1923	396 950	523 169	423 901	574 5	1000 1075	1079 36	1115	40	
1924	396 950	523 197	423 803	574 5	1000 1035	1060 35	1095	90	
1925	395 960	523 189	423 756	574 5	997 950	948 32	980	30	
1926	396 770	523 206	423 1141	574 5	1000 1352	1072 40	1112	240	
1927	398 480	523 204	423 957	574 5	1000 1166	1032 44	1076	80	
1928	400 100	523 214	423 1044	574 5	1000 1263	903 60	963	300	
1929	401 640	523 164	423 931	574 5	1000 1090	1066 64	1130	40	
1930	400 550	523 170	423 679	574 5	997 854	973 51	1024	170	
1931	399 380	523 233	423 736	574 5	997 974	992 42	1034	60	
1932	400 190	523 226	423 881	574 5	1000 1112	959 53	1012	100	
1933	399 920	523 207	423 637	574 5	997 849	903 46	949	100	
1934	397 940	523 156	423 634	574 5	997 797	984 33	1017	220	
1935	396 230	523 179	423 631	574 5	997 815	946 29	975	160	

Продолжение табл. 16

Год	Площадь мощ. кв	Зачеты прихода			Зачеты расхода			Притоки или убытки из него
		осади на поверхности недра	субсидный сток рек в море	подземный приток	исполнение с пометками за год	сток в море Кам-Волга-Гон	итого	
1936	364 340	175	586	5	766	27	1006	-240
1937	362 860	156	541	5	702	24	926	-200
1938	367 710	190	559	5	754	22	1044	-290
1939	362 940	184	596	5	785	16	1045	-260
1940	379 440	205	654	5	865	17	995	-130
1941	377 950	187	806	5	998	18	978	20
1942	380 230	206	867	5	1078	25	988	60
1943	380 710	227	774	5	1006	29	1046	40
1944	380 280	164	763	5	932	28	1032	100
1945	377 370	187	680	5	872	27	972	100
1946	378 480	203	917	5	1125	27	1065	80
1947	380 080	159	998	5	1162	34	992	170
1948	381 030	173	904	5	1082	40	1182	100
1949	379 760	184	714	5	903	38	1013	110
1950	376 900	162	743	5	910	34	1080	170
1951	374 760	189	730	5	934	32	1004	70
1952	374 570	170	766	5	941	33	1001	60
1953	373 240	203	813	5	1051	29	1076	95
1954	372 660	182	701	5	868	25	958	90
1955	371 710	185	903	5	1094	23	1106	12
1956	370 940	202	683	5	890	22	950	40
1957	372 470	181	903	5	1089	23	977	112
1958	375 150	197	842	5	1044	27	959	75
1959	375 910	222	729	5	956	28	976	20
1960	374 760	166	671	5	842	27	967	145
1961	371 520	189	722	5	916	25	1011	120
1962	369 700	176	761	5	942	23	1036	116
1963	371 520	242	858	5	1135	24	961	174
1964	372 850	156	746	5	907	28	931	24
1965	372 100	186	718	5	909	25	874	58

годы с 1847 г. позволяет оценить многолетний водный баланс Каспийского моря за периоды разной продолжительности.

В табл. 17 приводится многолетний водный баланс Каспия за 88 лет с 1878 по 1965 г., когда велись наблюдения за всеми элементами водного баланса.

Средние многолетние величины составляющих этого баланса приняты за «норму» ввиду продолжительного (88 лет) ряда наблюдений за всеми элементами баланса.

Таблица 17

Водный баланс Каспийского моря за 1878—1965 гг.
(площадь поверхности моря 394 680 км²)

Элементы притока	мм	км ³	Элементы расхода	мм	км ³
Осадки	190	75,0	Испарение	971	384,1
Поверхностный приток	790	313,2	Сток из моря в залив	49	19,5
Подземный приток	5	2	Забор воды из моря	2	0,8
Заносимость ложа моря	1	0,4	Расход	1022	404,4
Приток	986	390,6	Приращение уровня моря	-34	-13,2
Итого	986	390,6	Невязка	2	0,6
			Итого	986	390,6

Таблица 18

Водный баланс Каспийского моря за 1847—1965 гг.
(площадь поверхности моря 397 190 км²)

Элементы притока	мм	км ³	Элементы расхода	мм	км ³
Осадки	192	76,5	Испарение	968	385,1
Поверхностный приток	801	319,0	Сток из моря в залив	54	21,9
Подземный приток	5	2,0	Забор воды из моря	2	0,8
Заносимость ложа моря	1	0,4	Расход	1024	404,4
Приток	999	397,9	Приращение уровня моря	-24	-9,4
Итого	999	397,9	Невязка	1	0,5
			Итого	999	397,9

В табл. 18 приводится многолетний водный баланс Каспия за 119 лет с 1847 по 1965 г.

Средние величины осадков и испарения за 119 лет отличаются от средних их значений за 88 лет незначительно, на 2—3 мм. Сток из моря в залив увеличился на 5 мм и поверхностный приток увеличился на 11 мм, уменьшив приращения уровня на 10 мм в связи с тем, что за 119 лет приходится всего 37 лет продолжительного падения уровня моря. Даже за 119 лет баланс моря отрицательный.

В табл. 19 приведен водный баланс Каспийского моря за 1847—1877 гг., который был рассчитан впервые и приближенно лишь по данным об изменении уровня по водности Баку.

Таблица 19

Водный баланс Каспийского моря за 1847—1877 гг.
(площадь поверхности моря 404 320 км²)

Элементы прихода			Элементы расхода		
	мм	км ³		мм	км ³
Осадки	198	80,1	Испарение	961	388,6
Поверхностный приток	830	335,6	Сток из моря в залив	70	28,3
Подземный приток	5	2,0	Расход	1031	416,9
Заносимость ложа моря	1	0,4	Приращение уровня моря	4	1,6
Приход	1034	418,1	Невязка	1	0,4
Итого	1034	418,1	Итого	1034	418,1

Многолетний водный баланс Каспия за 1847—1877 гг. интересен тем, что за 31 год приход преобладал над расходом и наблюдались в основном положительные приращения уровня.

Положительный баланс обусловлен поверхностным притоком выше нормы на 40 мм при несколько повышенных осадках (8 мм) и пониженном испарении с поверхности моря (10 мм).

Таблица 20

Водный баланс Каспийского моря за 1946—1965 гг.
(площадь поверхности моря 374 510 км²)

Элементы прихода			Элементы расхода		
	мм	км ³		мм	км ³
Осадки	186	69,8	Испарение	981	367,6
Поверхностный приток	794	297,4	Сток из моря в залив	28	10,6
Подземный приток	5	2,0	Забор воды из моря	2	0,8
Заносимость моря	1	0,4	Расход	1011	379,0
Приход	986	369,6	Приращение уровня моря	-24	-8,9
Итого	986	369,6	Невязка	1	0,5
			Итого	986	369,6

Расчеты водного баланса по годам и в среднем с 1847 по 1877 г. показали, что, несмотря на приближенность подсчета составляющих водного баланса, невязка незначительна. Это указывает на тесную связь стока рек и приращений уровня моря, по которым поверхностный приток восстановлен, т. е. на преобладающее влияние стока рек на изменение уровня моря.

За последние 20 лет (1946—1965 гг.) уровень моря упал на 48 см, причем с 1946 по 1962 г. уровень упал на 66 см. Положительные приращения уровня в 1963 и 1965 гг. несколько уменьшили падение уровня.

За 20 лет падение уровня за счет разности осадков и испарения составило 15,90 м, за счет стока в залив — еще на 56 см. Поверхностный приток поднял уровень моря за этот период на 15,88 м,

т. е. не смог компенсировать испарение, величина которого была выше нормы.

В табл. 21 приведен водный баланс моря за весь период значительного падения уровня с 1929 по 1965 г.

За 1929—1965 гг. уровень моря упал на 2,5 м, что также объясняется недостатком поверхностного притока (на 40 мм ниже нормы) по отношению к испаряющей способности моря. Так, в результате испарения за 37 лет уровень моря упал на 36,3 м, а благодаря поверхностному притоку и осадкам на поверхность моря поднялся на 34,7 м.

Таблица 21

Водный баланс Каспийского моря за 1929—1965 гг.
(площадь поверхности моря 381 410 км²)

Элементы притока			Элементы расхода		
	мм	км ³		мм	км ³
Осадки	187	71,6	Испарение	981	374,5
Поверхностный приток	752	286,7	Сток в заливы	30	11,6
Подземный приток	5	2,0	Забор воды из моря	2	0,8
Заносимость моря	1	0,4	Расход	1013	361,1
Приход	945	360,8	Приращение уровня моря	-67	-25,8
			Певаяка	1	0,3
Итого	945	360,8	Итого	945	360,8

В итоге подсчетов водного баланса моря как по годам, так и за отдельные периоды разной продолжительности установили, что основные элементы баланса, влияющие на изменения его уровня, — это осадки на зеркало моря, поверхностный приток реками и испарение с поверхности моря, и что в настоящее время геологические причины не влияют на изменения уровня.

Изменением величин составляющих водного баланса можно полностью объяснить изменения уровня как за год, так и за более длительное время. Все, что в году приносится реками и осадками в море, почти полностью испаряется.

Таким образом, расчеты водного баланса Каспийского моря объясняют причины понижения уровня моря как за год, так и за период любой продолжительности.

Изменчивость элементов водного баланса и их влияние на колебания уровня моря. В настоящее время имеется водный баланс Каспия по годам за 119 лет (1847—1965 гг.). Столь длительный ряд составляющих водного баланса позволяет судить об их изменчивости и влиянии на колебания уровня моря. Элементы водного баланса изменяются от года к году.

Изменчивость величины осадков из года в год — в пределах 100 мм, а средняя многолетняя — 10 мм, что не влияет существенно на уровень моря.

Величина испарения от года к году меняется более значительно, но в основном не более чем на 200 мм, а за многолетие не более чем

на 20 мм. Наибольшую изменчивость величина испарения испытала с 1880 по 1920 г. Примерно с 1920 г. величина испарения по годам близка к средней за 119 лет (970 мм) и значительно выше нормы за последние 30 лет, но изменяется в основном от года к году не более чем на 100 мм.

Из года в год в результате испарения с поверхности моря уровень понижается на 0,97—0,98 м. Понижение уровня моря, таким образом, компенсируется в среднем на 0,18—0,19 м приходом атмосферных осадков.

Изменчивость стока рек в Каспийское море наиболее значительна из всех элементов водного баланса. Величина поверхностного притока от года к году изменяется в широких пределах, от 500 до 1100 мм. Если проследить изменчивость приращений уровня и стока всех рек, и в частности Волги, то можно видеть хорошее соответствие их хода. Из рис. 25 видно, что изменчивость стока всех рек, обуславливает значительную изменчивость приращений уровня.

Падение уровня моря происходит, если величина поверхностного стока не компенсирует в среднем многолетнем разрезе ежегодное падение уровня на 0,80 м ($z-x$). Примерно до 1930 г. наблюдалось хорошее соответствие изменения среднегодового уровня моря по Баку со среднегодовым изменением поверхностного притока и стока Волги. Так, до 1878 г. баланс моря был положительным в результате ежегодного увеличения уровня на 0,3 м (приток 0,83 м). За 1878—1928 гг. сток рек в среднем был равен 818 мм, т. е. несколько повышал уровень моря. Значительное падение уровня моря в 1933—1940 гг. было обусловлено значительным недостатком стока (0,6 м) до 0,80 м. За 1933—1940 гг. ежегодно на 20 см в течение восьми лет расходовались основные запасы воды моря из-за очень низкого поверхностного притока реками. В дальнейшем с 1940 по 1962 г. происходило ежегодное падение уровня моря из-за постоянного расхода воды на испарение (0,98 м), а компенсация поверхностным притоком происходила на 0,75 м и осадками на 0,18 м.

Самое значительное годовое падение уровня моря за 119 лет было в 1910 г. — на 44 см, из-за очень низкого поверхностного притока — 0,55 м (на 240 мм ниже нормы) при осадках ниже нормы — 0,14 м и высоком испарении — 1,09 м.

В 1926 г. наблюдался максимальный за 1878—1965 гг. поверхностный приток, больше нормы на 350 мм, обусловивший большое положительное приращение уровня, хотя испарение было таким же, как и в 1910 г.

Таким образом, изменчивость уровня Каспийского моря особенно зависит от изменчивости поверхностного притока всех рек и Волги. Отклонения величины осадков и испарения от средних многолетних несколько увеличивают или уменьшают амплитуду изменения уровня.

Итак, исследования водного баланса Каспийского моря за 119 лет показали, что основная причина падения уровня моря — недостаток поверхностного притока, главным образом Волги, но

отношению к довольно постоянной и высокой величине испарения с поверхности моря.

Исследования водного баланса Каспийского моря за 119 лет подтвердили выводы Ю. М. Шокальского, П. С. Кузина, Б. А. Аполлова и Б. Д. Зайкова о преобладающем влиянии недостатка стока рек на изменения уровня моря.

Результаты этих исследований не подтвердили вывод М. И. Будыко и М. И. Юдина и полностью согласуются с выводами О. А. Дроздова, Т. В. Покровской и А. В. Шинтникова относительно непосредственной связи колебаний уровня Каспийского моря с колебаниями климата и общей увлажненности огромной территории его бассейна.

Будущий водный баланс Каспийского моря.

Определение водного баланса Каспийского моря за 119 лет дает возможность рассчитать водный баланс на будущее, до 1976 г. Результаты этого расчета приведены в табл. 22.

Таблица 22
Будущий водный баланс Каспийского моря на 1966—1976 гг.
(площадь поверхности моря 360 930 км²)

Приход	Приход		Расход	Расход	
	мл	км ³		мл	км ³
Осадки	185	66,8	Испарение	990	357,3
Поверхностный приток	738	266,4	Сток из моря в залив	11	4,0
Подземный приток	5	2,0	Забор воды из моря	2	1,0
Заливность моря	1	0,4	Расход	1003	362,3
Приход	929	335,6	Приращение уровня моря	-74	-26,7
Итого	929	335,6	Итого	929	335,6

Расчет прогнозного баланса был выполнен по методике Б. А. Аполлова и С. С. Ремизовой (1964). По этому расчету, уровень Каспийского моря к 1976 г. понизится еще на 1,11 м, в том числе за счет климатических факторов на 0,56 м и за счет хозяйственной деятельности на 0,55 м. При этом учитывалась переброска вод Печоры и Вычегды в Каспий с 1972 г.

При расчете водного баланса на 1966—1976 гг. мы приняли, что величины испарения и количество осадков не изменятся существенно, о чем можно судить по тому, что за предшествующие 12—15 лет эти составляющие не испытали заметных изменений. В расчет включен также сток морских вод в Кара-Богаз-Гол, несмотря на то, что при падении уровня на 1 м этот сток должен прекратиться; так как химическая промышленность Кара-Богаз-Гола не сможет без него обойтись, то будут приняты меры к тому, чтобы поддерживать сток в залив в объеме не менее 4—5 км³/год.

Из расчета следует, что надо ожидать дальнейшего сокращения речного стока до 266,4 км³, что связывается со все возрастающим забором воды из рек. Ежегодный дефицит баланса на рассчитываемый период составляет 26,4 км³.