

УДК 579:574.587(262.5)

## Поглощение кислорода и деструкция органических веществ в донных отложениях побережья Крыма

Чекалов В. П.

Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского Российской академии наук  
Севастополь, Россия  
valch@mail.ru

Приведены экспериментальные данные поглощения кислорода как совокупности процессов аэробного окисления (АПК) и кислородной нейтрализации восстановленных продуктов анаэробногиза (КНВС) в донных отложениях крымского побережья. При обработке экспериментальных данных следует учитывать толщину слоя проникновения кислорода и затухающий характер этого процесса. Выявлено, что при поступлении кислорода окислительная деятельность в глубоководных анаэробных осадках может быть даже выше, чем в аэробном поясе. Интенсивность суммарного потребления кислорода в осадках западного шельфа была незначительно выше, чем в восточной части: 0,94 и 0,82 мкг  $O_2/г \times ч$ . АПК же различались более, чем вдвое – 0,77 против 0,36 мкг  $O_2/г \times ч$  соответственно. Исходя из этого получены расчетным путем темпы утилизации органических веществ. Оказалось, что их анаэробная утилизация в осадках восточного побережья преобладала над аэробным окислением. Суммарно, с учетом всех аспектов метаболизма, включая процессы ассимиляции, скорость трансформации органических веществ в донных отложениях Черного моря колебалась в пределах 2–4 мкг/г×ч. Представлены расчетные данные о возможной скорости седиментации органических соединений в северо-западном и восточном районах. В среднем она составляла соответственно 1,15 и 1,91 мкг/см<sup>2</sup>×ч. Произведена ориентировочная оценка темпов утилизации кислорода и органических соединений в донных отложениях кислородного пояса черноморского шельфа.

*Ключевые слова:* донные отложения, потребление кислорода, органическое вещество, Чёрное море.

### ВВЕДЕНИЕ

Анализ современных и ранее полученных данных по содержанию органического углерода в донных осадках большинства прибрежных акваторий крымского шельфа свидетельствует о стабильном характере осадконакопления (Овсяный, Гуров, 2016). В среднем значения колеблются в пределах 1–2 %. Накопление отмечается лишь в грунтах Керченского пролива, в которых за последние 30–40 лет содержание  $C_{орг}$  увеличилось в 1,5–2 раза (Овсяный и др., 2015). Текущее состояние, главным образом, является соотношением с одной стороны, разложения органических соединений, а с другой – их осаждением из водной толщи. Результаты изучения процессов биоседиментации в верхнем 50-метровом слое Черного моря в течение трех лет показали, что значения потоков взвешенного органического вещества варьировали в разные годы от 2600 до 9700 мг сухого вещества/м<sup>2</sup>×сут, в среднем сохраняясь в осенние периоды на уровне 4000–4850 мг/м<sup>2</sup>×сут (Мошаров, 1996). В прибрежных районах величина отношения «биоседиментация / бактериальная деструкция» была в 2–4 раза ниже, чем в центральной части Черного моря, составляя в северной и южной областях моря 0,47 и 0,06, что связано с более интенсивными процессами бактериального разрушения органического вещества. Установлено, что в Черном море взвешенное органическое вещество автохтонного и аллохтонного происхождения, прежде чем достичь дна на 80–90 % подвергается разложению (Скопинцев, 1975; Сорокин, 1982). Таким образом, в донные отложения поступает в год порядка 7 г  $C_{орг} / м^2$ .

Энергетический обмен, и как следствие процессы самоочищения в окружающей среде, обеспечиваются преимущественно за счет окислительных реакций с участием кислорода. При этом, несмотря на очевидную важность, исследования его потребления в донных отложениях Черного моря носят локальный эпизодический характер. Колебание данного параметра в осадках морей и океанов составляет 1–50 мМ·м<sup>2</sup>·сут<sup>-1</sup> (Glud et al., 1994; Богдановская и др., 1998; Stahl et al., 2004), хотя приводятся величины значительно превышающие эти значения.

Так, поток кислорода в осадках Голубой бухты Черного моря достигал более  $130 \text{ мМ} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сут}^{-1}$  (Розанов и др., 2010).

Цель настоящей работы – оценка темпов утилизации кислорода и деструкции органических соединений в донных осадках крымского шельфа.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор проб донных отложений осуществлялся с помощью трубчатого пробоотборника в ходе 89-го рейса НИС «Профессор Водяницкий» (октябрь – ноябрь 2016 г.). Схема станций приведена на рисунке 1. Материалом для исследования служил поверхностный 2 см слой донных отложений.

Влажность и содержание органического вещества определяли гравиметрическим методом соответственно после сушки навесок при  $+105 \text{ }^\circ\text{C}$  и прокаливании при  $500 \text{ }^\circ\text{C}$ .

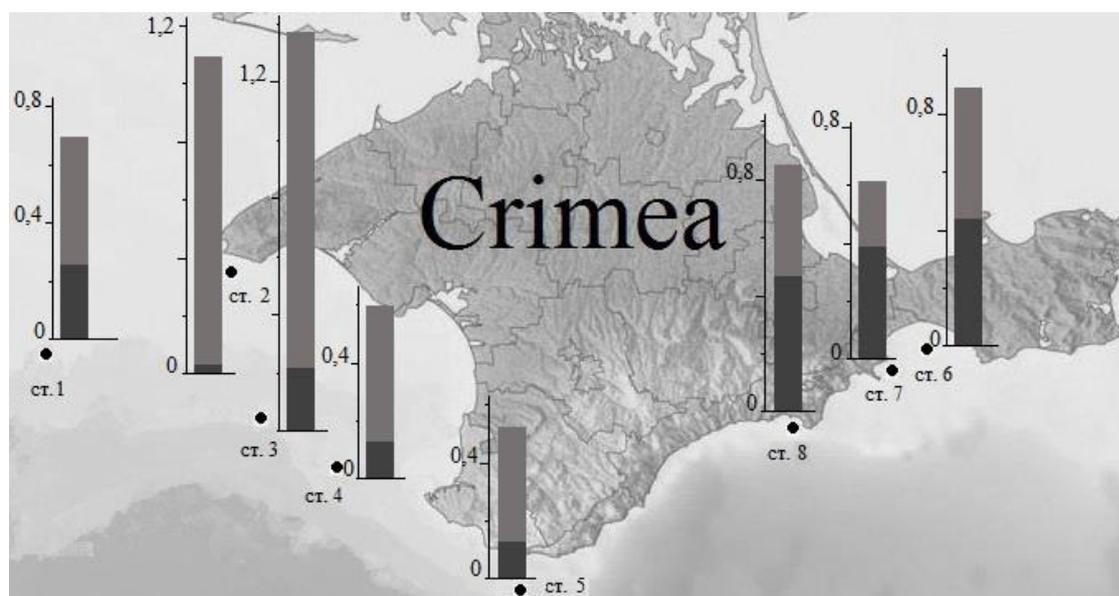


Рис. 1. Расположение станций и поток кислорода через поверхность в 0,6 см слое донных отложений при аэробных (светло-серая заливка) и анаэробных (темно-серая заливка) процессах окисления,  $\text{мгг O}_2/\text{см}^2 \times \text{ч}$

Содержание и потребление кислорода измеряли портативным LDO-оксиметром HQ40d (Hach, США) непосредственно на борту НИС «Профессор Водяницкий». Скорость суммарного потребления кислорода (СПК) проводили в респирометрической камере объёмом 60 мл, герметично соединённой с кислородным датчиком оксиметра. Ёмкость заполняли морской водой, вносили  $0,2 \text{ см}^3$  исследуемого ила и плотно закрывали специальной пробкой с газоотводной трубкой. Материал распределяли на площади  $20 \text{ см}^2$  слоем толщиной примерно  $0,01 \text{ см}$  и дальнейшую инкубацию проводили при температуре, соответствующей среде обитания. Измерение осуществлялось в автоматическом режиме ежечасно в течение 12–20 часов. Результаты в дальнейшем пересчитывали либо на единицу поверхности, либо на объём (вес) грунта.

Определение скорости кислородной нейтрализации восстановленных соединений (КНВС) проводили аналогичным образом, предварительно подавив жизнедеятельность бактерий и создав благоприятные условия для окисления восстановленных веществ. Учитывая, что снижение pH смещает соотношение сернистых соединений в воде ( $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) в сторону преобладания наиболее активно окисляемого сероводорода, водородный показатель в ёмкости доводили  $0,1\text{N}$  серной кислотой до 5. Это также способствовало

подавлению жизнедеятельности микрофлоры, наряду с внесением в измерительную ёмкость стрептомицина из расчета конечной концентрации 0,1 мг/мл и последующей инкубации ёмкости при 8–10 °С.

Полученные значения СПК и КНВС были пересчитаны на грамм влажного грунта и единицу донной поверхности для слоев толщиной в 0,01 и 0,6 см. Результаты статистической обработки данных, в частности их прямые почасовые измерения, представлены в виде средних значений с доверительным интервалом ( $p=0,95$ ).

Скорость аэробного поглощения кислорода (АПК) получали путём вычитания из соответствующего уровня суммарного поглощения (СПК) значения КНВС.

Потребление кислорода измеряли в условиях его достаточной исходной концентрации в измерительной ёмкости, порядка 6–8 мг/л. В связи с этим, полученные результаты следует рассматривать как потенциальные, особенно для кислород-дефицитных зон.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Донные отложения на всех станциях были представлены в разной степени заиленными песками. В то время как придонные водные массы в зависимости от уровня насыщения кислородом имели соответствующие редокс потенциалы, во всех пробах грунта были зафиксированы восстановительные условия (табл. 1). Более низкая в среднем плотность и более высокие значения влажности осадков у западного побережья Крымского полуострова косвенно указывают на преобладание рыхлых мелкодисперсных фракций, обогащенных органическим веществом.

Таблица 1

Некоторые физико-химические характеристики осадков на станциях отбора проб

№ станции	глубина, м	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	pH	Eh <sub>вода</sub> / Eh <sub>грунт</sub> , мВ
1	90	1,36	59,3	7,32	- / -
2	54	1,35	59,6	7,31	- / -135
3	346	1,23	70,6	7,33	- / - 345
4	180	1,27	67,9	7,43	- / - 303
5	141	1,48	49,2	7,8	- 78 / -290
6	18	1,54	45,2	7,2	145 / - 40
7	19	1,33	61,8	7,14	152 / - 80
8	30	1,64	43,1	7,39	72 / - 98

Это связано возможно с тем что отбор проб в восточной части производился в мелководных бухтах с соответствующим гранулометрическим составом грунтов. Повышенное содержание  $S_{орг}$  в Керченском проливе отмечалось лишь в его глубоководной центральной и северной частях, тогда как в осадках прибрежных акваторий значения не превышали 1,1 %, в среднем составляя 0,5 % (Овсяный и др., 2015). В целом, концентрация органических веществ, имея тенденцию к росту с глубиной (рис. 2), обнаруживала средний уровень положительной зависимости ( $r=0,67$ ) с АПК, и обратный ( $r=-0,84$ ) – с кислородной нейтрализацией восстановленных соединений.

Известно, что проникновение кислорода в толщу грунта часто не превышает нескольких миллиметров и, как следствие, с глубиной окислительные процессы резко затухают (Богомолова, Брянская, 2010; Орехова и др., 2013). В связи с этим, при изучении динамики его поглощения будет иметь значение как толщина отбираемого слоя донных осадков, так и дальнейшая интерпретация результатов в этом слое на единицу веса (объема). Ранее (Чекалов, 2016) в эксперименте было показано, что максимально обогащенный окислителем 0,01-см поверхностный горизонт, в зависимости от физико-химических свойств донных осадков

поглощает 30–50 % кислорода. Исходя из этого, в нашем случае СПК в 1 г грунта, распределенном 0,01 см слоем, изменяется на разных станциях от 14 до 45 мкг/г×ч (рис. 2). Для горизонта же толщиной в 0,6 см диапазон колебаний в среднем получается в 20–25 раз ниже и находится уже в пределах 0,56–1,76 мкг/г×ч (табл. 2).

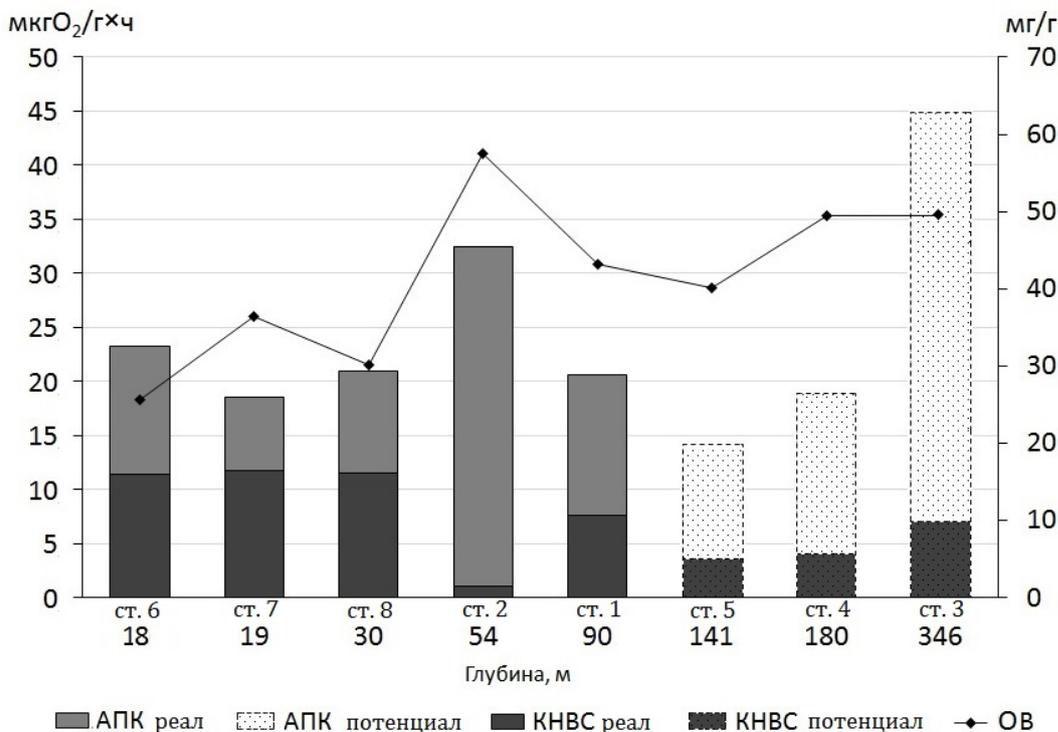


Рис. 2. Батиметрические изменения окислительной активности в поверхностном 0,01 см слое донных осадков на фоне содержания органического вещества

Таким образом, в зависимости от способа обработки данных существует риск разночтения значений, что в свою очередь ограничивает возможность их сравнения. Поэтому натурные исследования потоков, прежде всего газообразных веществ, через единицу поверхности донных отложений, являясь интегральной производной, в этом смысле дают более достоверную, пригодную для сопоставления информацию. В то же время было показано, что измерения потребления кислорода вновь осажденными поверхностными осадками сопоставимы с измерениями в ненарушенных колонках (Парсонс и др., 1982). Тем не менее, для приведения к общему знаменателю расчетных значений, полученных в экспериментальных условиях, следует также учитывать толщину слоя проникновения кислорода и затухающий характер этого процесса. Так, на рисунке 1 представлены диаграммы потоков кислорода, при пересчете на см<sup>2</sup> поверхности в 0,6-см слое донных отложений, отобранных на станциях у побережья Крыма. Концентрацию и движение слабо диффундирующих веществ, в частности органических, конечно же лучше приводить к весу (объему) субстрата. Выполненные в дальнейшем расчеты параметров на сырой вес и на единицу донной поверхности в 0,6 см слое показали расхождение результатов на 4–22 % в зависимости от плотности осадков. Причем более высокие значения отмечены для весовых выражений. По всей видимости, преобладание в грунтах песчаных фракций и соответственно рост плотности будет способствовать смещению этого соотношения в противоположную сторону.

Понятно, что интенсивность окислительных процессов, в том числе и восстановленных продуктов анаэробноза, в естественных условиях зависит от реальных концентраций

кислорода и снижается вплоть до полной остановки в сероводородной зоне. Так, высокие значения отмеченные на станциях 3, 4, и 5 являются потенциально возможными при поступлении в донные отложения кислорода, однако его полное отсутствие обуславливает в действительности также и полное прекращение окислительной деятельности.

Если исключить анаэробную зону, среднее значение СПК в осадках западного шельфа оказалось незначительно выше, чем в восточной части: 0,94 и 0,82 мкг O<sub>2</sub>/г×ч, тогда как АПК различаются более, чем вдвое 0,77 против 0,36 мкг O<sub>2</sub>/г×ч соответственно. Это связано с более широким диапазоном изменения показателей КНВС. В результате, доля АПК в суммарном потреблении кислорода снижалась с 63–96 % у западного до 36–51 % у восточного побережья (табл. 2).

Таблица 2

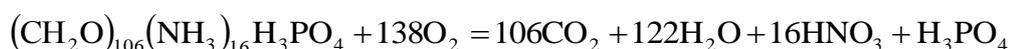
Концентрация кислорода в придонной воде и его потребление в 0,6-см слое донных отложений у берегов Крымского полуострова

№ станции	O <sub>2</sub> , мг/л	Поглощение, мкг O <sub>2</sub> /г×ч*			% АПК
		СПК	КНВС	АПК	
1	6,4	<b>0,81±0,54</b>	<b>0,30±0,03</b>	<b>0,51</b>	<b>63</b>
2	6,23	<b>1,07±0,29</b>	<b>0,04±0,08</b>	<b>1,03</b>	<b>96</b>
3	0	1,76±0,37	0,27±0,12	1,48	84
4	0	0,74±0,41	0,16±0,14	0,58	79
5	0	0,56±0,33	0,14±0,15	0,42	75
6	8,38	<b>0,91±0,14</b>	<b>0,45±0,05</b>	<b>0,46</b>	<b>51</b>
7	-	<b>0,73±0,15</b>	<b>0,46±0,30</b>	<b>0,26</b>	<b>36</b>
8	8,02	<b>0,82±0,03</b>	<b>0,45±0,04</b>	<b>0,37</b>	<b>45</b>

Примечание к таблице: \* – значения скоростей поглощения кислорода в аэробной зоне выделены полужирным шрифтом.

В пробах же глубоководных грунтов при поступлении кислорода потенциальные уровни СПК и АПК могут достигать 1,76 и 1,48 мкг O<sub>2</sub>/г×ч. Ранее (Чекалов, Гулин, 2014) в осадках северо-западной акватории, извлечённых с глубины 1008 м, также был зарегистрирован высокий, в среднем 1,41 мкг O<sub>2</sub>/г×ч, потенциал окислительной активности. Фактически в Черном море подавляющая часть осадков морского ложа не участвует в процессах аэробной деструкции, хотя потенциал, как мы видим, часто даже выше, чем в аэробном поясе, имеется.

Возможные темпы аэробной деструкции органических веществ, приведенные в таблице 3, были рассчитаны на основании формулы Редфилда (Сапожников, Метревели, 2015):



В северо-западной части значения колебались между 0,41–0,83 мкг/г×ч, а на востоке Крыма были несколько ниже, составляя 0,21–0,37 мкг/г×ч.

Считается, что в водных растворах химическое окисление сероводорода идет до серы по формуле: 2H<sub>2</sub>S + O<sub>2</sub> → 2 H<sub>2</sub>O + 2S. Установленные нами величины КНВС колебались от 0,04 до 0,46 мкг/г×ч, что соответствовало окислению примерно 0,09–0,98 мкг/г×ч H<sub>2</sub>S. Если принять, что в сбалансированной системе донных отложений в некотором приближении скорость окисления восстановленных соединений компенсируется темпом их образования, то максимальной – до 1,00 мкг/г×ч интенсивность продуцирования сероводорода была вдоль восточного побережья, снижалась до 0,30 у ЮБК, а на западном шельфе составляла порядка 0,40 (табл. 3). Сообщалось (Егоров и др., 2012), что в пересчете на единицу поверхности в 15-ти сантиметровом слое интенсивность образования сероводорода в Севастопольской бухте колебалась в пределах 0,34–0,58 мкг/см<sup>2</sup>×ч, а в Стрелецкой – достигала 0,88 мкг H<sub>2</sub>S /см<sup>2</sup>×ч. Наши данные, представленные аналогичным образом, но в 0,6-см слое, составляли в среднем

0,34 мкг H<sub>2</sub>S /см<sup>2</sup>×ч для грунтов западного побережья, а в бухтах восточного Крыма возрастали до 0,91 мкг/см<sup>2</sup>×ч. Показано, что пространственное распределение сульфидов в анаэробных отложениях неоднородно и характеризуется увеличением их концентрации от западной к восточной части моря (Орехова, 2014).

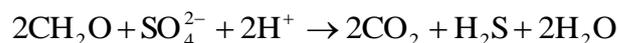
Таблица 3

Содержание органических веществ (ОВ), скорость окисления сероводорода, аэробная (D<sub>Аэ</sub>) и анаэробная (D<sub>АнАэ</sub>) деструкция органики в 0,6-см слое донных отложений

№ станции	ОВ, мг/г	Окисление*, мкг/г×ч			Окисление*, мкг/см <sup>2</sup> ×ч		
		H <sub>2</sub> S	D <sub>Аэ</sub>	D <sub>АнАэ</sub>	H <sub>2</sub> S	D <sub>Аэ</sub>	D <sub>АнАэ</sub>
1	43	<b>0,63</b>	<b>0,41</b>	<b>1,12</b>	<b>0,55</b>	<b>0,35</b>	<b>0,97</b>
2	57	<b>0,08</b>	<b>0,83</b>	<b>0,15</b>	<b>0,07</b>	<b>0,85</b>	<b>0,13</b>
3	50	0,58	1,19	1,03	0,46	0,93	0,81
4	49	0,34	0,47	0,60	0,27	0,38	0,48
5	40	0,29	0,34	0,52	0,28	0,32	0,49
6	26	<b>0,95</b>	<b>0,37</b>	<b>1,68</b>	<b>0,93</b>	<b>0,37</b>	<b>1,64</b>
7	36	<b>0,98</b>	<b>0,21</b>	<b>1,73</b>	<b>0,83</b>	<b>0,18</b>	<b>1,46</b>
8	30	<b>0,96</b>	<b>0,30</b>	<b>1,69</b>	<b>1,00</b>	<b>0,31</b>	<b>1,76</b>

Примечание к таблице. \* – значения скоростей окисления в аэробной зоне выделены полужирным шрифтом.

На основании суммарного уравнения сульфатного анаэробного окисления были рассчитаны возможные темпы утилизации органического вещества в ходе хемосинтеза:



Это имеет смысл исключительно для кислородной зоны. Данные по анаэробным участкам носят гипотетический характер. Как известно энергетический выход при сульфатредукции ниже, чем при дыхании, что компенсируется большим количеством вовлекаемого в окислительные процессы субстрата. Подобное, в частности, наблюдается на станциях 1, 6, 7 и 8. В результате сложения аэробной и анаэробной составляющих получаем колебание скорости разложения органики в диапазоне 1–2 мкг/г×ч, причем в отличие от поглощения кислорода, в среднем она была выше у восточного побережья, что объясняется более существенным там вкладом именно анаэробной деструкции.

Примерно такие же значения, согласно предположению о стабилизированном состоянии, в долгосрочной перспективе должны иметь и темпы седиментации, как основного процесса поступления органической составляющей в донные осадки. Как следует из представленных выше расчетных данных в северо-западном и восточном районах скорости потоков взвешенного органического вещества на донную поверхность в среднем достигали 1,15 и 1,91 мкг/см<sup>2</sup>×ч соответственно. Близкие результаты были получены в работе (Самышев, 2009), где усредненные результаты потока ВОВ в водном слое под термоклином после приведения к общей размерности составили осенью в северо-западном, центральном и восточном участках Черного моря соответственно 1,1, 0,6 и 1,8 мкг/см<sup>2</sup>×ч.

Исходя из полученных нами темпов суммарной утилизации, то есть аэробной и анаэробной, и при отсутствии поступления извне, для полного разложения накопленного органического вещества потребовалось бы 1–2 года для грунтов у северо-восточного и 3–7 лет у северо-западного побережий Крыма. Как известно, черноморский шельф, являясь собственно слоем проникновения кислорода, составляет порядка 100000 км<sup>2</sup>. (Вылканов и др., 1983). Тогда, в масштабе указанной акватории скорость утилизации кислорода и органических соединений может достигать в среднем 830 и 1700 т/ч соответственно.

В действительности трансформации подвергается большее количество органики. Установлено, что на среде с глюкозой культура *Escherichia coli* расходуют до 50 % субстрата на покрытие энергетических нужд (Готтшалк, 1982). Соответственно столько же используется

в ассимилятивных процессах на построение и модификацию клеточного материала, то есть в нашем случае бактериальным изменениям в разной степени подвергается в час 2–4 мкг/г органики.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При отсутствии возможности прямого измерения потока веществ через границу раздела вода-грунт для приведения к общему знаменателю расчетных значений, полученных в экспериментальных условиях следует, очевидно, учитывать пространственную неоднородность их распределения в толще донных отложений и глубину проникновения кислорода. Фактически в Черном море подавляющая часть осадков морского ложа не участвует в процессах аэробного окисления именно вследствие специфических анаэробных условий. Высокие значения поглощения кислорода, отмеченные на глубоководных станциях, являются потенциально возможными в случае его поступления в донные отложения, и тогда окислительная деятельность здесь может быть даже выше, чем в аэробном поясе.

По нашим данным среднее значение суммарного потребления кислорода в осадках западного шельфа незначительно выше, чем в восточной части: 0,94 и 0,82 мкг  $O_2/г \times ч$ , тогда как АПК различаются более, чем вдвое. В то же время суммарная деструкция органики выше оказалась у восточного побережья, что связано, по всей видимости, с более существенным здесь вкладом анаэробного метаболизма. Низкая, по сравнению с дыханием, эффективность сульфатредукции компенсируется большим количеством вовлекаемого в процессы анаэробного окисления субстрата. С учетом всех аспектов метаболизма, включая процессы ассимиляции, скорость трансформации органических веществ в донных отложениях Черного моря у побережья Крыма колебалась в пределах 2–4 мкг/г×ч.

**Благодарности.** Автор выражает признательность к б. н. М. Б. Гулину (ИМБИ РАН, Севастополь) за консультацию и помощь по ходу экспедиционных работ.

*Работа подготовлена по теме государственного задания ФГБУН ИМБИ «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом», номер гос. регистрации АААА-А18-118021490093-4.*

### Список литературы

- Богдановская В. В., Вершинин А. В., Розанов А. Г. Потоки кислорода на границе вода-осадок (по результатам исследований в Кандалакшском заливе Белого моря) // Геохимия. – 1998. – № 11. – С. 1172–1178.
- Богомолова Т. Г., Брянская Ю. В. Экспериментальные исследования потребления кислорода загрязненными донными отложениями // Вестник МГСУ. – 2010. – № 2. – С. 120–123.
- Вылканов А., Данов Х., Маринов Х. и др. Черное море: Сборник. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 408 с.
- Готтшалк Г. Метаболизм бактерий. – М.: Мир, 1982. – 310 с.
- Егоров В. Н., Пименов Н. В., Малахова Т. В., Канапацкий Т. А., Артёмов Ю. Г., Малахова Л. В. Биогеохимические характеристики распределения метана в воде и донных осадках в местах струйных газовыделений в акватории Севастопольских бухт // Морской экологический журнал. – 2012. – Т. 11, № 3. – С. 41–52.
- Овсяный Е. И., Коновалов С. К., Митропольский А. Ю. и др. Органический углерод и карбонатность современных донных отложений Керченского пролива // Геохимия. – 2015. – № 12. – С. 1–12.
- Овсяный, Е. И., Гуров К. И. Исследование органического углерода и карбонатности в донных осадках шельфа южного побережья Крыма // Морской гидрофизический журнал. – 2016. – № 1. – С. 62–72.
- Орехова Н. А., Коновалов С. К., Овсяный Е. И. Изменение геохимических характеристик в донных осадках Крымского побережья // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа: сб. науч. тр. – 2013. – Вып. 27. – С. 284–288.
- Орехова Н. А. Распределение и потоки кислорода и сероводорода на границе с донными отложениями Черного моря: автореф. дисс. ... на соиск. учен. степени канд. географ. наук: спец. 11.00.08 Океанология / Н. А. Орехова. – Севастополь: Морской гидрофиз. ин-т НАНУ, 2014. – 20 с.

Мошаров С. А. Характеристика биогенной седиментации в Балтийском и Черном морях: автореф. дисс... на соиск. учен. степени канд. биол. наук: спец. 03.00.16 Экология / С. А. Мошаров: Ин-т глобального климата и экологии Росгидромета РАН. – М., 1996. – 24 с.

Парсонс. Т. Р., Такахаши М., Харгрейв Б. Биологическая океанография: пер. с англ. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 432 с.

Розанов А. Г., Вершинин А. В., Егоров А. В. Исследование химического обмена на границе вода-дно в Голубой бухте Чёрного моря // Водные ресурсы. – 2010. – Т. 37, № 3. – С. 341–350.

Самышев Э. З. Содержание органического вещества и интенсивность его седиментации в фотическом слое вод Черного моря // Системы контроля окружающей среды. Средства, информационные технологии и мониторинг: сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ: – Севастополь, 2009. – С. 352–359.

Сапожников В. В., Метревели М. П. Стехиометрическая модель органического вещества — основа количественного изучения продукционно-деструкционных процессов в океане // Труды ВНИРО. – 2015. – 155. – С. 137–141.

Скопинцев Б. А. Формирование современного химического состава Черного моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 336 с.

Сорокин Ю. И. Черное море: Природа, ресурсы. – М.: Наука, 1982. – 217 с.

Чекалов В. П., Гулин М. Б. Респираторная активность бактериобентоса в прибрежном и глубоководном районах северо-западной части Чёрного моря // Морской экологический журнал – 2014. – 13, 1. – С. 88–96.

Чекалов В. П. Абсорбция кислорода донными осадками прибрежных районов Севастополя (Чёрное море) в процессе утилизации органического вещества // Морской биологический журнал. – 2016. – Т. 1, № 4. – С. 44–52.

Glud R. N., Gundersen J. K., Jorgensen B. B., Revsbech N. P., Schulz H. D. Diffusive and total oxygen uptake of deep-sea sediments in the eastern South Atlantic Ocean: in situ and laboratory measurements // Deep-Sea Research. – 1994. – 41. – P. 1767–1788.

Stahl H., Tengberg A., Brunnegard J., Bjornbom E., Forbes T. L., Josefson A. B., Kaberi H. G., Karle Hasselov I. M., Olsgard F., Roos P., Hall P. O. J. Factors influencing organic carbon recycling and burial in Skagerrak sediments // Journal of Marine Research. – 2004. – 62. – P. 867–907.

**Chekalov V. P. Oxygen absorption and destruction of organic matter in bottom sediments of the coast of Crimea** // Ekosistemy. 2019. Iss. 18. P. 142–149.

Experimental data on the absorption of oxygen as a combination of aerobic oxidation and neutralization of reduced anaerobiosis products by oxygen in the bottom sediments of the Crimean coast are presented. The penetration of oxygen into the sediments is necessary to take into account when calculating the rate of its consumption. The oxidative activity in deep-sea anaerobic sediments may be even higher than in the aerobic belt with the intake of oxygen. The intensity of the total oxygen consumption in the sediments of the western shelf was slightly higher than in the eastern part: 0.94 and 0.82  $\mu\text{g O}_2/\text{g}\times\text{h}$ . At the same time, aerobic oxidation differed more than twice – 0.77 versus 0.36  $\mu\text{g O}_2/\text{g}\times\text{h}$ , respectively. Based on this, the rates of utilization of organic substances was calculated. It was proved that their anaerobic utilization in the sediments of the east coast prevailed over aerobic oxidation. In general, the rate of organic matter conversion in the bottom sediments of the Black Sea was 2–4  $\mu\text{g}/\text{g}\times\text{h}$ , taking into account all aspects of metabolism, including assimilation processes. The calculated data on the possible rate of sedimentation of organic compounds in the north-western and eastern areas are provided. On average, it was 1.15 and 1.91  $\mu\text{g}/\text{cm}^2\times\text{h}$ , respectively. An approximate estimation of the rate of oxygen utilization and organic compounds in bottom sediments of the oxygen zone of the Black Sea shelf was made.

*Key words:* bottom sediments, oxygen consumption, organic matter, the Black Sea.

*Поступила в редакцию 11.03.19*