

Я. К. ГОЛОЛОБОВ

## К ПОЗНАНИЮ ВОЗРАСТА СОВРЕМЕННОЙ СТАДИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

(Представлено академиком П. П. Ширшовым 23 III 1949)

Подсчет годовых слоев, проведенный Н. М. Страховым<sup>(5)</sup> на микрослоистых глубоководных осадках, показал, что начало последней стадии осолонения Черного моря, сменившей стадию сильно опресненного Новозвксинского бассейна, имело место около 5000 лет тому назад.

Соленые — «тяжелые» — воды Средиземного моря заполнили глубины Черного моря и создали условия для расслоения всей водной толщи Черного моря на две зоны: верхнюю, опресненную водами материкового стока и атмосферных осадков, и нижнюю, осолоненную водами Средиземного моря. В результате значительного градиента плотности воды между верхним слоем нижней зоны и нижним слоем верхней зоны вертикальный водообмен в поверхностном слое моря ограничивается сравнительно небольшой глубиной порядка 150 м.

Верхняя, кислородная зона моря с мощностью слоя 0—150 м, охватывающая около 12% объема всей водной массы Черного моря, характеризуется наличием растворенного кислорода, жизни, относительно малым содержанием растворенных органических веществ и биогенных элементов. Напротив, нижняя, сероводородная зона — от 150 м и до дна — занимает примерно 88% всей водной массы моря и характеризуется отсутствием растворимого кислорода, жизни (не считая анаэробных бактерий), наличием высокого содержания растворенной органики, биогенных элементов и сероводорода.

Океанографической лабораторией Грузинской станции ВНИРО с 1937 г. по настоящее время систематически проводится изучение гидрохимического режима восточной части Черного моря ( $T^\circ$ ,  $S\%$ , окисляемость, фосфаты, кремнекислота, щелочность морской воды и другие элементы, в течение всех основных сезонов года). Эти материалы позволяют сделать некоторые обобщения об обмене биогенными элементами между кислородной и сероводородной зонами Черного моря и наметить путь к познанию возраста современной стадии Черного моря.

В табл. 1 приведены средние (интегральные) величины окисляемости, плотности воды, содержания кремния и фосфатного фосфора в воде восточной части Черного моря.

Окисляемость воды определялась нами по Б. А. Скопинцеву в нейтральной среде, кремнекислота по Дизнеру и Ванденбульку<sup>(2)</sup>. В результаты анализов кремния введены солевые поправки по С. В. Бруевичу и Л. К. Блинову<sup>(2)</sup>. При наличии в морской воде сероводорода пробы воды, необходимые для анализов на окисляемость и  $\text{SiO}_2$ , до анализов обессероводородовались кислородом воздуха. Содержание фосфатов определялось по Аткинсу<sup>(2)</sup>. В результате анализов солевые

поправки не вводились, так как стандарт приготавливался на бесфосфатной морской воде. Результаты анализов осреднены интегральным методом по способу трапеций — Безу.

Таблица 1  
Вертикальное распределение средней окисляемости  $w$ , плотности воды  $d$ , содержания кремния и фосфатного фосфора в восточной части Черного моря

Глубина в м	$w$ в мг O <sub>2</sub> /л	Si в мг/м <sup>3</sup>	P в мг/м <sup>3</sup>	$d$ in situ
0	1,92	2 000	14	1,0115
10	1,89	1 470	12	1,0125
25	1,85	1 400	13	1,0141
50	1,79	1 515	17	1,0154
100	1,55	2 010	39	1,0164
150	1,69	2 765	77	1,0171
200	2,22	3 215	119	1,0176
300	3,60	4 150	133	1,0185
500	4,43	5 160	138	1,0198
1000	5,14	6 060	141	1,0223
1500	5,31	7 665	151	1,0243
2000	5,81	9 150	169	1,0264

Как видно из табл. 1, концентрация растворенных органических веществ в морской воде, судя по окисляемости воды, непрерывно уменьшается с глубиной в кислородной зоне и растет в сероводородной. Содержание фосфора и кремния в воде верхней зоны

Таблица 2  
Градиенты концентраций в различных слоях Черного моря

Глубина в м	$\frac{\Delta w}{h} 10^3$	$\frac{\Delta Si}{h}$	$\frac{\Delta P}{h}$	$\frac{\Delta d}{h} 10^3$
0—50	—2,6	—9,7	0,06	0,08
50—100	—4,8	9,9	0,48	0,02
100—150	2,8	15,1	0,76	0,01
150—200	10,6	9,0	0,84	0,01
200—500	7,4	6,5	0,06	0,01
500—1000	1,4	1,8	0,01	0,005
1000—2000	0,7	3,1	0,03	0,004

уменьшается от поверхности моря до глубины 25 м (слой наибольшей плотности планктона) и затем непрерывно растет с глубиной до дна моря. Плотность же воды в Черном море растет с глубиной во всей водной толще. Сказанное весьма наглядно иллюстрируют рис. 1 и 2.

Однако изменение этих компонентов морской воды с глубиной различно в раз-

ных слоях моря. Относя разность концентраций вещества или свойства воды на пограничных горизонтах слоя к мощности слоя (исходя из данных табл. 1), нами получены градиенты роста концентраций этих компонентов для различных слоев воды Черного моря. Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Пользуясь кривыми вертикального распределения окисляемости воды, Si и P (рис. 2), мы нашли средние интегральные величины концентрации кремния, фосфора и окисляемости воды для кислородной и сероводородной зон: окисляемость воды кислородной зоны 1,68 мг O<sub>2</sub>/л, сероводородной 4,98 O<sub>2</sub>/л; соответственно содержание фосфатов для первой 32 мг P/м<sup>3</sup>, для второй 145 мг P/м<sup>3</sup> и содержание кремния 1870 и 6465 мг Si/м<sup>3</sup>.

Отношение средних концентраций этих веществ в слое кислородной зоны к их средним концентрациям в воде сероводородной зоны выражается величинами: для окисляемости 1/3, для Si 1/3,45 и для P 1/4,5; разность же между средними концентрациями вещества в воде этих зон даст величину накопления вещества в воде сероводородной зоны. Для фосфатного фосфора это накопление оказалось равным 113 мг P/м<sup>3</sup>

воды. Разная же величина отношений указывает, что фосфаты в глубинных слоях моря, повидимому, в большей степени регенерируют из органического вещества, чем кремнекислота.

Резкое различие между поверхностной и глубинной (ниже 150 м) водными массами (см.  $T-S$  диаграмму рис. 1) очень сильно тормозит переход биогенных элементов из нижней зоны в верхнюю, что создает условия для аккумуляции биогенных элементов в сероводородной зоне моря. Это наглядно подтверждает ход вертикального распределения этих элементов в море (рис. 2). В связи с тем, что начало современных

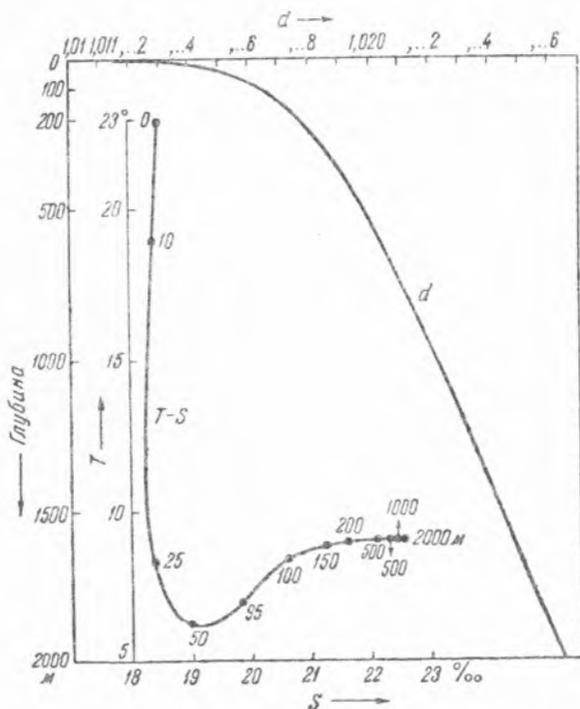


Рис. 1.  $T-S$  диаграмма и среднее вертикальное распределение плотности воды для восточной части Черного моря

гидрологических условий в Черном море необходимо отнести к началу его соединения с Средиземным, представляется возможным судить о времени, необходимом для уже имеющегося накопления биогенных элементов в воде сероводородной зоны. Для этой цели нами взято накопление фосфатного фосфора ( $113 \text{ мг Р/м}^3$  воды) в воде сероводородной зоны моря. Ввиду того что средняя годовая концентрация фосфатов в воде кислородной зоны моря (слой 0—150 м) остается постоянной ( $32 \text{ мг Р/м}^3$  воды), мы считаем, что все годовое поступление фосфатов в море с материковым стоком и атмосферными осадками (исключая 20% уходящих в Средиземное море при водообмене его с Черным морем) уходит в виде биосетона из кислородной зоны моря в сероводородную, где и аккумулируется. Принимая величину годового материкового стока в море равной  $350 \text{ км}^3$  (4) (с учетом малых рек) при среднем содержании в нем  $35 \text{ мг Р/м}^3$  воды (по нашим наблюдениям в предустьевых пространствах ряда рек, впадающих в Черное море, и исходя из данных содержания Р в воде волжского стока (3)), получаем величину фосфатного речного стока в Черное море, равную 12 250 тоннам. Принимая, согласно Н. М. Книповичу (4), что около 20% материкового стока в Черное море уходит в Средиземное море, находим, что количество остающихся в Черном море фосфатов материкового стока уменьшается до 9800 тонн.

Это и составит максимальное возможное ежегодное накопление фосфатов в объеме вод сероводородной зоны. Принимая объем сероводородной зоны (по нашим вычислениям) равным  $430\ 830\ \text{км}^3$ , годовое поступление в эту зону фосфатов 9800 тонн даст ежегодный прирост концентрации Р на  $0,02\ \text{мг/м}^3$  воды. Принимая накопление фосфатного фосфора в воде сероводородной зоны с начала образования ее равным  $113\ \text{мг Р/м}^3$

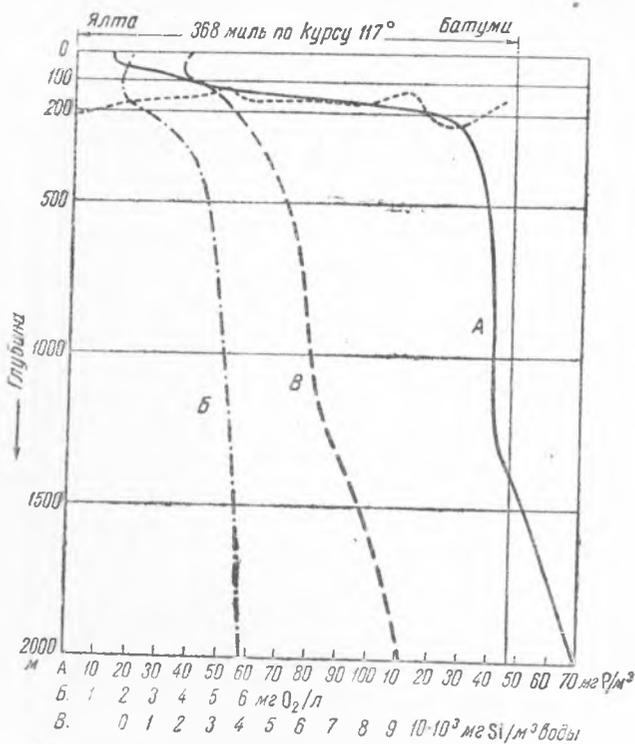


Рис. 2. Среднее вертикальное распределение биогенных элементов и положение нижней границы кислородной зоны в восточной части Черного моря. А — Р, Б — окисляемость воды  $\omega$ , В — Si, ..... — нижняя граница  $\text{O}_2$

воды, находим время, необходимое для этого накопления, равным около 5600 лет. Аналогичные вычисления нами произведены по кремнекислоте. Результаты этих вычислений дают возраст последней стадии Черного моря несколько меньший (на 20—22%). Так как часть биогенных элементов все же переходит в донные отложения, то, очевидно, возраст 5600 лет является минимальным возрастом современной стадии Черного моря.

Результаты наших вычислений весьма близки к данным Н. М. Страхова.

Грузинская научная  
рыбохозяйственная станция ВНИРО

Поступило  
2 III 1949

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> А. Д. Архангельский и Н. М. Страхов, Геологическое строение и история развития Черного моря, изд. АН СССР, 1938. <sup>2</sup> С. В. Бруевич, Методика химической океанографии, 1933. <sup>3</sup> С. В. Бруевич, Элементы хим. баланса Каспийского моря, изд. АН СССР, 1941. <sup>4</sup> Н. М. Книпович, Тр. Аз.-Черн. н.-промышл. экспедиции, в. 10 (1933). <sup>5</sup> Н. М. Страхов, Историческая геология, ч. II, 1937. <sup>6</sup> Б. А. Сколинцев, ЖПХ, 7 (1934). <sup>7</sup> Н. И. Чигирин, Тр. Севастоп. биол. ст., 2, 1930, стр. 143.