

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.Х. Дегтерев

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОРОДА И СЕРОВОДОРОДА В ЧЕРНОМ МОРЕ

Методические указания
к выполнению практической работы № 1
по дисциплине «Экология моря»

Севастополь
СевГУ
2021

УДК 551.464.34(262.5)(076.5)
ББК 26.221я73
Д26

Рецензент :
Г.В. Кучерик - канд. техн. наук, доцент

Дегтерев А.Х.
Д26 Распределение кислорода и сероводорода в Черном море : методические указания к выполнению практической работы № 1 по дисциплине «Экология моря» / А.Х. Дегтерев ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Севастопольский государственный университет. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2021. – 10 с. – Текст : электронный.

Методические указания составлены с целью помочь студентам в выполнении практической работы на тему: «Распределение кислорода и сероводорода в Черном море». Рассмотрены биохимические реакции, связанные с окислительно-восстановительными процессами в море и газообмен с атмосферой. Показана взаимосвязь вертикальных потоков кислорода и сероводорода в молярном выражении. Приводятся данные измерений концентрации этих растворенных газов на шести станциях в интервале глубин от 0 до 500 м. Дана методика расчета вертикальных потоков газов по данным об их концентрации с использованием коэффициента турбулентной диффузии и скорости газообмена.

Предназначены для студентов СевГУ, обучающихся по специальности «Экология и природопользование» и изучающих дисциплину «Экология моря».

УДК 551.464.34(262.5)(076.5)
ББК 26.221я73

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании ученого совета Института ядерной энергии и промышленности, протокол № 7 от 31 марта 2021 г.

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

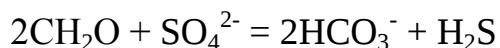
Цель работы	4
Общие сведения	4
Задания для самостоятельной работы	6
Контрольные вопросы	6
Рекомендуемая литература	7
Приложение	8

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить вертикальное распределение растворенного кислорода и растворенного сероводорода в водах Черного моря, оценить источники и стоки кислорода и сероводорода в экосистеме моря.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

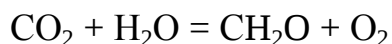
Биохимические реакции нередко определяют состояние морской среды. Примером может служить существование мощной сероводородной зоны в Черном море. Она занимает 90 % водной толщи и связана с деятельностью сульфатредуцирующих бактерий на дне моря. Эти анаэробные бактерии окисляют поступающее из фотического слоя органическое вещество за счет кислорода сульфатов. Сульфат-ионы входят в основной солевой состав морской воды. В ходе этой биохимической реакции продуктом окисления являются бикарбонат-ионы, а также выделяется сероводород:



В результате со дна Черного моря поступает сероводород и за счет вертикального перемешивания воды распространяется в вышележащие слои, вплоть до глубины 100 - 200 м. Верхний же слой моря является аэробным, как за счет процессов фотосинтеза в нем, так и вследствие газообмена поверхностных вод с атмосферой. Распределение сероводорода и кислорода в море по данным измерений в разных районах Черного моря представлено в табл. 1 приложения. Концентрации кислорода и сероводорода приведены в таблице в мкмоль/л. Из табл. 1 видно, что концентрация кислорода максимальна в верхних 10 - 20 м и потом уменьшается с глубиной, а концентрация сероводорода наоборот растет с глубиной, начиная от верхней границы сероводородной зоны.

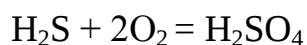
Из атмосферы кислород поступает путем его растворения в воде. Он содержится в атмосфере в виде молекул O_2 с парциальным давлением 0,2 атм. Соответствующая равновесная концентрация для растворенного в воде кислорода летом равна около 240 мкмоль/л, она то обычно и имеет место в поверхностном микрослое моря.

Выделение кислорода фотосинтезирующими организмами (в основном, фитопланктоном) происходит в фотическом слое толщиной 20 - 30 м, поэтому его концентрация в течение года заметно меняется (прил., рис. 1). Схематично соответствующую биохимическую реакцию можно представить в виде:



При интенсивном фотосинтезе кислород может выделяться настолько интенсивно, что вода пересыщена им. Тогда через поверхность воды кислород выделяется в атмосферу. Тем самым в поверхностном микрослое поддерживается равновесная с атмосферой концентрация $C_{\text{равн}}$, а в самом фотическом слое концентрация кислорода может быть больше равновесной. После весеннего пика фотосинтеза происходит окисление накопленного органического вещества, в связи с чем концентрация растворенного кислорода уменьшается. А осенью она опять увеличивается за счет поступления из атмосферы при осенних штормах.

Вертикальное перемешивание в море осуществляется за счет турбулентности. При этом потоки растворенного кислорода и сероводорода направлены навстречу друг другу и на некоторой глубине они встречаются и как бы взаимоуничтожаются путем биохимического окисления сероводорода:



Глубина, на которой это происходит, как раз и есть верхняя граница сероводородной зоны (прил., рис. 2). Заметим, что при этом на 1 моль сероводорода расходуется 2 моля кислорода. При этом сульфаты возвращаются в солевой состав морской воды.

Как видно из этой реакции, молярные потоки кислорода и сероводорода должны отличаться в два раза. На самом деле кислород на пути к сероводороду расходуется еще на дыхание организмов (БПК), на окисление отмершей органики (ХПК). Поэтому выше границы сероводородной зоны поток кислорода должен более чем в два раза превышать поток сероводорода. Сами же концентрации кислорода и сероводорода вблизи верхней границы сероводородной зоны близки к нулю.

Диффузионный поток растворенного газа (в том числе при турбулентной диффузии) выражается через градиент концентрации этого газа:

$$F = -K_z dC/dz,$$

где K_z – коэффициент турбулентной диффузии, который в море глубже 30 м равен 10^{-4} м²/с. Эта формула справедлива как для переноса кислорода, так и для потока сероводорода. Из нее, в частности следует, что при равных K_z отношение потоков кислорода и сероводорода равно просто отношению градиентов их концентраций.

Поток кислорода из атмосферы описывается соотношением

$$F = V_L (C - C_{\text{равн}}),$$

где C – концентрация растворенного кислорода в приповерхностном слое; V_L – скорость газообмена, в нашем случае можно принять ее равной 10^{-5} м/с.

При выполнении заданий в данном случае следует брать в качестве C концентрацию кислорода на верхнем горизонте (10 м).

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задание 1.

Переписать свой вариант из таблицы 1 в приложении. Номер варианта определяется по последней цифре зачетки. Если это цифры 7, 8, 9 или 0, следует брать варианты 1, 2, 3 и 4 соответственно.

Задание 2.

Построить график изменения концентрации кислорода с глубиной, направив ось z вниз, а ось C – вправо.

Задание 3.

На том же графике графически отобразить изменение с глубиной концентрации сероводорода.

Задание 4.

На карте Черного моря нанести точку, где выполнялись измерения. Для этого использовать координаты станции в табл. 1.

Задание 5.

Рассчитать градиенты концентраций кислорода и сероводорода на линейных участках графиков, считая, что $dC/dz = \Delta C/\Delta z$.

Задание 6.

Сравнить молярные потоки кислорода и сероводорода на линейных участках профилей.

Задание 7.

Рассчитать поток кислорода между морем и атмосферой (точнее говоря, плотность потока в $\text{мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$). Сравнить его с потоком кислорода, рассчитанным по градиенту концентрации.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить изменение с глубиной концентрации кислорода.
2. Деятельность каких организмов приводит к существованию сероводородной зоны?
3. Назовите основные источники растворенного кислорода в море.
4. Как влияет сброс неочищенных стоков на баланс кислорода в море?
5. Какие процессы происходят на границе сероводородной зоны?

6. Чем объясняется примерно одинаковая концентрация кислорода в фотическом слое моря?

7. На что расходуется растворенный кислород в аэробном слое.

8. На какой глубине находится граница сероводородной зоны?

9. Как связаны концентрации растворенного газа, выраженные в мкмоль/л и в мл/л?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Альтман Э.Н., Безбородов А.А., Богатова Ю.А. и др. Практическая экология морских регионов. Черное море. – Киев: Наукова думка, 1990. – 252 с.

2. Кондратьев С.И., Видничук А.В. Вертикальное распределение кислорода и сероводорода в Черном море в 2016 г. // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2020. – № 3. – С. 91 – 99.

Приложение

Таблица 1.

Концентрации кислорода и сероводорода на разных станциях летом в Черном море. Концентрации даны в мкмоль/л.

Z, м	Вариант 1 41,83 с.ш., 29,75 в.д.		Вариант 2 41,83 с.ш., 30,25 в.д.		Вариант 3 41,82 с.ш., 30,75 в.д.		Вариант 4 43,50 с.ш., 31,75 в.д.		Вариант 5 43,17 с.ш., 31,75 в.д.		Вариант 6 42,83 с.ш., 31,75 в.д.	
	O ₂	H ₂ S	O ₂	H ₂ S	O ₂	H ₂ S	O ₂	H ₂ S	O ₂	H ₂ S	O ₂	H ₂ S
10	222,6	0	169,0	0	221,7	0	244,9	0	219,4	0	229,7	0
20	220,8	0	218,1	0	218,1	0	249,3	0	219,4	0	233,7	0
50	220,8	0	154,0	0	194,9	0	97,7	0	204,7	0	269,0	0
60	-	0	66,0	0	74,9	0	-	0	-	0	-	0
70	-	0	14,7	0	35,2	0	8,0	0	-	0	-	0
75	32,6	0	8,0	0	16,5	0,6	8,5	0	9,4	0	9,0	0
80	20,5	0	6,2	0	2,7	1,7	3,6	0	3,1	0,6	5,8	0
85	8,0	0	5,8	0	1,8	2,0	3,2	0	2,2	2,3	4,5	1,7
90	4,9	0	5,8	0	0	10,2	11,6	0	3,1	1,7	2,2	1,5
95	2,7	0	6,7	0	0	18,3	1,8	0	3,1	1,7	2,2	0,6
100	3,1	0	3,6	0	0	24,9	0,0	18,3	0	1,2	1,8	2,9
105	2,2	0	2,7	1,2	0	14,8	5,4	-	0	-	-	-
110	2,0	0,8	1,8	2,3	0	27,0	7,1	-	0	-	-	-
115	-	-	1,3	4,9	0	30,7	8,9	-	0	-	-	-
120	2,7	1,5	0	9,0	0	33,4	8,5	-	0	-	-	-
125	2,7	1,2	0	16,2	0	33,6	-	28,7	0	8,7	1,8	2,9
150	0	14,2	0	27,3	0	40,3	2,7	-	0	20,6	0	18,6
200	0	34,2	0	41,5	0	60,0	0	52,7	0	46,1	0	30,5
250	0	-	0	62,6	0	64,7	0	91,1	0	-	0	-
300	0	75,7	0	73,3	0	83,8	0	134,6	0	71,9	0	50,5
400	0	116,0	0	117,5	0	121,2	0	174,3	0	123,3	0	93,1
500	0	145,0	0	158,9	0	165,0	0	253,8	0	164,7	0	136,3

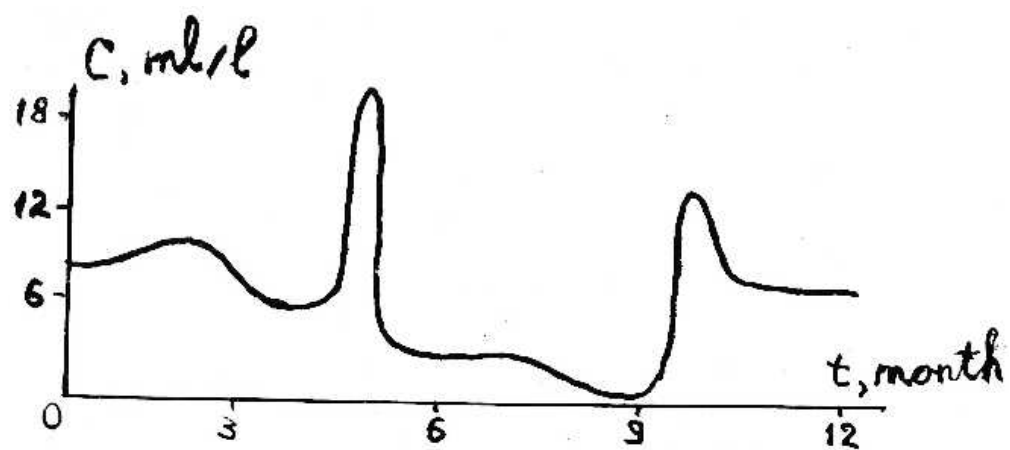
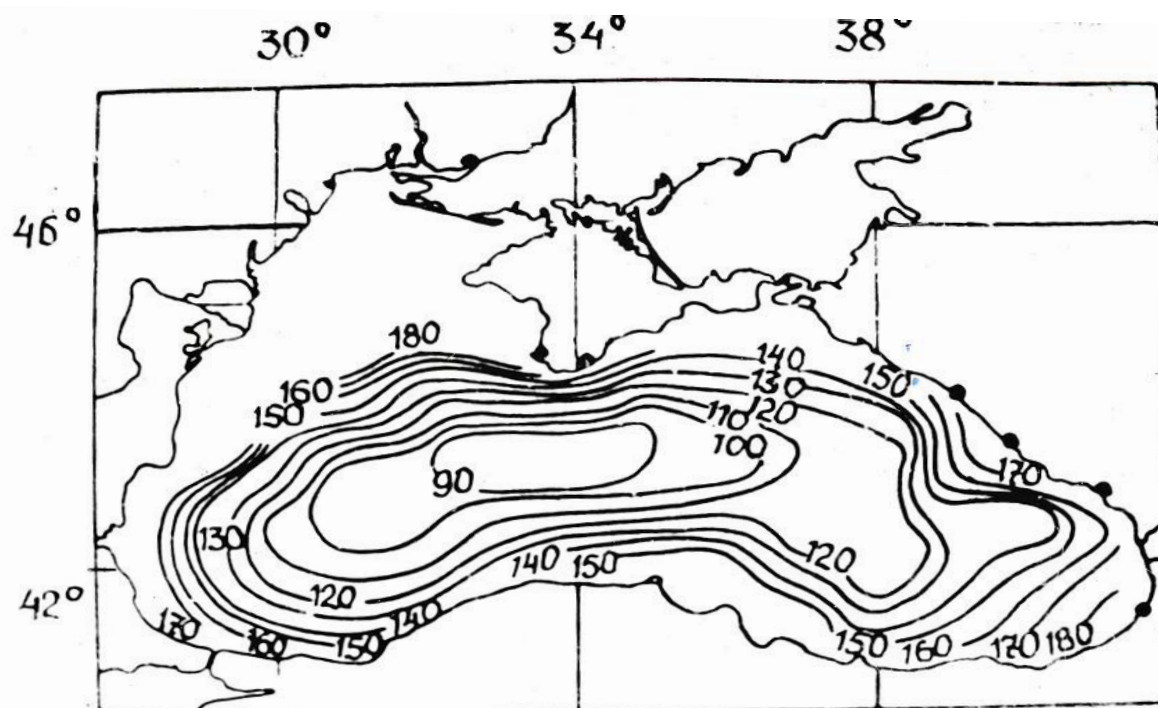
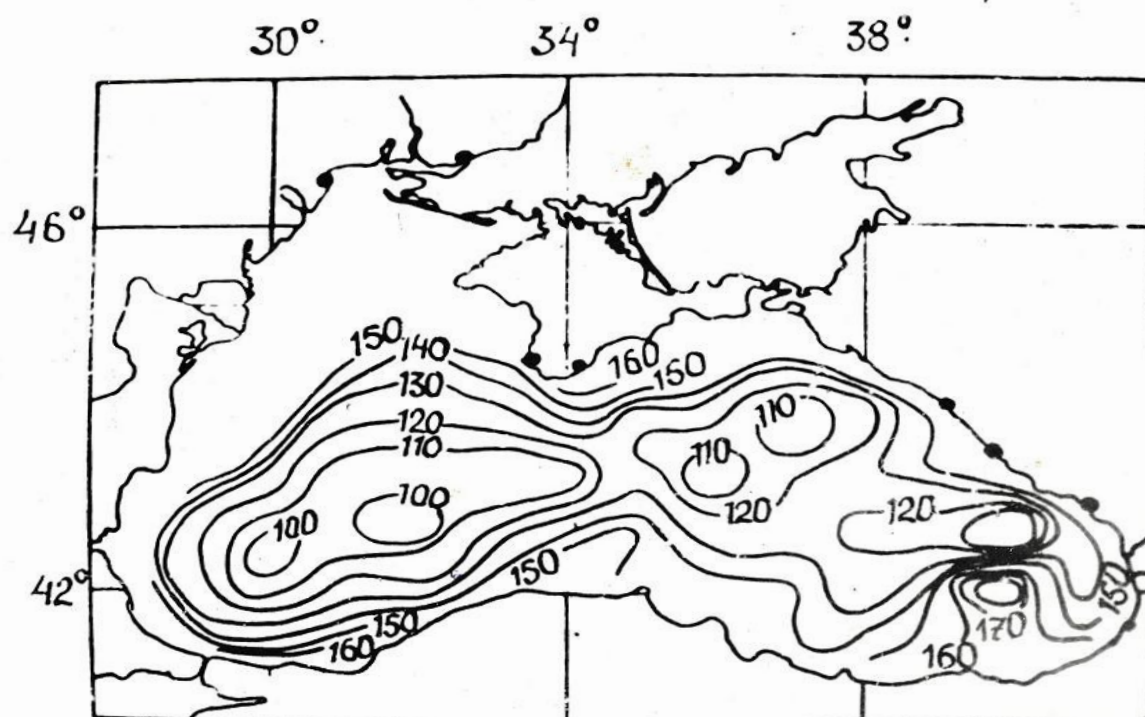


Рис. 1. Изменение концентрации растворенного кислорода в течение года



a



b

Рис. 2. Положение границы сероводородной зоны: а – весной, б – осенью.
Глубина границы указана у изолиний в м

Дегтерев Андрей Харитонович

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КИСЛОРОДА
И СЕРОВОДОРОДА В ЧЕРНОМ МОРЕ**

*Методические указания
к выполнению практической работы № 1
по дисциплине «Экология моря»*

Издается в авторской редакции

Изд. № 28/2021. Объем 0,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»