

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ ИМ. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

ЭКОЛОГИЯ МОРЕЯ

1871



ИНБЮМ

38

1991

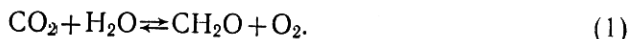
УДК 551.464

Л. В. ЕРЕМЕЕВА, А. Х. ДЕГТЕРЕВ, С. Х. ДЕГТЕРЕВ

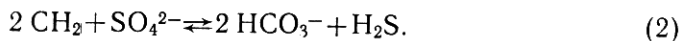
ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ЗАХОРОНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ ВЗВЕСИ В ЧЕРНОМ МОРЕ ПО ПОТОКУ КИСЛОРОДА В АТМОСФЕРУ

По материалам банка океанографических данных рассчитаны потоки кислорода и углекислого газа между морем и атмосферой. При определении потока кислорода использовались только данные по слою 0—1 м, так как осреднение по слою 0—10 м дает заметно меньшие концентрации кислорода. Растворимость газов рассчитывалась на каждой станции по температуре и солёности воды. Обработка около 3000 станций показала, что море за год выделяет $1,5 \cdot 10^{12}$ моль CO_2 и $2,6 \cdot 10^{12}$ моль O_2 . Предположив, что продукция кислорода полностью обусловлена захоронением в осадках неокисленного органического углерода, оценка интенсивности захоронения составит $3,1 \cdot 10^7$ т С/год.

Кислород в верхнем слое Черного моря выделяется при фотосинтезе и поглощается всей толщей воды при окислении погружающейся органической взвеси. Схематично эта пара реакций может быть записана в виде



Кроме того, для Черного моря характерно наличие обширной зоны сероводородного заражения. Годовая продукция сероводорода в центральной части моря оценивается в $1,2 \text{ мг/м}^2$, а на восточном шельфе — до 115 мг/м^2 [8]. В случае бактериального происхождения сероводород выделяется в ходе сульфатредукции при анаэробном окислении органических останков:



Обратная реакция здесь описывает анаэробное окисление сероводорода серными бактериями, широко распространенными в Черном море [5]. В последнее время становится общепризнанным то, что весь сероводород бактериального происхождения окисляется серными бактериями. В этом случае сероводородный цикл никак не отражается на содержании растворенного кислорода в Черном море. Кислородное окисление сероводорода



по мнению авторов [5], играет незначительную роль в районе Босфора и на восточном шельфе. Заметим, что при геологическом происхождении сероводорода (вероятно, на восточном шельфе) также логично предположить бактериальное окисление сероводорода [4]. В этом случае растворенный в воде кислород не потребляется, но на 1 моль сероводорода расходуется 2 моль карбонатов.

Таким образом, в рамках современных представлений изменения концентрации растворенного кислорода в целом для Черного моря обусловлены дисбалансом реакций (1). Сезонная изменчивость температуры верхнего слоя воды и, следовательно, растворимости кислорода в воде также вызывает изменения абсолютных значений концентрации растворенного кислорода, однако ими можно пренебречь, учитывая среднегодовые потоки кислорода между морем и атмосферой. Как следует из (1), выделение 1 моль кислорода соответствует неокислению

1 моль первичной углеродной продукции. Последнее, в свою очередь, связано либо с ростом биомассы, либо с захоронением неокисленной органической взвеси в осадках.

Для оценки потоков O_2 и CO_2 между Черным морем и атмосферой использовались материалы банка океанографических данных Мирового центра данных о концентрации этих газов в слое 0—10 м. На каждой станции рассчитывалась насыщенность воды кислородом по формуле

$$n = (C - C_{\text{равн}}) / C_{\text{равн}}, \quad (4)$$

где C — измеренная концентрация растворенного кислорода, а $C_{\text{равн}}$ — рассчитанная по значениям температуры и солености воды на этой станции [9]. Полученные значения n осреднялись по одноградусным квадратам и четырем сезонам. Так были получены среднегодовые сезонные распределения насыщенности воды кислородом. Насыщенность воды углекислым газом вычислялась аналогичным образом с той лишь разницей, что значения C в (4) рассчитывались по рН и щелочности. Принимались во внимание только те станции, на которых одновременно измерялись рН и щелочность. Таких измерений в банке данных оказалось 9179, а для кислорода в слое 0—10 м — 20 065 измерений. Однако сравнение полученных распределений с данными только по горизонту 0 м показало, что средние для слоя 0—10 м значения n заметно ниже. Соответствующие распределения углекислого газа практически не отличаются. Видимо, это явление связано с активной деятельностью зоопланктона в слое 0—10 м. В связи с этим для кислорода в дальнейшем использовались только данные, полученные на горизонте 0 м, что примерно втрое уменьшило информационную обеспеченность.

Во все сезоны большая часть поверхности моря близка по содержанию кислорода к равновесию с атмосферой, отклонения от насыщающей концентрации редко превышают $\pm 5\%$. Зоны недонасыщения в разные сезоны, как правило, не совпадают. Перенасыщение на уровне 5—10% постоянно наблюдается только вблизи устья Дуная, что связано с повышенной растворимостью кислорода в пресной воде. В целом море немного недонасыщено кислородом в осенне-зимний период и перенасыщено в весенне-летний. Распределение насыщенности воды углекислым газом существенно отличается от кислородного. Море постоянно перенасыщено CO_2 . Как известно [6], содержание суммарного растворенного неорганического углерода в единице объема в Черном море в 1,5 раза выше, чем в водах Атлантического океана. Летом вся акватория восточнее 38° в. ш. перенасыщена CO_2 более чем на 30%. Максимум перенасыщения приходится на осень. Данные о насыщенности поверхностных вод кислородом и углекислым газом позволяют оценить потоки этих газов между морем и атмосферой в предположении неизменности парциального давления O_2 и CO_2 в атмосфере. Плотность потоков углекислого газа и кислорода рассчитывалась на каждой станции по формуле [1]

$$q = V_L (C_{\text{равн}} - C), \quad (5)$$

где V_L — скорость газообмена, определяемая по скорости ветра и температуре воды [2]:

$$V_L (10^{-4} \text{ см/с}) = \beta(T) [2,0 + 7,4 \cdot U \text{ (м/с)}]. \quad (6)$$

Сезонные значения скорости ветра U в одноградусных квадратах взяты из справочника [7]. Значения q осреднялись по сезонам и одноградусным квадратам. Среднегодовые значения плотности потока в среднем по акватории составили $0,43 \text{ г } O_2/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ и $0,38 \text{ г } CO_2/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$. В обоих случаях результирующий поток направлен в атмосферу. Соответствующие значения интегральных потоков для Черного моря в целом приведены в таблице. За год море выделяет $2,6 \cdot 10^6$ Ммоль O_2 и $1,5 \times$

Интегральные потоки кислорода и углекислого газа между Черным морем и атмосферой, 10^9 моль/сут

Газ	Поток				
	сезонный				средне- годовой
	Зима	Весна	Лето	Осень	
Кислород	4,9	—20,8	—10,8	—1,6	—7,2
Углекислый газ	—2,3	— 3,0	— 6,5	—4,4	—4,1

$\times 10^6$ Ммоль CO_2 . Полученные результаты хорошо согласуются с работами других авторов [3], хотя в них использованы менее представительные массивы данных и не совсем корректная методика осреднения.

Если предположить, что весь выделяемый Черным морем кислород обусловлен недоокислением первичной углеродной продукции, то, как было показано выше, интенсивность захоронения органической взвеси не превышает $2,6 \cdot 10^6$ Ммоль $\text{C}_{\text{орг}}$ /год. Пренебрегая ростом биомассы моря, она составит $3,1 \cdot 10^7$ т $\text{C}_{\text{орг}}$ /год. Величина первичной углеродной продукции в Черном море составляет $1,5 \cdot 10^8$ т С/год [6]. Полученная выше оценка соответствует, таким образом, 20% уровня первичной продукции. Это весьма высокая степень для океана, для Черного моря же она представляется вполне реальной в связи с сероводородным заражением глубинных вод. Выделение CO_2 в атмосферу обусловлено, по-видимому, поступлением карбонатов с речным стоком, который оценивается в $0,92 \cdot 10^6$ Ммоль CO_2 /год [8]. Однако этот вопрос требует дальнейшего изучения, поскольку поступление карбонатов в таком количестве отчасти компенсируется выносом их через Босфор [8]. Аналогичная оценка выноса растворенного кислорода через фосфор показывает, что он намного меньше потока кислорода в атмосферу.

1. Безбородов А. А., Еремеев В. Н. Физико-химические аспекты взаимодействия океана и атмосферы. — Киев: Наук. думка, 1984. — 192 с.
2. Дегтерев А. Х. Изменчивость и особенности формирования поля CO_2 в Атлантическом океане: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Севастополь, 1987. — 18 с.
3. Жоров В. А., Паненко М. В. Обмен кислородом с атмосферой в Черном море // Современные проблемы океанологии Черного моря. — М., 1986. — Ч. 1. № 1579—В86. — С. 31—39.
4. Заварзин Г. А. Бактерии и состав атмосферы. — М.: Наука, 1984. — 192 с.
5. Зеленов К. К., Маслов А. Ф. Проблемы гидрохимии Черного моря. 1. Сульфатредукция — гипотезы и факты // Изв. вузов. Сер. геология и разведка. — 1983. — № 10. — С. 50—61.
6. Митропольский А. Ю., Безбородов А. А., Овсяный Е. И. Геохимия Черного моря. — Киев: Наук. думка, 1982. — 144 с.
7. Справочник по климату Черного моря / Под ред. А. И. Соркиной. — М.: Гидрометеиздат, 1974. — 406 с.
8. Dyrssen D. Stagnant sulphidic basin waters // The science of the total environment. — 1986. — 58. — P. 161—173.
9. Kester D. The dissolved gases other than CO_2 // Chemical oceanography. — London: Acad. press, 1975. — P. 497—556.

Мор. гидрофиз. ин-т АН УССР, Севастополь
Науч.-исслед. конструкторско-технол. ин-т
биол. активных веществ НПО «Вектор»

Получено 14.07.89

L. V. EREMEEVA, A. Kh. DEGTEREV, S. Kh. DEGTEREV

ESTIMATION OF BURIAL INTENSITY OF ORGANIC SUSPENSION IN THE BLACK SEA BY THE OXYGEN FLOW TO THE ATMOSPHERE

Summary

The paper deals with biochemical cycles of oxygen and organic carbon in the Black Sea including photosynthesis, sulphate reduction and processes of oxidation of organic substance and hydrogen sulphide. It is shown that under bacterial oxidation of hydrogen sulphide its cycle does not affect oxygen content in the sea as a whole. Oxygen and carbon dioxide flows between the sea and the atmosphere were calculated from the bank of oceanographic data (the sea releases $2,6 \cdot 10^6$ Mmol of oxygen and $1,5 \cdot 10^6$ Mmol

of CO_2 annually). Neglecting the biomass growth in the sea this corresponds to the burial of $3,1 \cdot 10^7$ t on nonoxidated organic sediments per year, it is about 20% of the sea primary production in terms of carbon. Release of CO_2 is connected with appearance of carbonates in the river discharge.

УДК 556.1:502.656 (262.5)

Н. А. БЕРЛИНСКИЙ, Ю. М. ДЫХАНОВ

К ВОПРОСУ О ФОРМИРОВАНИИ ПРИДОННОЙ ГИПОКСИИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ

Исследуется проблема возникновения зон дефицита кислорода (гипоксии) в придонном слое воды на северо-западном шельфе Черного моря. Используется обширный материал гидрологических съемок за 1973—1985 гг. Проведено районирование зон гипоксии по географическому признаку. Выявлена связь между существованием «сентябрьской» гипоксии в районе Дунайско-Днестровского междуречья и смещением максимума паводка этих рек на более поздний срок. Показано, что гипоксия не возникает в маловодные годы, получены количественные подтверждения этого вывода.

В настоящее время проблема дефицита кислорода (гипоксии) в придонных слоях окраинных и внутренних морей приобрела глобальный характер (мелководье у побережья США, Индии, Балтики, в Черном и Азовском морях, на Каспии). Различные исследователи связывают это явление с избыточным количеством органических веществ, попадающих в прибрежную зону морей, с бытовыми и промышленными стоками. В северо-западной части Черного моря основными источниками таких стоков являются Дунай, Днепр и Днестр. К такому выводу приводят данные о росте концентраций биогенных веществ, увеличении фито- и зоопланктона [2, 3].

Методика исследований. Оставаясь в рамках схемы антропогенного эвтрофирования как основной причины кислородного истощения придонных вод северо-западной части Черного моря в летне-осенний сезон, в статье исследуется зависимость существования «сентябрьской» гипоксии не от гидрохимического режима стока основных рек Северного Причерноморья, что не вызывает сомнений, а от количества и внутрисезонного распределения пресного стока.

Отметим, что гидрограф стока Днепра и Днестра как рек, полностью зарегулированных, в основном определяется величиной и продолжительностью искусственных пусков, тогда как сток Дуная в значительной степени подвержен влиянию естественных макросиноптических процессов. Преимущество такого подхода к изучаемому предмету — доступность данных о пресном стоке. Кроме того, основная посылка не противоречит концепции антропогенного эвтрофирования, поскольку очевидно, что при мощном паводке происходит более интенсивный вынос органики и минеральных удобрений в реки и далее в море, обеспечивающий повышение трофии морских вод.

Наличие придонной гипоксии в северо-западной части Черного моря в зависимости от межгодовой изменчивости пресного стока Дуная, Днепра и Днестра рассматривалось во временном интервале с 1973 по 1984 г., т. е. с начала периода, когда баланс кислорода в придонном слое стал характеризоваться резко выраженным дефицитом. Данные о пресном стоке Дуная, Днепра и Днестра взяты по створам Рени, Каховской ГЭС и Бендер соответственно. Зоны придонной гипоксии получены в результате многолетних съемок на НИС «Миклухо-Маклай» Одесского отделения Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского АН УССР. К этим зонам мы относили области шельфа, содержащие в придонном слое менее $2 \text{ мл } \text{O}_2 \cdot \text{л}^{-1}$ растворенного кислорода. Для сопоставления результатов выбирались съемки, проводимые в