

СОСТОЯНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Северный Каспий является частью Каспийского моря, отделенной от остальной акватории условной границей, проходящей по прямой линии, соединяющей остров Чечень и мыс Тюб-Караган. Протяженность Северного Каспия с востока на запад в полтора раза больше (≈ 530 км), чем с севера на юг (≈ 350 км). Наибольшую протяженность Северный Каспий имеет вдоль своей главной оси, следующей в направлении с северо-востока на юго-запад (≈ 570 км). Вдоль линии, перпендикулярной главной оси, протяженность Северного Каспия значительно меньше (≈ 230 км). Северный Каспий в свою очередь делят на две части: восточную и западную, граница между которыми проходит по линии, соединяющей остров Кулалы с островом Новинским.

Северный Каспий - самая мелководная часть Каспийского моря, обладающая к тому же пологими берегами. На восточном побережье имеется несколько впадин (Кайдак, Мертвый Култук, Комсомолец), заполняемых водой при повышении уровня моря. Поэтому средняя глубина Северного Каспия и площадь его акватории существенно зависят от колебаний уровня, размах которых в двадцатом столетии составил 3 метра. При уровне моря $-28,0$ м БС средняя глубина Северного Каспия равна $4,5$ м, площадь акватории – 90 тыс. км², а объем вод – 397 км³. При уровне моря $-27,0$ м БС, близком к современному, площадь Северного Каспия составляет 105 тыс. км², а объем вод – 442 км³ (Каспийское море, 1986)

По сравнению со Средним и Южным Каспием берега Северного Каспия сильно изрезаны. Наиболее крупными заливами являются Кизлярский (в западной части) и Мангышлакский (в восточной части). Крупные полуострова (Мангышлак и Бузачи) находятся на восточном побережье. По одному крупному острову имеется в восточной (о. Кулалы) и в западной (о. Тюлений) частях моря. Наиболее сильно изрезаны берега в дельтах рек Волги, Урала и Терека, где очертания берега и островов подвержены сильной изменчивости в зависимости от колебаний уровня моря. Многие из современных островов сто лет назад при более высоком стоянии уровня моря были банками, о чем говорят их названия (например, остров Чистая Банка).

На очертания берегов и островов в дельтах рек помимо природных условий (стока воды и наносов, уровня моря, водной растительности) оказывает влияние хозяйственная деятельность человека. В качестве примера можно указать на строительство 3 судоходных и 25 рыбоходных каналов, надводные бровки которых являются одним из элементов рельефа отмелой части взморья р. Волги. Важным фактором явилось уменьшение стока наносов, обусловленное строительством плотин и водохранилищ на реках, впадающих в Северный Каспий. В частности, годовой сток наносов р. Волги уменьшился с 13 (1951-1955 гг.) до $7,4$ (1961-1993 гг.) млн. тонн (Устьевая область, 1998). Следует отметить, что в 1977 году сток р. Терек был направлен из Северного в Средний Каспий через прорезь в Аграханском полуострове, а с ним в море ежегодно поступало в среднем (1966-1981 гг.) около 7 млн. тонн наносов.

Подводный рельеф восточной части Северного Каспия достаточно однообразен. Здесь единственной ярко выраженной его формой является расположенная в центральном районе Уральская бороздина с глубинами до 10 метров (рис. 5.1). Во все стороны от нее глубины постепенно уменьшаются, в том числе по направлению к Кулалинскому порогу. К востоку и юго-востоку от Уральской бороздины между нею и берегом, параллельно последнему, проходят подводные гряды, вершины которых выступают из-под воды, образуя мелкие острова – «шалыги». Предполагается, что своим происхождением эти гряды обязаны шельфовым волнам, способствующим образованию регулярных форм донного рельефа (Ещенко, Шипилова, 1990).

Донный рельеф западной части Северного Каспия более сложен. Одной из наиболее крупных его форм являются Мангышлакский порог, проходящий от о. Кулалы к о. Чечень и выраженный в нескольких банках (Кулалинской, Безымянной и Большой Жемчужной). К северу от Мангышлакского порога, между ним и свалом глубин устьевого взморья Волги расположена обширная депрессия с глубинами до 13 метров. К югу от Мангышлакского порога глубины достаточно резко увеличиваются, достигая на границе между Северным и Средним Каспием 25 метров. На востоке между банками Жемчужными (Большой и Средней), с одной стороны, и банками Тюленьей, Сигнал и Тбилиси, с другой стороны, проходит Волжская бороздина. На западе между о. Кулалы и полуостровом Мангышлак проходит Мангышлакская бороздина. Эти бороздины, по-видимому, представляют собой русла палеорек, впадавших в Каспий в периоды регрессии уровня моря (Каспийское море, 1969). В современной отмелой части устьевого взморья Волги, простирающейся от морского края дельты до глубин 2-3 метра, также прослеживаются многочисленные, не столь ярко выраженные косы и бороздины.

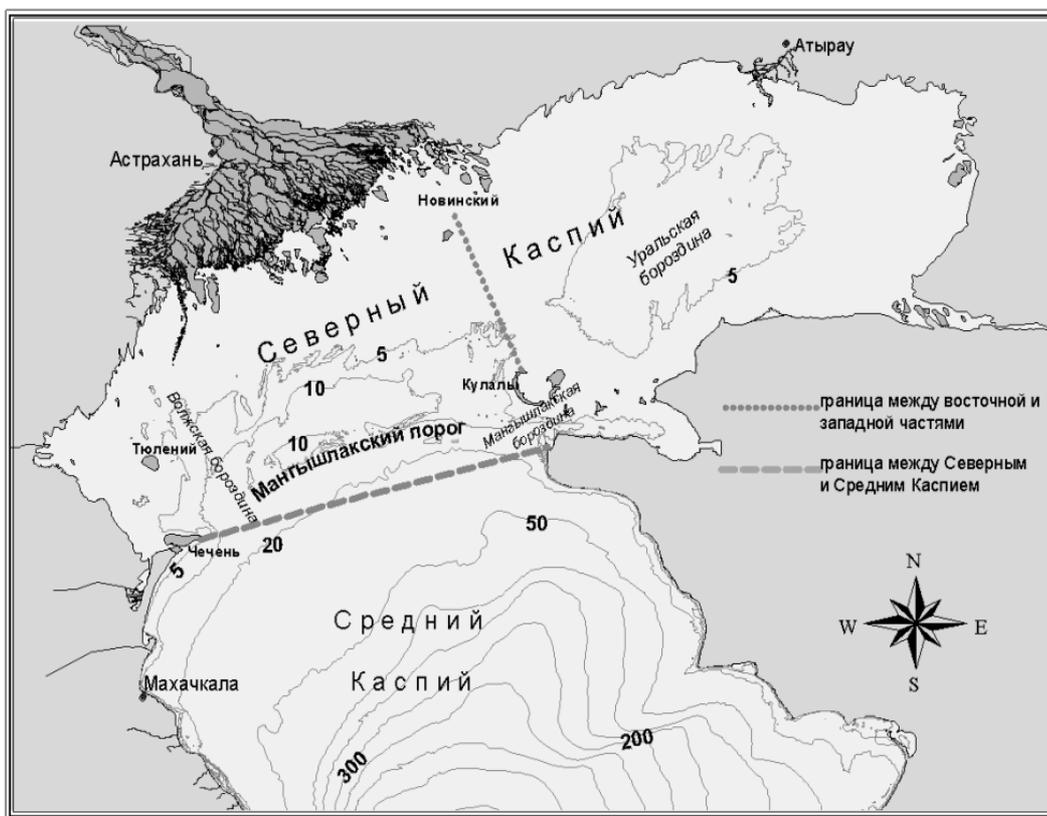


Рис. 5.1 Карта Северного Каспия

Климат Северного Каспия – континентальный, причем в восточной части более континентальный, чем в западной. На востоке разность температур воздуха самого холодного (январь) и самого теплого (июль) месяцев составляет 30-33 градуса, а на западе – 27-30 градусов (Гидрометеорология и гидрохимия, 1992). Продолжительность зимы в восточной части Северного Каспия – до 5 месяцев, в западной – до 4 месяцев, продолжительность лета на всей акватории северной части моря составляет 4-4,5 месяца (за даты начала и конца зимы принимаются даты перехода температуры через 0°C, а лета – через 20°C). Континентальный характер климата объясняется расположением моря в центре Евразийского континента, а его северной части – в степной и пустынной зонах.

С марта по июнь Северный Каспий накапливает тепло, то есть имеет положительное сальдо теплового баланса, при этом часть накопленного тепла в процессе адвекции он отдает Среднему Каспию. В период с июля по февраль сальдо теплового баланса – отрицательное, причем особенно большие потери тепла наблюдаются в сентябре и январе-феврале. В период с июля по сентябрь особенно велики затраты тепла на испарение, при этом в восточной части (600-700 МДж/м²) они в полтора раза выше, чем в западной (400-500 МДж/м²). В целом за год в Северном Каспии расход тепла вдвое превышает его приход (Гидрометеорология и гидрохимия, 1992). Разница между расходом и приходом компенсируется за счет адвекции тепла из Среднего Каспия, с которым Северный Каспий имеет положительный тепловой баланс. Несмотря на то, что теплообмен между восточной и западной частями Северного Каспия еще не изучен, исходя из вышеизложенного, можно предполагать, что его результирующая составляющая (перенос тепла) направлена с запада на восток.

Важное значение в тепловом балансе, да и вообще в жизни Северного Каспия, имеет ледяной покров, который в той или иной степени образуется каждую зиму. В суровые зимы припаем покрыта почти вся акватория (70-80 тыс. км²), а в мягкие зимы его площадь не превышает 10 тыс. км² (Гидрометеорология и гидрохимия, 1992). Обычно устойчивый ледяной покров устанавливается в декабре, а разрушается в марте.

5.1 Северный Каспий как «водохранилище»: баланс воды и веществ

С марта по июль происходит увеличение запаса воды в Северном Каспии, то есть его водный баланс в этот период имеет положительное сальдо. За этот период в Северный Каспий со стоком рек Волги и Урала, а также с атмосферными осадками поступает примерно 150 км³ воды (табл. 5.1). На испарение за этот же период расходуется около 55 км³ воды. Судя по приращению уровня, а он за этот период повышается примерно на 30 см, объем вод Северного Каспия увеличивается примерно на 30 км³. Остальные воды (≈ 65 км³) сбрасываются из Северного Каспия в Средний. Характерно, что речь идет в основном о сбросе соленых морских вод, которые просто вытесняются пресными водами. Так, с апреля по июль в Северном Каспии площадь распространения вод с соленостью 0-2‰ увеличивается, а соленостью более 12‰ уменьшается примерно на 6,5 тыс. км². С учетом этого объем вытесненных морских вод оценивается нами примерно в 50 км³, оставшиеся 15 км³ пресных вод в трансформированном виде поступают из Северного в Средний Каспий.

В августе, а иногда также в июле и сентябре испарение воды в Северном Каспии происходит более интенсивно, чем ее поступление с речным стоком и атмосферными осадками, за счет чего происходит снижение уровня моря. Август это, пожалуй, единственный месяц в году, когда дефицит воды в северной части моря покрывается за счет притока морских вод из Среднего Каспия. Дело в том, что во все остальные месяцы года, в т.ч. осенние и зимние, разность между поступлением вод в Северный Каспий с речным стоком и осадками и расходом воды на испарение имеет положительный знак.

Сальдо водного баланса Северного Каспия в период с августа по февраль в целом отрицательное, то есть запас воды в нем уменьшается, о чем свидетельствует снижение уровня моря. За счет этого объем вод Северного Каспия уменьшается на ту же величину, на которую он увеличился с марта по июль, т.е. примерно на 30 км³ (табл. 5.1). Разница между приходными (сток + осадки ≈ 120 км³) и расходной (испарение ≈ 50 км³) статьями водного баланса составляет примерно 70 км³. Очевидно, что в сумме объем воды, поступающей из Северного Каспия в Средний в период с августа по февраль примерно равен 100 км³. При этом речь идет об опресненных водах, так как морские воды в это время вновь занимают ту часть акватории Северного Каспия, с которой они были «вытеснены» во время половодья. С учетом этого объем опресненных вод, поступающих в осенне-зимний период из Северного Каспия в Средний, составляет примерно 150 км³.

В целом Северный Каспий имеет со Средним Каспием отрицательное сальдо водного баланса (табл. 5.1). За год из северной в среднюю часть моря поступает около 165 км³ воды, из них 40% – в весенне-летний период (март-июль), а 60% – в осенне-зимний (август-февраль). Однако, объем сбрасываемых в Средний Каспий опресненных вод имеет иное сезонное распределение – 90% их объема приходится на осенне-зимний и только 10% – на весенне-летний период. Происходит это благодаря тому, что весной и летом Северный Каспий накапливает пресные воды за счет вытеснения морских вод и повышения уровня моря, а осенью пресные воды (конечно, уже в трансформированном виде) сбрасываются в Средний Каспий. Таким образом, относительно пресных вод Северный Каспий можно рассматривать как некое «водохранилище» сезонного регулирования. Эта присущая ему особенность имеет большое значение в жизни Каспийского моря.

Таблица 5.1

Ориентировочный водный баланс Северного Каспия (км³) по данным
(Современный и перспективный, 1972; Каспийское море, 1986)

Статьи баланса	Март-июль		Август-февраль		Год	
	Приход	Расход	Приход	Расход	Приход	Расход
Речной сток (рр. Волга и Урал)	145		115		260	
Атмосферные осадки	5		5		10	
Испарение		55		50		105
Вынос в Средний Каспий		65		100		165
Итого:	+30		-30		0	

За год в Северный Каспий с речным стоком и атмосферными осадками поступает около 270 км³ воды, из них 105 км³ расходуется на испарение, а остальная вода поступает в Средний Каспий. Годовой водный баланс восточной и западной частей существенно отличается друг от друга. В восточную часть с речным стоком и осадками поступает 15 км³, а на испарение расходуется 55 км³, дефицит воды (40 км³) покрывается за счет ее поступления из западной части. В сумме приходные статьи (сток и осадки) годового водного баланса в западной части составляют 255 км³, из которых 50 км³ расходуется на испарение, 165 км³ поступает в Средний Каспий, а 40 км³ – в восточную часть Северного Каспия. Большая часть расхода воды из западной в восточную часть Северного Каспия, по видимому, приходится на летний период.

Данные, полученные при расчете водного баланса, можно использовать для оценки солеобмена между Северным и Средним Каспием. С опресненными водами, поступающими из северной в среднюю часть моря (165 км³), имеющими соленость от 8 до 10 промилле (Ахмедова, 2002), переносится масса солей, равная примерно 1,5 млрд. тонн. Очевидно, что источником этих солей в свою очередь является Средний Каспий, так как другие приходные статьи солевого баланса Северного Каспия в сумме во много раз меньше этой величины (не более 100 млн. тонн). Суммарный солеобмен между Северным и Средним Каспием, оцениваемый по данным водного баланса, составляет 4 млрд. тонн, из которых 1 млрд. тонн связан с процессами летнего «вытеснения» и осеннего «возвращения» морских вод, а 3 млрд. тонн – с выносом солей вместе с опресненными водами в Средний Каспий (1,5 млрд. тонн) и компенсирующим его поступлением солей из средней части моря в северную (1,5 млрд. тонн).

Столь значительная величина солеобмена в свою очередь указывает, что суммарный водообмен между Северным и Средним Каспием также больше, чем его результирующая составляющая. Действительно, по данным расчетов (Современный и перспективный, 1972) эти показатели различаются на порядок (суммарный водообмен равен 1700 км³). Исходя из оценки суммарного водообмена и полагая, что в нем в основном принимают участие воды с соленостью около 12 промилле, можно подсчитать величину суммарного солеобмена, которая оказывается равной примерно 20 млрд. тонн, что в 5 раз больше величины, рассчитанной по данным водного баланса.

Несмотря на интенсивный солеобмен между Северным и Средним Каспием, отнюдь не ему, а речному стоку принадлежит главная роль в формировании режима солености северной части моря. Это обусловлено тем, что Северный Каспий по сути является самым большим заливом Каспийского моря, а точнее, эстуарием, поскольку в него впадает несколько рек. При этом годовой объем стока р. Волги сравним с объемом вод самого Северного Каспия, и в период половодья пресные воды не только смешиваются с морскими, но и выдавливают их из эстуария. Об этом наглядно свидетельствуют сезонные изменения площади зон с различной соленостью (рис.5.2). Площадь зоны с соленостью от 2 до 12‰ мало подвержена сезонным колебаниям, по крайней мере в период с апреля по октябрь. Относительная площадь зоны с соленостью от 0 до 2‰, а в среднем это почти 1/4 акватории Северного Каспия, изменяется в пределах от 17,5% (апрель) до 25,2% (июль). Площадь зоны с соленостью более 12‰ составляет в среднем всего 5% акватории Северного Каспия, но может уменьшаться до 2,9% (июль) и увеличиваться до 10,7% (апрель).

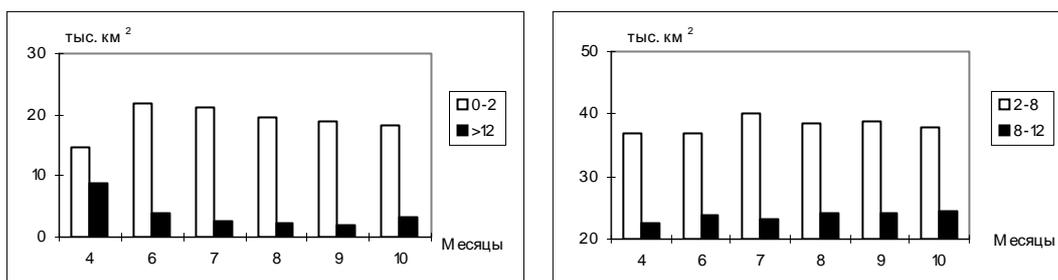


Рис. 5.2 Сезонные изменения площади зон Северного Каспия, занимаемых водами с различной соленостью (0-2, 2-8, 8-12, >12 ‰) по многолетним данным (Гидрометеорология и гидрохимия, 1992)

Одна из характерных черт режима солености в Северном Каспии состоит в том, что изогалины в большинстве случаев следуют параллельно изобатам. Это говорит о существенном влиянии донного рельефа на распределение солености. В безледный период при уровне моря $-28 \pm 0,5$ м БС изогалина 2‰ занимает наиболее вероятное положение над изобатой 3 м, изогалина 6‰ - над изобатой 5 м, изогалина 8‰ - над изобатой 7 м, изогалина 10‰ - над изобатой 9 м, изогалина 11‰ - над изобатой 12 м (Устьевая область, 1998). Однако, морская граница зоны транзита речных вод (0-2‰), в межень располагающаяся над морским баром, в период половодья может смещаться в сторону моря на расстояние до 40 км (Каспийское море, 1986). При этом морские воды соленостью более 12 ‰ вытесняются за пределы Мангышлакского порога. Их возвращение в Северный Каспий происходит двумя путями: охватывая всю толщу вод или только придонный слой. В последнем случае, которому благоприятствует стоковая циркуляция, соленые морские воды сначала занимают бороздины, пересекающие Мангышлакский порог, а затем обширную депрессию, расположенную между ним и свалом глубин устьевого взморья.

К основным статьям солевого баланса Северного Каспия кроме солеобмена со Средним Каспием относится поверхностный сток (Гидрометеорология и гидрохимия, 1992). Предполагается, что эоловое поступление солей (20-25 млн. тонн/год) компенсируется их выносом в атмосферу (Пахомова, Затучная, 1966). Роль подземного стока и атмосферных осадков в балансе солей мала (≈ 3 млн. тонн) и ею можно пренебречь. В период с марта по июль сальдо солевого баланса Северного Каспия отрицательное – приток солей с речными водами составляет около 35 млн. тонн, отток солей вследствие вытеснения морской воды примерно равен 600 млн. тонн. В период с августа по февраль сальдо солевого баланса Северного Каспия положительное – приток солей с речными и морскими водами в сумме составляет 630 млн. тонн (в сезонных балансах не учтен солеобмен, связанный с кратковременными процессами). В целом за год Северный Каспий имеет со Средним Каспием отрицательное сальдо солевого баланса; масса солей, поступивших с речным стоком (65 млн. тонн), сбрасывается затем в Средний Каспий. Следует отметить неточ-

ность этой цифры, которая реально, по-видимому, значительно меньше за счет выпадения карбонатов в осадок. По данным (Бруевич, Виноградова, 1949; Пахомова, Затучная, 1966) карбонаты составляют примерно 60% солевого состава речных вод. Осаждение карбонатов речного происхождения в основном происходит в Северном Каспии; хемогенным путем здесь ежегодно осаждается 7 млн. тонн, а биогенным 32 млн. тонн карбонатов (Каспийское море, 1989).

Из массы солей, поступающих в Северный Каспий с поверхностным стоком около 4 млн. тонн приходится на р. Урал. Эту долю следует рассматривать, как результирующую составляющую солеобмена между восточной и западной частями Северного Каспия, направленную с востока на запад. Суммарный солеобмен, очевидно, больше результирующего. Это же можно сказать о суммарном и результирующем водообмене между восточной и западной частями Северного Каспия. Дело в том, что воды, поступающие с запада на восток в качестве компенсации испаряющейся влаги (см. выше), это отнюдь не пресные воды, их соленость изменяется в пределах от 0 до 8‰. Если среднюю соленость воды на Кулалинском пороге принять равной 3-4‰, то минимальное значение суммарного солеобмена между восточной и западной частями составит 250-300 млн. тонн. В свою очередь это означает, что суммарный водообмен выше результирующего, так как приток солей должен компенсироваться их оттоком, естественно, в растворенном виде. По существующим оценкам суммарный водообмен между восточной и западной частями Северного Каспия составляет 300-400 км³/год (Гидрометеорология и гидрохимия, 1992).

При средней концентрации взвеси в водах Северного Каспия, равной 46,4 мг/л, их суммарный запас оценивается в 15,7 млн. тонн (Иванов, Сокольский, 2000). Взвешенные вещества поступают в Северный Каспий с речным стоком. В вершину дельты Урала ежегодно поступает 4,5 млн. тонн взвешенных наносов, в вершину дельты Волги – в два раза больше (Каспийское море, 1986). Однако морского края дельты достигает только 80% наносов (Устьевая область, 1998). Таким образом, ориентировочно можно считать, что в Северный Каспий с речным стоком поступает 11 млн. тонн взвешенных веществ (в основном пелитовой и алевритовой фракций). Более мощным источником взвешенных веществ является эоловый вынос, с которым в Северный Каспий ежегодно поступает около 16 млн. тонн эоловых наносов, в составе которых преобладают мелкий песок и алеврит (Каспийское море, 1989). Довольно мощным источником пелитоморфной взвеси является хемогенное образование кальцита – около 7 млн. тонн взвеси ежегодно (см. выше). Очевидно, свой вклад в образование взвеси вносит абразия берегов, но в литературе отсутствуют сведения по этому поводу.

В составе взвеси Северного Каспия доминирует минеральная составляющая, но от 10 до 20% ее массы составляет взвешенное органическое вещество, в основном автохтонного происхождения (Каспийское море, 1989). Следует отметить, что годовая продукция фитопланктона Северного Каспия по разным оценкам (Катунин и др., 2001) равна от 10 до 30 млн. тонн С/год, что в пересчете на взвешенное органическое вещество составляет от 20 до 60 млн. тонн. Наиболее мощным источником поступления взвеси в воду является взмучивание донных отложений. По данным расчетов (Гершанович, Грундульс, 1969) при толщине взмучиваемого слоя 1 мм на площади 10 тыс. км² в воду переходит 11 млн. тонн осадочного материала. При штормовых ветрах взмучивание донных отложений наблюдается по всей акватории Северного Каспия, за исключением южного глубоководного склона Мангышлакского порога, однако наиболее активно оно протекает на склоне морского бара (глубина 2-3 метра) устьевого взморья р. Волги, где толщина взмучиваемого слоя во время шторма достигает 3 см (Устьевая область, 1998). С учетом повторяемости штормовых ветров в безледный период толщина перерабатываемых волнением донных отложений составляет здесь 30 см (там же, стр. 236). Таким образом, только в пределах этой зоны ($S \approx 5$ тыс. км²) суммарный массообмен взвесью между водой и донными отложениями приблизительно равен 30 млрд. тонн/год. В целом по Северному Каспию, учитывая, что площадь с глубинами менее 3 метров составляет почти половину его акватории (Каспийское море, 1986), эта цифра, по нашему мнению, составляет не менее

100 млрд. тонн/год. В свою очередь это означает, что взвесь, содержащаяся в водах Северного Каспия, обновляется в среднем примерно каждые два-три часа (!).

Из внешних источников (эолового и речного) в Северный Каспий в сумме поступает 27 млн. тонн/год взвешенного материала. Минимальное количество взвеси, поступающей из северной в среднюю часть моря можно рассчитать исходя из результирующей составляющей водного баланса ($\approx 165 \text{ км}^3$) и средней концентрации взвеси в водах Северного Каспия. Оно равно 7,6 млн. тонн. По данным (Хрусталева, 1978) из Северного в Средний Каспий выносятся 13 млн. тонн взвешенного материала. Однако, более реальной, по нашему мнению, является оценка, основанная на данных о суммарном водообмене (1700 км^3) и разности концентраций взвеси в водах Северного и Среднего Каспия, примерно равной 30 мг/л (Иванов, Сокольский, 2000). Расчеты показывают, что в этом случае из Северного в Средний Каспий поступает взвеси на 25,5 млн. тонн/год больше, чем в обратном направлении. Таким образом, поступление взвеси в Северный Каспий из внешних источников уравнивается ее удалением в Средний Каспий. Результаты наших расчетов носят сугубо ориентировочный характер, однако сбалансированность процессов поступления и выноса терригенной взвеси подтверждается тем, что в современных осадках Северного Каспия, сложенных в основном ракушкой и песком, доминирует автохтонная биогенная составляющая. Гидрологические условия в Северном Каспии благоприятствуют взмучиванию и переносу мелкозернистых терригенных осадков в среднюю и южную части Каспийского моря (Каспийское море, 1989).

Вопрос об обмене взвешенным материалом между восточной и западной частями Северного Каспия требует дополнительного изучения. С одной стороны прозрачность воды в восточной части, не превышающая 2 метров, меньше прозрачности воды в западной части, достигающей 8-10 метров. Это обусловлено и различием в глубине (восточная часть более мелководна), и осаждением карбонатов, которые в восточной части могут составлять до 90% взвеси (Хачатурова, 1974) и преобладающим поступлением эоловых наносов в эту часть Северного Каспия, окруженную пустыней. С учетом этих условий и суммарного водообмена (см. выше) результирующая обмена взвешенным материалом, очевидно, должна быть направлена с востока на запад. Но этому противоречит мнение о восточной части в целом, и, прежде всего, об Уральской бороздине, как о седиментационной «ловушке» Северного Каспия (Каспийское море, 1989). С другой стороны, отсутствие существенной разницы в прозрачности и мутности вод непосредственно по обе стороны Кулалинского порога (Гидрометеорологические условия, 1986; Гидрометеорология и гидрохимия, 1996) указывает, что обмен взвешенным материалом между восточной и западной частями Северного Каспия сбалансирован.

Основным источником поступления органического вещества (ОВ) и биогенных элементов (N, P, Si) в Северный Каспий является волжский сток (табл. 5.2). В среднем (1978-1999 гг.) за год масса органического вещества, поступающего с волжским стоком, равна 4,5 млн. тонн, из которых 15-20% составляет взвешенное органическое вещество. Фосфора поступает 37,4 тыс. тонн/год, при этом минеральные соединения составляют 23% общей массы. Азота поступает 412,3 тыс. тонн, одна треть которых – минеральные соединения (в основном нитратный и аммонийный азот). Учитывая, что примерно 50% ОВ составляет органический углерод, отношение C:N:P в органическом веществе речного стока примерно равно 80:10:1. Растворенного кремния поступает 530 тыс. тонн/год. Отношение растворенных минеральных форм биогенных элементов Si:N:P в речном стоке равно 60:15:1. Известно, что при прохождении волжского стока через дельту органические и биогенные вещества подвергаются трансформации, однако в целом за год количество и состав этих веществ в вершине дельты и на ее морском крае близки друг к другу (Гидрометеорология и гидрохимия, 1996).

Содержание органического углерода в осадках Северного Каспия, как правило не превышает 1%, реже 2% (Каспийское море, 1989), при этом песчано-ракушечные донные отложения покрыты тонкой (толщиной до 0,5 см), легко взмучиваемой пленкой, обогащенной органическим веществом и являющейся пищей для зообентоса (Карпинский, 2002). Это говорит о том, что дно Северного Каспия, скорее всего, является временным пристанищем для органических веществ, и те из них, что не подверглись бактериальной

деструкции и не были употреблены донными животными, скорее всего выносятся в глубоководную часть моря. Содержание органического углерода в донных отложениях глубоководных котловин в три раза больше, чем в осадках северной части моря, при этом на дно Каспийского моря в среднем выпадает $0,0011 \text{ г/см}^2/\text{год}$ органического углерода (Бордовский, 1974). Допуская, что в Северном Каспии это цифра примерно в два раза ниже, мы приходим к выводу, что в его осадках ежегодно захороняется около 1 млн. тонн ОВ, или примерно 2% от общей суммы поступающего с речным стоком и продуцируемого фитопланктоном ОВ, которая принята равной 45 млн. тонн (см. выше).

Таблица 5.2
Средний годовой сток биогенных элементов и органических веществ р. Волги в Северный Каспий в 1978-1999 гг. (Катунин и др., 2000)

Показатель	Год тыс. тонн	Половодье	
		тыс. тонн	%
Фосфор общий	37,4	15,0	40,1
Фосфор органический	28,6	11,2	39,0
Фосфор минеральный	8,8	3,8	43,8
Азот общий	412,1	176,7	42,8
Азот органический	277,2	106,7	38,4
Азот минеральный	134,9	70,0	51,9
Растворенный кремний	529,5	235,2	44,4
Органическое вещество	4500	2070,0	46,0

В литературе отсутствуют сведения об обмене органическими и биогенными веществами между Северным и Средним Каспием. За основу для ориентировочной оценки выноса ОВ из Северного Каспия может быть принята величина результирующего массообмена взвесью на их границе, примерно равная 25 млн. тонн/год. Если считать, что десятую часть этой взвеси составляет органическое вещество, то из Северного Каспия в Средний ежегодно безвозвратно поступает 2,5 млн. тонн взвешенного ОВ. Концентрация растворенного ОВ в Северном Каспии, по-видимому, выше, чем в средней части моря (Пахомова, Затучная, 1966). За счет этого, как мы полагаем, основываясь на оценке суммарного водообмена, результирующий вынос ОВ из Северного Каспия выше названной цифры и примерно равен 3,0 млн. тонн ОВ или 1,5 млн. тонн $S_{\text{орг}}$.

Известно, что соотношение N:P в органическом веществе Каспийского моря выше стехиометрии Редфилда-Ричардса, что объясняется повышенным содержанием в нем аллохтонного ОВ (Сапожников, 2000). Действительно, отношение $N_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$ в волжском стоке, равное 10:1, выше стехиометрического (7:1). Но в водах Среднего Каспия, где оно равно 13:1 (Каспийское море, 1986), оно еще выше, чем в волжском стоке. Отношение $N_{\text{мин}}:P_{\text{мин}}$ в волжском стоке (15:1), наоборот выше, чем в водах Среднего Каспия. Уже на границе между ним и северной частью моря оно примерно равно 10:1, а по мере продвижения к югу еще более уменьшается (Монахов и др., 1997). Исходя из этого можно предполагать, что в Северном Каспии скорость минерализации азота ниже, чем у фосфора, и что часть азота депонируется в трудноокисляемом ОВ.

При оценке выноса из северной в среднюю часть моря азота и фосфора мы исходили, кроме названных обстоятельств, также из того, что их захоронение в донных осадках Северного Каспия сведено к минимуму (Леонов, 2000) или компенсируется поступлением из атмосферы (с эоловым выносом и осадками). Таким образом, практически весь азот и фосфор, поступивший с речным стоком, в конечном счете выносятся в Средний Каспий (изъятием биогенных элементов с выловом рыбы можно пренебречь). Ориентировочно этот вынос за год равен 400 тыс. тонн азота, из которого $N_{\text{мин}}$ составляет 80 тыс. тонн, и 35 тыс. тонн фосфора, из которых 8 тыс. тонн представлены минеральными соединениями. С учетом суммарного водообмена между Северным и Средним Каспием в этом случае концентрация минерального фосфора в северокаспийских водах должна быть на

10 мкг/л, а минерального азота на 100 мкг/л выше, чем в среднекаспийских, что близко к реальности (Гидрометеорология и гидрохимия, 1996). Кроме того, близким к реальным является отношение $N_{\text{орг}}:P_{\text{орг}}$ (12:1) и $N_{\text{мин}}:P_{\text{мин}}$ (10:1) в воде, поступающей из Северного в Средний Каспий. В силу этого мы считаем нашу оценку этого переноса достаточно объективной.

Исходя из сделанной нами оценки баланса ОВ в Северном Каспии можно предполагать, что продукционные и деструкционные процессы в этой части водоема достаточно хорошо сбалансированы, так как разность между приходом и расходом ОВ в Северном Каспии составляет всего 0,5 млн. тонн. Соответственно, на такую же цифру годовая деструкция ОВ превышает его годовую продукцию. В то же время мы считаем возможным согласиться с широко распространенным мнением о том, что деструкционные процессы в Северном Каспии заметно преобладают над продукционными (Иванов, Сокольский, 2000), но с оговоркой, что это относится только к летнему сезону. В период половодья с волжским стоком в Северный Каспий выносятся громадное количество органических и биогенных веществ (табл. 5.2). Благодаря тому, что волжские воды при этом практически полностью сосредотачиваются в Северном Каспии, не выходя за его пределы (см. выше), вместе с ними здесь остается и аллохтонное ОВ, подвергающееся деструкции. Очевидно, что в осенний период в Средний Каспий взамен него выносятся автохтонное ОВ.

5.2 Ветер как главный «диспетчер» северокаспийского «водохранилища»

Кроме притока тепла, воды, взвешенных и растворенных веществ в жизни мелководного Северного Каспия важное значение имеет ветер, благодаря которому водные массы приводятся в движение. Одной из характерных и, пожалуй, наиболее постоянных особенностей ветрового режима является существенное ослабление его средней скорости и уменьшение повторяемости штормовых ветров в летний период (рис. 5.3). Наиболее активны атмосферные процессы в весенний и осенний сезоны, когда воздействие ветра на циркуляцию и перемешивание вод максимально. В зимний сезон повторяемость сильных и штормовых ветров выше, чем летом, но ниже, чем весной и осенью. Кроме того, воздействию ветра на водные массы зимой препятствует формирование ледяного покрова.

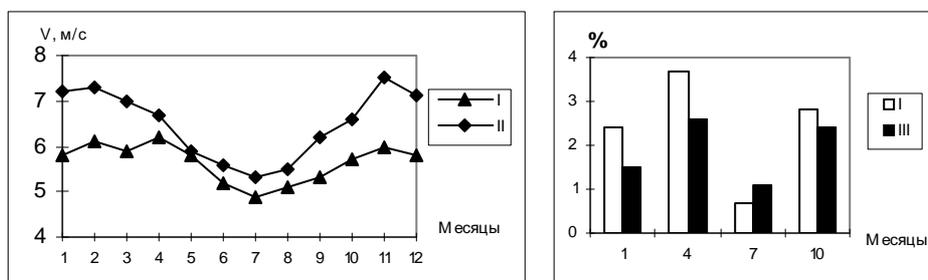


Рис. 5.3 Сезонные изменения средней скорости ветра (слева) и повторяемости штормовых ветров >15 м/с (справа) по данным многолетних наблюдений (Гидрометеорологические условия, 1986) на ГМС о. Тюлений (I), Форт-Шевченко (II), о. Кулалы (III).

Воздействие ветра является основным фактором определяющим обмен взвешенным материалом на границе вода-дно. Помимо данных, приведенных выше, об этом свидетельствуют сезонные изменения прозрачности воды в Северном Каспии (табл. 5.3), максимальные значения которой наблюдаются в летний период, несмотря на то, что именно в это время в море с поверхностным стоком поступает основная часть взвешенных наносов. В зимний период происходит осветление вод (Гидрометеорология и гидрохимия, 1992), особенно высокая прозрачность воды ранней весной наблюдается после суровых зим (Катунин, Хрипунов, 1976), что подтверждает высказанное выше мнение о том, что воздействию ветра на водные массы препятствует ледяной покров.

Таблица 5.3

Сезонные изменения прозрачности воды (м) в западной части Северного Каспия
(Гидрометеорология и гидрохимия, 1992)

Пункт наблюдений	Глубина, м	Месяцы							
		4	5	6	7	8	9	10	11
Волго-Каспийский п/м	5	1,2	0,9	1,0	1,5	0,9	0,8	0,9	0,8
Астраханский приемный п/м	10	1,9	2,8	3,4	3,5	2,8	2,3	1,7	1,6

Ослабление ветра и, соответственно, турбулентного перемешивания вод в летний период является одним из факторов, способствующих тому, что в это время года процессы вытеснения морских вод из Северного Каспия преобладают над процессами их смешения с речными водами (Бондаренко и др., 1987). Сезонным изменениям подвержены не только скорость ветра, но и его направление. Как известно, над акваторией Северного Каспия преобладает восточный ветер (Гидрометеорология и гидрохимия, 1992), сезонный ход повторяемости которого (рис. 5.4) аналогичен сезонному ходу скорости ветра, т. е. наибольшая его частота наблюдается весной и осенью, а наименьшая – летом и зимой.

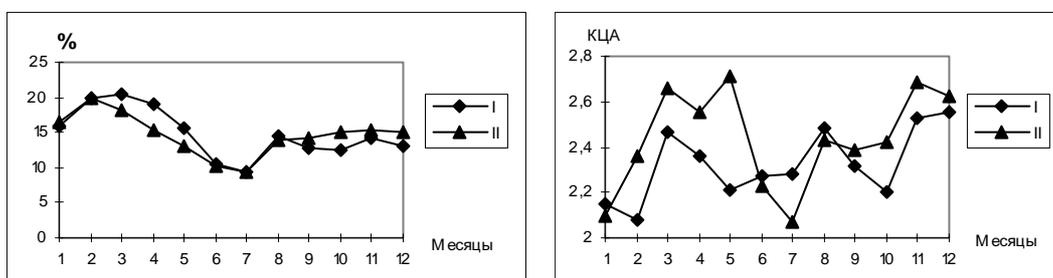


Рис. 5.4 Сезонные изменения повторяемости восточных ветров (% ,слева) и коэффициента циркуляции атмосферы (справа) над акваторией Северного Каспия по данным гидрометеорологических изысканий на структурах «Широтная» (I) и «Хвалынская» (II) (Научно-технический отчет, 1999, 2000)

Вопрос о связи динамики вод Северного Каспия с циркуляцией атмосферы над его акваторией далек от своего окончательного решения. Всесторонний анализ этой научной проблемы будет проведен в следующей монографии, а здесь мы считаем необходимым обратить внимание лишь на один ее аспект, а именно на зависимость водообмена между восточной и западной частями Северного Каспия и между ним и Средним Каспием от направления ветра.

Для установления этой зависимости сведения о расходах воды через Кулалинский порог (Устьевая область, 1998) умножались на продолжительность действия ветра скоростью 10-15 м/с с учетом его повторяемости за год по данным многолетних наблюдений на ГМС о. Кулалы (Гидрометеорологические условия, 1986). Результаты этих расчетов в сравнении с цифрами, характеризующими водообмен на Мангышлакском пороге, взятые из (Современный и перспективный, 1972), приведены в таблице 5.4. Следует отметить, что водообмен на Мангышлакском пороге в указанной работе рассчитан для всего диапазона скорости ветра.

Таблица 5.4

Водообмен на Кулалинском и Мангышлакском порогах
при различных направлениях ветра, км³/год

Район моря	Направление ветра								Суммарный водообмен
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Кулалинский порог	3,5	7,9	5,1	0,7	4,0	7,7	5,3	0,6	34,8
Мангышлакский порог	183,2	165,5	329,4	248,0	127,4	68,4	125,0	434,9	1681,8

Рассчитанное нами значение суммарного водообмена через Кулалинский порог ниже приведенного в литературе (Скриптунов, 1986; Гидрометеорология и гидрохимия, 1992), где указывается, что его величина за безледный период при уровне моря -28 м БС равна 340-380 км³. Вероятно, это различие обусловлено тем, что в наших расчетах учитывался только один из диапазонов скорости ветра. Но здесь важно другое. Как следует из приведенных в таблице данных при ветрах определенных направлений водообмен между различными частями моря резко снижается. Таковыми являются для Кулалинского порога северо-западный и юго-восточный, а для Мангышлакского порога – юго-западный и западный ветры. В целом, за исключением восточного ветра, ускоряющего водообмен на том и другом порогах, можно говорить о том, что широтные ветры (З, СВ, ЮЗ) усиливают водообмен на Кулалинском пороге и ослабляют водообмен на Мангышлакском пороге, а меридиональные ветры (СЗ, ЮВ, С и Ю) действуют в противоположном направлении (Хвацкая, 1978). К широтным северо-восточный и северо-западный ветры здесь и далее причислены потому, что их направление соответствует направлению главной оси Северного Каспия, имеющей широтную протяженность. Соответственно, меридиональными СЗ и ЮВ ветры нами названы потому, что они перпендикулярны этой оси. Отношение повторяемости меридиональных ветров к повторяемости широтных мы назвали коэффициентом циркуляции атмосферы (КЦА).

Повторяемость меридиональных ветров, как правило, выше повторяемости широтных, хотя для их отношения над акваторией Каспийского моря характерны большой размах многолетней изменчивости и зависимость от смены циркуляционных эпох в Атлантико-Европейском секторе Северного полушария. Сезонные изменения коэффициента циркуляции атмосферы над Северным Каспием аналогичны сезонному ходу скорости ветра и повторяемости его восточного направления. Максимальные значения КЦА наблюдаются весной и осенью, а минимальные – летом и зимой (рис. 5.4). Из этого следует, что весной и осенью характер циркуляции атмосферы благоприятствует водообмену между Северным и Средним Каспием (границу между ними мы для краткости здесь назвали Мангышлакским порогом), а летом и зимой – водообмену между восточной и западной частями Северного Каспия, граница между которыми проходит по Кулалинскому порогу. При этом усиление водообмена на одном пороге совпадает с его ослаблением на другом.

Рассмотрим (конечно, гипотетически) как влияют сезонные изменения ветрового режима на циркуляцию вод в северной части моря (табл. 5.5). Весной водообмен на границе между Северным и Средним Каспием наиболее интенсивен, чему способствуют повышенные значения скорости ветра, повторяемости восточных ветров и коэффициента циркуляции атмосферы. Водообмен на Кулалинском пороге, несмотря на высокое значение КЦА, также достаточно интенсивен, так как высока повторяемость восточных ветров. Летом водообмен на Мангышлакском пороге наиболее ослаблен, так как скорость ветра, повторяемость восточных ветров и коэффициент циркуляции атмосферы имеют самые низкие значения. При этом характер циркуляции атмосферы способствует сохранению водообмена между восточной и западной частями Северного Каспия. Осенью динамика вод вновь усиливается в основном за счет увеличения скорости ветра, так как повторяемость его восточного направления хоть и повышается по сравнению с летом, но не дости-

гает весенних значений. В целом циркуляция атмосферы благоприятствует водообмену между Средним и Северным Каспием и его ослаблению между восточной и западной частями последнего. Интересная ситуация складывается зимой, когда воздействию ветра на динамику вод препятствует ледяной покров, но так бывает только в суровые зимы. При отсутствии или малой площади льда ветровой режим способствует усилению динамики вод за счет повышенной скорости ветра. Условия циркуляции атмосферы способствуют усилению водообмена на Кулалинском пороге и его ослаблению между Северным и Средним Каспием.

Таблица 5.5

Схема влияния динамики полей ветра на водообмен между Северным и Средним Каспием (МП), восточной и западной частями Северного Каспия (КП)

Показатели полей ветра	Весна		Лето		Осень		Суровая зима		Мягкая зима	
	МП	КП	МП	КП	МП	КП	МП	КП	МП	КП
Средняя скорость ветра	+	+	-	-	+	+	0	0	+	+
Повторяемость восточного ветра	+	+	-	-	0	0	0	0	0	0
Коэффициент циркуляции атмосферы	+	-	-	+	+	-	0	0	-	+

Примечание: «+» – усиление водообмена, «-» – ослабление водообмена, «0» – относительно низкое воздействие на водообмен

Важно, что усиление водообмена на границе между Средним и Северным Каспием всегда означает повышение солености последнего, так как соленость среднекаспийских вод всегда выше, чем северокаспийских. Соответственно ослабление водообмена между ними способствует снижению солености Северного Каспия. Иное дело – водообмен на Кулалинском пороге, его связь с солеобменом зависит от распределения солености по обе стороны порога. Летом, когда по западную сторону порога соленость ниже, чем по восточную (Пахомова, Затучная, 1966), усиление водообмена способствует опреснению восточной части Северного Каспия. Весной, когда распределение солености носит противоположный характер усиление водообмена, наоборот, способствует осолонению восточной части и опреснению западной. Учитывая, что водообмен между восточной и западной частями Северного Каспия осенью и зимой обычно ослаблен, соответственно, из-за низкого КЦА и ледовых условий, это означает, что восточная часть Северного Каспия является своеобразным «хранилищем» опресненных вод межгодового регулирования (Научные основы, 1998).

Следует также заметить, что летом ветровой режим Северного Каспия благоприятствует «задержке» в нем пресных вод и в этом влияние ветра совпадает с морфологическими и гидрологическими особенностями этой части моря (см. выше), благодаря которым мы назвали его «водохранилищем» сезонного регулирования. Вместе с речной водой здесь задерживаются поступившие с ней взвешенные и растворенные вещества, но только до осени, когда метеорологические и гидрологические условия способствуют их выносу вместе с опресненными водами в Средний Каспий. Зимой водообмен между Средним и Северным Каспием также ослабляется, но объем поступающей и удерживаемой пресной воды, растворенных и взвешенных в ней веществ во много раз меньше, чем летом. Все, что накопилось зимой, весной вновь выносится в среднюю часть моря. Если сравнивать работу Северного Каспия с работой некоей гидравлической машины, то ею скорее всего будет pompa, емкость которой заполняется летом и зимой, а опорожняется осенью и весной. Мощность северокаспийской «помпы» в летне-осенний период выше, чем в зимне-весенний. Далее мы вкратце остановимся на том, как работа этой гидравлической машины влияет на отдельные черты гидрохимического и гидробиологического режима, а также на состояние загрязненности морской среды Северного Каспия.

5.3 Влияние циркуляции атмосферы на гидрохимические условия и биологическую продуктивность Северного Каспия

Одной из специфических черт гидрохимического режима северной части Каспийского моря является гипоксия (так называют здесь пониженную концентрацию кислорода, когда степень насыщения им морских вод ниже 80%). Гипоксия формируется в летний период в придонном слое воды, наиболее постоянный ее очаг находится в Волжской бороздине, но она может распространяться шире, проникая в депрессию между свалом глубин и Мангышлакским порогом, в Мангышлакскую и Уральскую бороздины. Как правило, своего максимального развития гипоксия достигает в августе, что уже показательно, так как в этот месяц водный баланс Северного Каспия носит особый характер (см. выше). В литературе (Гидрометеорология и гидрохимия, 1992; Катунин и др., 2000; Катунин и др., 2002) есть сведения о площади распространения гипоксии за период с 1960 по 2001 гг. К сожалению, этот ряд имеет ряд пропуски (1979, 19986-1989 гг.). Средняя за этот период площадь распространения гипоксии в августе составила 10,9 тыс. км², максимальная (26,3 тыс. км²) зарегистрирована в 1994 году, минимальная (0,4 тыс. км²) – в 1969 году. В числе факторов, влияющих на формирование гипоксии, указываются волжский сток (воды и ОВ), уровень моря, стратификация вод, скорость ветра (Гидрометеорология гидрохимия, 1992; Бардан и др., 1990, Кашин и др., 2001). Связь многолетних изменений площади распространения гипоксии с динамикой этих показателей носит достаточно наглядный характер (рис. 5.5).

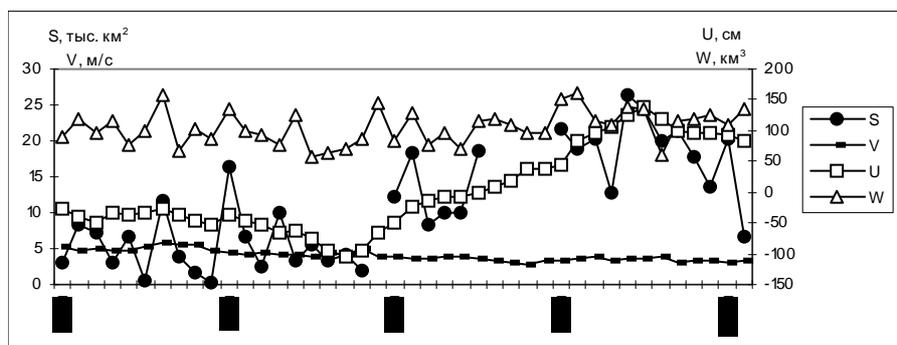


Рис. 5.5 Многолетние изменения площади распространения гипоксии (S) в Северном Каспии (август), волжского стока в половодье (W), уровня моря (U, 0=-28,0 м БС), среднегодовой скорости ветра (V, ГМС Махачкала)

Развитию гипоксии благоприятствуют увеличение объема стока воды в половодье, повышение уровня моря, ослабление скорости ветра. Учитывая это, можно полагать, что формирование и распространение гипоксии в Северном Каспии зависит от его работы, как «водохранилища», накапливающего в период половодья пресные воды и органическое вещество. Своего максимального развития гипоксия достигает в августе на границе между Северным и Средним Каспием при первых «попусках» опресненных вод из «водохранилища» поверх среднекаспийских вод, активно заполняющих в конце лета ближайшие к Мангышлакскому порогу северокаспийские бороздины и депрессии. В зоне контакта опресненных и морских вод, как правило, приуроченной к пикноклину, происходит интенсивное окисление ОВ и резкое снижение концентрации кислорода в воде. Для функционирования водохранилищ большое значение имеет регулирование сбросов воды. В северной части Каспийского моря на роль главного «диспетчера» претендует, как мы предполагаем, циркуляция атмосферы, которая в этом случае должна оказывать влияние на формирование и распространение гипоксии.

Для проверки этого предположения были использованы многолетние данные о солености воды в западной части Северного Каспия за период апрель-октябрь, которая, по нашему мнению, является чутким показателем накопления пресных вод. В качестве показателя циркуляции атмосферы были определены значения КЦА за этот же интервал вре-

мени по данным наблюдений за ветром на ГМС Махачкала. В рассматриваемом периоде времени (1960-1997 гг.) было выделено 13 лет (1965-1969, 1974-1976, 1984-1987 и 1989 гг. с высоким (> 2,5) значением КЦА и 15 лет (1961-1964, 1979-1983, 1992-1997 гг.) с низким (<1,5) значением КЦА. Для этих же лет была сделана выборка данных о солености вод в западной части Северного Каспия, уровне моря и стоке р. Волги в половодье. Как известно, соленость вод западной части Северного Каспия зависит от речного стока и уровня моря (Каспийское море, 1986). Мы предполагали, что на форму этой зависимости должна влиять циркуляция атмосферы. В частности, при одном и том же объеме стока и уровне моря соленость воды в западной части Северного Каспия при ослабленном водообмене со Средним Каспием (низкий КЦА) должна быть ниже, чем при усиленном водообмене (высокий КЦА). Рассчитанные уравнения линейной регрессии (табл. 5.6) и построенные на их основе графики (рис. 5.6) подтверждают наше предположение.

В ходе работы была выявлена интересная особенность влияния циркуляции атмосферы на соленость вод в западной части северного Каспия, – оказалось, что в наибольшей степени это влияние проявляет себя при понижении уровня моря и уменьшении водности р. Волга. При стоке воды, близком к норме (примерно 105 км³ за 1960-2001 гг.) и уровне моря, близком к современному (-27,0 м БС) значения солености западной части Северного Каспия одинаковы при разных КЦА. При понижении уровня моря до отметки -28,0 м БС соленость воды в годы с преобладанием широтной циркуляции на 0,4 ‰ ниже, чем в годы с преобладанием меридиональной циркуляции атмосферы. При понижении уровня моря до отметки -29,0 м БС это различие увеличивается вдвое.

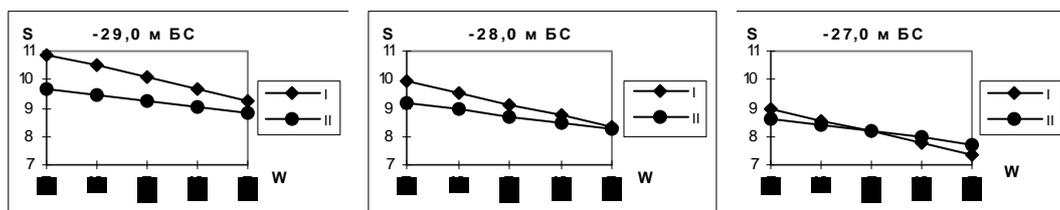


Рис. 5.6 Зависимость солености западной части Северного Каспия (S, ‰) от объема волжского стока в половодье (W, км³) при высоком (I) и низком (II) значении КЦА и различном положении уровня моря

В восточной части Северного Каспия, наоборот, влияние циркуляции атмосферы на изменения солености воды при низком уровне моря и малой водности практически не ощущается. Чем выше уровень моря и больше речной сток, тем заметнее становится воздействие ветра на солевой баланс этой части Северного Каспия. Возможно это связано с тем, что понижение уровня моря и, соответственно, глубин на мелководном Кулалинском пороге негативно отражается на водообмене между восточной и западной частями Северного Каспия. Результаты исследования влияния циркуляции атмосферы на динамику вод и распределение солености в Северном Каспии будут подробно освещены в следующей монографии. Здесь в нашу задачу входила констатация самого факта участия ветра в регулировании работы Северного Каспия, «задержке» в нем в летний период пресной воды и поступивших с ней растворенных и взвешенных веществ.

Таблица 5.6
 Параметры уравнений линейной регрессии $S=a+bW+cU$ при различных типах циркуляции атмосферы над Северным Каспием

Значение КЦА	n	a	b	c	r	σ
>2,5	13	-16,16	-0,016	-0,96	0,91	0,34
<1,5	15	-5,51	-0,009	-0,54	0,73	0,53

Примечание: S – соленость западной части Северного Каспия (‰), W – объем стока воды р. Волга в половодье (км³), U – уровень моря (м БС).

Накопление органических веществ в Северном Каспии благоприятствует развитию гипоксии. Так, в период 1961-1964 гг. при КЦА < 1,5 средняя площадь распространения гипоксии составила 6,3 тыс. км², в следующие 5 лет (1965-1969 гг.) при КЦА > 2,5 она в среднем была почти в два раза меньше. Вообще, эти два периода очень показательны, поскольку практически не отличались друг от друга ни по уровню моря, ни по объему волжского стока. Тем самым, влияние циркуляции атмосферы на изменение солёности Северного Каспия и на развитие гипоксии проявилось, так сказать, в чистом виде. Далее, в 1974-1976 гг. при высоком КЦА площадь распространения гипоксии оказалась равной 4,1 тыс. км², а в 1980-1983 гг. при низком КЦА – почти в три раза больше (табл. 5.7). В дальнейшем формирование гипоксии в Северном Каспии в основном было обусловлено резким повышением уровня моря, хотя, по нашему мнению, уменьшение КЦА в первой половине 90-х годов также внесло свой вклад в расширение ее площади, которая в этот период достигла своих максимальных значений (рис. 5.5). Намечившаяся к концу двадцатого века тенденция усиления меридиональной циркуляции атмосферы (см. ниже), по-видимому, способствовала сокращению площади распространения гипоксии, которая в 2001 году уменьшилась до минимального за последние 12 лет значения (6,8 тыс. км²).

Таблица 5.7

Гидрометеорологические условия и распространение гипоксии в Северном Каспии

Периоды, гг.	Сток р. Волги в половодье, км ³	Уровень моря, м БС	Коэффициент циркуляции атмосферы	Солёность Северного Каспия, ‰	Площадь распространения гипоксии, тыс. км ²
1961-1964	102,8	-28,40	1,31	8,40	6,3
1965-1969	102,8	-28,39	2,97	8,65	3,6
1974-1976	82,0	-28,77	2,67	9,41	4,1
1980-1983	96,0	-28,25	0,82	8,82	12,2

Во время ежегодного в период половодья пополнения запаса опресненных вод в Северном Каспии это природное «водохранилище» испытывает настоящее нашествие многочисленных видов животных и растений. В зону смешения речных и морских вод они устремляются как со стороны реки, так и со стороны моря, привлекаемые благоприятными условиями для роста, развития и размножения. Не случайно выше в качестве показателя работы северокаспийского «водохранилища» выбрана солёность воды, поскольку с нею так или иначе связаны практически все биологические параметры северокаспийской экосистемы (видовой состав, численность и биомасса планктона и бентоса), а также показатели ее рыбохозяйственной продуктивности (состояние кормовой базы, запасов и уловов промысловых рыб). Расширение площади опресненной зоны (0-8 ‰) способствует увеличению в целом биологической продуктивности Северного Каспия и, наоборот, последняя снижается при повышении солёности (Каспийское море, 1985; Каспийское море, 1989; Гидрометеорология и гидрохимия, 1996). Однако, как правило, основная роль в регуляции гидролого-гидробиологического режима отводится речному стоку (Научные основы, 1998). Не умаляя этой роли, можно предположить, что процессы водообмена между Средним и Северным Каспием, а также между различными частями последнего, находящиеся в тесной зависимости от циркуляции атмосферы, также вносят определенный вклад в формирование гидрологических и гидробиологических условий северной части Каспийского моря.

Об этом вкладе, в частности, свидетельствуют изменения первичной продукции планктона в Северном Каспии в период 1985-1995 гг., сведения о которых появились недавно в литературе (Катунин и др., 2001). Следует отметить, что первая половина этого периода (1985-1990 гг.) существенно отличалась от второй половины (1991-1995) гидрологическими и метеорологическими условиями. В частности, средний уровень моря в 1985-1990 гг. составил -27,76 м БС, а в 1991-1995 гг. – -26,91 м БС. Повышение уровня

моря в основном было обусловлено увеличением объема волжского стока, которое в период половодья в среднем составило 15% (табл. 5.8). Существенно понизилась соленость Северного Каспия и, соответственно, увеличилась площадь опресненной зоны.

Таблица 5.8

Гидрологические условия Северного Каспия в 1985-1995 гг.

Периоды	W		S _W		S _O		Z _W		Z _O	
	км ³	%	‰	%	‰	%	тыс.км ²	%	тыс.км ²	%
1985-1990	114,8	100	8,78	100	6,42	100	42,6	100	63,0	100
1991-1995	131,8	115	7,75	88	5,10	79	50,8	119	76,7	122

Примечание: W - сток р. Волга в половодье; S_W - соленость воды в западной части Северного Каспия; S_O - соленость воды в восточной части Северного Каспия; Z_W - площадь опресненной зоны (0-8‰) в западной части Северного Каспия; Z_O - площадь опресненной зоны (0-8‰) в восточной части Северного Каспия

Казалось бы, изменения режима солености обусловлены исключительно гидрологическими факторами (сток, уровень), однако обращает на себя внимание, что соленость в восточной части Северного Каспия в 1991-1995 гг. понизилась по сравнению с 1985-1990 гг. на 21%, а в западной части только на 12%. Площадь опресненной зоны в восточной части также росла более быстрыми темпами, чем в западной. Это, по нашему мнению, объясняется исключительно изменением характера атмосферной циркуляции. О резком ослаблении меридиональной и усилении широтной циркуляции атмосферы свидетельствует уменьшение КЦА с 3,37 в 1985-1990 гг. до 0,50 в 1991-1995 гг. Широтная циркуляция способствовала усилению водообмена между западной и восточной частями Северного Каспия, что в летнее время приводит к его опреснению (см. выше). По-видимому, влияние ветра на водообмен усиливалось за счет повышения уровня моря и, соответственно, увеличения глубины на Кулалинском пороге.

Линейный корреляционный анализ связи первичной продукции планктона в Северном Каспии в летний сезон с гидрологическими и метеорологическими параметрами показал (табл. 5.9), что в период 1985-1995 гг. наиболее тесной эта связь была с уровнем моря. Статистически достоверной была также связь первичной продукции с коэффициентом циркуляции атмосферы. Флуктуации солености, обусловленные колебаниями объема речного стока, коррелировали с изменениями первичной продукции, но эта связь не была достоверной. То же самое следует сказать о корреляции солености воды с коэффициентом циркуляции атмосферы, имевшем тесную связь только с уровнем моря. Результаты корреляционного анализа указывают на важную роль параметров работы северокаспийского «водохранилища» (уровня, притока и стока воды) в регуляции его биологической продуктивности.

Таблица 5.9

Корреляционная матрица метеорологических, гидрологических параметров и первичной продукции планктона Северного Каспия в 1985-1995 гг.

	P	W	U	S _W	S _O
P г С/м ²					
W, км ³	0,44				
U, м БС	0,83	0,37			
S _W , ‰	-0,59	-0,68	-0,58		
S _O , ‰	-0,44	-0,69	-0,55	0,29	
КЦА	-0,62	-0,13	-0,79	0,34	0,49

Примечание: U - уровень Каспийского моря; КЦА - коэффициент циркуляции атмосферы, обозначение других параметров см. примечание к таблице 8

Отличие этого природного «водохранилища» от тех, что созданы человеком на реках планеты, заключается в процессах, происходящих в нижнем «бьефе». В речных водохра-

нилищах вода сбрасывается только сверху вниз, а сброс воды из северокаспийского «водохранилища» является результирующей составляющей водообмена между «верхом» (Северным Каспием) и «низом» (Средним Каспием), суммарная величина которого на порядок больше результирующей (см. выше). Кроме того, сброс воды в искусственных водохранилищах регулируется человеком, а в северокаспийском - полем ветра и уровнем моря. Однонаправленным действием этих факторов мы объясняем их преобладающий (по сравнению с речным стоком) вклад в формирование биологической продуктивности Северного Каспия в 1985-1995 гг.

5.4 Природные «очистные сооружения» устьевой области р. Волги

В вершину дельты Волги с речным стоком поступает большое количество загрязняющих веществ (ЗВ). Так в период с 1978 по 2001 гг. ежегодно поступление нефтяных углеводородов (НУ) в среднем было равно 70,4 тыс. тонн, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) – 5,4 тыс. тонн, фенолов – 0,8 тыс. тонн, цинка – 6,2 тыс. тонн, меди – 2,6 тыс. тонн (по данным Астраханского ЦГМС). Однако, морской границы устьевого взморья р. Волги, проходящей по Мангышлакскому порогу, достигает лишь малая их часть, составляющая в среднем для нефтяных углеводородов примерно 30% (Устьевая область, 1998). По сути Северный Каспий вместе с дельтой Волги можно рассматривать как некие «очистные сооружения», при этом созданная природой «технология» очистки загрязненных речных вод (рис. 5.7) во многом сходна с технологией, используемой человеком для очистки сточных вод.

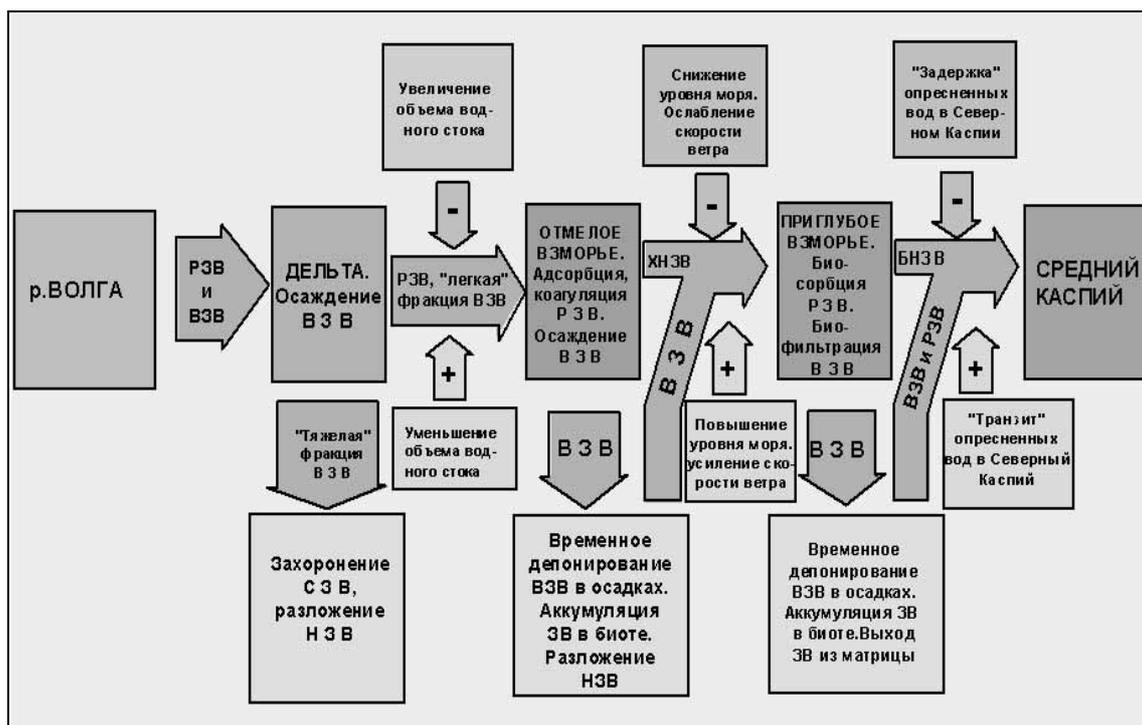


Рис 5.7 Схема «работы» природных «очистных сооружений» устьевой области Волги.

Эта природная «технология» последовательно включает в себя: а) механическую очистку – осаднение взвешенных загрязняющих веществ в дельте при уменьшении скорости движения воды; б) физико-химическую очистку – адсорбцию и коагуляцию растворенных загрязняющих веществ в отмелой зоне устьевого взморья, при этом поведение ЗВ в общем сходно с поведением других веществ; переходящих из воды во взвесь в зоне сме-

шения речных и морских вод; в) биологическую очистку – биосорбцию растворенных и биофильтрацию взвешенных загрязняющих веществ в приглубой зоне устьевого взморья. Для неустойчивых, т.е. подвергающихся биологической трансформации, загрязняющих веществ биологическая очистка связана также с их активным разложением.

Важно, что судьба загрязняющих веществ в рассматриваемой нами динамической системе тесно связана со взвесью, поскольку в растворенном виде в ней мигрируют только соединения, обладающие не только хорошей растворимостью как в пресной, так и в соленой воде, но и химически и биологически инертные, т.е. легко проникающие через барьеры «река-море» и обходящие барьер «вода-живое вещество», а таких соединений, как мы полагаем, среди загрязняющих веществ меньшинство. Это означает, что баланс ЗВ в Северном Каспии тесно связан с балансом взвешенных веществ (см. выше). Как следствие, для ЗВ характерны интенсивный обмен между водой и донными отложениями и регулярный (в основном, осенью и весной) сброс накопившейся массы в Средний Каспий.

В число расходных статей баланса стойких загрязняющих веществ (например, хлорорганических соединений) помимо выноса в Средний Каспий входит захоронение в осадках дельты Волги и биоаккумуляция на устьевом взморье, следствиями которой могут быть изъятие с рыбопродуктами, миграция вместе с nektonом за пределы рассматриваемого района, захоронение в биогенных морских осадках. Основной расходной статьёй баланса неустойчивых загрязняющих веществ (например, НУ и СПАВ) является их разложение, как правило, с широким участием микроорганизмов. Остальные расходные статьи баланса этих ЗВ аналогичны таковым у стойких загрязняющих веществ.

В воде загрязняющие вещества связаны в основном с «легкой» пелитоморфной взвесью, поступающей с речным стоком или образующейся при смешении речных и морских вод, так как «тяжелые» фракции оседают в дельте. Но в донных отложениях накопление ЗВ может происходить и в крупнозернистых осадках биогенного происхождения (ракуше и песке). Это обусловлено преобладанием в донной фауне северной части Каспийского моря, как, впрочем и в других его частях (Карпинский, 2002) моллюсков-сестонофагов (фильтраторов), жизнедеятельность которых способствует переходу ЗВ из «легкой» фракции взвеси в «тяжелую» фракцию осадков.

Учитывая важное кормовое значение этих моллюсков и, вообще, главную роль детритной пищевой цепи в функционировании экосистемы Северного Каспия (Биологическая продуктивность, 1974), накопление ЗВ в биогенных морских осадках следует считать чутким индикатором качества морской среды, соответствия ее состояния рыбохозяйственным требованиям. Загрязняющие вещества могут также переходить из взвеси и донных отложений обратно в воду, при этом первому процессу может способствовать повышение солености, а второму – формирование глубокой гипоксии в придонном слое, так как в восстановительных условиях и при снижении рН повышается растворимость многих ЗВ (Венецианов, 1999).

На каждой стадии очистки загрязненных речных вод на природных «очистных сооружениях» существуют условия, способствующие как повышению, так и снижению ее эффективности. Здесь мы считаем необходимым обратить внимание на то, что работа Северного Каспия, как «очистных сооружений» (рис. 5.7) тесно связана с его работой, как «водохранилища». Усиление меридиональной циркуляции атмосферы и водообмена на Мангышлакском пороге способствует выносу в Средний Каспий загрязняющих веществ, благодаря чему Северный Каспий становится заметно «чище». При «задержке» опресненных вод в северной части моря, вызванной усилением широтной циркуляции атмосферы, эффективность работы «очистных сооружений» в целом увеличивается, однако уровень загрязненности морской среды Северного Каспия повышается, а главное создаются благоприятные условия для накопления ЗВ в биоте. Учитывая, что кормовые угодья Северного Каспия в это время активно используются промысловыми рыбами для нагула, такая «очистка» может негативно отразиться на их физиологическом состоянии.

В целом сопоставив это утверждение с тем, что говорилось выше, можно предполагать, что условия, благоприятствующие повышению биологической продуктивности Северного Каспия, одновременно способствуют ухудшению качества морской среды в этой части моря. И наоборот, снижение биологической продуктивности Северного Каспия должно быть сопряжено с улучшением качества морской среды, хотя в конечном счете все зависит от степени антропогенной нагрузки, объема загрязняющих веществ, поступающих с поверхностным стоком и из других источников.

На этом мы заканчиваем краткий очерк, посвященный «работе» Северного Каспия. Следует отметить, что предложенные нами схема и механизм «очистки» загрязненных речных вод носят во многом гипотетический характер и не получили здесь фактического подтверждения. Отдельные факты, свидетельствующие о справедливости наших предположений будут изложены в следующей главе, а остаток этой главы мы планируем посвятить обзору метеорологических и гидрологических условий Северного Каспия в 1997-2001 гг., когда его акватория стала ареной активной деятельности ОАО НК «ЛУКОЙЛ».

5.5 Природные условия и особенности функционирования экосистемы Северного Каспия в 1997-2001 гг.

Как известно, период подъема уровня Каспийского моря, продолжавшийся 18 лет (с 1978 по 1995 гг.), закончился в маловодном 1996 году, когда объем годового стока р. Волги составил всего 176 км³. Несмотря на то, что в последующие пять лет средний объем годового стока (268 км³) был близок к тому, что наблюдался в 1978-1995 гг. (271 км³) уровень Каспийского моря, начиная с этого года, постепенно снижается (табл. 5.10). Следует отметить, что по сравнению с многоводным периодом 1991-1995 гг. годовой сток Волги в 1997-2001 гг. уменьшился в среднем на 30 км³. Средняя соленость Северного Каспия, соответственно, повысилась с 6,68‰ в 1991-1995 гг. до 7,40‰ в 1997-2001 гг. Однако, для рассматриваемого периода (1997-2001 гг.) в целом было характерно снижение солености и увеличение площади опресненной зоны Северного Каспия (табл. 5.10), которое мы объясняем преобладанием широтной циркуляции атмосферы.

Таблица 5.10
Уровень Каспийского моря, сток р. Волги, соленость и площадь опресненной зоны Северного Каспия в 1997-2001 гг. (Рыбохозяйственные исследования, 1998-2002)

Годы	Уровень моря, м абс.	Сток Волги, в/п Верхнее Лебяжье, км ³	Соленость Северного Каспия, ‰	Площадь опресненной зоны (0-8‰) Северного Каспия во время летней межени, тыс. км ²
1997	-27,00	243	7,72	54,0
1998	-27,03	284	8,21	34,2
1999	-27,05	288	7,26	45,5
2000	-27,08	243	7,01	64,3
2001	-27,17	282	6,78	82,1

Несмотря на постепенный рост КЦА с 0,40 в 1997 году до 0,82 в 2001 году, обусловленный увеличением повторяемости юго-восточных и северо-западных ветров, широтные ветры (западный и восточный), так же, как в 1991-1995 гг. в сумме преобладали над ветрами других направлений (табл. 5.11). Средняя скорость ветра была заметно ниже нормы, что характерно для широтного типа циркуляции атмосферы (табл. 5.12). Самыми ветренными весна и осень были в 1998 году, лето – в 2000 году, а зима – 1998-1999 гг.

Повторяемость ветра по направлениям (%) в северо-западной части Каспийского моря (ГМС Махачкала) в 1997-2001гг. в сравнении с многолетней нормой

Период	Направление ветра							
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Норма	3	4	7	39	5	1	13	28
1997	1	3	26	15	2	8	33	10
1998	1	3	30	17	2	8	28	12
1999	0	3	29	20	2	8	28	10
2000	1	3	26	20	1	4	29	16
2001	2	3	25	24	2	3	25	17

Таблица 5.12

Средняя месячная и средняя годовая скорость ветра (м/с) в северо-западной части Каспийского моря (ГМС Махачкала) в 1997- 2001 гг. в сравнении с многолетней нормой

Период	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Норма	6,2	6,5	6,6	6,7	6,0	5,4	5,1	5,6	5,6	5,8	6,6	6,2	6,0
1997	3,0	2,3	3,5	3,9	2,9	2,9	2,6	3,2	3,1	3,0	2,8	2,8	3,0
1998	3,0	3,7	4,5	3,1	3,4	2,9	2,8	2,8	3,8	4,0	3,2	3,3	3,4
1999	2,8	4,2	3,8	4,3	3,2	2,9	2,7	2,8	2,7	3,9	3,3	3,1	3,3
2000	2,7	2,8	3,9	3,0	2,9	3,4	3,7	3,0	3,1	2,4	2,9	2,5	3,0
2001	2,6	3,5	3,8	2,8	2,7	3,0	2,7	2,9	3,9	2,7	3,5	4,0	3,2

На рубеже 21 века существенно сократился, по сравнению с периодом повышения уровня моря, вынос с волжским стоком в Северный Каспий взвешенных наносов, органических и биогенных веществ (табл.5.13), что после серии полноводных лет, истощивших их запасы в речном бассейне, вполне объяснимо. Существенные изменения произошли в стоке биогенных элементов, на фоне сокращения выноса валовой и органической форм увеличилось почти в 2 раза поступление минеральных соединений азота и фосфора. Одновременно возросло поступление растворенного кремния в Северный Каспий с волжским стоком. Сокращение стока биогенных элементов способствовало снижению биологической продуктивности Северного Каспия (Катунин и др., 2001), объем валовой первичной продукции в 1997-2000 гг. (22,0 млн. тонн С/год) оказался существенно ниже, чем в 1991-1995 гг. (28,5 млн.тонн С/год). Интересно, что при этом резко возросло отношение первичной продукции к деструкции планктона (с 1,2 до 1,6), что, по-видимому, объясняется уменьшением стока ОВ и увеличением стока минеральных соединений биогенных элементов.

Таблица 5.13

Средний годовой сток биогенных, взвешенных и органических веществ р. Волги в Северный Каспий в 1999-2001 гг. (Рыбохозяйственные исследования, 2000, 2001, 2002)

Показатель	Год		Половодье	
	тыс. тонн	%	тыс. тонн	%
Фосфор общий	22,4	59	9,4	63
Фосфор органический	5,3	19	2,1	19
Фосфор минеральный	17,1	194	7,3	192
Азот общий	320,7	78	183,4	104
Азот органический	107,4	39	52,8	49
Азот минеральный	222,4	165	139,8	200
Растворенный кремний	694,0	131	348,8	148
Органическое вещество	3600	80	1770	86
Взвешенное вещество	5270	71	2630	49

Примечание: сток в % указан относительно периода 1978-1999 гг. (см. табл. 2). Сток органического и общего азота дан по 1999 и 2000гг.

Что касается загрязняющих веществ, то по сравнению с 1978-1995 гг. в 1997-2001 гг. уменьшилось поступление в вершину дельты Волги нефтяных углеводородов (с 76 до 54 тыс. тонн/год) и меди (с 2,8 до 1,8 тыс. тонн/год), а сток цинка, СПАВ и фенолов возрос, соответственно, с 5,9 до 8,1, с 5,4 до 6,0 и с 0,6 до 1,2 тыс. тонн/год (по данным Астраханского ЦГМС). Наибольший сток НУ (104 тыс. тонн) и СПАВ (12,1 тыс. тонн) был зарегистрирован в 2000 году, а цинка (15,8 тыс. тонн) и меди (2,2 тыс. тонн) – в 1998 году.

Рассматриваемый период существенно отличался от предыдущих лет по температурному режиму. Все пять лет оказались теплее обычного, хотя зимы 1996-1997 и 1997-1998 гг. по температуре воздуха были близки к норме. Положительный тренд температуры воздуха четко прослеживался в весенний и летний период, а осенние сезоны были относительно прохладными (табл. 5.14)

Таблица 5.14

Средняя месячная и средняя годовая температура воздуха в северо-западной части Каспийского моря (ГМС о. Тюлений) в 1997-2001 гг. в сравнении с многолетней нормой

Период	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Норма	-2,1	-1,8	1,6	10,3	17,7	22,2	25,5	25,2	19,4	12,6	6,4	1,5	11,5
1997	-2,2	-1,0	3,9	10,1	-	23,7	26,0	25,4	17,8	14,6	6,7	0,4	-
1998	-2,6	-2,1	2,8	11,0	17,6	26,3	27,2	26,5	19,8	14,3	7,5	1,8	12,5
1999	1,1	2,5	5,0	12,0	15,4	23,7	26,6	-	-	14,7	3,6	3,3	-
2000	1,1	2,9	5,6	14,0	15,9	22,3	27,0	26,4	20,0	11,7	6,2	2,9	13,0
2001	1,1	1,4	6,0	12,3	18,4	22,8	27,1	25,9	20,6	12,7	9,0	1,2	13,2

Ежегодно повышалась среднегодовая температура воды в Северном Каспии (табл. 5.15), что указывает на его положительный тепловой баланс. Причем накопление тепла год от года происходило и в те месяцы, когда Северный Каспий его активно отдает (сентябрь, январь, февраль). В отдельные месяцы (например, в июле 1998 года и августе 1999 года) температура воды приближалась к абсолютному максимуму. В течение трех зим (1998-1999, 1999-2000, 2000-2001 гг.) акватория Северного Каспия практически была свободна ото льда. В январе 2001 года пятиградусная изотерма проходила там, где обычно проходит граница ледяного покрова. Отсутствие последнего создавало благоприятные условия для воздействия ветра на циркуляцию вод, но скорость ветра в зимний период, как правило, была ниже обычного. Во все сезоны года, а в теплый период особенно, повышенные температуры воды благоприятствовали жизнедеятельности биологических сообществ, в т.ч. процессам биологического окисления загрязняющих веществ.

Таблица 5.15

Средняя месячная и средняя годовая температура морской воды в северо-западной части Каспийского моря (ГМС о. Тюлений) в 1997-1999 гг. в сравнении с многолетней нормой

Период	Месяцы												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Норма	0,7	0,8	3,6	11,2	18,8	23,4	25,3	24,4	19,5	12,4	6,2	2,2	12,4
1997	-0,3	0,0	4,8	10,9	19,2	23,5	26,3	24,9	18,6	15,5	7,4	1,7	12,7
1998	-0,1	0,0	3,0	11,2	17,4	25,8	26,4	26,1	19,8	14,9	8,2	1,3	12,8
1999	0,9	2,5	5,5	12,1	16,3	23,7	26,0	27,2	20,4	15,2	5,3	2,3	13,1
2000	1,4	3,0	6,2	14,5	17,1	21,7	26,1	26,1	20,3	12,4	7,1	3,2	13,3
2001	5,6	5,1	7,2	11,5	17,3	20,2	25,5	24,6	22,2	17,2	11,9	5,9	14,5

Выше было показано, что наилучшим показателем работы Северного Каспия, как природного «водохранилища» являются изменения солености воды. Понижение солености Северного Каспия в целом или отдельных его частей сопровождается накоплением в их пределах взвешенных и растворенных веществ (в т.ч. биогенных, органических и загрязняющих), поступающих с речными водами. Повышение солености, обусловленное вы-

теснением опресненных вод в Средний Каспий с одновременной заменой их солеными среднекаспийскими водами, наоборот, приводит в выносу всех названных веществ в среднюю часть моря. Из сведений о сезонных и межгодовых изменениях солености в восточной и западной частях Северного Каспия (табл. 5.16) следует, что отмеченная выше для периода 1997-2001 гг. тенденция снижения солености, лучше всего проявилась в июле, когда практически ничем не проявил себя положительный пик 1998 года.

Таблица 5.16
Соленость воды в западной и восточной частях Северного Каспия в 1997-2001 гг.
(Рыбохозяйственные исследования, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002)

Годы	Западная часть					Восточная часть				
	Апрель	Июнь	Июль	Август	Октябрь	Апрель	Июнь	Июль	Август	Октябрь
1997	8,05	8,60	7,60	8,10	8,30	7,43	7,89	7,30	7,00	6,16
1998	7,61	6,95	6,88	8,88	8,69	9,04	8,52	7,57	7,68	10,08
1999	7,44	7,01	6,74	7,96	8,52	6,08	6,17	5,84	5,95	6,03
2000	8,52	7,17	6,41	7,75	8,37	5,98	5,52	5,61	5,68	5,94
2001	7,17	6,62	5,82	5,57	8,37	7,12	5,79	5,63	5,03	5,96

Характерной особенностью рассматриваемого периода является то, что соленость воды в апреле текущего года, как правило, была ниже, чем в октябре предыдущего года. Это говорит о том, что речной сток за период осенне-зимней межени в основном задерживался в Северном Каспии, чему, надо полагать, способствовала широтная циркуляция атмосферы. Следует отметить, что причиной низкой солености в апреле 1999 года могло быть также раннее половодье на р. Волге. В последующие два года оно также начиналось на несколько дней раньше обычного. В предыдущие два года половодье, наоборот, наступало позже, чем обычно.

С целью более определенной оценки динамики запаса солей в Северном Каспии нами на основе приведенных данных (табл. 5.16) были рассчитаны солевые балансы западной и восточной частей, а точнее, только их результирующая составляющая для отдельных периодов (апрель-июнь, апрель-июль и т.п.). Для этого из солености последующего месяца вычиталась соленость предыдущего месяца, а полученная разность затем умножалась на объем вод западной (310 км³) и восточной (180 км³) частей Северного Каспия при отметке уровня моря, равной -27,0 м БС. Солевой баланс Северного Каспия рассчитывался как сумма солевых балансов его западной и восточной частей. Конечно, полученные данные (рис. 5.8) следует считать ориентировочными, но они все равно лучше, чем соленость, отражают динамику запаса солей по причине весьма существенного различия между восточной и западной частями в глубине и, соответственно, в объеме воды.

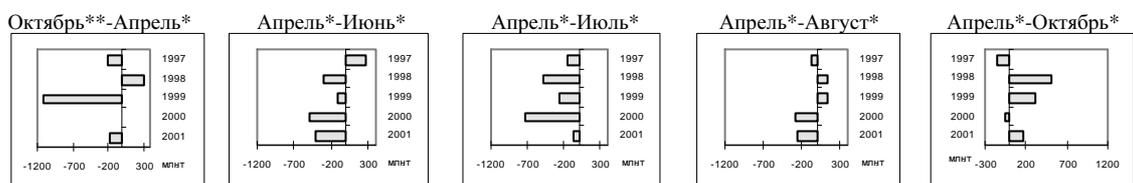


Рис.5.8 Солевой баланс Северного Каспия в 1997-2001 гг. в различные периоды года (* – текущий год, ** – предыдущий год)

Из полученных данных следует, что только в осенне-зимнюю межень 1997-1998 гг. сальдо солевого баланса Северного Каспия было положительным. В остальные меженные периоды, за исключением 1999-2000 гг., когда солевым балансом практически был равен нулю, происходило опреснение Северного Каспия и, соответственно, накопление в нем веществ, поступающих с речным стоком. В период половодья (апрель-июль) сальдо солевого баланса Северного Каспия было отрицательным во все годы. Однако они отличались друг от друга по запасу опресненных вод, который оказался наибольшим в 1998

и 2000 гг. Следует отметить, что в 1997 году в связи с поздним половодьем сальдо солевого баланса Северного Каспия в апреле-июне было положительным.

Интересно, что в 1998 и 1999 гг. к августу весь объем опресненных вод, образовавшийся во время половодья, был полностью вытеснен из Северного в Средний Каспий, на что указывает положительное сальдо солевого баланса за период апрель-август. Кроме этих двух лет положительное сальдо солевого баланса за период апрель-октябрь было зафиксировано также в 2001 году. Таким образом, еще одна особенность рассматриваемого периода лет состоит в том, что в летне-осеннюю межень из Северного в Средний Каспий полностью сбрасывались опресненные воды и вместе с ними, как мы полагаем, если не все, то большая часть веществ, поступивших с речным стоком.

«Задержка» опресненных вод в Северном Каспии до середины осени наблюдалась только в 1997 и 2000 гг. Интересно, что именно в эти годы площадь распространения гипоксии в Северном Каспии в августе оказалась наибольшей для пяти рассматриваемых лет (21,3 тыс. км² – в 1997 г. и 20,2 тыс. км² – в 2000 г.), а состояние осетровых рыб, нагуливающих на кормовых угодьях Северного Каспия, было наихудшим по физиологическим и биохимическим показателям, указывающим на интоксикацию организмов (Гераскин и др., 1998, 1999, 2000, 2001, 2002).

В связи с последним обстоятельством нами был рассчитан по указанной выше схеме солевой баланс Северного Каспия для периода 1978-2001 гг. Минимальное сальдо солевого баланса для периода апрель-октябрь было зарегистрировано в 1988 году (-528,6 млн. тонн), при этом в соседние годы (1987 и 1989) оно также было очень низким (< -200 млн. тонн). Обращает на себя внимание тот факт, что именно в эти годы физиологическое состояние осетровых и других рыб было очень плохим, в частности, в это время получили широкое распространение миопатия и другие патологии, причиной которых, как принято считать (Научные основы, 1998), был «кумулятивный политоксикоз». Таким образом, высказанное выше предположение о том, что «задержка» опресненных вод в Северном Каспии способствует накоплению загрязняющих веществ в морской биоте, получило фактическое подтверждение.

Приведенные факты указывают на тесную связь функционирования Северного Каспия как природного «водохранилища» с его вынужденной работой в качестве природных «очистных сооружений». Этими «механизмами», пока во многом гипотетическими и схематическими, конечно, не исчерпывается функциональная организация экосистемы северной части моря. В то же время перспективность использованного подхода, который кратко можно назвать балансовым, для оценки и регулирования антропогенной нагрузки на экосистему Северного Каспия, не вызывает у нас сомнений. Мы надеемся, что нам удалось выявить основные и достаточно легко измеряемые параметры, которые можно использовать для решения этих задач, определить условия, при которых повышение антропогенной нагрузки нежелательно, или, наоборот, допустимо. В «кризисных» для морской экосистемы ситуациях «нулевого сброса», по-видимому, является единственной технологией нефтегазодобычи, не ухудшающей и без того плохое качество морской среды.

О высокой природоохранной эффективности «нулевого сброса» свидетельствуют данные наблюдений, проводимых по программе производственного экологического мониторинга ОАО НК «ЛУКОЙЛ». Эти данные также позволяют дополнить предложенные здесь «механизмы» функционирования экосистемы Северного Каспия новыми «детальями», что будет сделано в заключительной главе.

Литература

- Ахмедова Г.А. Особенности гидрологических и гидрохимических условий на Дагестанском шельфе Каспийского моря. Автореф. канд. дисс. - М: ГОИН, 2002 - 22 с.
Биологическая продуктивность Каспийского моря - М: Наука, 1974 - 242 с.
Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР, т.2, Каспийское море, вып.1-3 - Л: Гидрометиздат, 1986 - 268 с.
Гидрометеорология и гидрохимия морей, т.6, вып.1, Гидрометеорологические условия - С-П: Гидрометиздат, 1992 - 359 с.

Гидрометеорология и гидрохимия морей, т.6, вып.2, Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности - Спб: Гидрометеоиздат, 1996 - 322 с.

Иванов В.П., Сокольский А.Ф. Научные основы стратегии защиты биологических ресурсов Каспийского моря от нефтяного загрязнения - Астрахань, Изд-во КаспНИРХа, 2000 - 181 с.

Катунин Д.Н., Хрипунов И.А., Беспарточный Н.П., Никотина Л.Н., Галушкина Н.В., Радованов Г.В. Влияние волжского стока на гидролого-гидрохимический режим Каспийского моря // Каспийский плавучий университет. Бюллетень №1, 2000 - С. 111-117

Катунин Д.Н., Хрипунов И.А., Беспарточный Н.П., Галушкина Н.В., Никотина Л.Н., Кравченко Е.А., Радованов Г.В., Кашин Д.В., Железцова Е.Г., Гидролого-гидрохимический режим Нижней Волги и Каспийского моря // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 2000 год - Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2001 - С. 15-33

Катунин Д.Н., Хрипунов И.А., Беспарточный Н.П., Галушкина Н.В., Никотина Л.Н., Кравченко Е.А., Радованов Г.В., Кашин Д.В., Железцова Е.Г., Дулимов А.Б., Фесенко В.И., Азаренко А.В. Гидролого-гидрохимический режим дельты Волги и Каспийского моря // Рыбохозяйственные исследования на Каспии: Результаты НИР за 2001 год - Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2002

Каспийское море: Проблемы седиментогенеза - М:Наука, 1989 - 184 с.

Научно-технический отчет по теме «Инженерно-гидрометеорологические изыскания в 2000 году на структуре «Широтной» - Астрахань, 2000 - 299 с.

Научные основы устойчивого рыболовства и регионального распределения промысловых объектов Каспийского моря - М: Изд-во ВНИРО, 1998 - 167 с.

Пахомова А.С., Затучная Б.М. Гидрохимия Каспийского моря - Л: Гидрометеоиздат, 1966 - 343 с.

Современный и перспективный водный и солевой баланс южных морей СССР - М: Гидрометеоиздат, 1972, 236 с. (Тр. ГОИН, вып. 108)

Хвацкая Ю.А. Некоторые черты режима солености и перспективный солевой баланс Каспия // Тр. ГОИН, 1978, вып. 139, С. 72-77

Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря - М: ГЕОС, 1998 - 280 с.