

Экспериментальные и экспедиционные исследования

УДК 551.464.34

О.Г. Игнатъева, Е.И. Овсяный, А.С. Романов, С.К. Коновалов, Н.А. Орехова

Оценка состояния карбонатной системы вод и изменения содержания органического углерода в донных осадках Севастопольской бухты по данным наблюдений за 1998 – 2005 годы

На основании экспериментальных данных, полученных в 1998 – 2005 гг., была проанализирована временная и пространственная динамика компонентов карбонатной системы вод и содержания органического углерода в донных осадках Севастопольской бухты. Дана количественная оценка интенсивности газового обмена через поверхность раздела вода – атмосфера. Результаты исследования показали, что парциальное давление углекислого газа $p\text{CO}_2$ в водах бухты существенно выросло за период наблюдения. Наибольшие изменения приходятся на летний период и более значительны для придонного слоя вод. В течение всего наблюдаемого периода на большей части акватории бухты преобладала инвазия диоксида углерода CO_2 из атмосферы при одновременном увеличении процентного содержания органического углерода в донных осадках. Способность поверхностного слоя вод бухты поглощать CO_2 объясняется синтезом органического вещества, что возможно при эквивалентном поступлении биогенных веществ.

Введение. На протяжении двух последних столетий воздействие человека на среду своего обитания было направлено исключительно на эксплуатацию природных ресурсов. Следствием такого подхода явилось нарушение равновесия между взаимосвязанными природными процессами. За последние 200 лет концентрация CO_2 в атмосфере выросла на 30% по сравнению с доиндустриальным уровнем, что привело к увеличению парциального давления с 280 до 370 мкатм [1]. Для открытой части океанов увеличение концентрации атмосферного диоксида углерода практически не повлияло на состояние карбонатного равновесия. Для прибрежных районов и в водах высоких широт было отмечено уменьшение величин pH, а также наблюдался значительный рост содержания растворенного диоксида углерода [2 – 6]. Многие исследователи считают, что упомянутые процессы могут привести к тому, что океан утратит способность поглощать CO_2 из атмосферы и станет его источником.

Вместе с тем в работе [7] отмечено, что поступление фосфора в океан в четыре раза выше в современный период, чем в доиндустриальную эпоху, а поток фиксации азота вдвое превысил доиндустриальный уровень. В работах [8, 9] показано, что в настоящее время поступление фосфора в океан примерно в два раза превышает поступление этого элемента в доиндустриальную эпоху. В связи с этим высказано предположение о значительном увеличении биологической продуктивности морей и океанов. Это, в свою очередь, должно привести к нарушению естественного динамического равновесия CO_2 в системе океан – атмосфера.

© О.Г. Игнатъева, Е.И. Овсяный, А.С. Романов, С.К. Коновалов, Н.А. Орехова, 2008

В настоящее время состояние и изменчивость карбонатной системы, направленность и интенсивность потоков углекислого газа, накопление органического вещества – процессы, имеющие большое значение для понимания последствий нерегулируемой эксплуатации природных ресурсов, – недостаточно изучены и требуют подробного анализа, особенно для прибрежной зоны, наиболее подверженной антропогенному воздействию. В качестве объекта настоящих исследований была выбрана Севастопольская бухта, которая подвержена постоянно усиливающемуся антропогенному воздействию на протяжении двух последних веков. Севастопольская бухта представляет собой полузамкнутую акваторию эстуарного типа. Длина от входа до вершины бухты составляет около 7 км при максимальной ширине около 1 км и средней глубине 12 м. Площадь поверхности бухты 7,96 км². После постройки в 1977 – 1978 гг. защитного мола ширина входа в бухту сузилась с 940 до 550 м, что повлекло за собой существенное изменение характеристик водообмена: величина водообмена уменьшилась в среднем за год на 40 – 70 %, время «полного» обмена воды в бухте увеличилось почти вдвое [10].

Сезонная динамика компонентов карбонатной системы в Севастопольской бухте изучалась Горбенко в 1968, 1969 и 1972 гг. [11] и Куфтарковой в 1976 г. [12]. В 1998 – 2001 гг. нами было продолжено исследование сезонной динамики компонентов карбонатной системы и потоков CO₂ на границе вода – атмосфера [13]. Содержание органического углерода в донных отложениях Севастопольской бухты изучалось Мироновым с сотрудниками [14, 15]. В работе [16] Осадчей и авторами настоящей работы приводятся данные о содержании органического углерода в донных осадках Севастопольской бухты в современный период.

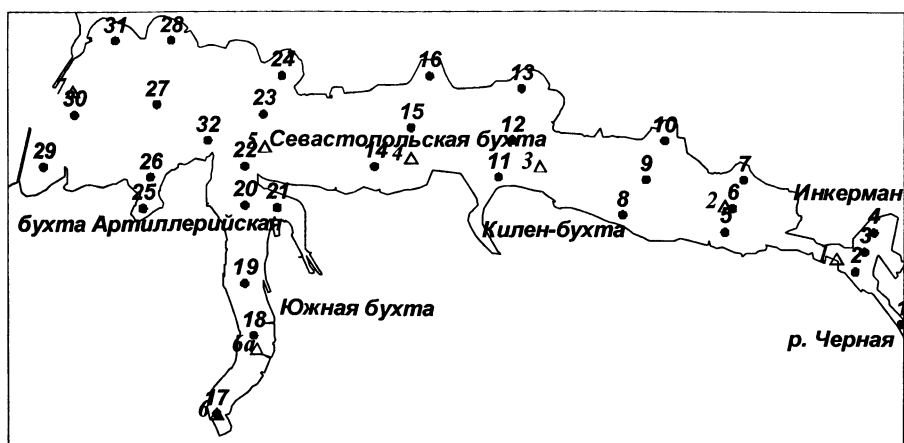
Цели данной работы – изучение особенностей состояния карбонатной системы в современный период, анализ сезонных и межгодовых изменений в уровне насыщенности вод углекислым газом, а также оценка влияния процессов перераспределения углерода между его органическими и неорганическими формами на содержание и накопление органического углерода в донных осадках Севастопольской бухты.

Методы и материалы. В работе использованы и обобщены данные систематических натурных измерений в Севастопольской бухте с июля 1998 г. по июль 2001 г. и с июля 2003 г. по январь 2005 г. Съёмки проводились ежемесячно на разрезе вдоль оси бухты по единой схеме, состоявшей из 7 станций. Дополнительно в июле и октябре 2000 г., феврале, апреле и июле 2001 г. и позднее в апреле, июле, октябре 2004 г. и январе 2005 г. были выполнены квартальные съёмки по более подробной схеме из 32 станций (5 съёмок). Схемы ежемесячных и квартальных съёмок приведены на рис. 1.

В пробах воды, отобранных из поверхностного (0 – 1 м) и придонного слоев, определяли температуру, соленость, величину pH, общую щелочность. Химический анализ проб проводили в соответствии с руководством «Методы гидрохимических исследований океана» [17].

Расчетным путем определены: концентрация и парциальное давление диоксида углерода, концентрации карбонатных (CO₃²⁻) и гидрокарбонатных (HCO₃⁻) ионов. В качестве исходных данных для расчета элементов карбонатной системы служили общая щелочность и pH, которые измерялись в день отбора проб. Общая щелочность определялась методом прямого тит-

рования 50 мл морской воды 0,02н раствором соляной кислоты [17] с применением высокоточной поршневой бюретки *Dosimat-765* (фирма *Metrohm*, Швейцария). Величину рН определяли с помощью иономера И-130М с использованием буферных растворов шкалы *NBS* [18]. Стандартное отклонение при измерении 10 параллельных проб составило 0,02 ед. рН. Для расчета элементов карбонатной системы использовались также константы угольной кислоты, рекомендованные отделом морских наук ЮНЕСКО [19]. При этом предполагалось, что бор является консервативным элементом, а его содержание пропорционально солёности. Поэтому содержание бора рассчитывалось по солёности [20]. Зависимость констант диссоциации борной и угольной кислот от давления, а также влияние диссоциации воды, фосфорной и серной кислот, так же как плавиковой и других кислот, присутствующих в малых концентрациях в морской воде, на величину щёлочности не учитывались.

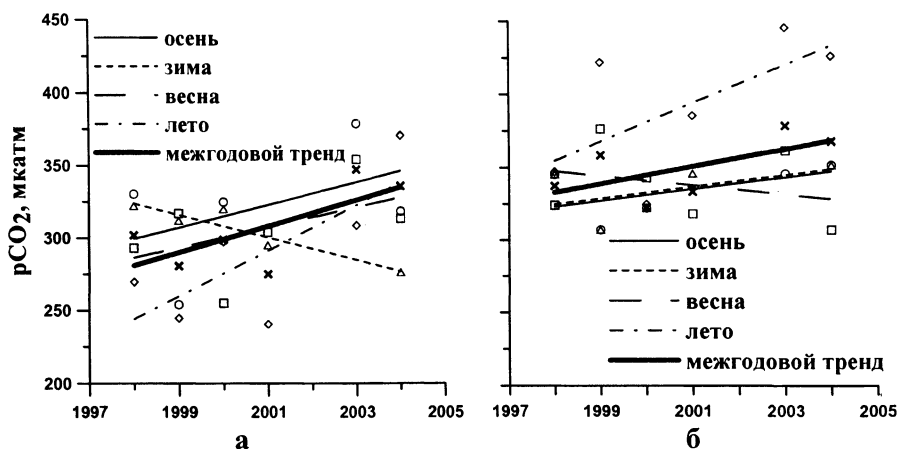


Р и с. 1. Схема станций ежемесячных (кружок) и ежеквартальных (треугольник) съёмок в Севастопольской бухте в 1998 – 2005 гг.

Образцы донных осадков Севастопольской бухты были отобраны: в июле 2001 г. – по ежеквартальной схеме станций; в октябре 2003 г., январе и апреле 2004 г. – по ежемесячной схеме станций; в июле 2004 г. – выборочно по ежеквартальной схеме станций (ст. 5, 6, 11, 12, 17, 18, 19, 22, 25, 26, 29, 31). Пробы донных осадков были отобраны дночерпателем типа Петерсена с площадью захвата 0,025 м². Исследованию подвергали верхний слой осадков (0 – 5 см). Для определения $C_{орг}$ пробы донных осадков отбирались в подготовленные банки темного стекла с герметичной пробкой. Органический углерод определяли в воздушно-сухих осадках методом Тюринга в модификации Орлова [21].

Результаты и обсуждение. Проведенные исследования показали, что pCO_2 в поверхностном слое вод Севастопольской бухты, как правило, ниже атмосферного парциального давления углекислого газа, которое в настоящее время принято считать близким к 370 мкатм (рис. 2, а). Среднегодовое

значение $p\text{CO}_2$ в поверхностном слое вод выросло на 50 мкатм за время наблюдения. Для придонного слоя вод также был характерен рост среднегодовых и средних сезонных (за исключением весеннего сезона) величин $p\text{CO}_2$ (рис. 2, б).



Р и с. 2. Временные изменения $p\text{CO}_2$ в водах Севастопольской бухты в различные сезоны 1998 – 2005 гг.: а – в поверхностном слое вод; б – в придонном слое (средние значения парциального давления: \circ – осень, Δ – зима, \square – весна, \diamond – лето, \times – среднегодовые)

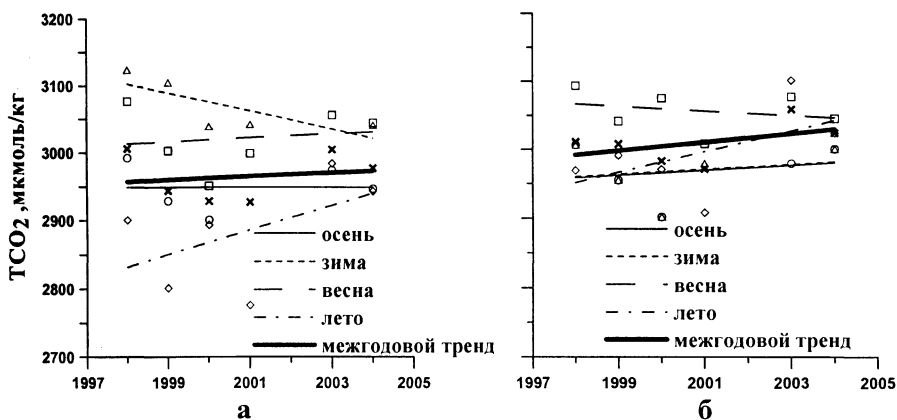
Значения $p\text{CO}_2$ в придонном слое были выше, чем в поверхностных водах, как во время единичных экспедиционных съемок, так и в среднем за год. В придонном слое значения $p\text{CO}_2$ зачастую были выше, чем атмосферное парциальное давление углекислого газа. Причем для придонного слоя были характерны максимальные значения $p\text{CO}_2$ в летний период, в то время как для поверхностного слоя вод летний период характеризовался наименьшими значениями в годовом цикле. В поверхностном слое интенсивность фотосинтетической деятельности превышает интенсивность окисления органического углерода, что приводит к потреблению CO_2 и уменьшению концентрации диоксида углерода. Повышенные значения $p\text{CO}_2$ в придонном слое – результат интенсивного окисления органического вещества, как продуцированного в водах бухты, так и поступающего в бухту коммунальными и ливневыми стоками. При этом фотосинтетическая активность фитобентоса либо отсутствует, либо существенно меньше интенсивности окисления органического углерода.

Сумма молярных концентраций растворенных форм CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-} представляет собой общий растворенный неорганический углерод:

$$\text{TCO}_2 = [\text{CO}_2] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}],$$

а характер изменения его содержания может свидетельствовать об изменении структуры цикла общего углерода в морской воде и изменении соотношении неорганического и органического углеродов [22].

Минимальные концентрации TCO_2 в поверхностном слое вод были зарегистрированы в летние месяцы, а максимальные – в осенне-зимний период (рис. 3, а), что соответствует сезонному ходу соотношения неорганического и органического углеродов и растворимости углекислого газа. В шельфовой зоне поступающий извне HCO_3^- составляет 90% и более суммарного содержания растворенного неорганического углерода [23]. Сезонный характер изменения концентрации гидрокарбонатного иона в водах Севастопольской бухты большей частью определяется паводками р. Черной, которые достигают наибольшей интенсивности в зимние и весенние месяцы. Среднегодовая концентрация TCO_2 в поверхностном слое не претерпела статистически значимых изменений в течение периода наблюдения. Что касается придонного слоя (рис. 3, б), то сезонные изменения значений концентрации TCO_2 выражены значительно слабее по сравнению с поверхностным слоем. Вместе с тем для придонного слоя был отмечен рост значений TCO_2 в летний период, хотя к существенному повышению среднегодовых значений это не привело.



Р и с. 3. Временные изменения концентрации TCO_2 в водах Севастопольской бухты в различные сезоны 1998 – 2005 гг.: а – в поверхностном слое вод; б – в придонном слое (обозначения те же, что на рис. 2)

Характер межгодовых изменений TCO_2 и pCO_2 (рис. 2, 3) свидетельствует о том, что значительный рост содержания растворенной двуокиси углерода приходится на летний период, что согласуется с выводами Маккавеева [2], сделанными для прибрежной зоны высокоширотных морей Северного полушария.

Для количественной оценки интенсивности газового обмена через поверхность раздела вода – атмосфера использовалось полуэмпирическое уравнение, предложенное Ляхиным [24]. В табл. 1 представлены средние значения потоков CO_2 в различные сезоны 2001 и 2004/05 гг.

Положительные значения величины потока CO_2 говорят о том, что все сезоны воды бухты поглощают CO_2 из атмосферы, т. е. находятся в состоянии инвазии. Величина потока CO_2 в зимние месяцы была выше, чем в летние. Можно предположить, что это явление объясняется в первую очередь физи-

ко-химическими процессами увеличения растворимости газов и изменением состояния карбонатной системы с понижением температуры воды. В остальные сезоны величина потока изменяется ожидаемым образом: высокая интенсивность поглощения углекислого газа водами бухты наблюдается во время вегетационного весенне-летнего периода и снижается в осенний период из-за уменьшения интенсивности фотосинтетических процессов трансформации неорганического углерода в органический. Межгодовые изменения интенсивности поглощения углекислого газа из атмосферы могут быть многократными, в частности, в Севастопольской бухте, по нашим данным, в летний период интенсивность поглощения углекислого газа возросла в 46 раз (см. табл. 1). Такое заметное изменение интенсивности потока CO_2 говорит о возможности многократного изменения интенсивности первично-продукционных процессов, а также о существенных колебаниях локального климата.

Таблица 1

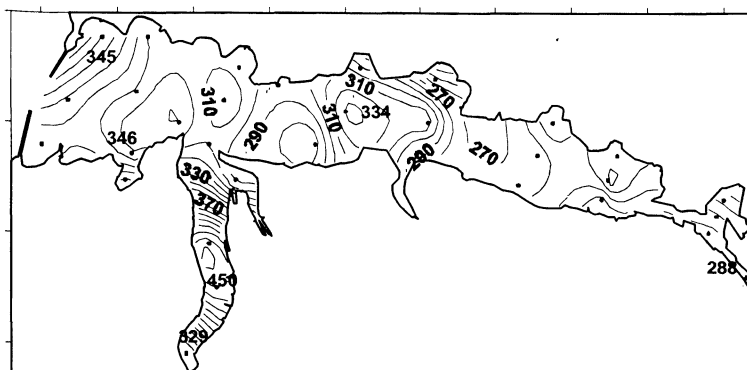
Средние значения потоков CO_2 (моль $\text{CO}_2/(\text{м}^2 \cdot \text{сут})$) в различные сезоны

Сезон	2001 г.	2004/05 гг.
Зима	11,8	21,0*
Весна	6,7	4,6
Лето	9,2	0,2
Осень	5,0	1,9
Год	8,2	6,9

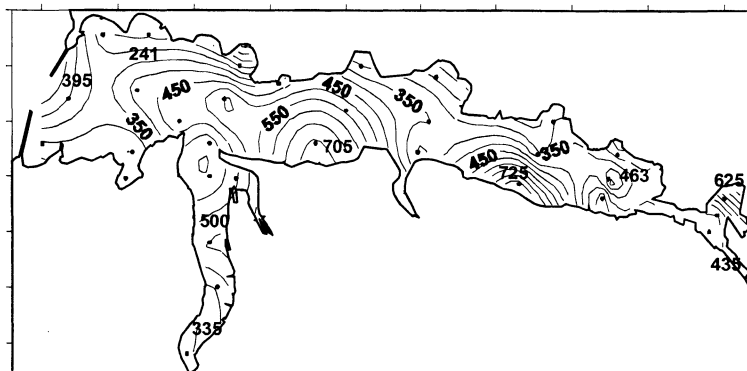
Важно отметить, что при всех наблюдаемых изменениях климата и уровня антропогенной нагрузки воды бухты поглощают CO_2 из атмосферы. На основании этого факта можно выдвинуть предположение, что растворенный CO_2 в Севастопольской бухте расходуется на синтез органического вещества. Отсутствие сезонных колебаний между режимом поглощения углекислого газа из атмосферы и режимом отдачи углекислого газа в атмосферу говорит о том, что биогенные элементы поступают в бухту в достаточном количестве для превышения скорости образования органического вещества над скоростью его окисления. Этот процесс должен проявляться в накоплении неорганического углерода придонным слоем вод и органического углерода донными осадками Севастопольской бухты, что получило подтверждение в дальнейших исследованиях.

Рис. 4 иллюстрирует характер пространственно-временных изменений величин $p\text{CO}_2$ в придонном слое вод Севастопольской бухты в течение периода наблюдения. Характер пространственных особенностей распределения сохраняется при переходе от одного сезона к другому, но масштаб пространственных неоднородностей выражен в наибольшей степени в летний сезон. Скорее всего это связано с тем, что в летний период достигаются условия, обеспечивающие максимальный поток органического углерода и максимальную ско-

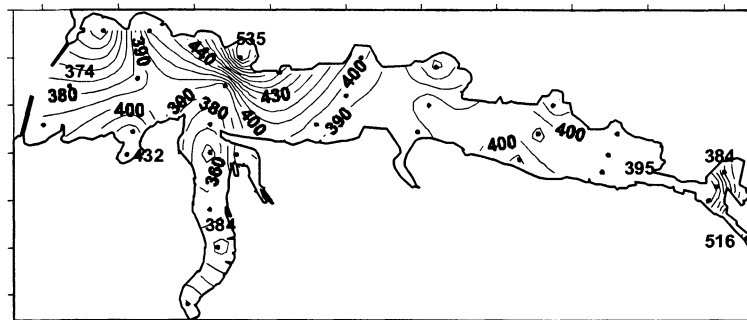
рост его окисления в придонном слое, а также минимальную интенсивность физических обменных процессов и вентиляции придонного слоя вод.



а



б

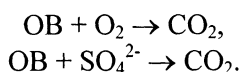


в

Рис. 4. Распределение $p\text{CO}_2$ (мкатм) в придонном слое вод Севастопольской бухты: а – июль 2000 г.; б – июль 2001 г.; в – июль 2004 г.

В 2000 г. практически вся площадь придонного слоя характеризовалась парциальным давлением ниже атмосферного, за исключением небольшой части Южной бухты. В 2001 г. в 53% отобранных проб из придонного

слоя вод $p\text{CO}_2$ было выше, чем атмосферное. Максимальное значение парциального давления углекислого газа $p\text{CO}_2$ в придонных водах в два раза превышало атмосферное и составляло 725 мкатм, среднее его значение также было выше атмосферного на 18 мкатм (388 мкатм). К 2004 г. практически вся площадь придонного слоя бухты находилась в состоянии избыточного, по сравнению с атмосферным, парциального давления CO_2 . Среднее значение $p\text{CO}_2$ достигло 394 мкатм, т.е. превысило атмосферное на 24 мкатм. Очевидно, что в течение периода наблюдения произошло повышение концентрации углекислого газа в придонном слое и распространение зон повышенного парциального давления по площади бухты. Имеющиеся данные не позволяют оценить межгодовые изменения в скорости продукции и вертикальном потоке органического углерода, а наблюдаемые межгодовые изменения в степени насыщенности придонных вод углекислым газом могут отражать как изменения в уровне антропогенной нагрузки, так и межгодовые изменения в интенсивности обновления придонных вод и скорости окисления органического углерода. Дополнительным источником CO_2 в придонном слое является также процесс активного окисления органического вещества (ОВ), поступающего со сточными водами:



Для поверхностного слоя вод, ввиду активной фотосинтетической деятельности, характерно парциальное давление углекислого газа ниже атмосферного даже в периоды минимальной интенсивности первично-продукционных процессов. Важно отметить, что фотосинтетически процессы в поверхностном слое обеспечивают не только потребление углекислого газа из атмосферы, но и полное поглощение потока углекислого газа из придонного слоя вод. Таким образом, Севастопольская бухта должна характеризоваться интенсивным накоплением органического углерода в верхнем слое осадков.

Для Севастопольской бухты характерны высокая скорость осадконакопления при малых глубинах и интенсивное накопление в осадках различных загрязняющих веществ [16], однако межгодовые и многолетние изменения в скорости накопления органического углерода в осадках бухты ранее не обсуждались. Опубликованные данные [16] и результаты наши экспедиционных исследований в 2003 – 2004 гг. позволили проанализировать изменение содержания органического углерода в донных осадках с 1991 по 2004 гг. (табл. 2).

Данные, представленные в табл. 2, отражают тенденцию к увеличению концентрации $C_{\text{орг}}$ в донных осадках. К 2001 г. повышенные (>3% мас. концентрации органического углерода были отмечены на значительной части площади Севастопольской бухты, включая Южную бухту, центральную часть Севастопольской бухты, район Нефтегавани и район, прилегающий к ТЭЦ где было зарегистрировано максимальное значение концентрации $C_{\text{орг}}$ (11,8 % мас.). Данные 2003 – 2004 гг. подтверждают общую тенденцию к росту содержания органического углерода в донных осадках.

**Содержание органического углерода
в поверхностном слое осадков Севастопольской бухты**

Год	Количество станций	C _{орг} %	
		Среднее значение	Пределы изменений
1991	20	3,06	0,61 – 5,84
1994	22	3,00	1,56 – 6,64
2001	33	4,38	0,91 – 11,58
2003	7	4,27	0,20 – 10,20
2004	28	3,36	0,92 – 8,22

Ввиду малой глубины бухты (средняя глубина 12 м) и высокой скорости осадконакопления (2,4 мм/год) [15] основная масса органического вещества, как вновь образованного, так и поступающего с хозяйственно-бытовыми стоками, не успевает окислиться в водной толще и накапливается в донных осадках. Та часть органического углерода, которая успевает окислиться в водах бухты и на границе осадки – придонный слой вод, переходит в неорганическое состояние, поступает в поверхностный слой вод, где вновь вовлекается в процесс образования органического вещества в фотической зоне и способствует увеличению потока органического углерода в осадки бухты.

Ранее в работе [25] было установлено, что между C_{орг} и интенсивностью сульфатредукции в большинстве случаев сохраняется прямая зависимость. Это объясняется тем, что в восстановленных осадках часть легкогидролизуемого органического вещества используется в процессе сульфатредукции, в результате чего образуются как восстановленные формы серы (сероводород, тиосульфаты и пр.), так и диоксид углерода. Высокие концентрации органического вещества, наблюдаемые в восстановленных осадках Севастопольской бухты [16], прямо указывают на то, что подобная закономерность присуща не только океаническим осадкам, но и донным отложениям прибрежных водоемов. В настоящее время, несмотря на высокую биологическую продуктивность, обилие органического детрита, значительное поступление органического вещества со сточными водами, пониженное содержание кислорода в стагнационный период, застойные явления в бухте пока не приводили к появлению сероводорода в водной толще. Однако отмеченные факторы состояния среды способствовали формированию в поверхностном слое (0 – 5 см) обширной зоны восстановленных осадков ($Eh = +20 \dots -130$ мВ), которая занимает более 50% площади акватории [26].

Таким образом, представленные в настоящей работе результаты указывают на весьма заметные изменения в состоянии карбонатной системы прибрежной морской среды, которые произошли за довольно незначительный период времени. Увеличение количества вносимых в шельфовую зону загрязнений все более затрудняет процесс самоочищения прибрежных акваторий, приводит к сдвигу биогеохимических равновесий морских экосистем.

Выводы. Парциальное давление CO_2 вод Севастопольской бухты выросло с 1998 по 2005 гг. как в поверхностном, так и в придонном слое. Тем не менее бухта поглощает углекислый газ из атмосферы во все сезоны года, что объясняется интенсивным поступлением в бухту биогенных веществ антропогенного происхождения.

В летний период наблюдается заметное увеличение содержания растворенного диоксида углерода в придонном слое вод. Это связано с тем, что поток и скорость окисления органического вещества достигают максимальных величин, а интенсивность процессов водообмена в этот период самая минимальная в годовом цикле. Несмотря на это, парциальное давление CO_2 в поверхностном слое вод продолжает оставаться ниже атмосферного.

Углекислый газ, продуцируемый в водах бухты, в условиях поступления значительного количества биогенных элементов расходуется на образование органического вещества при фотосинтезе, что при мелководности акватории и высокой скорости осадконакопления приводит к отложению и накоплению органического вещества в донных осадках бухты. Это, в свою очередь, вызывает существенные изменения в состоянии окислительно-восстановительного равновесия в осадках, что может привести к возникновению анаэробных условий и появлению районов сероводородного заражения.

Экспедиционные исследования в Севастопольской бухте были выполнены при финансовой поддержке *INTAS* (проекты 03-51-6196, 96-1961).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сафонов М.С., Лисичкин Г.В. Можно ли уменьшить концентрацию углекислого газа в атмосфере? // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – 7, № 7. – С. 40 – 46.
2. Волков И.И., Савенко В.С. Обзор исследований по химии и геохимии океана, проводившихся по грантам РФФИ в 1999 г. // Вестник РФФИ. Проект 98-05-64725 (руковод П.Н. Маккавеев). – www.rfbr.ru.
3. Bakkef D.D.E., de Baar H.J.W., de Wilde Y.P.J. Dissolved carbon dioxide in Dutch coastal waters // Mar. Chem. – 1996. – № 55. – P. 247 – 263.
4. Frarkingouille M., Bourge I. Atmospheric CO_2 fluxes in a highly polluted estuary (the Scheldt) // Limnol. and Oceanogr. – 1996. – № 41. – P. 365 – 369.
5. Kempe S. Coastal seas: A net source or sink of atmospheric carbon dioxide? – Nederland, Texel: LOICZ, 1995. – 332 p.
6. De Grandre M., Hammar T.R., Smith S.P. et al. In situ measurements of seawater $p\text{CO}_2$ // Limnol. and Oceanogr. – 1995. – № 40. – P. 969 – 975.
7. Mackenzie F.T., Ver L.M., Lerman A. Centry-scale nitrogen and phosphorus controls of carbon cycle // Chem. Geol. – 2002. – № 190. – P. 13 – 32.
8. Волков И.И., Савенко В.С. Обзор исследований по химии и геохимии океана, проводившихся по грантам РФФИ в 1999 г. // Вестник РФФИ. Проект 98-05-64089 (руковод В.С. Савенко). – www.rfbr.ru.
9. Савенко В.С. Глобальный гидрологический цикл и геохимический баланс фосфора в океане // Океанология. – 2001. – 41, № 3. – С. 379 – 385.
10. Овсяный Е.И., Кемп Р.Б., Репетин Л.Н. и др. Гидролого-гидрохимический режим Севастопольской бухты в условиях антропогенного воздействия (по наблюдениям 1998 - 1999гг.) // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2000. – С. 79 – 103.

11. Горбенко Ю.А. Экология морских микроорганизмов перифитона. – Киев: Наук.думка, 1977. – 250 с.
12. Куфтаркова Е.А. Сезонный карбонатный цикл изменений компонентов карбонатной системы в Севастопольской бухте // Экология моря. – Вып.1 – С. 41 – 47.
13. Игнатьева О.Г., Романов А.С., Овсяный Е.И. и др. Сезонная динамика компонентов карбонатной системы в Севастопольской бухте // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2004. – Вып. 10. – С. 130 – 140.
14. Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Дивавин И.А. Санитарно-биологические исследования в Черном море. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – С. 34 – 53.
15. Миронов О.Г., Кирюхина Л.Н., Алемов С.В. Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке. – Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. – 185 с.
16. Osadchaya T.S., Ovsyaniy E.I., Kemp R., Romanov A.S., Ignatyeva O.G. Organic carbon and oil hydrocarbons in bottom sediments of the Sevastopol Bay (The Black Sea) // Морской экологический журнал. – 2003. – Т. II, № 2. – С. 94 – 101.
17. Методы гидрохимических исследований океана. – М.: Наука, 1978 – 271 с.
18. Современные методы гидрохимических исследований океана. – М.: ИО АН СССР, 1992. – 199 с.
19. UNESCO technical papers in marine science. № 51. Thermodynamic of the carbon dioxide system in seawater. – UNESCO, 1987. – P. 3 – 21.
20. Millero F.J. Chemical oceanography. – CRC Press, 1996. – 469 p.
21. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 272 с.
22. Драйвер Дж. Геохимия природных вод. – М.: Мир, 1985. – 439 с.
23. Friderich G.E., Hiscock W.T., Luther G.W. et. al. Detailed measurements of carbon dioxide distribution in the Black Sea: indication of horizontal mixing processes in the suboxic zone and unexpected surface layer carbon deficit // Oceanography of the eastern Mediterranean and Black Sea. Abstr. 2nd int. conf. (14 – 18 October 2002). – Turkey, Ankara. – P. 310.
24. Ляхин Ю.И. К вопросу о газовом обмене между океаном и атмосферой // Гидрохимические процессы в океане. – М.: ИО АН СССР, 1985. – С. 66 – 75.
25. Романкевич Е.А. Органическое вещество донных осадков к востоку от Японии и его влияние на окислительно-восстановительные процессы // Биогеохимия диагенеза осадков океана. – М.: Наука, 1976. – С. 5 – 19.
26. Овсяный Е.И., Романов А.С., Игнатьева О.Г. Распределение тяжелых металлов в поверхностном слое донных осадков Севастопольской бухты (Черное море) // Морской экологический журнал. – 2003. – Т. II, № 2. – С. 85 – 93.

Морской гидрофизический институт НАН Украины,
Севастополь

Материал поступил
в редакцию 22.05.06
После доработки 20.10.06

ABSTRACT Based on the experimental data collected in 1998 – 2005, temporal and spatial dynamics of the water carbonate system components and the organic carbon content in the bottom sediments in the Sevastopol bay are analyzed. Intensity of the carbon dioxide CO₂ fluxes through the sea – atmosphere interface is quantitatively estimated. The research results show that during the observation period the partial pressure pCO₂ in the bay waters substantially grows. The largest changes are observed in summer and they are more significant for the near-bottom water layer. During the whole period of observations the invasion of carbon dioxide CO₂ from the atmosphere to the bay waters prevails on the major part of the water area. It is accompanied by a simultaneous increase of the organic carbon percentage in the bottom sediments. Ability of the water surface layer in the bay to absorb CO₂ is explained by the organic matter synthesis that is possible at the equivalent entry of biogenic substances.