

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЙ ЭКОСИСТЕМ ЧЕРНОГО, КАСПИЙСКОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ И ИХ СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Сапожников В.В.
(ВНИРО)

Прибрежные мелководные зоны Черного и Каспийского морей и все Азовское море испытывают наиболее сильное, постоянно увеличивающееся антропогенное влияние за последние 50 лет. Загрязненный сток рек, хозяйственно-бытовые и промышленные сбросы, смыв удобрений и пестицидов с полей и виноградников, интенсивное судоходство, береговое строительство, дампинг, добыча гравия, нефти и газа – все это привело к полной деградации экосистемы шельфа. Дополнительная проблема – загрязнение Черного моря радиоактивными изотопами, вызванное катастрофой на Чернобыльской атомной электростанции.

Для вод шельфа Черного моря пресный сток рек имеет определяющее значение. Поэтому, прежде всего, изменения характера пресного стока после зарегулирования многочисленными плотинами и водохранилищами основных рек, отрицательно сказались на северо-западном шельфе и в прибрежных водах остальной акватории: на Дунае построено больше чем 19 водохранилищ, на Днепре – больше 7. Следует также учитывать и небольшие водохранилища. Хотя каждое из них содержит маленький объем воды, однако их число превышает 250 тысяч в бассейне Днепра.

После строительства многочисленных плотин прежде всего был "срезан" весенний паводок, который вносил 70% стока за несколько недель и огромные количества взвешенного материала. Теперь сток в период паводка не превышает 35% годового стока. Безвозвратное водопотребление достигло 4.2 км^3 для главных рек. В то же самое время водохранилища сбрасывают воду зимой, приводя к зимним паводкам. Вода в водохранилищах "зацвела", а, следовательно, значительная часть фосфора выносится не в форме фосфатов, а в составе органических соединений. Плотины являются причиной отложения в осадок взвешенного кремния и ведут к его резкому уменьшению в стоке. Сейчас наблюдается уменьшение в стоке нитратов и увеличение количества органического и аммонийного азота. Речные воды содержат повышенные количества как взвешенного, так и растворенного органического вещества (ВОВ и РОВ). Содержание взвешенного органического углерода в стоке Дуная, Днепра и Днестра увеличилось в 5-12 раз. За последние 20 лет слой сероводорода поднялся на 20-25м, что можно объяснить чрезмерным притоком аллохтонного органического вещества.

Содержание загрязнителей в стоке изменяется быстро. Например, последние изменения включают пятикратное увеличение концентрации фенолов в стоке Днепра и Дуная. Общий вынос достигает 1050 тонн в год. В то же самое время сток поверхностно-активных веществ уменьшился в 1.5 раза для Дуная (4400 тонн) и в 7 раз для Днепра (900 тонн). Поэтому химические данные относительно речного стока весьма существенны для понимания современного экологического состояния Черного моря.

Впервые изменение содержания фосфатов и кремния в поверхностном слое (0-50м) за период 1928-1978 гг. было замечено Налбандовым и Винтовкиным [1980]. За 50 лет средняя концентрация фосфатов упала с 1.54 до 0.35 μM , кремния - с 54 до 5 μM . Таким образом, количество фосфатов уменьшилось приблизительно в 5 раз, кремния в 11 раз и нитратов - в 8 - 10. С другой стороны, в пределах шельфовой зоны произошло резкое увеличение содержания аммиака - до 0.4-2.2 μM , где содержание мочевины достигает 11 - 19 μM .

Концентрации органического углерода увеличились от 160-250 μM до 700-1000 μM . Резко возросли концентрации растворенного органического фосфора (до 1.0-1.2 μM) и органического азота (до 11-25 μM). В северо-западной части моря, особенно около устьев рек, эти величины возрастают на порядок и более. Многолетнее изучение химического режима прибрежной зоны Кавказа, Крыма и Болгарии показало крупномасштабное уменьшение растворенного органического вещества (РОВ) от северо-западных мелководий к южному побережью Крыма. Максимальные величины первичной продукции, хлорофилла и загрязнителей были также отмечены на северо-востоке. Сток больших и маленьких рек формирует локальные области увеличенных и уменьшенных величин ОВ. Накопление ОВ антропогенного происхождения происходит не только на шельфе, но и в пелагиали. Биохимический состав ОВ, изучаемый на Болгарском шельфе, показал больше липидов, чем на Кавказе. Западные прибрежные воды содержат в 4-8 раз более высокие концентрации белков, чем восточные. Скорости деструкционных процессов ОВ и оборота биогенов увеличиваются в прибрежных экосистемах из-за активности целого ряда ферментов.

Прибрежные экосистемы быстро используют приносимый материал, изменяя метаболизм микрофлоры. Это ведет к формированию большой биомассы как гетеротрофного, так и автотрофного фитопланктона и к ускорению обмена биогенных элементов (рециклинга) и ОВ в продукционно-деструкционных процессах.

Быстрое развитие короткоциклового вида (ноктилюки, медузы, гребневики) характерно для экологической ситуации Черного моря в различные периоды времени. Появление вселенцев подобно гребневику *Mnemiopsis* и затем *Beroe* можно рассматривать как "биологическое загрязнение", которое является последствием серьезных и глубоких

изменений в химической основе биологической продуктивности. Химический и биохимический состав вод Черного моря и особенно прибрежной зоны резко изменился. Главной причиной является избыток аллохтонного ОВ, которое в современных условиях стекает в море в течение всего года и способствует быстрому развитию бактерий, грибов и простейших. Ускорение оборота органического вещества и биогенных элементов в продукционно-деструкционном цикле прибрежных вод привело к появлению мощных цветений *Exuviaella cordata*, *Goniaulax polyedra*, *Goniaulax poligramma*, а также массового развития инфузорий типа *Mezodinium rubrum*, достигающих силы "красного прилива" (около залива Варны, 1989).

Эти явления вызваны эвтрофикацией и высокими скоростями первичной и вторичной продукции, а также процессами регенерации. Например, биохимический анализ причин опасного цветения морских водорослей около болгарского побережья показал, что на шельфе, в поверхностных водах Основного Черноморского течения и в прибрежных водах около входа в Варнский залив происходит накопление соединений полураспада ОВ. Результат гидролитического расщепления (высокая активность лактатдегидрогеназы) свидетельствовал об интенсивных процессах расщепления (гликолиза) сахаров, в то время как высокая активность фосфатазы приводила к гидролитическому разложению соединений органического фосфора. В то же самое время активность ферментов электронно-транспортной системы (ЭТС), которые катализируют окисление органических веществ до CO_2 и H_2O и таким образом изымают их из экосистемы шельфа, была практически нулевой. Накопление низко-молекулярного ОВ, главным образом, ди- и трикарбоновых кислот, мочевины и аминокислот ведет к переходу некоторых разновидностей фитопланктона на гетеротрофное питание при использовании этих органических соединений.

При увеличении степени эвтрофикации водоема гетеротрофные процессы интенсифицируются, что выражается в преимущественном увеличении биомассы гетеротрофных микроорганизмов по сравнению с фитопланктоном и детритом. Экосистема Черного моря приспосабливается к этой новой ситуации массовым развитием короткоцикловых видов, которые способны быстро преобразовать избыточные количества органического вещества. Практически те же самые этапы изменения экосистемы прошла и экосистема Каспийского моря за последние 10 лет, включая и появление *Mnemiopsis leidyi* в 1998 году.

В настоящее время экосистема Черного моря уже прошла все эти стадии и приближается к новому положению равновесия. Поэтому в этот период очень важно проводить гидрохимический и биохимический мониторинг современного состояния экосистемы, чтобы фиксировать направленные изменения, которые позволят

предсказывать ее будущее состояние. Биохимические исследования морских экосистем и особенно сравнения активностей соответствующих ферментов окисления ОВ до низкомолекулярных соединений и скоростей разложения этих соединений до CO_2 и воды позволяют делать быструю оценку влияния этих факторов на прибрежные экосистемы Черного моря.

Для контролирования нормального функционирования экосистемы Черного моря необходимо выполнять комплексный экологический мониторинг и некоторые элементы биомелиорации. Один из перспективных методов борьбы с эвтрофикацией – это искусственное культивирование беспозвоночных (мидий, устриц) в прибрежных водах. Мидии и устрицы в процессе питания отфильтровывают тонкую органическую взвесь и значительно ускоряют продукционно-деструкционные процессы в экосистеме.

В настоящее время содержание ОВ в Черном море увеличилось не только в поверхностных водах (до 6-9 мгС/л), но и в глубинной воде (на 2000 м до 12-14 мгС/л), что соответственно увеличило сульфат-редукцию и привело к увеличению содержания сероводорода на этой глубине (до 8.77 мл/л), а также фосфатов – до 10 μM , аммония – до 110 μM , кремния – до 350 μM . Общий запас ОВ в анаэробной зоне (200-2000 м) увеличился в последние годы до 17.6 кг/м².

Следует заметить, что увеличение скорости поступления нефтяных углеводородов в связи с активизацией судоходства и нарастающей добычей нефти и газа вызовет дальнейшее увеличение численности микрогетеротрофов и дальнейший сдвиг экосистемы Черного и Каспийского морей в сторону эвтрофикации за счет аллохтонного ОВ.

За последние 70 лет в бассейне Каспийского моря произошли очень серьезные изменения, аналогичные изменениям, происходившим в Черном море, о чем упоминалось ранее, связанные с гидростроительством, ирригацией, увеличением сброса хозяйственно-бытовых и промышленных стоков, падением, а затем подъемом уровня моря.

После строительства водохранилищ на всех крупных реках, впадающих в Каспий, существенно изменилась гидрохимическая основа формирования биологической продуктивности. Почти вдвое уменьшился приток фосфатов и растворенной кремнекислоты, в 1.5 раза – азота и почти втрое взвешенного фосфора и кремния. В то же время резко увеличился сброс растворенной органики, аммония, мочевины и т.д. Непрерывно растет объем сбрасываемых в Волгу хозяйственно-бытовых и промышленных стоков. Следует учитывать небольшие водохранилища, количество которых в бассейне Волги превышает 400 тысяч.

Анализ хода уровня осадков, испарения и стока, выполненный в работе (К.Арпе и др. 1999) позволяет надеяться, что подъем уровня Каспия прекратился и в течение 10-15 лет будет колебаться около отметки (-27.0м) Следовательно, по положению уровня

экосистема Каспия вернулась к ситуации 30-х годов. Однако по другим показателям этого не произошло. Резко уменьшилось содержание фосфатов и кремния в глубинных водах Южного Каспия. Если в 30-ые годы содержание фосфатов было 1.8 μM и кремния - 110 μM , то в 90-ые годы концентрация фосфатов - 1.3 μM , а кремния - 80 μM , т.е. практически на 25-30% ниже. Концентрация кремния в поверхностных водах Среднего Каспия также стала ниже на 30% (Сапожников, 1996).

Сравнение данных С.В.Бруевича [1937] с данными последних съемок показали, что в 30-ые годы содержание растворенного кислорода в Южном Каспии не превышало 0.5 мл/л, т.е. вдвое ниже, чем в настоящее время. Концентрация нитратов в 30-ые годы падала в глубинных слоях до нуля, свидетельствуя о процессах нитрат-редукции и даже денитрификации, в то время как в настоящее время она уменьшается лишь до 8 μM . Слой максимума нитратов (11.4 μM) в 30-ые годы залегал на глубине 200-400 м, а в наше время он расположен на 400-500 м и составляет 12.00 μM .

Огромные изменения произошли на площади водосбора. Все крупные реки, впадающие в Каспий: Волга, Терек, Сулак, Самур, Кура и даже Урал (в верховьях) перегорожены плотинами. Причем обычно их 2-3, а на Волге - 9, не считая притоков. Образовавшиеся водохранилища "зацвели" и большая часть фосфора и азота перешла в органические соединения. Вместо фосфатов и нитратов стали выноситься в море органические соединения азота и фосфора, а также аммоний и мочевины. Кремний, который выносится реками в виде взвеси и коллоидов, в значительной мере осел в донные отложения водохранилищ. Резко возросло количество выносимого органического вещества, причем в течение всего года. Соответственно в течение всего года высока биомасса и активность микрогетеротрофов.

Прежде всего, совершенно изменился характер речного стока. Вместо весеннего паводка, когда выносилось в течение месяца 80-90% годового стока, не только водного, но и химического, теперь паводок не превышает 40%. Около 35% воды из водохранилищ сбрасывается зимой, образуя зимний паводок и зимнее «цветение» ризосолении. Кстати, диатомовая водоросль ризосоления, которая размножается в Каспии в последние 70 лет, перехватывает остатки растворенной кремнекислоты в эвфотическом слое. Поскольку она не используется зоопланктоном, то после отмирания ризосоления опускается на дно, захоранивая большие количества кремния, фосфора и азота.

Другими словами, на Каспии произошли серьезные изменения биогенной основы экосистемы, так же как это произошло в Черном море и практически по тем же самым причинам (Виноградов и др., 1992), но со сдвигом по времени на 10 лет.

Задержка по времени изменений гидрохимической основы биопродуктивности на Каспии связана с низким уровнем моря, который держался с 1965 по 1985 г.г. При низком

уровне зимняя вертикальная циркуляция на Каспии достигает дна и поэтому отсутствует гипоксия в глубоководных впадинах и высокие концентрации биогенов выносятся в эвфотический слой.

Все гидрохимические изменения в пресном стоке приходится обнаруживать во всей водной толще Каспия, т.к. перемешивание зимой идет до дна.

Как только уровень Каспия поднялся до - 26,5 м в 1995 году тут же появился поверхностный распресненный слой и пикноклин отделил поверхностные воды от остальной водной массы. Зимняя вертикальная циркуляция "не пробивает" пикноклин, а следовательно все изменения пресного стока сказываются только на поверхностном слое (0 - 50 м). И тут изменения экосистемы поверхностного слоя пошли ускоренным темпом. Практически за несколько лет Каспий "догнал" по своим изменениям Черное море, включая появление гребневика *Mnemiopsis*.

Исследования, проведенные в Азовском море лабораторией морской экологии ВНИРО в 2006 году, показали, что несмотря на незначительные изменения концентраций биогенных элементов, изменение баланса продукционно-деструкционных процессов очень существенно. Уже практически не наблюдаются огромные величины пересыщения воды растворенным кислородом (порядка 280-350%), которые фиксировали Книпович [1938] и Дацко [1959]. В штилевые дни после шторма процентное насыщение воды растворенным кислородом не превышало 140%. Основной причиной этого является увеличившийся вынос аллохтонного органического вещества и резкое возрастание интенсивности деструкционных процессов.

Азовское море превратилось в "котел" для "дожигания" избыточного органического вещества. Влияние изменений пресного стока в таком мелководном море как Азовское сказалось быстрее всего. Затем оно почувствовалось в мелководной зоне северо-западной части Черного моря, а затем и во всем его поверхностном слое (0-50м).

Если по сравнению со всем объемом Черного моря объем годового стока ничтожен, то в сравнении с объемом верхнего слоя (0-50м), он составляет 1/5 или 1/8 часть, т.е. весь поверхностный слой до пикноклина будет обмениваться полностью за 5-8 лет.

В Каспийском море изменения пресного стока, в связи с зарегулированием рек, сказались только после подъема уровня в 1995 году, когда в результате распреснения сформировалась устойчивая стратификация. Практически за 5-10 лет на Каспии произошли те же изменения гидрохимической макроструктуры: резко уменьшились концентрации фосфатов и нитратов в поверхностном слое (почти до аналитического нуля), но значительно увеличились в глубоководных котловинах Среднего и Южного

Каспия. Концентрация кремния в Среднем Каспии на глубине 780 м достигла 215 μM – это выше, чем где-либо в Мировом океане.

В 2006 году в Южном Каспии во время съемки был обнаружен сероводород на глубине 980 м, что доказывает появление анаэробных условий и полную тождественность с той ситуацией, которую наблюдал С.В.Бруевич в 1933-34гг.

Сохранение или даже повышение уровня Каспия до 2020г. грозит дальнейшим уменьшением "новой" первичной продукции, ухудшением кормовой базы пелагических рыб и, особенно, анчоусовидной кильки.

Для южных морей России решающим фактором в изменении гидрохимической основы биопродуктивности явилось антропогенное влияние, что привело к нарушению равновесия в экосистеме и появлению свободных экологических ниш, где и обосновались такие вселенцы как *Mnemiopsis* и *Beroe*.

Сейчас экосистемы Черного, Каспийского и Азовского морей приближаются к новому состоянию равновесия, но уже при более высоком содержании взвешенного и растворенного органического вещества, при слабом весеннем "цветении" диатомовых, и замене их перидиниевыми, а также при значительно более высокой активности микрогетеротрофов (бактерий, простейших, грибов). Большая часть первичной продукции создается на рециклинге биогенов, а это значит, что поток органики не доходит до высших трофических уровней, и, следовательно, с промышленной продукцией будет все хуже и хуже.

В какой-то мере антропогенное влияние на водосборный бассейн таких северных морей, как Балтика и Белое, сказывается уже сейчас. Неоднократно отмечалось массовое развитие вредоносных водорослей на Балтике, а в Белом море была наблюдалась массовая гибель морских звезд и мидий. Увеличение количества малых водоемов в пределах водосборного бассейна Балтики и Белого моря до сотен тысяч, как это отмечено для бассейнов Днепра и Волги, неумолимо приведет к таким же изменениям гидрохимической структуры. Однако этот процесс будет буферироваться обменом с океаном.

Литература

Арпе К., Бенгссон Л., Голицин Г.С., Мохов И.И., Семенов В.А., Спорышев П.В. Анализ и моделирование изменений гидрологического режима в бассейне Каспийского моря. Доклады РАН. Серия Геофизика.. 1999.Т.366. N2. С.248-252.

Бруевич С.П. Гидрохимия Среднего и Южного Каспия. Изд.Ак.наук СССР. Москва. 1937. 352с.

Виноградов М.Е., Сапожников В.В., Шушкина Э.А. Экосистема Черного моря. М., Наука, 1992. 177с.

Дацко В.Г. Органическое вещество в водах Южных морей СССР. Изд. Акад. наук СССР. М., 1959. С. 71-153.

Книпович Н.М. Гидрология морей и солоноватых вод. М.Л. Пищепромиздат. 1938. 511с.

Налбандов Ю.Р., Винтовкин В.Р. 1980. Гидрохимические условия аэробной зоны Черного моря осенью 1978 г. // Экосистемы пелагиали Черного моря. – М., Наука. – С. 50-61.

Сапожников В.В. Комплексные гидрохимические и биохимические исследования Волго-Каспийской экспедиции на судах "Антарес" и ГС-194 (4 августа-10 сентября 1995 г.). Океанология. Т.36. N 1.1996. С.148-151.