

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 551.464

СИМОНОВА Ольга Анатольевна

ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМА КИСЛОРОДА
НА МЕЛКОВОДНОМ ШЕЛЬФЕ,
НАХОДЯЩЕМСЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ
РЕЧНОГО СТОКА
(НА ПРИМЕРЕ АЗОВСКОГО МОРЯ)

(11.00.11 — Охрана окружающей среды и рациональное
использование природных ресурсов)

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва — 1990

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Государственном океанографическом институте.

Научные руководители -

доктор географических наук
А.М. Бронфман;

кандидат химических наук
А.Г. Розанов

Официальные оппоненты -

доктор географических наук
В.Н. Иваненков;

кандидат химических наук
И.Г. Орлова

Ведущая организация -

Московский государственный
университет, географический
факультет.

Защита диссертации

16 час. 15 мин

К 024.02.01 в

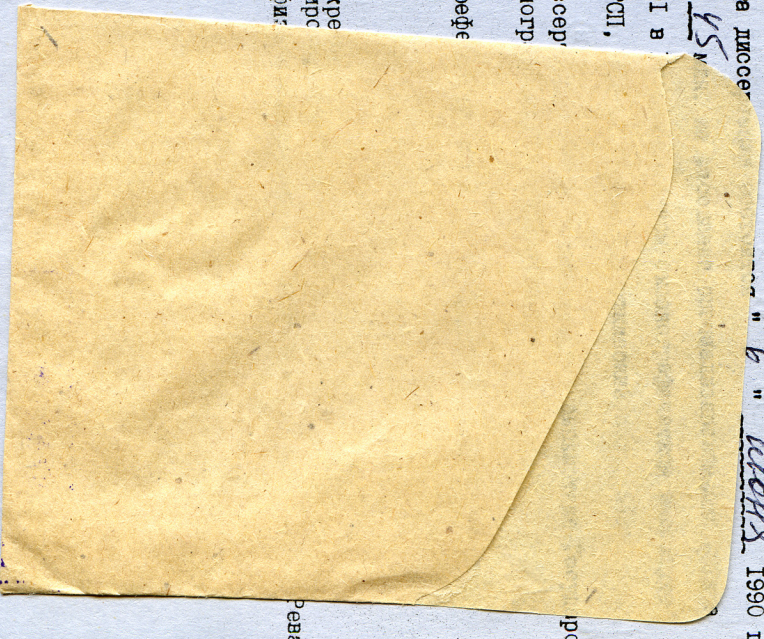
(119838, ТСП,

С диссер-

ного океаногра-

Авторы:

Ученый секретарь
специализированной
кандидат ф.и.



1990 г. в

Актуальность работы. Интенсивное развитие хозяйственной деятель-

ности в бассейне Азовского моря приводит к существенным изме-

нениям экологической обстановки в водоеме, особенно в его приусть-

евых районах. Безвозвратное водопотребление, внутритроговое перерас-

пределение стока, загрязнение акватории оказывают значительное влия-

ние на гидрохимический режим и условия формирования первичной про-

дукции в указанном районе. Самым неблагоприятным последствием уве-

личившейся антропогенной нагрузки на экономическую систему Азов-

ского моря является интенсификация в летний период заморных явле-

ний, суть которых состоит в массовой гибели донных моллюсков, во-

дрослей и ракообразных.

Большинство исследователей основной причиной гибели донного

населения полагает именование кислорода в придонном слое, так

как гипоксия наблюдается при всех случаях заморы. Однако деталь-

зация процессов, происходящих при утилизации (окислении) органиче-

ского вещества (ОВ), поступающего в верхний слой осадка, требует

более тщательного рассмотрения. Понимание процессов химического ок-

исления, происходящих на границе вода-дно, просвяняет картину форми-

рования кислородного режима и его особенностей в приустьевом районе,

связанных с явлениями дефицита кислорода.

Предлагаемое исследование посвящено проблеме изучения особен-

ностей режима кислорода на мелководном шельфе, находящемся под воз-

действием речного стока. В качестве примера в диссертации автор бо-

лее детально рассматривает мелководный Темрюкский залив, на океано-

графический режим которого большое влияние оказывает пресный сток

р. Кубани.

Цель настоящей работы - выявить специфику кислородного режи-

ма приустьевого района, а также приблизиться к пониманию механиз-

ма формирования взвешенных условий в верхних слоях донных осадков,

№ 121

приводящих к исчезновению кислорода в придонном слое воды и появления сероводорода. В связи с этим были поставлены следующие основные задачи:

- проанализировать гидролого-гидрохимические условия формирования режима кислорода;

- исследовать основные факторы, обуславливающие специфику кислородного режима устьевого взморья; в) определение кислорода в осадке, придонном горизонте и водной толще; б) расчет среднесуточного баланса кислорода; в) оценка составившихся ОБ.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Предложен концептуальный подход к проблеме исчезновения кислорода и появления сероводорода, основывающийся на механизме образования анаэробных условий в придонной воде в период повышенного речного стока.

- Впервые на экватории Азовского моря применена методика "Боксового" эксперимента по изучению потоков кислорода на границе вододонные отложения для устьевого района на примере Темрюкского залива, на основе которой рассчитаны параметры процесса обмена для данного района.

- Предложен расчет среднесуточного баланса кислорода в период поководья и оценки типов ОБ по результатам "Боксового" эксперимента.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что впервые инструментально в летнее время в исследуемом районе был зафиксирован сероводород, в связи с чем были даны рекомендации по его распределению при выполнении работ, входящих в состав мониторинга устьевых районов. В работе представлены пороговые значения обшей вертикальной устойчивости, приводящие к образованию сероводорода.

В данной работе также показана принципиальная возможность

расчета баланса кислорода и определения типов ОБ на основе "Боксового" эксперимента, что в дальнейшем может быть использовано для прогнозирования экологической ситуации других шельфовых районов морей.

Апробация работы. Результаты, приведенные в работе, докладывались на Всероссийском научном симпозиуме (Одесса, 1988 г.) и научном семинаре лаборатории мониторинга загрязнения морской среды ГОИНА (Москва, 1989 г.).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, двух разделов, включавших в себя 4 главы, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 179 страниц машинописного текста, включая список литературы из 85 наименований, 21 таблицу, 23 рисунка.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первом разделе рассматриваются факторы, определяющие режим кислорода, а также факторы пространственно-временной изменчивости содержания кислорода в Азовском море. Рассматривается динамика кислорода в плане формирования режима исчезновения кислорода и появления сероводорода.

Первый раздел - Динамика содержания кислорода на мелководном шельфе Азовского моря - состоит из двух глав.

В первой главе I раздела - "Природные и антропогенные факторы, определяющие особенности режима кислорода" - рассматриваются следующие факторы: атмосферная и фотосинтетическая вариация, дыхание организмов, окисление ОБ, температурный режим, динамика волн, их вертикальная устойчивость, органическое вещество. Материал, представ-

ленный в первой главе, изложен в основном с учетом имеющейся по данному вопросу литературы.

Во второй главе I раздела - "Динамика содержания кислорода и сероводорода по наблюдениям 1987 и 1988 гг." - рассматривается динамика кислорода в плане формирования режима его исчезновения и появления сероводорода в придонном горизонте. Материалами для написания главы послужили в основном результаты экспедиционных наблюдений, проведенных автором в Темрюкском заливе летом 1987 и 1988 гг., а также экспедиционные результаты АзНИРХ, СО ТОИП и Кубанской устьевой станции.

Предложен концептуальный подход к проблеме исчезновения кислорода и появления сероводорода в условиях повышенного речного стока, включающий в себя следующие факторы:

- прогрев вод, образование большого градиента температур, обеспечивающего возникновение мощной температурной устойчивости, которая осуществляется основной вклад в общую устойчивость вод прудового района, замедляет поступление кислорода из атмосферы и, как следствие - приводит к большому его расходу на окисление OB_2 ;

- обильный летний паводок, поставляющий большое количество вихлохтонного OB ("многочратно утилизированного"), которое, наряду с лабильной автохтонной органикой, имеющейся в заливе, создает условия для образования напряженной кислородной ситуации в придонных горизонтах, а также способствует формированию большого градиента температур и солености;

- отсутствие заметной ветровой активности (≤ 2 м/с), создавшей статистически условия.

Совпадение этих факторов, соответствующее пороговой вертикальной устойчивости ($\sim 2500-3000$ усл. ед.), является необходимым и достаточным условием для проявления ряда процессов: гипоксии, аноксии и образования сероводорода. Отсутствие одного из трех перечис-

ленных факторов лишь в редких случаях может обеспечить достаточное условие для осуществления данного ряда процессов.

На рис. I представлено хронологическое изменение общей устойчивости вод залива, разности в относительном содержании кислорода в поверхностном и придонном горизонтах, изменение BPK_2 и расхода воды в устье р. Кубани, содержание сероводорода в придонном горизонте, изменение разности температур и солености в поверхностном и придонном горизонтах, изменение силы ветра над заливом во время гидрохимических съемок, проведенных в период с мая по октябрь 1987 г. Обращает на себя внимание тот факт, что максимальные значения перечисленных характеристик совпадают во времени (безусловно, кроме ветровой активности). Данный рисунок отражает динамику процессов на станции 16 в Темрюкском заливе. Однако построение подобных графиков для других станций залива свидетельствует о том, что относительные изменения гидрохимического режима были характерны для всего залива.

Такое совпадение экстремальных значений и формирует специфичную кислородную режима прудового района, приводящую к образованию сероводорода.

Во втором разделе диссертационной работы - "Химический обмен кислородом на границе придонная вода - морское дно в прудового части Б.Кубань (по результатам прямого измерения)" - сделана попытка объяснить механизм формирования анаэробных условий в придонном слое воды, позволявшая выявить особенности режима кислорода исследуемого района.

В третьей главе II раздела - "Методики проведения "боксового" эксперимента и обработки его результатов" - дан обзор имеющихся в литературе методов оценки параметров химического обмена на границе раздела придонная вода - морское дно. Нами был проведен прямой

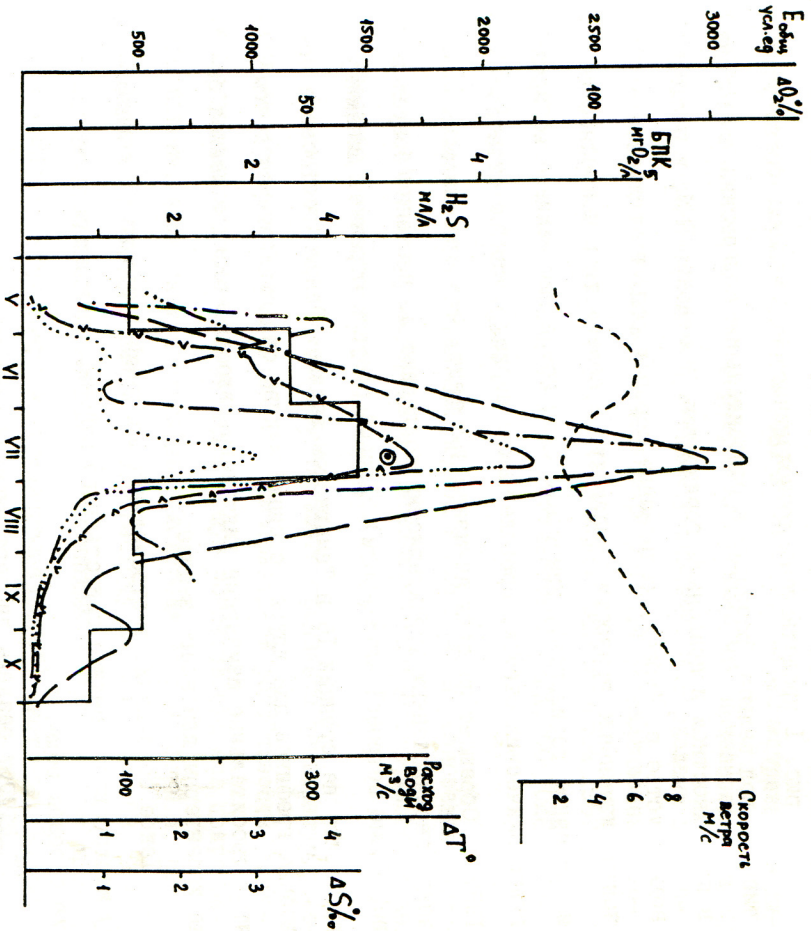


Рис. 1. Изменение гидролого-гидрохимических характеристик на ст. 16 в Темрюжском заливе в 1987 г.:

- общая устойчивость вод;
- разность в относительном содержании кислорода в поверхностном и придонном горизонтах;
- содержание сероводорода в придонном горизонте;
- разность температур и солености в поверхностных и придонных горизонтах;
- биохимическое потребление кислорода в придонных горизонтах в устье р. Кубань;
- расход воды в устье р. Кубань;
- скорость ветра над заливом.

"Оксовый" эксперимент по оценке химического обмена на двух полигонах в устьевой части р. Кубани Азовского моря. Схема расположения полигонов дана на рис. 2, причем полигон I (глубина ~ 10 м) расположен за пределами видимой границы р. Кубань — море, полигон 2 (глубина ~ 8 м) — в пределах указанной границы.

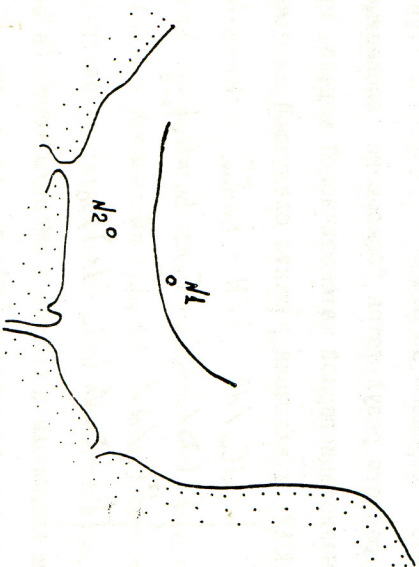


Рис. 2. Схема расположения полигонов (№ 1, № 2) во время проведения "Оксового" эксперимента в Темрюжском заливе в 1987 г.

На каждом политоне устанавливали два полистиленовых бокса.

Конструкция бокса и схема перемешивающего устройства разработаны в ИОАН СССР. Бокс № 1 был рабочим для оценки обмена на указанной площадке, бокс № 2 - фоновый, закрытый снизу полиэтиленовой крышкой, для оценки влияния придонного слоя воды на обмен и для изучения влияния стенок бокса. Методика заключалась в ежедневном отборе проб воды из боксов. В отобранных пробах проводили определение содержания растворенных кислорода и сероводорода.

С целью нахождения параметров процесса обмена была проведена оценка уравнения стационарного диалитеза осадка в случае одного вертикального переноса по оси ОХ.

Методика расчета результатов "Оковского" эксперимента была основана на квазистационарной математической модели, предложенной сотрудниками ИОАН, и включала решение следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} -dC_w/dt = I/N + K_w C_w^{m'} & -h < x < -h \\ J = (D/h)(C_w - C_0); C_0 = C_s |_{x=0} & -h < x < 0 \\ d^2C_s/dx^2 - K_s C_s^n = 0 & x > 0 \\ J = -D_s \phi (dC_s/dx)_{x=0} \end{cases} \quad (1)$$

где J - поток кислорода в осадок в ммоль/м²·сут (в исходный момент постановки эксперимента - J₀); X - вертикальная координата с положительным направлением в осадок (X = 0 на поверхности осадка); t - время (с, сут); H - высота бокса, см; h - толщина диффузного подслоя, в котором происходит смена турбулентного переноса на молекулярную диффузию (для океанских осадков h = 1-2 мм); ∅ - пористость верхнего слоя, %; D, D_s - коэффициент молекулярной диффузии растворенной формы элемента (кислорода) в воде и осадке соответственно (см²/с); m, n - порядок реакции потребления кислорода придонным слоем воды и осадком соответственно; K_w, K_s - константы скорости потребления кислорода водой и осадком (мл/л)·I^{-m}(n), с⁻¹), соответственно; C_s - концентрация кислорода в поровой среде

осадка (ммоль/л, мл/л); C_w - концентрация кислорода в придонной воде бокса (в исходный момент постановки эксперимента - C_{w0}); C₀ - концентрация кислорода на дне диффузного подслоя или на поверхности осадка (C₀' - концентрация в исходный момент постановки эксперимента).

Основная задача "Оковского" эксперимента сводилась к описанию временной зависимости изменения концентрации кислорода в боксе № 1 (C_w) и боксе № 2 (C_w').

Используемая нами методика расчета позволила определить следующие основные параметры обмена: J₀, m, n, K_w, K_s, C₀', C_{w0}, а также оценить величину h. Выведенные формулы позволили оценить суммарную интенсивность процессов потребления кислорода водой и осадком (A₀, ммоль/м³·сут). Так, для осадка A₀ = K_s · (C₀')ⁿ. Кроме того, были выведены формулы для расчета глубины проникновения кислорода в осадок (X₁, см).

На основе эмпирической модели стационарного диалитеза осадка / Berger, Letman / выведены формулы расчета параметров процесса обмена. Отличие использованной нами квазистационарной модели от стационарной состояло в том, что в первом уравнении системы (1) не было последнего члена, учитывающего потребление кислорода придонным слоем воды. Поскольку диалитическое уравнение осадка в обеих моделях было одним и тем же, то выведенные автором формулы параметра обмена имеют универсальный характер (то есть могут быть применены для оценки обмена и других растворенных форм элементов, не только кислорода).

На первом этапе расчета результатов по экспериментальной зависимости C_w' (t) определяли наилучшее приближение, позволяющее оценить величины m' и K_w.

На втором этапе расчета из экспериментальной зависимости C_w (t) определяли следующие характеристики массообмена: J₀ и B

($V = \sqrt{k_s D_s / \alpha}$, где $\alpha = n + 1/2$), из которых можно было считать все перечисленные выше параметры процесса обмена. Входными параметрами задачи на втором этапе были: $D, n, \delta, \alpha, k_w, m, C_w(t), h$, где α - извилистость осадка. Для прибрежных осадков было взято $\delta = 0,9$, $\alpha = 1,4$, что соответствует реальным значениям для этих осадков.

Степень соответствия теоретической модели (с указанным набором входных параметров) экспериментальным результатам характеризуется выходящим параметром SM-функционалом эмпирического риска. Количественные оценки такого соответствия можно было получить при использовании критерия χ^2 . Результаты использования рассмотренной методики расчета к полигону 2 представлены в табл. 1. Указанная в примечании к табл. 1 оценка позволила выбрать из перебранных значений h оптимальное. В табл. 1 рассмотрены случаи с $m=n$. С учетом экспериментальной погрешности определения кислорода $\delta_1 = 0,025$, были оценены погрешности для величин J_0 и B . Полученные величины соответствуют относительной погрешности $\sim 5\%$, что близко к мату перебора параметра B . На рис. 3 графически изображены результаты, представленные в табл. 1. Сравнительные результаты "боксового" эксперимента на двух полигонах в Азовском море и на шельфе Черного моря, взятые из литературы, представлены в табл. 2.

Расчетный поток кислорода на полигоне 1 составил ~ 4 моль/м²·сут, что почти на порядок ниже потока на шельфе Черного моря (~ 30 моль/м²·сут). На полигоне 2 расчетный поток составил $\sim 0,5$ моль/м²·сут. Эти данные свидетельствуют о значительном уменьшении потребления кислорода осадком и об увеличении его потребления в толще воды (ср.: средние значения k_w в табл. 2). Подобное уменьшение потока кислорода на границе вода-донные отложения характерно для такого продуктивного прибрежного района и обусловлено особым составом захороняемого O_2 , так как его разложение

Таблица 1

Результаты "боксового" эксперимента на полигоне № 1

Входные данные: $t = t'$ (сут) = 0,3, 4, 5
 $C'(\frac{\text{мл } O_2}{\text{л}}) = 0,95; 0,46; 0,12; 0,37,$ $C(\frac{\text{мл } O_2}{\text{л}}) = 1,49; 0,51; 0,41; 0,30$

$\delta_1 = 0,25 \delta_0$, $n = 0,47$ м, $D = 1,93 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$, $\alpha = 1,4$, $\delta = 0,9$

Выходные данные: Массообмен с осадком (J_0 , (мл/л)·(см/с); $B = \sqrt{k_s D_s / \alpha}$, (мл/л)^{1- α} ·(см/с))

h (см)	n = 0 ($\alpha = 0,5$)			n = 1 ($\alpha = 1$)			n = 2 ($\alpha = 1,5$)		
	SM	J_0	B	SM	J_0	B	SM	J_0	B
10 ⁻⁷	1,45*	4,22·10 ⁻⁵	3,47·10 ⁻⁵	2,62*	6,96·10 ⁻⁵	4,64·10 ⁻⁵	4,28	11,59·10 ⁻⁵	6,22·10 ⁻⁵
0,05	1,55*	4,77·10 ⁻⁵	4,03·10 ⁻⁵	2,83*	7,51·10 ⁻⁵	5,74·10 ⁻⁵	4,17	9,27·10 ⁻⁵	6,80·10 ⁻⁵
0,1	1,75*	4,40·10 ⁻⁵	3,93·10 ⁻⁵	2,61*	7,095·10 ⁻⁵	6,27·10 ⁻⁵	3,78*	9,55·10 ⁻⁵	9,50·10 ⁻⁵
0,2	1,88*	5,33·10 ⁻⁵	5,44·10 ⁻⁵	2,78*	7,63·10 ⁻⁵	10,47·10 ⁻⁵	3,34*	9,87·10 ⁻⁴	1,94·10 ⁻⁴
100	82	2,72·10 ⁻⁷	2,36·10 ⁻⁵	82	2,72·10 ⁻⁷	1,93·10 ⁻⁵	83	2,72·10 ⁻⁷	1,58·10 ⁻⁴

Примечание: $C_w / I_0 = 4,7 \cdot 10^4$ с/см;

* - Значения SM, соответствующие вероятности $1\% \leq P(\chi^2 \geq \chi_0^2) \leq 5\%$;
 ** - значения SM, соответствующие вероятности $P(\chi^2 \geq \chi_0^2) \geq 5\%$.

При остальных значениях SM расхождение теории и эксперимента высокозначимо, и предсказания теории могут быть отвергнуты на 1% уровне значимости.

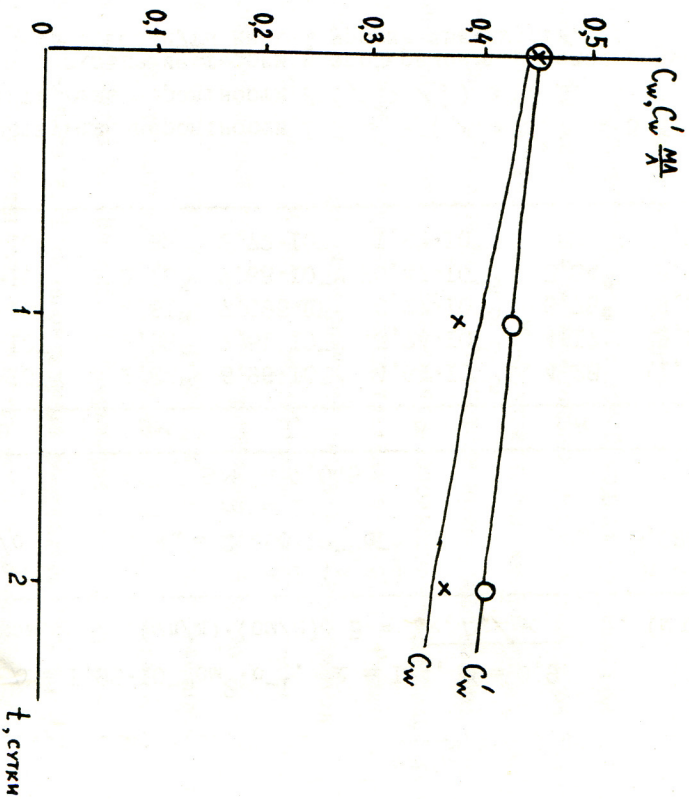


Рис. 3. Трафикское изображение результатов "боксового" эксперимента (наилучшее приближение), полученных на полигоне № 2:

o x - концентрации кислорода в доксах, измеренные в ходе эксперимента;
 — - концентрации кислорода в доксах, рассчитанные на ЭМ.

и окисление в основном и определяют потребление кислорода осадком (глава 2).

Таблица 2

Параметры потребления кислорода в ходе "боксового" эксперимента

Параметры окжана	Полигон		Черное море
	1	2	
$m = n$	2	2	1
$K_w, (мг/л) \cdot c^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$1,24 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-7}$
$I_0, мг/м^2 \cdot сут$	3,7	1,52	29,8
$h, мм$	1	1	1,25
$C_{w0}, мг/л$	$1,5(1,49)^*$	$0,44(0,45)$	$5,06(5,07)$
$C'_0, мг/л$	1,0	0,37	4,06
$K_2 (мг/л) \cdot c^{-1}$	$0,12 \cdot 10^{-2}$	$0,28 \cdot 10^{-3}$	$1,95 \cdot 10^{-3}$
$A_0, мм/м^3 \cdot сут$	$4,7 \cdot 10^3$	149	$30 \cdot 10^3$

Примечание: * - в скобках указаны измеренные значения.

Во второй главе II раздела - "Результаты "боксовых" экспериментов и их применение для балансовых расчетов" - показана принципиальная возможность получения информации о среднесуточном балансе кислорода по результатам "боксового" эксперимента. Проведенные расчеты, наряду с результатами "боксового" эксперимента, позволили выделить особенности кислородного режима водной толщи приустьевоего района.

При расчете баланса предполагалось, что приходная часть обусловлена фотосинтезом и инвазией; расходная - определяется потреблением кислорода водой, осадком, завязией и переносом (из верхних горизонтов в нижние, течением и т.д.). Для расчета потребления кислорода водой и осадком, как это следует из результатов "боксового" эксперимента (I_0, K_w), разделение расходуемого кислорода на дыхание организмов в воде и бентоса и на окисление ОВ не может быть

осуществлено. В качестве сравнительного эксперимента для составления баланса в отсутствие устьевое вливания можно рассмотреть эксперимент на болгарском шельфе Черного моря, что вполне приемлемо для мелководного Азовского моря с заметным вливанием черноморской воды в центральной части моря.

При расчете баланса оперировали скоростями потребления (прод и упирования) кислорода. Полученные параметры обмена (J_0 , K_w) были связаны с этими скоростями следующими образом:

$$\frac{dQ}{dt}|_{\text{вода}} = A_g V = K_w C_{\text{эф}}^m V = K_w (Q/V)^m S H_1 \quad (2)$$

$$\frac{dQ}{dt}|_{\text{осадок}} = J_0 S \quad (3)$$

где Q - количество кислорода в выделенном объеме воды $V = S H_1$ (m^3 , $S = 1 m^2$, H_1 - глубина расположения боксов на дне); $C_{\text{эф}}^m = \frac{Q}{V}$ - эффективная концентрация кислорода в рассматриваемом объеме воды.

Уравнение (2) справедливо в предположении, что $K_w \neq f(H_1)$. Оценка величины Q проводилась из вида зависимости концентрации кислорода в водной толще от H_1 . При расчете составляющих баланса S принимало значение либо $1 m^2$, либо $0,087 m^2$ (площадь бокса). В последнем случае рассчитывалась величина Q , - количество кислорода в объеме бокса ($V = 40,89 л$).

Вспомогательной величиной при расчете составляющих баланса служила доля потребления кислорода осадком по отношению к суммарному потреблению кислорода водой и осадком (для водной толщи и бокса):

$$\Delta O_2 \% |_{\text{осадок}} = \frac{\frac{dQ}{dt}|_{\text{осадок}}}{\frac{dQ}{dt}|_{\text{осадок}} + \frac{dQ}{dt}|_{\text{вода}}} \quad (4)$$

Расчет по формулам (2)-(4) представлен в диссертации (табл. 12).

Расчет проводимых ниже составляющих баланса определяется общо-нованностью следующих допущений и предположений. В первом допуще-

нии будем пренебрегать переносом из верхних горизонтов в нижние, который оценивается не более 5-10 % по данным работы А.М. Бронфмана. Будем считать, что изменения в содержании кислорода, вызванных течениями, не происходят, то есть реализуется стационарное состояние. Естественно, исключение горизонтального и вертикального переноса для устьевое района может носить лишь умозрительный характер. Однако условность расчета ориентирована на принципиальную возможность, позволяющую принять вышеназванные допущения, незаметные на уровне расчета общего баланса.

Ниже представлена схема расчета прочих составляющих баланса. Так, из уравнения баланса скоростей процессов, с участием кислорода в боксе (в дневное время) находится скорость фотосинтеза:

$$\frac{dQ}{dt}|_{\text{фот}} = \frac{dQ}{dt}|_{\text{вода}} + \frac{dQ}{dt}|_{\text{осадок}} \quad (5)$$

В предположении, что порядок реакции фотосинтеза совпадает с порядком реакции потребления кислорода водой и осадком: $\ell = m = n$ (для удобства расчета), и что скорость фотосинтеза может быть записана по уравнению типа (2), определяется константа фотосинтеза. Далее, в предположении, что $K_F \neq f(H_1)$, по уравнению этого же типа, может быть записана скорость получения кислорода в результате фотосинтеза в рассматриваемой толще воды (в дневное время).

Уравнение в толще воды в дневное время скорости получения кислорода в результате фотосинтеза и суммарной скорости расхода кислорода на потребление водой, осадком и в процессе азавки позволяет определить скорость последнего процесса в рассматриваемой толще:

$$\frac{dQ}{dt}|_{\text{зв}} = \frac{dQ}{dt}|_{\text{фот}} - \frac{dQ}{dt}|_{\text{вода}} - \frac{dQ}{dt}|_{\text{осадок}} \quad (5)$$

При расчете составляющих в ночное время было сделано предположение о том, что $\frac{dQ}{dt}|_{\text{зв}} \approx \frac{dQ}{dt}|_{\text{инв}}$ (скорость инвазии). Тогда уравнение в толще воды в ночное время скорости поступления

№ 1 смс

ния кислорода в результате инвазии и суммарной скорости расхода кислорода в процессах потребления водной и осадком дает следующее уравнение баланса скоростей:

$$dQ/dt|_{\text{всг}} = dQ/dt|_{\text{инв}} - dQ/dt|_{\text{осадок}} \quad (7)$$

Последнее предположение о полном турбулентном перемешивании рассматриваемой толщи воды в ночное время, приводящем к равномерному распределению содержания кислорода в толще, позволяет перенести ΔO_2 %/ос из бокса на толщ и рассчитать неизвестные слагаемые скоростей из правой части уравнения (7). Расчет по указанной схеме представлен в табл. 14 диссертации.

Баланс кислорода, то есть равенство приходной и расходной частей, можно записать по формуле (8), где для упрощения принято, что $dQ/dt = \text{const}$ для всех составляющих баланса.

$$dQ/dt|_{\text{всг}} \cdot \Delta t_1 + dQ/dt|_{\text{инв}} \cdot \Delta t_2 = dQ/dt|_{\text{дых}} \cdot \Delta t_1 + dQ/dt|_{\text{всг}} \cdot \Delta t_2 + dQ/dt|_{\text{осадок}} \cdot \Delta t_1 + dQ/dt|_{\text{осадок}} \cdot \Delta t_2 + dQ/dt|_{\text{сг}} \cdot \Delta t_1 \quad (8)$$

где Δt_1 - дневное время (для Азовского моря ~ 17 ч, для Черного ~ 15 ч); Δt_2 - ночное время.

Анализ данных

Относительно приходной и расходной частей баланса кислорода в устьевом районе моря свидетельствует о высокой продуктивности этого района. Так, в приходной части баланса кислорода этого района доля кислорода, продуцируемого за счет фотосинтеза, составляет 82-87% (по сравнению с 62-67% на черноморском шельфе и в центральной части Азовского моря), а в расходной части доля кислорода, потребляемого водой и осадком на дыхание организмов и окисление ОВ, составляет ~ 50-60% и 5-10% соответственно (по сравнению с 6-18% и ~ 30% соответственно для черноморского шельфа и центральной части Азовского моря).

Таким образом, отражение специфики устьевого района проявляется в повышенной роли фотосинтеза в балансе кислорода, в повышенном потреблении кислорода в толще вод и, соответственно - в пониженном потреблении осадком. Отличия же баланса кислорода полигонов № 1, № 2 и черноморского шельфа будут рассмотрены далее в процессе оценки составляющих ОВ.

Схема расчета представленного выше баланса была использована для оценки составляющих ОВ. При этом были сделаны следующие допущения:

- потребление кислорода водой и осадком пропорционально содержанию лабильного автохтонного ОВ;
- расмотренный черноморский полигон - бланковый со 100% содержанием ОВ автохтонного происхождения;

- расход кислорода на дыхание организмов и бентоса в водной толще для всех рассматриваемых полигонов пропорционален расходу кислорода водой и осадком, то есть мы им пренебрегли в силу относительной равномерности рассчитанных значений расхода кислорода водой и осадком (мл O_2):

- основная часть ОВ автохтонного происхождения на полигонах № 1 и № 2 окисляется за счет кислорода в воде и осадке;

- барьер река-море задерживает в основном антропогенное ОВ. Исходя из этого, по схеме, изложенной выше, приведение к одному и тому же количеству ОВ требует переноса кинетических констант k_w и J , полученных в "боксовом" эксперименте, с полигонов № 1 и № 2 Азовского моря на условия черноморского полигона и по объему рассматриваемой толщи воды ($V = 20 \text{ м}^3$), и по количеству кислорода в этой толще ($Q = 122 \text{ 500 мл } O_2$), в зависимости от порядка реакции. Расчет же количества кислорода, затраченного на окисление ОВ в воде и осадке, был проведен для дневного и ночного времени - 17 и 7 ч - соответственно.

Таким образом, общее содержание ОВ на бланковом черноморском полигоне, эквивалентное расходу кислорода в воде и осадке на окисление ОВ автохтонного происхождения (100%), будет равно общему содержанию ОВ (и автохтонного, и аллохтонного происхождения) для полигонов № 1 и № 2 Азовского моря, приведенных к черноморскому (в мг О₂). При таком "приведении к общему знаменателю" расход кислорода в воде и осадком на полигонах № 1 и № 2 будет эквивалентен общему количеству поступающего ОВ только автохтонного происхождения, откуда и определяется процентное содержание последнего типа ОВ.

Таблица расчета по рассмотренной схеме в абсолютных значениях (в мг О₂) представлена в диссертации. В табл. 3 приведен расчет процентного содержания ОВ разного происхождения из суммарного расхода кислорода: 1) водой и осадком, 2) осадком, 3) водой.

Сравнение трех вариантов расчета процентного содержания автохтонного ОВ из суммарного расхода кислорода в табл. 3 свидетельствует о том, что его содержание из суммарного расхода кислорода в воде и осадком составляет ~ 4% (полигон № 2) и ~ 10-21% (полигон № 1) по всем порядкам реакций. Причем содержание ОВ автохтонного происхождения занижается при расчете из суммарного расхода осадком и составляет ~ 0,8-1% (полигон № 2) и ~ 0,9-4% (полигон № 1), а из суммарного расхода водой - завышается: ~ 8-21% (полигон № 2) и ~ 42-62% (полигон № 1). В дальнейшем в работе были использованы средние значения процентного содержания по всем рассмотренным возможным значениям m=n (табл. 3).

Низкие потоки кислорода в осадок (в 10-70 раз ниже по сравнению с шельфом Черного моря) вследствие значительного потребления кислорода толщей воды (в 4-9 раз выше по сравнению с шельфом Черного моря) на окисление ОВ и дыхание организмов благоприятны для создания ситуации дефицита кислорода, часто сопровождаемой замором. Если бы лабильное автохтонное ОВ попадало в осадок, то сле-

Таблица 3

Содержание ОВ автохтонного (ав.), аллохтонного (ал.) естественного (ест.) и антропогенного (антр.) происхождения из разных вариантов рассмотренного суммарного расхода кислорода для "боксовых" экспериментов на Черном (Ч.м.) и Азовском (полигоны № 1, № 2) морях

№ полигона	Порядок реакции m = n	Расход ОВ, %							
		в воде и осадке		в осадке		в воде			
		ав.	ал.	ав.	ал.	ав.	ал.	суммарное	
					ест.	антр.			
Ч.м.	0	100	-	100	-	100	-	-	-
№ 1		20,86	79,14	4,09	95,91	41,67	≤ 58,33	-	58,33
№ 2		4,08	95,92	1,03	98,97	7,85	≤ 58,33	≥ 33,82	92,15
Ч.м.	1	100	-	100	-	100	-	-	-
№ 1		10,13	89,87	1,75	98,25	48,92	≤ 51,08	-	51,08
№ 2		4,09	95,91	0,75	99,24	19,50	≤ 51,08	≥ 29,42	80,50
Ч.м.	2	100	-	100	-	100	-	-	-
№ 1		10,54	89,46	0,87	99,13	62,03	≤ 37,97	-	37,97
№ 2		3,95	96,05	0,79	99,21	20,78	≤ 37,97	≥ 41,25	79,22
							Средние значения		
Ч.м.						100	-	-	-
№ 1						50,87	≤ 49,13	-	49,13
№ 2						16,04	≤ 49,13	≥ 34,83	83,96

Довало бы ожидать потоки кислорода в осадок устьевото района Азовского моря сопоставимыми с потоками черноморского шельфа.

Таким образом, расчет, представленный в табл. 3, показывает, что на полигоне № I средние значения процентного содержания кислорода: для ОВ автохтонного происхождения ~ 51 %, аллохтонного ~ 49 %. Причем аллохтонное ОВ, в основном, естественного происхождения.

На полигоне № 2 содержание ОВ автохтонного происхождения составляет в среднем ~ 15 % от общего поступаемого ОВ, а содержание аллохтонного ОВ естественного происхождения - в среднем ~ 49 %, антропогенного происхождения - ~ 35 %.

Результаты, полученные во II разделе, характеризуют особенности кислородного режима устьевого района.

В заключение изложены основные результаты работы и сформулированы следующие научные выводы:

1. Впервые в июле 1987 г. в Темрюкском заливе на отдельных станциях аналитическим методом было зафиксировано появление сероводорода в толще воды в летнее время.

Рассмотрены необходимые и достаточные условия исчезновения кислорода и появления сероводорода в придонной воде, к которым, в первую очередь, следует отнести совпадение следующих факторов: протрав вод, обильный летний паводок, несущий большое количество ОВ, и отсутствие заметной ветровой активности. Рассматриваемое условие соответствует пороговой вертикальной устойчивости ~ 2500-3000 усл.ед.

2. Впервые проведено прямое измерение химического обмена на границе вода-дно в приустьевой области р.Кубани "Оксовым" методом, позволившем оценить особенности кислородного режима устьевого района.

Результаты "Оксового" эксперимента свидетельствуют о сущест-

вовании низких значений потока кислорода из воды в осадок, что в ~ 10-70 раз ниже, чем на шельфе Черного моря. Следствием этого является уменьшение расхода кислорода на обмен с осадком, что и обуславливается при расчете среднесуточного баланса (~ 5-10 % - в устьевом районе р.Кубани, ~ 30 % - на шельфе Черного моря).

3. Константа потребления кислорода придонной водой несколько выше для устьевого района, что и обнаруживается при расчете среднесуточного баланса (~ 50-60 % от всего расхода кислорода в водной толще потребляется водой на окисление ОВ и дыхание организмов, по сравнению с ~ 6-18 % - для шельфа Черного моря).

4. Следствием отмеченных в пп. 2, 3 положений является возникновение дефицита кислорода. Отражением такой ситуации являются низкие константы фотосинтеза (почти на два порядка ниже, чем на черноморском шельфе), хотя доля кислорода, поступаемая за счет процесса фотосинтеза, составляет для исследуемого устьевого района ~ 82-87 % (по сравнению с ~ 62-67 % - на черноморском шельфе).

5. Причиной отмеченных особенностей режима кислорода приустьевото района является обильное поступление с паводком ОВ аллохтонного происхождения (~ 50 % - за границей река-море и ~ 84 % - в ее пределах), причем доля ОВ антропогенного происхождения в пределах границы река-море составляет > 35 %.

6. В анаэробных условиях донных осадков устьевого района Азовского моря ($E_p \approx 200 \text{ мВ}$) ОВ, в основном аллохтонного происхождения, при захоронении может служить мощным источником энергии для процессов восстановления ряда форм редокс-элементов. Формируются потоки Mn^{2+} , N_2S и т.д. из осадков углубляются ситуации замора. В условиях резкого уменьшения потоков кислорода в осадок заметно возрастает поток из осадка биогенных элементов, что также способствует поддержанию дефицита кислорода в результате увеличения затрат на дыхание организмов, привлекаемых этими элементами.

Результаты диссертаций опубликованы в следующих работах:

1. Симонова О.А. О динамике загрязнения Азовского моря у -ГХП /Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям за 1986 г. - Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1987. - С. 129-131.
2. Симонова О.А., Дербичева Т.И. Сероводород в Темрюкском заливе Азовского моря / Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям за 1987 г. - Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1988. - С. 165-179.
3. Симонова О.А. Особенности в условиях образования сероводорода в Азовском море по наблюдениям в 1987 и 1988 гг. /Ежегодник качества морских вод по гидрохимическим показателям за 1988 г. - Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1989. - С. 149-160.
4. Симонова О.А. Условия образования сероводорода в Азовском море / Океанографические аспекты охраны морей и океанов от химических загрязнений. - М.: Гидрометеоприздат, 1990. - С. 125-129.
5. Симонова О.А., Вершинин А.В., Рожков А.Г., Розанов А.Г. Результаты прямых измерений химического обмена на границе придонная вода-морское дно в устьевой части р.Кубань Азовского моря (на примере кислорода). - М., 1990. - 12 с. - Деп. в ВНИИГМИ 2/17-1990 г., № 1707. - В.90.
6. Вершинин А.В., Симонова О.А. Результаты расчета среднеуточного баланса кислорода в летнее время по данным "боксового" эксперимента в устьевой части р.Кубань Азовского моря. - М., 1990. - с. 15. - Деп. в ВНИИГМИ 30/Ш-1990, № 1711- В.90.



Полп. в печ. 27.04.90г. Т-03384 Тираж 100 экз. Заказ № 756

Центральный типографский комбинат СССР