



Изменение экосистемы Каспийского моря за последние 70 лет

Д-р геогр. наук В.В. Сапожников – ФГУП «ВНИРО»

Сейчас, когда закончился саммит «Тегеран-2007», где обсуждались политические проблемы Каспия, особенно своевременно поговорить об экологических проблемах моря, тем более что в Тегеране было достигнуто абсолютное взаимопонимание в том, что «проекты, способные нанести экологический ущерб, не могут реализовываться без совместного одобрения участников каспийской пятёрки».

Территория вокруг Каспийского моря всегда была узловым районом при торговых обменах между Азией и Европой. Каспийский регион, который когда-то делили между собой СССР и Иран, теперь распался на пять государств. Все они хотят добывать нефть и ловить рыбу, но при этом не затрачивать ни копейки на экологические исследования, на охрану рыбных запасов и оценку загрязнений.

Каспийское море необычайно важно для России не только как крупнейший в мире осетровый водоем, но и потому, что в последнее время на Каспии разворачивается широкая программа добычи нефти и газа и необходимо минимизировать отрицательные последствия этих процессов для рыбного хозяйства.

На памяти старшего поколения непрерывные «стоны» по поводу понижения уровня Каспийского моря. В 1978 г. уровень Каспия достиг рекордной отметки -29,0 м (рис. 1). Многие прибрежные сооружения (причалы, купальни, санатории) остались в нескольких километрах от уреза воды. Затем уровень стал быстро подниматься и в 1995 г. достиг отметки -26,5 м, на которой Каспий находился в 1933 – 1934 гг., когда были выполнены классические исследования экосистемы моря профессором С.В. Бруевичем [Бруевич С.В. *Гидрохимия Среднего и Южного Каспия*// М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1937. 352 с.].

В 30-е годы глубинные котловины Среднего и Южного Каспия содержали

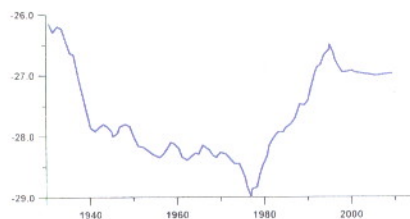


Рис. 1. Изменение уровня Каспийского моря с 1930 по 2006 г.

сероводород на глубине более 700 м и походили на Черное море. В них отсутствовали кислород и нитраты, было много аммония.

В 1978 г. в результате уменьшения стока и увеличения испарения произошло

осолонение поверхностного слоя, и во время зимнего выхолаживания вертикальное перемешивание достигало дна. Концентрация растворенного кислорода в глубинных водах достигла 4,12 мл/л (рис. 2). Процентное насыщение вод кислородом не

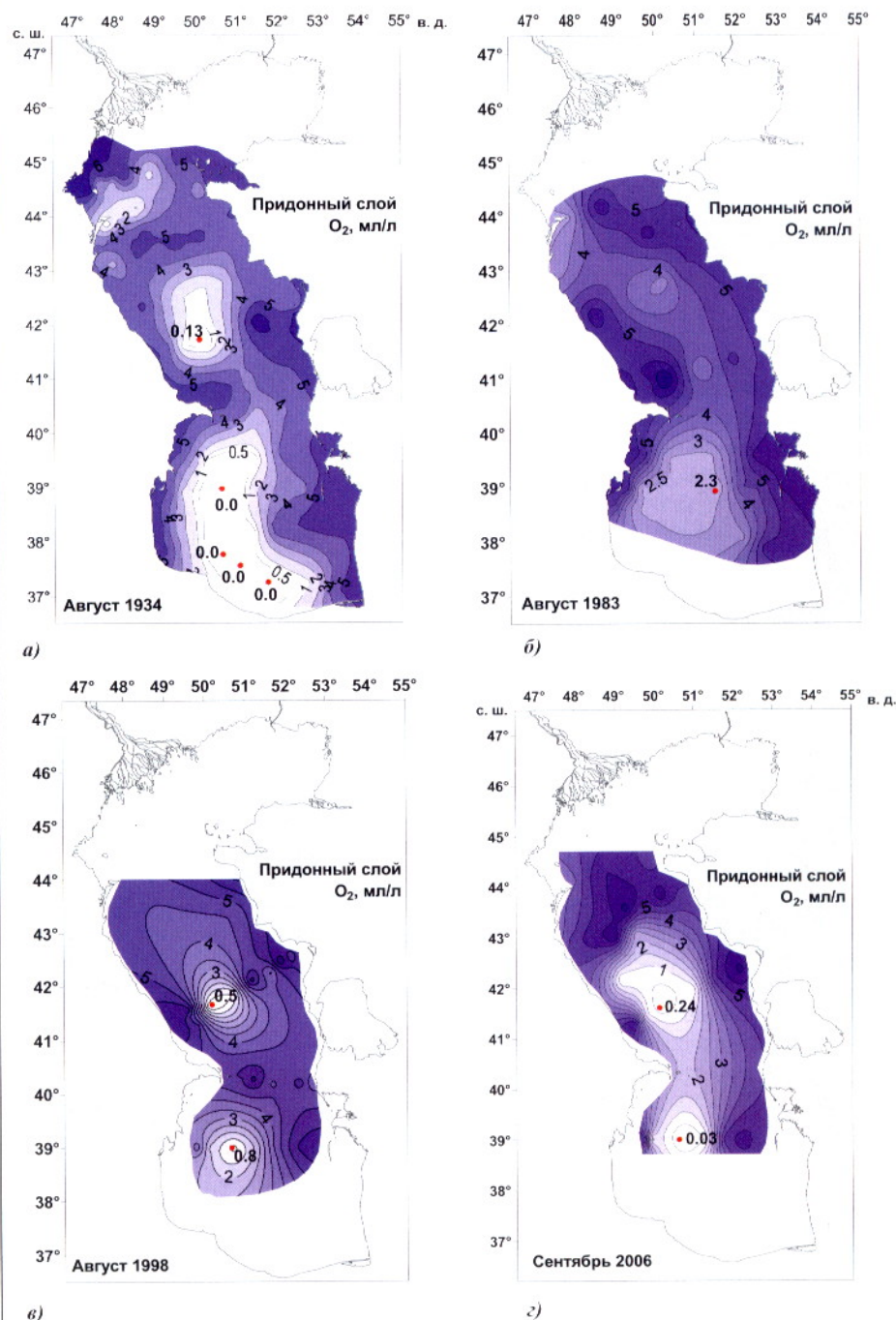


Рис. 2. Распределение растворенного кислорода в придонном слое: а) в 1934 г. (по С.В. Бруевичу); б) в 1983 г., характерное для ситуации низкого уровня; в) в 1998 г., переходное состояние экосистемы; г) в 2006 г., в период высокого стояния уровня

падало ниже 80 %, а концентрация фосфатов не поднималась выше 1,0 μM . Вся толща вод прекрасно вентилировалась, к поверхности выносились высокие концентрации фосфатов, нитратов и кремния, что вызывало мощное весеннее «цветение» фитопланктона, а затем поток органики доходил до высших трофических уровней, т.е. до объектов промысла.

Как замкнутый водоем, отделенный от Мирового океана, Каспий очень чутко реагировал на все изменения, которые происходили на площади водосбора за эти 70 лет. А произошло следующее: все крупные реки были перегорожены многочисленными плотинами, весенние паводки уменьшились до 40 % годового стока, но появились «зимние паводки» – до 35–40 % стока, изменился химический состав стока. Если раньше 95 % стока и 96 % химичес-

кого стока выносились с весенним паводком, то теперь, когда все водохранилища «зацвели», выносятся, главным образом, не минеральные формы фосфора (фосфаты) и азота (нитраты), а аммоний, мочевины, органические формы азота и фосфора и огромные количества аллохтонной органики. В Каспии изменился состав фитоцены. В 1921 г. вместе с катерами из Батуми на Каспий была завезена диатомовая водоросль – ризосоления. Все это повлияло на экосистему Каспийского моря.

Исходное состояние экосистемы Каспийского моря зафиксировано в экспедиции С.В. Бруевича 1933 – 1934 гг. Распределение растворенного кислорода, сероводорода, кремния, фосфатов и нитратов на разрезах Дивичи-Кендерли и о. Куринский Камень – о. Огурчинский через котловину Среднего и Южного Каспия пред-

ставлено на рис. 3. Важно отметить, что концентрация кремния в глубоководной котловине Среднего Каспия превышает 130 μM , в то время как в Южной Котловине – лишь 105 μM , а это уже в присутствии сероводорода(!!!).

Напомним, что в Черном море, на глубине 2000 м, в сероводородной зоне, концентрация кремния очень высока и составляет 350 μM , аммония – 100–110 μM , фосфора – 9,5–10,5 μM [Сапожников В.В., Сапожников М.В. Вертикальное распределение и оценка максимальных концентраций биогенных элементов в Черном море // «Океанология», 2002. Т. 42, № 6. С. 831–837]. В Южном Каспии наблюдаются очень высокие концентрации фосфатов – до 2,2 μM . Содержание нитратов максимально в слое 150–250 м и равно 12 μM , причем, ко дну идет быстрое падение их количества: до 2,0 μM – в Среднем Каспии и до 0,0–0,5 μM – в Южном.

Когда в 1995 г. уровень Каспия резко поднялся до отметки -26,5 м, т.е. до той же величины, что и в 1933 г., снова начались переживания, так как теперь вода заливала причалы, дороги, санатории, которые были построены за время низкого стояния уровня на самом берегу. Но это были чисто внешние проявления, а в толще моря уже происходили процессы перестройки всей экосистемы.

Возникла идея проследить весь процесс перестройки гидрохимической структуры моря – от аэробной до субанаэробной и даже до анаэробной, когда появляется сероводород, как это было в 1933 – 1934 гг. при такой же высоте уровня. После 1995 г. уровень немного упал и стабилизировался около отметки -27,0 м. Непрерывный гидрохимический мониторинг, проводимый в последние 13 лет, показал, что происходит непрерывное нарастание гипоксии в глубинных котловинах Среднего и Южного Каспия. Одновременно в них происходит нарастание концентраций кремния, фосфатов и нитратов (в слое максимума). К 2001 г. концентрация кремния в котловине Среднего Каспия достигала 170 μM , фосфатов – более 1,8 μM , а содержание нитратов в слое 200–500 м превышало 14 μM , лишь слегка уменьшаясь ко дну – до 8 μM (рис. 4).

Подъем уровня в 80-е годы был вызван изменением атмосферной циркуляции, уменьшением испарения и увеличением речного стока. Распресненный поверхностный слой отделялся от основной толщи вод мощным пикноклином. К этому времени все крупные реки, впадающие в Каспий, были зарегулированы: на Волге – семь плотин, на Тереке и Сулаке – по две, на Куре – три и т.д.

После строительства многочисленных плотин, прежде всего, был «срезан» весенний паводок, который вносил 80 % стока за несколько недель и огромные количества взвешенного материала. Теперь сток

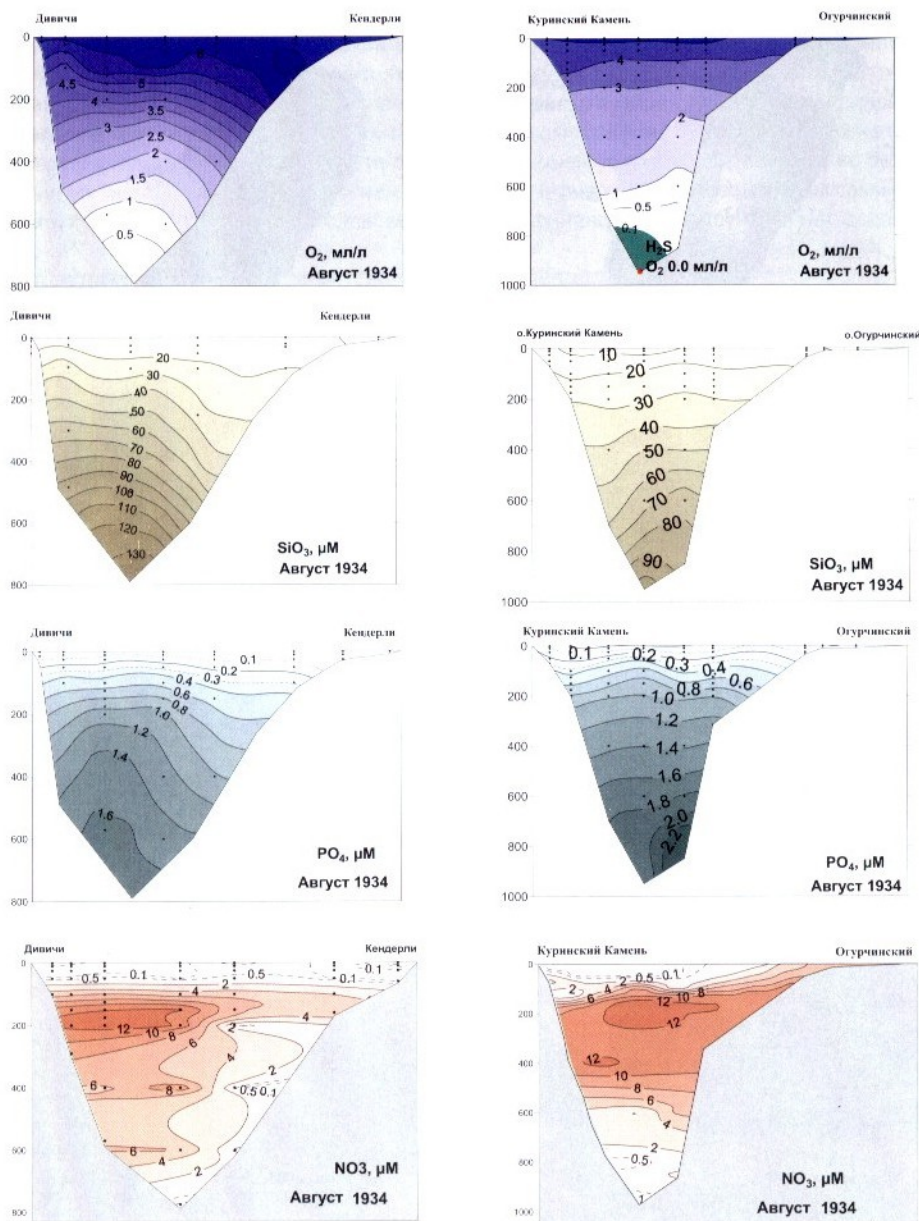


Рис. 3. Распределение растворенного кислорода (O_2 , мл/л), кремния (Si , μM), минерального фосфора (P-PO_4 , μM) и нитратов (N-NO_3 , μM) на разрезах Дивичи – Кендерли и о. Куринский Камень – о. Огурчинский, август 1934 г. [Бруевич, 1937]

в период паводка не превышает 35 % годового стока. Безвозвратное водопотребление достигло 4,2 км³ 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 органического азота и содержания азота аммиака. Речные воды содержат увеличенные количества как взвешенного, так и растворенного органического вещества (ВОВ и РОВ). Содержание растворенного органического вещества достигло 15–20 мг/л.

Аналогичные изменения произошли в бассейне Черного моря, где содержание взвешенного органического углерода в сто-

ке Дуная, Днепра и Днестра увеличилось в 5–12 раз; за последние 20 лет слой сероводорода поднялся на 20–25 м, что можно объяснить чрезмерным притоком аллохтонного органического вещества. Содержание растворенной кремниевой кислоты в поверхностном слое (0–50 м) Черного моря уменьшилось в 11 раз. Диатомовые водоросли стали замещаться перидиниевыми, интенсивность цветения которых достигала «красного прилива». Избыток органического вещества вызвал гипертрофированное развитие бактерий и простейших, а затем появились желетельные организмы (медузы, ночесветки, гребневика), которые были призваны утилизировать и вывести из поверхностного слоя избыток органики.

Зарегулирование стока всех крупных рек в Черном море и в Каспии произошло приблизительно в один и тот же период, но на Каспии изменения экосистемы начались с опозданием на 10 лет.

Это связано с тем, что при низком стоянии уровня все изменения в поверхностном слое, связанные со стоком, при зимней вертикальной циркуляции и перемешивании до дна – нивелируются. И только тогда, когда подъем уровня и соответствующее распределение создали мощный галоклин и обособили поверхностный слой (0–50 м), изменения экосистемы стали концентрироваться в эвфотическом слое и привели к изменениям фитоценоза. Количество перидиниевых увеличилось более чем в 4 раза, появились желетельные (гребневик мнемипсис), резко возросла скорость деградации органического вещества, что доказывает избыток аллохтонной органики и гипертрофированное развитие микрогетеротрофов. С опозданием на 10 лет Каспий прошел все этапы изменения экосистемы по сценарию Черного моря, включая появление мнемипсиса.

Результатом эвтрофикации бассейна является смещение равновесия в трофических связях в сторону бактерий и простейших, которые способны быстро усваивать органическое вещество и менять свой метаболизм, т.е. быстро переключаться на тот источник энергии, который присутствует в экосистеме в большом количестве. При этом микрогетеротрофы меняют среду, что плохо сказывается на следующих звеньях трофической цепи.

Таким образом, трансформация энергии происходит на низших трофических уровнях, в то время как более высокие испытывают недостаток в питании. Процесс перестройки трофических связей открывает много новых экологических ниш. Преимущество получают виды, способные давать вспышки численности, не требовательные к среде обитания и приспособленные к усвоению широкого пищевого спектра. Немаловажную роль играет также изолированность бассейна и сравнительная видовая бедность его фауны. Таким образом, создаются условия для появления видов-вселенцев, подобных гребневику *Mnemiopsis leidyi*.

На Каспии, так же как и на Черном море, идут процессы «перекачки» биогенов из поверхностного слоя в глубинные воды за счет работы «биологического насоса». Фитопланктон утилизирует биогенные элементы в поверхностном слое, а затем выедается зоопланктоном. Продукты метаболизма и отмершие особи переносят биогены в глубинные воды.

Итог этих процессов хорошо заметен по результатам съемки 2006 г. На аналогичном разрезе через котловину Среднего Каспия концентрация кремниевой кислоты в придонном слое достигала 217 мкм, что является абсолютным максимумом для всего Мирового океана (рис. 5). Вертикальное распределение фосфатов и нитратов не претерпело существенных изменений по сравнению со съемкой 2001 г. (см. рис. 4).

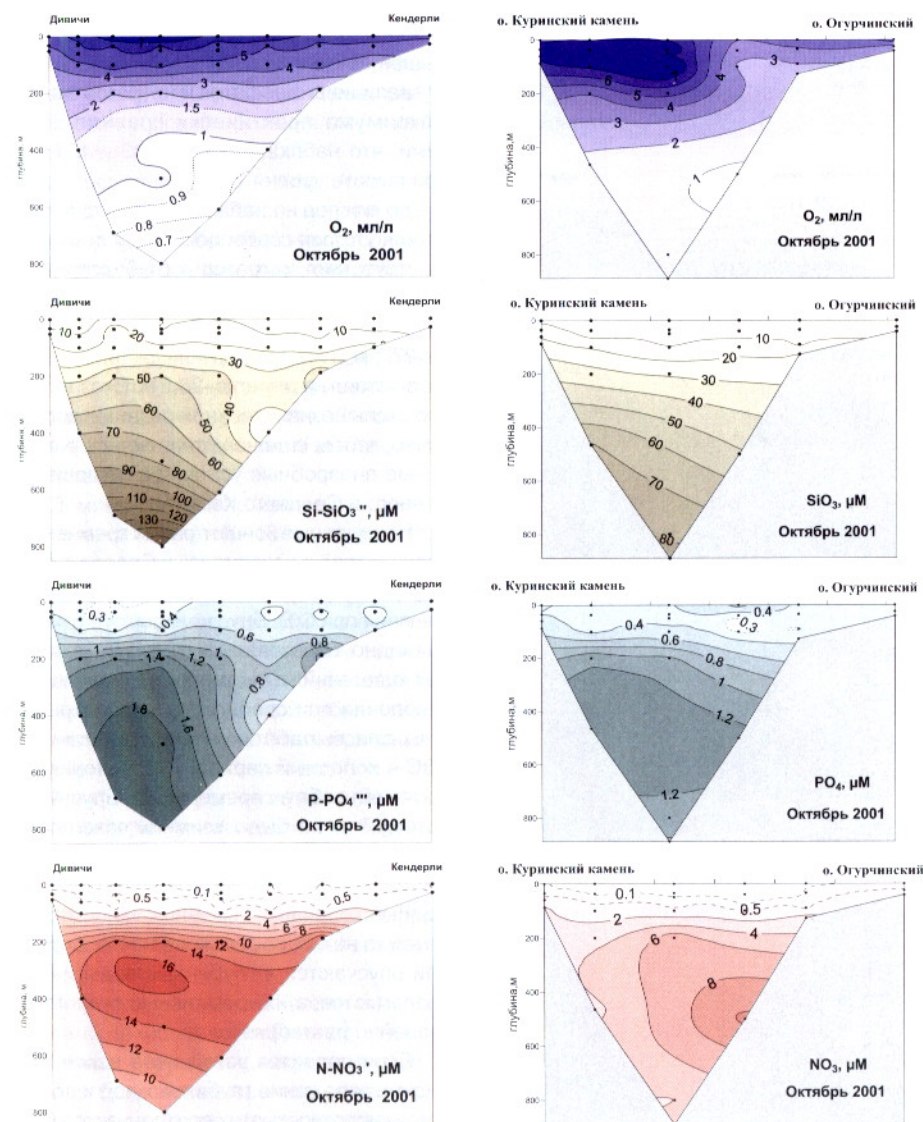


Рис. 4. Распределение растворенного кислорода (O_2 , мл/л), кремния (Si , μM), минерального фосфора ($P-PO_4$, μM) и нитратов ($N-NO_3$, μM) на разрезах Дивичи – Кендерли и о. Куринский Камень – о. Огурчинский, НИС «Исследователь Каспия», октябрь 2001 г.

Вертикальное распределение нитратов обнаруживает усиление максимума до 16 μM на промежуточных глубинах 200–400 м. Распределение фосфатов дает возможность увидеть резкое увеличение их количества в придонном слое – до 3,6 μM , что, скорее всего, связано с созданием субанаэробных условий в придонном слое при концентрации кислорода 0,2 мл/л. Очевидно, в таких условиях начинается перенос фосфатов из донных осадков и иловых вод, где концентрация фосфатов выше на порядок.

На разрезе о. Куринский Камень – о. Огурчинский, проходящем через максимальные глубины Южно-Каспийской котловины, картина еще интереснее (см. рис. 5).

Концентрация кремния достигает величин вдвое меньших (116 μM), чем в глубинных водах Среднего Каспия, и этот факт требует дальнейших исследований и объяснений. Концентрация кислорода в придонном слое – менее 0,1 мл/л и сосуществует с явным присутствием сероводорода (порядка 0,2–0,4 мл/л). Присутствие сероводорода привело к почти полному исчезновению нитратов в придонном слое (0,6 μM) на глубине 990 м, но и на глубине 800 м концентрация нитратов упала до 1,6 μM , что доказывает влияние процессов теоденитрификации даже на расстоянии 200 м от дна. Естественно, что в сероводородном придонном слое сразу же возросла концентрация фосфатов – до 3,0 μM . Слой максимума

нитратов теперь расположен глубже, на горизонте 400–600 м, и их концентрация достигает 16,5 μM .

Подытоживая опыт 13-летнего непрерывного мониторинга изменений гидрохимической структуры и изменений всей экосистемы Каспия, необходимо отметить следующее:

с началом роста уровня и распреснением поверхностного слоя формируется устойчивая стратификация, которая не позволяет процессам зимней вертикальной циркуляции достигать глубинных вод в котловинах Среднего и Южного Каспия;

в глубинных водах начинает формироваться гипоксия и аккумулируются биогенные элементы, «перекачанные» сюда за счет действия «биологического насоса»;

особенно эффективно идет накопление кремниескелетов в глубоководной котловине Среднего Каспия, где ее концентрация достигает 217 μM , что почти вдвое выше, чем в котловине Южного Каспия (116 μM), причем, в Среднем Каспии накопление кремниескелетов продолжается, хотя уровень концентрации, наблюдавшийся С.В. Бруевичем (120 μM), уже превышен почти в 2 раза;

величины фосфатов и нитратов в слое максимума практически сравнялись с теми, что наблюдались в 1933 – 1934 гг. при высоте уровня -26,5 м;

до сих пор не наблюдается устойчивого присутствия сероводорода и устойчивого отсутствия нитратов в глубоководных слоях (600–990 м) Южного Каспия.

Сейчас уровень Каспия стоит на отметке -27,1 м, а при С.В. Бруевиче (1933 – 1934 гг.) он стоял на отметке -26,5 м. Оказалось, что столь незначительной разницы достаточно, чтобы еще не установились устойчивые анаэробные условия в котловинах Южного и Среднего Каспия.

Невиданные концентрации кремниескелетов, которые накопились в Среднем Каспии и которые превышают содержание кремния при С.В. Бруевиче почти в 2 раза, очевидно, образовались в результате зимних «цветений» диатомовой водоросли ризосолении при срабатывании водохранилищ для выработки электроэнергии на ГЭС в холодный период. Ризосоления не проявила себя во времена С.В. Бруевича, потому что не было «зимних паводков». Создавая большие величины биомассы, эта диатомовая водоросль связывает огромные количества кремния, а поскольку ее никто не ест, то эти скопления водорослей опускаются в глубинные воды и там разлагаются, а их кремниевый скелет постепенно растворяется.

Если появится устойчивое сероводородное заражение глубинных вод и повысится кислотность этих вод (понижится pH), то растворение кремниевых скелетов будет происходить еще быстрее, а мы можем надеяться, что зарегистрируем в них очень высокие величины всех биогенов.

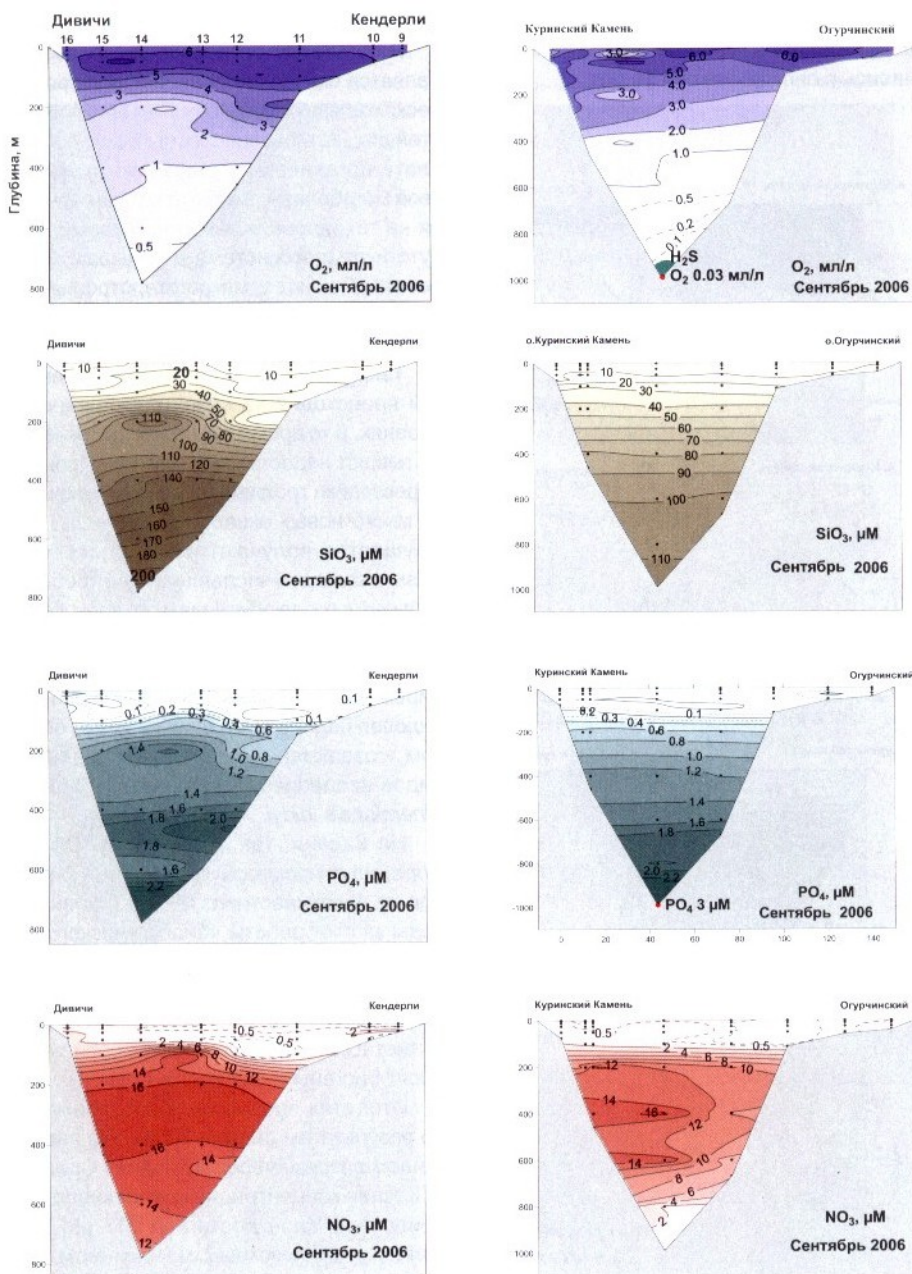


Рис. 5. Распределение растворенного кислорода (O_2 , мл/л), кремния (Si , μM), минерального фосфора (P-PO_4 , μM) и нитратов (N-NO_3 , μM) на разрезах Дивичи – Кендерли и о. Куринский Камень – о. Огурчинский, НИС «Исследователь Каспия», сентябрь 2006 г.

которые характерны для анаэробных водоемов.

Объединенными усилиями российских и европейских ученых [Арпе К., Бенгссон Л., Галицин Г.С., Мохов И.И., Семенов В.А., Спорышев П.В. Анализ и моделирование изменений гидрологического режима в бассейне Каспийского моря. Доклады РАН. Геофизика. 1999. Т. 366, № 2. С. 248–252] была создана климатическая модель, которая предсказывает повышение уровня Каспия начиная с 2010 – 2012 гг. Если это произойдет, то можно ожидать появления сероводорода в глубинных водах котловин Среднего и Южного Каспия. Каспий будет больше походить на Черное море. Продуктивность его будет все ниже и ниже. Уловы пелагических рыб будут падать. Вылов кильки уменьшится в 20 и более раз. Возникнет необходимость поставить установки искусственного апвеллинга, которые за счет энергии волн будут работать против «биологического насоса», поднимая биогены в эвфотический слой и увеличивая продуктивность моря.

Каспийское море – это наш основной осетровый водоем, но за последние 30 лет уловы упали в 10 раз, как в результате ухудшения условий обитания, так и из-за браконьерства.

В последние годы, после появления гребневика мнемииопсиса, начали улучшаться условия обитания живых организмов в донных осадках, куда, отмирая, падают гребневика. Отмечается увеличение «мягкого» бентоса, а следовательно, улучшаются кормовые условия для осетровых. Однако если начнется расширение зон сероводородного заражения, то плохо будет не только пелагическим рыбам, но и осетровым.

Помимо осетров на Каспии сохраняет промысел тюленей – 18 тыс. голов в год. После подъема уровня моря бывали случаи, когда от нефтяных загрязнений (ПДК по нефтяным углеводородам было превышено в 30 раз) в Казахском регионе была отмечена массовая гибель тюленей. Однако основной причиной гибели тюленей являются крупноячеистые браконьерские сети. В 2006 г. в сетях погибло около 8000 тюленей. Нередки случаи гибели тюленей от чумы плотоядных. Необходимо наладить ежегодный мониторинг основных популяционных показателей, позволяющих принимать адекватные меры в сфере охраны тюленей и их рационального использования.

В последние годы на Каспии разворачивается широкомасштабная добыча нефти и газа. Безусловно, нефтяные углеводороды будут попадать в воду, но если не будет катастрофических разливов, то ничего особенно страшного не произойдет, потому что на Каспии уже давно развились нефтеокисляющие бактерии, которые способны переработать поступающие нефтя-

ные загрязнения в нейтральное органическое вещество. Но если нефтяных углеводородов будет попадать в воду слишком много, то экосистема Каспия встанет пе-

ред проблемой переработки избыточного органического вещества. Сейчас эта проблема решается в отношении избытка аллохтонной органики.

Sapozhnikov V.V.

Changes in the ecosystem of the Caspian Sea in the last 70 years

The article summarizes the experience of long continuous monitoring of the changes of hydrochemical structure and all the ecosystem of the Caspian Sea. With beginning of the sea level rising and desalination of surface layer, the stable stratification is forming which prevents winter circulation from reaching deep waters in kettles of the Middle and Southern parts of the sea. In these areas hypoxia begin to form, biogenic elements begin to accumulate (especially significant is silicic acid accumulation in the deep-water kettle of the Middle Caspian Sea). Values of phosphates and nitrates contain in the layer are the same as in 1933-1934. Stable presence of hydrogen sulfide and stable absence of nitrates are not noted in deep water zones of the Southern Caspian Sea.

After introduction of mнемииопсиса, the living conditions for bottom organisms has improved due to organic matter being produced by dead ctenophores. Increased quantity of "soft" benthos provides better feeding conditions for sturgeons. But if the zones of hydrosulfuric contamination expand, this will affect not only pelagic fishes but sturgeons as well.

In the last years the large-scale development of oil and gas fields has been observed in the area. It is known that oil oxidizing bacteria have spread here which are able to convert oil into neutral organic matter. But if oil hydrocarbons are too plenty, the problem will arise of redundant organic matter processing.

