

НЕКОТОРЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОДУКТИВНОСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ¹

Доктор химических наук В. Г. Дацко

Несмотря на большие исследования, которые проводились и проводятся на Черном море, наши знания еще далеко не достаточны, чтобы полностью охарактеризовать специфику этого водоема, особенно при решении вопросов, связанных с его биологической продуктивностью. Поэтому до настоящего времени как в отношении физических и химических условий, существующих в этом водоеме, так и в отношении его биологической характеристики высказываются различные, иногда противоположные взгляды.

Вследствие специфических гидрологических и гидрохимических условий, которые оказывают влияние на биологические процессы, Черное море занимает особое положение. По площади оно лишь немного меньше Каспийского, но по объему в несколько раз превышает его.

Наиболее характерной гидрологической особенностью Черного моря является сильное увеличение плотности воды с глубиной. Плотность нарастает особенно сильно в верхних слоях воды в связи с быстрым увеличением солености.

Резкое увеличение солености и плотности черноморских вод обусловлено, с одной стороны, поступлением большого количества пресных вод в Черное море и, с другой, водообменом между этим водоемом и Мраморным морем. Высокосоленые, а значит, и более плотные воды Мраморного моря, выходя из Босфорского пролива и опускаясь на глубины Черного моря смешиваются с его водами, повышая их соленость. Воды берегового стока и атмосферные осадки опресняют поверхностные слои Черного моря.

Осолоняющее влияние средиземноморских вод, поступающих в Черное море через Босфор, и опресняющее действие мощного речного стока и атмосферных осадков обуславливают своеобразный гидрологический режим этого водоема и его гидрохимические и гидробиологические особенности.

При максимальном охлаждении поверхностных вод зимою плотность их не достигает величин, превышающих плотность воды на глубинах около 100 м, и термическая конвекция не охватывает слои ниже этих глубин.

По установившимся взглядам, Черное море делится на две зоны, причем эти зоны рассматриваются как в значительной мере обособленные. Верхняя зона, где содержится кислород, химиками, изучавшими Черное море, выделена как окислительная (11). Огромную толщу воды, подстилающую поверхностный слой, в которой содержится сероводород и боль-

¹ *Примечание редакции.* Взгляды В. Г. Дацко на роль автотрофных бактерий в создании первичного органического вещества в Черном море весьма гипотетичны и мало аргументированы. Статья публикуется в дискуссионном порядке, так как до сих пор не получили общепринятого объяснения некоторые факты в жизни Черного моря. К последним относится низкая продукция фитопланктона при более чем достаточных концентрациях минерального фосфора и азота и постоянное сильное преобладание биомассы зоопланктона над фитопланктоном. Проблема биологической продуктивности открытых пространств Черного моря еще не может считаться разрешенной и требует дальнейшей разработки со стороны исследователей и должного освещения в печати.

шие количества солевого аммиака и где можно предполагать образование других восстановительных веществ, принято называть зоной восстановительной.

Полагают, что обособленность этих двух зон обуславливается крайне медленным обменом вод между ними. Из факторов, способствующих возврату веществ в верхние слои, отмечаются процессы диффузии и поднятия воды из глубоких слоев, вытесняемой сильно соленой водой, поступающей из Босфорского пролива (1, 37). Значительный вертикальный обмен водных масс между окислительной и восстановительной зонами считается некоторыми авторами маловероятным (12).

В соответствии с представлением об отсутствии вертикального обмена водных масс между зонами и о незначительном возврате биогенных элементов, уходящих с «дождем трупов» из окислительной зоны в восстановительную, установилось мнение о постоянном обеднении поверхностных вод Черного моря биогенными элементами и о накоплении органического вещества и минеральных соединений этих элементов в глубинах моря. Потеря биогенных элементов считается практически безвозвратной, и этим объясняется сравнительно малая общая и промысловая продуктивность Черного моря. Взгляд на низкую биологическую продуктивность Черного моря высказан, например, Н. М. Книповичем (22).

Однако наряду с мнением о почти полном отсутствии вертикального водообмена между окислительной и восстановительной зонами в Черном море и связанной с этим небольшой биологической и промысловой продуктивностью водоема, высказаны и противоположные взгляды. Некоторые исследователи считают, что вследствие поверхностных течений в отдельных районах открытых частей моря возможен значительный подъем глубинной воды и повышенная продуктивность этих областей (29).

С 1935 г. В. А. Водяницкий настойчиво и систематически работает над пересмотром общепринятых взглядов на Черное море, как на водоем с пониженной биологической продуктивностью. В ряде статей и в особенности в статье «К вопросу о биологической продуктивности Черного моря» (7) он подвергает критике мнение о низкой биологической продуктивности Черного моря. На основании своих наблюдений и литературных данных В. А. Водяницкий пришел к выводу, что установившиеся взгляды на крайнюю биологическую бедность открытых районов Черного моря неверны. Он указывает на большое значение циклонических круговых течений, способствующих непрерывному подъему глубинных вод и выносу веществ из глубинной зоны в поверхностную.

Свои взгляды на гидрологический режим Черного моря В. А. Водяницкий развивает и в других работах (8, 9). Используя материалы по водообмену между Черным и Мраморным морями, он логически делает вывод, что при существующей солености поверхностных вод Черного моря, изменения которой за период многолетних наблюдений не происходит, и существующем вертикальном распределении температуры и солености должно иметь место достаточно интенсивное перемешивание поверхностных опресняемых вод с глубинными осолоняемыми.

По мнению В. А. Водяницкого, срок, необходимый для продвижения вод Черного моря с глубины до поверхности, измеряется не тысячами лет, как принимали геологи, а только сотнями.

Движущими силами, вызывающими, по В. А. Водяницкому, вертикальный водообмен, являются: 1) ветер, создающий систему поверхностных течений, 2) вращение земли, вызывающее отбрасывание течений направо, и винтообразное вращение струй течений, 3) охлаждение поверхностных слоев, 4) внутренние волны, 5) турбулентное перемешивание, диффузия.

Особенно большое значение для вертикального водообмена имеет система поверхностных течений, которая обязана своим существованием в

основном ветровому режиму в Черном море. В создании системы течений, на наш взгляд, имеет немаловажное значение также поступление речных и морских вод в Черное море. Вливающиеся массы воды, отклоняясь вправо под влиянием силы вращения земли, могут сообщать дополнительную скорость существующей системе течений.

Мнение В. А. Водяницкого о наличии в Черном море более интенсивного вертикального водообмена, чем принято считать, повидимому, правильно. Однако, на наш взгляд, процесс водообмена не может протекать с одинаковой скоростью, так как факторы, его обуславливающие, изменчивы. Периодически колеблется объем пресных вод, поступающих в Черное море, а также сила и преобладающее направление ветров, являющихся одним из основных факторов, которые создают систему поверхностных течений.

Можно ожидать, что в отдельные периоды поступление глубинных вод в поверхностные слои происходит достаточно интенсивно; временами же этот процесс может затухать. Повидимому, водообмен должен протекать наиболее интенсивно в годы повышенной скорости и продолжительности ветров. Возможно, что и количество пресной воды, вливающейся в Черное море, оказывает влияние на интенсивность процессов вертикального водообмена.

Периодические колебания интенсивности водообмена между восстановительной и окислительной зонами, на наш взгляд, являются причиной резких изменений продуктивности Черного моря, о чем можно судить по ряду химических и биологических показателей.

Гидрохимические исследования в Черном море были начаты в 1890 г. Главным гидрографическим управлением совместно с Русским географическим обществом. По инициативе академика Н. И. Андрусова была снаряжена первая глубоководная экспедиция. Эта экспедиция обнаружила сероводород в водах Черного моря.

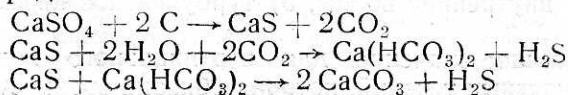
Вопрос о происхождении сероводорода является одним из наиболее актуальных в химии Черного моря. Так как с ним связано правильное решение других проблем, то ему уделялось и уделяется большое внимание во всех исследованиях Черного моря.

Н. И. Андрусов (1) считал, что основные количества сероводорода в Черном море образовались при разложении органических остатков на дне моря. В дальнейшем возникла гипотеза об образовании сероводорода в водной толще в результате жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих бактерий (11, 20).

Наиболее детальные исследования по количеству и распределению сероводорода в водах Черного моря были выполнены П. Т. Данильченко (11). По его данным, средние количества сероводорода из 384 определений, выраженные в миллилитрах на литр воды, колеблются от 0,78 мл/л на глубине 150 м до 6,169 мл/л на глубине 1500 м.

Пользуясь разностью между более высокими значениями сульфатного иона в верхних слоях воды и более низкими в глубинных водах, П. Т. Данильченко рассчитал количество сероводорода, которое могло образоваться, судя по уменьшению сульфатов. В большинстве случаев вычисленные количества сероводорода были выше наблюдаемых. Это он объясняет потерей сероводорода на построение тел бактерий, образованием сернистого железа при распаде железосодержащих белковых веществ, с последующим выпадением его в грунт, а также окислением сероводорода до серы и серной кислоты.

П. Т. Данильченко предлагает следующую схему процессов образования сероводорода:



Пониженное по сравнению с ходом хлорности содержание сульфатов в глубинных водах и повышенные количества карбонатов, в сопоставлении с верхними слоями, подтверждают правильность его гипотезы.

По расчетам П. Т. Данильченко, только около 0,4—0,6% от общего количества сероводорода на глубинах могло образоваться за счет серы белков при минерализации белковых соединений.

В настоящее время точка зрения о происхождении основных количеств сероводорода в результате жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих микроорганизмов разделяется большинством исследователей Черного моря.

Против гипотезы об образовании значительных количеств сероводорода при восстановлении сульфатов в водной толще имеются лишь мало обоснованные возражения в недавно опубликованных работах А. Е. Крисса (23, 24).

В отношении характера процессов окисления сероводорода в верхних горизонтах, куда он должен выноситься в значительных количествах глубинными водами, в соответствии с гипотезой В. А. Водяницкого, не существует единого мнения.

Некоторые исследователи считают, что окисление сероводорода в области смешивания глубинных вод с поверхностными происходит без участия микроорганизмов, являясь чисто химическим процессом (35). Существует и противоположное мнение, что окисление сероводорода в верхних слоях воды Черного моря протекает биохимическим путем с участием микроорганизмов. Это мнение высказано М. А. Егуновым (19, 20). Хотя Б. Л. Исаченко (21) при исследованиях не обнаружил предполагаемой бактериальной пленки, но он считает, что ее отсутствие не находится в противоречии с представлениями о микробиологических процессах окисления сероводорода в верхних слоях Черного моря.

Можно полагать, что бактерии, окисляющие сероводород, не образуя бактериальной пленки, рассеяны в толще воды достаточно плотно. Окисление сероводорода в Черном море, как и восстановление сульфатов, видимо, протекает с участием бактерий. Кроме сероводорода, в анаэробной зоне образуются и другие восстановленные соединения, которые проникают в зону окисления и используются микроорганизмами. Учитывая, что поступление водных масс снизу в верхние слои, согласно гипотезе В. А. Водяницкого, является довольно интенсивным, деятельность микроорганизмов в окислении восстановительных соединений в этих слоях должна быть весьма значительной. На наш взгляд, жизнедеятельность их протекает интенсивно временами, при выносе большого количества восстановительных веществ из глубин в верхние горизонты. Таким образом, восстановленные вещества являются лимитирующим фактором в жизнедеятельности микроорганизмов.

Специфические гидрологические и химические условия Черного моря, несомненно, оказывают влияние на биологические процессы, протекающие в водоеме, и при оценке влияния химических факторов на биологическую продуктивность моря необходимо учитывать особенности этого водоема.

Количественный учет соединений фосфора и азота в водах Черного моря проводился Севастопольской биологической станцией Академии наук СССР в 1924—1926 гг. (13). По этим исследованиям, содержание фосфатов и нитратов в зоне фотосинтеза велико. Аммиачного и нитратного азота в верхних слоях воды, по этим данным, содержится почти такое же количество, какое характерно для Азовского и Каспийского морей. Весьма высокое содержание фосфатов и солевого аммиака наблюдается в глубинных водах Черного моря (13). Распределение этих веществ по вертикали характеризуется резким увеличением их содержания на глубине 150—200 м и дальнейшим нарастанием их количеств до дна. Если в зоне фотосинтеза фосфатный фосфор содержится в количествах 30—40 мг P/м³ и

аммиачный азот 50—70 мг N/м³, то на глубине 200 м средние количества их повышаются до 180 мг P/м³ и 225 мг N/м³ и на глубине 2000 м — до 300 мг P/м³ и 1262 мг N/м³.

В течение 1948—1950 гг., во время работ Черноморской научно-промысловой экспедиции, нами проводились определения биогенных элементов. Средние величины содержания фосфатного фосфора, полученные в результате наблюдений, произведенных в 11 рейсах, приведены в табл. 1. Для сравнения в этой же таблице приводятся цифры, опубликованные в Трудах Севастопольской биологической станции (1930 г.) Перечисление опубликованных данных на элементарный фосфор произведено автором. Средние величины фосфора нами получены из наблюдений в разные сезоны года, так же как и средние данные, опубликованные в Трудах Севастопольской станции. Отношение количеств определений, выполненных нами в разные сезоны, примерно такое же, как и в наблюдениях сотрудников Севастопольской станции, поэтому полученные средние величины являются вполне сравнимыми.

Таблица 1
Средние величины содержания фосфатного фосфора в воде
Черного моря

Глубина в м	Наши определения		Определения Севастопольской станции	
	P мг/м ³	число определений	P мг/м ³	число определений
0	12	122	29	14
10	13	122	29	7
25	11	124	37	11
50	17	105	42	11
75	27	91	51	10
100	40	81	68	12
200	124	57	179	11
300	135	49	194	10
500	174	3	228	11
1000	188	3	265	9
1500	240	3	263	7
2000	262	2	299	3

Из приведенных средних значений количеств фосфатов видно, что содержание их в поверхностных водах, по нашим определениям, примерно в 2 раза меньше, чем по данным, опубликованным Севастопольской станцией. Так как нами выполнено значительно больше определений фосфатов в поверхностных водах, чем химиками Севастопольской станции, то наши данные ближе к среднему содержанию фосфатов, характерному для верхних слоев моря. Глубже 300 м мы провели немного наблюдений, вследствие чего эти данные нельзя считать более надежными, чем данные химиков Севастопольской станции. Среднее содержание фосфатов в поверхностных водах Черного моря, полученное Я. К. Гололобовым по многолетним наблюдениям в восточной половине моря, представлено величинами очень близкими к нашим (10).

Среднее содержание фосфатного фосфора в водах Азовского моря выражается величинами порядка 10—15 мг P/м³. В поверхностных водах Южного и Среднего Каспия, по наблюдениям С. В. Бруевича (3), содержание фосфатов небольшое. Так, например, в весенне-летний период 1934 г. количество фосфатного фосфора в слое 0—50 м колебалось от десятых долей миллиграмма до 6 мг P/м³.

Несмотря на то, что по полученным нами данным содержание фосфатов в зоне фотосинтеза меньше, чем по опубликованным Севастопольской биологической станцией, нельзя не отметить, что поверхностные воды

Черного моря богаты фосфатами¹ и количества их не должны лимитировать жизнедеятельность фитопланктона в большей степени, чем в Среднем и Южном Каспии.

Нами выполнено некоторое количество определений общего фосфора в поверхностных водах Черного моря и по разности между общим и фосфатным фосфором найдено количество органического. Анализы выполняла по методу С. В. Бруевича и А. А. Костроминой (5) младший научный сотрудник лаборатории гидрохимии Азчерниро О. Н. Русина. Результаты анализов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Количество общего, фосфатного и органического фосфора в воде Черного моря

Дата	Местоположение	Глубина в м	Количество Р в мг/м ³		
			общий	фосфат- ный	органи- ческий
14/XII 1950	Юго-восточная часть моря	0	21,4	10,0	11,4
		10	23,2	10,0	13,2
		25	26,6	10,0	16,6
15/XII 1950	То же	0	27,3	10,8	16,5
		10	30,1	10,8	19,3
		25	26,4	10,8	15,4
15/XII 1950	"	0	27,8	13,5	14,3
		10	30,8	13,2	17,6
		25	55,9	14,5	41,4
		50	33,5	22,2	11,3
29/III 1950	40 миль к югу от Керченского пролива	0	19,3	12,5	6,8
		10	28,7	14,5	14,2
		25	27,2	17,5	9,7
Средние количества			29,1	13,1	16,0

В поверхностных водах Черного моря (по полученным результатам) среднее содержание общего фосфора, примерно, одного порядка с содержанием его в водах Среднего и Южного Каспия, где количества органического фосфора составляют, по данным Е. Г. Виноградовой, в среднем около 25 мг Р/м³ и минерального, по С. В. Бруевичу, около 4—5 мг Р/м³. В Азовском море содержание общего фосфора, по определениям автора, составляет в среднем около 41 мг/м³. Из этого количества на органический фосфор приходится 25—30 мг Р/м³.

Таким образом, воды Азовского моря несколько богаче поверхностных вод Черного по содержанию общего и органического фосфора; содержание фосфатного фосфора примерно одинаковое. Поверхностные воды Среднего и Южного Каспия и Черного моря содержат почти равные количества общего фосфора. По содержанию органического фосфора воды Каспия заметно богаче вод Черного моря, а по фосфатному беднее.

По содержанию соединений азота в водах Черного моря имеется меньше определений, чем по фосфору; они выполнены сотрудниками Севастопольской биологической станции (13) по дифениламиному методу. Пробы перед определением упаривали почти досуха, с последующим растворением осадка в 10%-ном растворе уксусной кислоты и обработкой раствора дифениламиновым реактивом. Таким же образом обрабатывали и

¹ Следует отметить, что согласно исследованиям лаборатории В. Г. Дацко в августе 1952 г. в верхнем 25-метровом слое в открытой части Черного моря фосфаты полностью отсутствовали. Это подтвердили и наблюдения в августе 1953 г. (Ред.).

стандартный раствор. Упаривание проб производилось потому, что пробы натуральной морской воды давали слишком слабое окрашивание.

Нами в 1950—1951 гг. был использован дифениламинный метод в модификации А. В. Трофимова (36), принятый в системе ВНИРО для определения нитратов. Этим методом определяют нитраты в натуральной морской воде.

Средние количества нитратов по определениям, произведенным нами в 1950 г., и по данным Севастопольской биологической станции, приводятся в табл. 3. Наши средние величины получены примерно из равного количества летних и зимних наблюдений.

Таблица 3
Средние количества нитратов в Черном море

Глубина в м	Наши определения		Определения Севастопольской станции	
	мг N/м ³	число определений	мг N/м ³	число определений
0	13	20	71	8
10	7	21	—	—
25	9	18	—	—
50	10	19	99	4
75	21	18	—	—
100	13	14	84	8
200	6	12	80	6
300	5	9	8	5

Наши данные 1950 г. о содержании нитратов в несколько раз меньше опубликованных в Трудах Севастопольской биологической станции (13).

В летний период очень часто в зоне фотосинтеза нитраты отсутствуют. Зимой содержание их повышается, но в среднем не достигает величин, указанных Севастопольской станцией. По наблюдениям Я. К. Гололобова, в восточной половине Черного моря содержание нитратов выражается величинами одного порядка с приведенными нами.

Содержание нитритов в водах верхних слоев Черного моря по данным, опубликованным в 1930 г. Севастопольской станцией, составляет около 0,04 мг N/м³—2,5 мг N/м³. По нашим определениям, в большинстве случаев нитриты отсутствовали. Реже наблюдались количества, приведенные в Трудах Севастопольской станции. Высокое содержание нитритов на отдельных станциях и горизонтах было отмечено в западной половине Черного моря в конце августа — начале сентября 1948 г.; оно достигало десятков мг N/м³. В среднем же содержание нитритов в водах Черного моря небольшое и представлено величинами одного порядка с содержанием их в водах других морей.

По солевому аммиаку выполнено небольшое количество определений в слое воды от 0 до 300 м. Солевой аммиак определяли по методу Буха, описание которого приводится в методическом руководстве С. В. Бруевича (4). По полученным данным, средние количества аммиачного азота в слое 0—100 м составляют около 70 мг/м³. Содержание его постепенно увеличивается и на глубине 300 м достигает около 350 мг/м³. Порядок вели-

чин солевого аммиака и его распределение по вертикали близки к данным, опубликованным в Трудах Севастопольской биологической станции (13).

Содержание солевого аммиака в слое фотосинтеза Каспия, по данным С. В. Бруевича (3), несколько ниже, чем в поверхностных водах Черного моря, и намного меньше, чем в глубинных. Воды Азовского моря содержат примерно такое же количество аммиака, как и воды Черного моря в слое 0—75 м.

Содержание растворенной кремнекислоты в водах Черного моря велико. Оно сильно увеличивается с глубиной, но не в такой степени, как содержание фосфатного фосфора или солевого аммиака. В табл. 4 приведены средние величины истинно-растворенной кремнекислоты, выраженные в мг элементарного кремния на кубический метр, воды, по нашим наблюдениям и по наблюдениям А. М. Добержанской (18). Средние величины получены нами из наблюдений, проводившихся во все сезоны 1948—1950 гг.

Т а б л и ц а 4
Содержание растворенной кремнекислоты
в воде Черного моря (в мг Si/м³)

Горизонт в м	Наши наблюдения		По Добержанской в мг Si/м ³
	в мг Si/м ³	число определений	
0	938	104	1140
10	1006	109	955
25	1086	108	1081
50	1170	91	1240
75	1326	75	1472
100	1625	71	1648
200	2682	58	2215
300	3161	36	3303
500	—	—	3842
1000	—	—	4490
1500	—	—	5000
2000	—	—	6245

По содержанию кремнекислоты поверхностные воды Черного моря богаче вод Среднего и Южного Каспия, где оно характеризуется средней величиной порядка 500 мг/м³ (3).

Данные по содержанию соединений фосфора, азота и кремния в зоне фотосинтеза не дают оснований считать, что жизнедеятельность фитопланктона в Черном море лимитируется низким содержанием соединений этих элементов в большей степени, чем в водах Среднего и Южного Каспия. По содержанию фосфатного фосфора, солевого аммиака и растворенной кремнекислоты поверхностные воды Черного моря богаче вод Каспия.

Однако, несмотря на, казалось бы, благоприятное для жизнедеятельности фитопланктона содержание основных биогенных элементов, концентрация его в зоне фотосинтеза открытой части Черного моря невелика и составляет 100—150 мг/м³, причем, по многолетним наблюдениям Г. К. Пицыка (33), средние титры фитопланктона не претерпевают существенных изменений ни по годам, ни по сезонам года. Такая относительно низкая и ровная жизнедеятельность основного продуцента органического вещества в Черном море лимитируется, повидимому, неизвестными пока нам факторами.

В то же время многолетние наблюдения над динамикой органического вещества в Черном море дают основание предполагать, что в этом водоеме, кроме фитопланктона, продукция которого не испытывает значительных изменений, существует дополнительный продуцент органического вещества, продукция которого претерпевает резкие колебания.

Органический углерод. В 1950 г. были выполнены определения органического углерода в консервированных сулемой пробах воды с трех глубоководных станций. Углерод определялся разработанным автором (15, 16) азотнокислым методом в растворе и в осадке, образующемся при стоянии проб в течение месяца.

В табл. 5 приводятся средние количества углерода по определениям, выполненным на трех глубоководных станциях в 1950 г. Результаты определений органического углерода в 1951 г. на двух глубоководных станциях показали также, что содержание его в глубинных водах не больше, чем в поверхностных.

Таблица 5
Среднее содержание органического углерода в воде Черного моря на различных горизонтах (по определениям на трех глубоководных станциях)

Горизонт в м	Средние количества углерода в мг/л		
	в растворе	в осадке	общее количество
0	3,11	0,19	3,30
10	3,36	0,24	3,60
25	3,35	0,29	3,64
50	3,26	0,34	3,60
75	3,16	0,22	3,38
100	3,15	0,51	3,66
200	3,23	0,30	3,53
300	3,29	0,32	3,61
500	3,13	0,36	3,49
1000	3,03	0,31	3,34
1500	2,98	0,28	3,26
1750	(2,85) ¹	(0,18)	(3,03)
2000	(2,83)	(0,27)	(3,10)

¹ В скобки взяты величины, которые не являются средними.

Полученные результаты дают основание считать, что органическое вещество в Черном море распределено довольно равномерно по вертикали и что характер этого распределения принципиально не отличается от распределения органического углерода в океане и других морях (14). Содержание углерода заметно уменьшается в глубинных водах по сравнению с поверхностными.

Это обстоятельство имеет большое значение, так как до настоящего времени существовало установившееся мнение о накоплении органического вещества в глубинных водах Черного моря. Оно было высказано Н. М. Книповичем (22), В. Н. Никитиным (31), А. Е. Криссом (23, 25) и другими. Фактическими данными, которые подтверждали бы мнение о накоплении органического вещества в анаэробной зоне, являются повышенные значения окисляемости глубинных вод. Однако величины окисляемости в присутствии сероводорода не являются показательными для суждения о количествах органического вещества.

Продувание проб воздухом перед определением окисляемости полностью не удаляет веществ, действующих на перманганат при кипячении, и отсутствие запаха после продувания не может служить признаком отсутствия промежуточных продуктов окисления сероводорода, повышающих окисляемость. На это обстоятельство указывает также Б. А. Скопинцев (34).

Вертикальное распределение органического углерода показывает, что мнение о накоплении органического вещества в анаэробной зоне по причине его замедленной минерализации не соответствует истине. По данным А. И. Архангельского и Н. М. Страхова (2), среднее содержание органического углерода в современных глубоководных отложениях Черного моря не отличается существенно от подобных величин, характерных для илистых отложений других морей. Поэтому можно считать, что минерализация органического вещества в водной толще и в грунтах протекает достаточно интенсивно. Органическое вещество, опускающееся в глубины моря в виде «дождя трупов», используется бактериями как источник энергии. В результате, главным образом, бактериологических процессов минерализации органического вещества в глубинных водах накапливаются минеральные соединения отдельных элементов. Часть из них является восстановленными соединениями. К ним относятся сероводород и аммиачный азот. Возможно образование органических восстановленных соединений, например, углеводов.

В течение 1948—1951 гг. нами было выполнено более 150 определений органического углерода в верхнем 300-метровом слое. Пробы в 1948—1950 гг. стояли до анализа в течение месяца.

Среднее содержание органического углерода за период 1948—1950 гг. в слое 0—300 м, по данным анализов 108 проб со станций, где глубины превышали 300 м, составляет в растворе—3,58 мг/л, в осадке 0,23 мг/л и общее содержание —3,81 мг/л.

Содержание углерода органических веществ, оседающих при стоянии проб воды из Азовского моря, значительно больше, чем углерода тех же веществ в пробах из Черного моря. Так, например, в Азовском море по результатам анализов 72 проб воды, собранных нами в разные сезоны 1949 и 1950 гг., содержание углерода растворенных веществ составило 5,44 мг/л, взвешенных — 0,82 мг/л и общее содержание— 6,26 мг/л.

Содержание углерода взвешенных веществ в водах Азовского моря примерно в 3,5 раза больше, чем в водах Черного моря. Однако, если учесть, что титр фитопланктона в Азовском море в среднем в 30—40 раз больше, чем в Черном, то количества углерода органических веществ, оседающих при стоянии черноморских проб, можно считать повышенными.

В Азовском море отношение углерода детрита в осадках проб к углероду фитопланктонных организмов выражается величиной около 7. Допуская некоторое отклонение от этой величины для вод Черного моря, трудно предположить, чтобы низкая биомасса фитопланктона в этом водоеме могла обусловить суммарное содержание углерода детрита и фитопланктона в осадках проб более 0,1 мг/л. Между тем количество его в пробах из верхнего слоя воды 0—300 м составляет в среднем 0,2 мг/л.

Это обстоятельство навело нас на мысль, что повышенное содержание углерода в осадках проб из верхних слоев воды Черного моря обусловливается жизнедеятельностью не только фитопланктона, продуцирующего органическое вещество в процессе фотосинтеза, но и других организмов, продуцирующих его в процессе хемосинтеза. Такими организмами могут быть автотрофные бактерии.

Из опубликованных исследований по количеству бактерий в поверхностных водах Черного моря, полученных методом прямого счета, известны данные Ф. И. Коппа. Исследования проводились Ф. И. Коппом у южных берегов Крыма над глубинами от 30 до 170 м. Фиксированные и окрашенные микробы подсчитывали непосредственно под микроскопом после фильтрации определенного объема воды через целлулоидные пластинки. Данные Ф. И. Коппа приводятся в работе В. А. Водяницкого (7). Содержание микробов, по Ф. И. Коппу, выражается величинами от 1 до 3 млн. экземпляров в 1 мл воды.

113
А. Е. Криссом в 1950 г. (26) в тех же районах, где проводил исследования Ф. И. Копп, было получено содержание бактерий около 200 тыс. экз. в 1 мл воды. Нет основания полагать, что Копп или Крисс ошиблись при подсчетах. Подсчеты не вызывают сомнений, но выполнены они в разные периоды жизнедеятельности бактерий. Исследования Коппа приходятся на период повышенной жизнедеятельности бактерий, связанной с подъемом глубинных вод, а исследования Крисса — на период пониженной их жизнедеятельности, во время слабого вертикального обмена водных масс.

Огромные количества бактерий, полученные Ф. И. Коппом, дают основание считать, что часть их была автотрофными, так как по содержанию органического вещества воды Черного моря беднее вод Каспийского и Азовского морей. Количество же бактерий в водах этих морей выражаются величинами, равными в среднем 200—250 тыс. экземпляров в одном миллилитре (6).

113
Можно полагать, что и в открытом море в отдельные годы имеет место интенсивное смешивание глубинных вод с поверхностными. Хотя по наблюдениям А. Е. Крисса в 1950 г. (26), содержание бактерий в слое 0—200 м в открытых районах моря выражается средними величинами порядка 50 тыс. экземпляров в 1 мл воды, однако количества и распределение растворенного и взвешенного органического вещества, особенно в 1948 и 1949 гг., показывают, что содержание микробов, или, возможно, других хемосинтезирующих организмов¹, должно достигать там временами больших величин. Этим можно объяснить относительно высокое содержание углерода органических веществ в осадках проб воды из верхних слоев Черного моря. Этим же объясняются весьма значительные колебания в содержании органического углерода в верхних горизонтах Черного моря по годам.

113
Так, например, средние количества органического углерода в слое 0—200 м характеризовались следующими величинами: в 1948 г.—4,21 мг/л, в 1949 г.—3,80, в 1950 г.—3,61 и в 1951 г.—3,17 мг/л. Постепенное снижение содержания органического углерода от 1948 к 1951 г. служит показателем резкого снижения продукции органического вещества в указанный период. Причиной является, на наш взгляд, уменьшение жизнедеятельности хемосинтезирующих организмов, так как средняя биомасса и продукция фитопланктона не подвергались резким колебаниям.

В период 1949—1951 гг. происходило также резкое снижение величин окисляемости воды в верхних слоях Черного моря.

Окисляемость. Величины окисляемости вод верхних слоев Черного моря, по наблюдениям 1948—1951 гг., характеризуются весьма значительными колебаниями. Так, например, в конце августа — начале сентября 1948 г. в открытых районах западной половины Черного моря В. В. Дудник были получены следующие величины перманганатной окисляемости в нейтральной среде: для горизонта 0 м—2,13 мг O_2 /л; для горизонта 25 м—2,66 мг O_2 /л; для горизонта 50 м—1,80 мг O_2 /л; для горизонта 100 м—2,15 мг O_2 /л; для горизонта 200 м—2,48 мг O_2 /л и для горизонта 300 м—3,35 мг O_2 /л.

В это же самое время в восточной половине моря по разрезу Ялта—Батуми Я. К. Гололобов (10) определял перманганатную окисляемость в нейтральной среде.

В табл. 6 приводятся средние величины окисляемости в мг O_2 /л, полученные Я. К. Гололобовым для воды верхних слоев в восточной половине Черного моря и В. В. Дудник — в западной.

¹ Н. В. Морозова-Водяницкая на значительных глубинах в Черном море обнаружила большое содержание мелких бесцветных форм фитопланктона, роль которого неясна.

Сопоставление указанных средних величин для восточной и западной половины Черного моря не оставляет сомнений в том, что окисляемость вод верхних слоев моря в 1948 г. была весьма высокой.

Высокие значения окисляемости в верхних слоях наблюдались и в 1949 г. В восточной половине моря 14 октября 1949 г. были взяты пробы воды для определения органического углерода. Параллельно определяли окисляемость в нейтральной среде. Результаты определения углерода и окисляемости на этой станции приводятся в табл. 7.

В 1950 г. величины окисляемости в нейтральной среде были значительно меньше, чем в предыдущие годы. Из выполненных нами 12 определений в верхних слоях воды средняя величина окисляемости в открытых районах моря, примыкающих к Крыму, составила 1,10 мг O_2 /л.

В 1951 г. значения окисляемости в верхних горизонтах Черного моря еще больше снизились. Средняя окисляемость в слое 0—200 м из 94 определений составила 0,76 мг O_2 /л.

В табл. 8 приводятся средние величины содержания органического углерода и окисляемости в слое 0—200 м в разные годы. (Углерод выражен в мг С/л и окисляемость в мг O_2 /л)¹.

Наблюдения над количествами и распределением растворенных и взвешенных органических веществ в водах Черного моря методами определения органического углерода и нейтральной окисляемости приводят нас к следующим выводам.

1) В открытых районах Черного моря кроме фитопланктона, биомасса и продукция которого не претерпевает значительных изменений, существует продуцент органического вещества, продукция которого довольно резко колеблется.

Таблица 6
Средние величины окисляемости воды верхнего слоя Черного моря, по данным Я. К. Гололобова и В. В. Дудник

Глубина в м	По данным Я. К. Гололобова, для восточной части моря	По данным В. В. Дудник, для западной части моря
0	1,92	2,13
25	1,85	2,66
50	1,79	1,80
100	1,55	2,15
200	2,22	2,48
300	3,00	3,35

Таблица 7
Определения органического углерода и окисляемость в нейтральной среде в воде восточной части Черного моря (14/X 1949 г.)

Глубина в м	Содержание органического углерода в мг/л	Окисляемость в мг O_2 /л
0	3,62	2,10
10	3,31	2,08
25	3,47	2,00
50	3,87	1,84
75	3,75	1,55
100	3,31	1,36
150	3,63	1,38
200	3,59	1,43
300	3,53	2,78

Таблица 8
Средние величины содержания органического углерода и окисляемости в Черном море в слое 0—200 м (1948—1951 гг.)

Г о д ы	1948	1949	1950	1951
Углерод	4,21	3,80	3,60	3,17
Окисляемость	2,02	1,72	1,10	0,76

¹ Исходные величины приводятся в работе автора

2) Можно предполагать, что в этом водоеме существует следующий дополнительный круговорот веществ. Органическое вещество, попадая из верхних слоев моря в анаэробную зону, используется микроорганизмами как источник энергии. В результате жизнедеятельности анаэробных микробов в глубинных водах накапливаются значительные количества восстановленных соединений. Деятельность сульфатвосстанавливающих бактерий приводит к накоплению сероводорода.

3) Восстановленные вещества, попадая в верхние слои воды, служат источником энергии для продуцирования органического вещества микроорганизмами в процессе хемосинтеза. Поэтому в водах верхних слоев Черного моря временами содержатся, по данным Ф. И. Коппа, значительно большие количества микробов, чем в водах Азовского моря и Каспия, хотя содержание растворенного и взвешенного органического вещества в водах Черного моря значительно меньше, чем в водах этих морей.

4) В Черном море существует значительный вертикальный водообмен. В процессе водообмена происходит вынос восстановленных веществ в поверхностные слои. Водообмен и вынос веществ не протекают равномерно, а периодически усиливаются или ослабляются.

В годы повышенного выноса происходят «вспышки» жизнедеятельности автотрофных микроорганизмов. В другие годы жизнедеятельность их снижается.

5) В 1948 и 1949 гг. происходило интенсивное воздействие восстановительной зоны Черного моря на окислительную, а в 1950 и 1951 гг. — относительно слабое. На это указывают результаты наблюдений над изменением содержания органического углерода и величин окисляемости в слое 0—200 м.

Сказанное выше подтверждается данными о количестве и распределении живого вещества в водах Черного моря. Так, например, по данным А. П. Кусморской (27, 28) в 1948 г. зоопланктон в Черном море был весьма обильный и концентрации его резко снизились к 1950 г. Резкие колебания концентрации зоопланктона можно объяснить изменениями интенсивности процессов хемосинтеза, так как средняя биомасса фитопланктона за этот же период в открытых районах моря, по данным Г. К. Пицька (33), не претерпевала значительных изменений. Далее, по В. Н. Никитину (30), биомасса зоопланктона в Черном море в 3 раза превышает биомассу фитопланктона. Еще более резкое превышение биомассы зоопланктона над фитопланктоном наблюдалось в 1948 г. (27, 32).

В других морях, например, в Азовском и Каспийском, биомасса фитопланктона в среднем в несколько раз больше, чем зоопланктона. Существование обильного зоопланктона в Черном море при бедном фитопланктоне можно объяснить наличием процессов хемосинтеза, так же как и резкие колебания биомассы зоопланктона при практически неизменной средней биомассе фитопланктона.

По другим наблюдениям можно предполагать, что процессы хемосинтеза протекают в верхней толще Черного моря и временами очень интенсивно. В эти периоды для консументов создаются благоприятные условия существования, и количества их увеличиваются. Эта же причина вызвала резкие колебания запасов черноморской хамсы в 1948—1950 гг. (17).

Таким образом, регулярное изучение химии продуктивной толщи Черного моря, особенно наблюдения над содержанием органического вещества (углерод и окисляемость), могут служить надежным материалом для суждения о многолетних колебаниях продуктивности этого водоема и для прогнозирования периодов ее увеличения и уменьшения. Так как при повышении общей продуктивности водоема увеличиваются запасы рыб, то предупреждение рыбспромысловых организаций о наступлении такого периода поможет своевременно подготовиться и выловить рыбы значительно больше, чем ее вылавливалось без соответствующей подготовки.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Андрусов Н. И., Проблема дальнейшего изучения Черного моря и стран его окружающих, ч. 2, О сероводородном брожении в Черном море, Записки Российской Академии Наук, серия VIII, т. 1, 1894.
2. Архангельский А. Д. и Страхов Н. М., Геологическое строение и история развития Черного моря, изд. АН СССР, 1938.
3. Бруевич С. В., Гидрохимия Среднего и Южного Каспия, Труды по комплексному изучению Каспийского моря, вып. 4, изд. АН СССР, 1937.
4. Бруевич С. В., Методика химической океанографии, изд. Управления ЕГМС СССР, 1933.
5. Бруевич С. В. и Костромина А. А., Определение органического и минерального фосфора в природных водах, Журнал прикладной химии, т. II, вып. 4, 1938.
6. Буткевич В. С., О бактериальном населении Каспийского и Азовского морей, «Микробиология», т. VII, вып. 9—10, 1938.
7. Водяницкий В. А., К вопросу о биологической продуктивности Черного моря, Труды Зоологического института АН СССР, т. VII, вып. 2, изд. АН СССР, 1941.
8. Водяницкий В. А., Основной водообмен и история формирования солености Черного моря, Труды Севастопольской биологической станции, т. VI, изд. АН СССР, 1948.
9. Водяницкий В. А., Черное море в свете новейших исследований, Крымиздат 1951.
10. Гололобов Я. К., К познанию возраста современной стадии Черного моря, ДАН СССР, т. LXVI, № 3, 1949.
11. Данильченко П. Т. и Чигирин Н. И., К вопросу о происхождении сероводорода в Черном море, Труды Особой зоологической лаборатории и Севастопольской биологической станции, серия 2, № 10, 1926.
12. Данильченко П. Т. и Чигирин Н. И., К вопросу об обмене веществ в Черном море, Записки Крымского общества естествоиспытателей и любителей природы, Симферополь, 1929.
13. Данильченко П. Т. и Чигирин Н. И., Азот и его соединения в Черном море, Труды Севастопольской биологической станции, т. II, изд. АН СССР, 1930.
14. Дацко В. Г., Органическое вещество в воде некоторых морей, ДАН СССР, т. XXIV, № 3, 1939.
15. Дацко В. Г., О вертикальном распределении органического вещества в Черном море, ДАН СССР, т. LXXVII, № 6, 1951.
16. Дацко В. Г. и Дацко В. Е., Метод для определения органического углерода в природных водах, ДАН СССР, т. LXXXIII, № 2, 1950.
17. Дехник Т. В., Оценка нерестового стада черноморской хамсы, «Рыбное хозяйство», № 1, 1953.
18. Добржанская М. А., О распределении кремния в Черном море, Труды Севастопольской биологической станции, изд. АН СССР, т. VI, 1948.
19. Егунов М. А., Серобактерии одесских лиманов, Архив биологических наук, т. III, 1885.
20. Егунов М. А., Биоанізотропные бассейны, Ежегодник по геологии и минералогии России, т. IV, 1900—1901.
21. Исаченко Б. Л. и Егорова А. А., О бактериальной пластинке в Черном море, Сборник, посвященный научной деятельности Н. П. Книповича, изд. АН СССР, 1939.
22. Книпович Н. М., Гидрологические исследования в Черном море, Труды Азово-Черноморской научно-промысловой экспедиции, вып. 10, 1933.
23. Крисс А. Е., Роль микроорганизмов в накоплении сероводорода, аммиака и азота в глубинах Черного моря, «Природа», № 6, 1949.
24. Крисс А. Е. и Рукина Е. А., О происхождении сероводорода в Черном море, «Микробиология», т. XVIII, вып. 4, 1949.
25. Крисс А. Е., Рукина Е. А. и Бирюзова В. И., Судьба мертвого органического вещества в Черном море, «Микробиология», т. XX, вып. 2, 1951.
26. Крисс А. Е., Лебедева М. Н. и Рукина Е. А., Распределение численности и биомассы микроорганизмов в море в зависимости от удаления от берега, ДАН СССР, т. LXXXVI, № 3, 1952.
27. Кусморская А. П., О зоопланктоне Черного моря, Труды Азчерниро, вып. 14, Крымиздат, 1950.
28. Кусморская А. П., Сезонные и годовые колебания зоопланктона Черного моря, Труды Гидробиологического общества, т. VI, изд. АН СССР, 1954.
29. Малятский С. М., Материалы по экологии населения пелагиали Черного моря, Труды Новороссийской биологической станции, т. II, вып. 3, 1940.
30. Никитин В. Н., Питание хамсы (*Engraulis encrasicolus* L.) в Черном море у берегов Грузии, Труды Зоологического института АН СССР, т. VI, Тбилиси, 1946.
31. Никитин В. Н., Нижняя граница распределения планктона в Черном море, Международное обозрение общей гидробиологии и гидрографии, т. XXV, вып. 1 (2), изд. АН СССР, 1931.

32. Пицык Г. К., О количественном развитии и горизонтальном распределении фитопланктона в западной половине Черного моря, Труды Азчерниро, вып. 14, Крымиздат, 1950.
 33. Пицык Г. К., О количестве, составе и распределении фитопланктона в Черном море (Напечатано в этом сборнике).
 34. Скопинцев Б. А., Окисляемость вод Черного и Азовского морей, ДАН СССР, т. LXXXVII, № 5, 1952.
 35. Скопинцев Б. А., О распределении сероводорода в Черном море, Журнал «Метеорология и гидрология», № 7, 1953.
 36. Трофимов А. В., Фотометрическое изучение дифениламиновой реакции для определения количеств нитратов в воде, Журнал прикладной химии, т. IX, № 4, 1934.
 37. Шокальский Ю. М., Океанография, Маркс П. 1917.
-