

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ АЗОВСКОГО МОРЯ В 1951—1953 гг.

Канд. хим. наук Е. Г. ВИНОГРАДОВА
(ВНИРО)

Азовское море является наиболее продуктивным среди морских водоемов. Высокая рыбная продуктивность Азовского моря обусловливается весьма обильным фитопланктоном, который дает чрезвычайно высокую первичную продукцию органического вещества.

Интенсивная жизнедеятельность фитопланктона в Азовском море возможна благодаря совокупности благоприятных условий в этом водое-

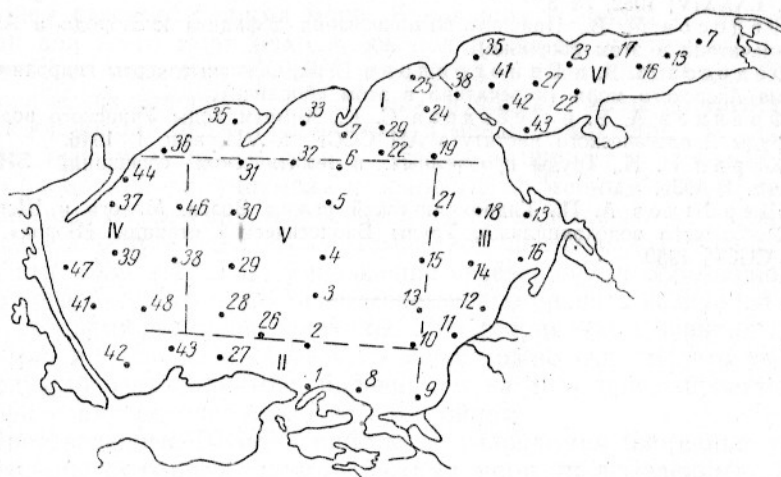


Рис. 1. Схема расположения станций, на которых взяты пробы.

Районы: I—северный; II—южный; III—восточный; IV—западный; V—центральный;
VI—Таганрогский залив.

ме. В 1951—1953 гг. в апреле, июле и августе были проведены гидрохимические работы по одной и той же стандартной сетке станций, что дает возможность сравнить полученный материал (рис. 1). В 1951 г. было сделано 3 рейса: с 13 по 23 апреля, с 10 по 22 июля и с 20 по 29 августа. В 1952 г. 2 рейса: с 12 апреля по 23 апреля и с 20 июля по 5 августа. В 1953 г. 2 рейса: с 10 по 20 апреля и с 12 по 24 июля. В работе по сбору материала и первичной обработке принимали участие научные сотрудники ВНИРО и АзчерНИРО: Виноградова Е. Г., Минкина А. Л., Русина О. Н. и лаборант Е. Ефременко. Во время рейсов на судне немедленно после выемки пробы воды определяли содержание растворен-

ного кислорода; рН, окисляемость и минеральные формы биогенных элементов (P, Si, N—NH₄, N—NO₂).

Анализ воды на органический фосфор, азот и нитраты проводили в лабораториях ВНИРО и АзчерНИРО.

МЕТОДИКА

Пробы воды брали батометром, температуру воды измеряли термометром, вставленным в батометр; прозрачность измеряли диском Секки. Гидрологическими и метеорологическими наблюдениями (сила ветра, температура воздуха, волнение, цвет) занимались гидрологи.

Все химические определения в основном проводили согласно «Методике химической океанографии» и «Стандартным методам гидрохимических определений в море» С. В. Бруевича [1, 2]. Хлор определяли методом Мора — Кнудсена в объеме 15 мл, в 1953 г. в объеме 5 мл.

Соотношение между соленостью воды Азовского моря и хлорностью вычисляли согласно коэффициенту $1,794 \pm 0,21$ [4]. Концентрация фосфатов вычислена без введения солевых поправок. Аммиачный азот определяли методом Буха, общий азот — микрометодом Кьельдаля.

Для определения общего азота в пробах морской воды применялась следующая методика. В колбу Кьельдаля вносили 50 мл морской воды и 2 мл серной кислоты, предварительно проверенной на содержание в ней аммиака, и ставили на огонь. После упаривания воды колбу Кьельдаля закрывали стеклянной пробкой — холодильником и продолжали нагревать до полного сгорания органического вещества (до полного просветления кислоты). После сгорания пробы производили отгонку аммиака. Выделяющийся аммиак через трубку холодильника поступал в коническую колбочку емкостью 100 мл с 5 мл 0,01N серной кислоты, закрытую резиновой пробкой с двумя отверстиями. В одно отверстие вставляли трубку холодильника, погруженную своим концом в кислоту, в другое — стеклянную трубку, соединенную со склянкой Тищенко с серной кислотой 1:1 для поглощения аммиака из воздуха. Отгонка аммиака продолжалась 20—25 мин. Для проверки полного удаления аммиака из испытуемой пробы колбочку — приемник замещали другой колбочкой с 5 мл 0,01N серной кислоты и продолжали отгонять еще 5—7 минут.

Избыточную кислоту отгона титровали из микробюретки на 5 мл с делениями 0,01 мл с тонко оттянутым кончиком в присутствии индикатора (0,2% метилрот и 0,1% метиленаблау, смешанных 1:1) до перехода красно-фиолетовой окраски в зеленую. Очень резкое изменение окраски происходило после прибавления одной капли 0,01 N раствора щелочи.

Для вычисления азота в испытуемой пробе число миллилитров 0,01N раствора щелочи, пошедшей на титрование остаточной кислоты, вычитали из числа миллилитров 0,01N щелочи, пошедшей на титрование контрольной пробы. Контрольную пробу обрабатывали так же, как испытуемую воду. Полученную разность умножали на 0,14 и K (поправочный коэффициент 0,01N щелочи) и в результате получали количество общего азота в данной пробе. Полученные результаты перечисляли на кубический метр воды. Органический азот находили вычитанием солевого аммиака из общего азота. Отклонения параллельных определений допускались от 1 до 5%.

Для рассмотрения полученных материалов по гидрохимии Азовского моря мы положили в основу районирование, принятое Н. М. Книповичем [6], объединив некоторые районы в один. Мы разделили Азовское море на 6 периферических районов: I—северный, II—южный, III—восточный, IV—западный, VI—Таганрогский залив с глубинами меньше 10 метров и V—центральный район с глубинами больше 10 метров (см. рис. 1).

ТЕМПЕРАТУРА

Сезонные изменения температуры воды поверхностных слоев зависят от температуры воздуха.

Ввиду мелководности Азовского моря повышение и понижение температуры его воды происходит сравнительно быстро. При длительной штилевой погоде в летние месяцы в июле и августе разница между температурой поверхностных и придонных слоев воды иногда составляет 3—4°C. При ветре в 3—4 балла происходит перемещение всех слоев воды и наблюдается гомотермия.

В апреле 1951 и 1952 гг. из-за поздней весны в западной части моря была более низкая температура воды по сравнению с восточным районом и Таганрогским заливом, где прогрев воды наступил значительно раньше.

Разница в прогреве воды в поверхностных и придонных слоях до 3—4° отмечалась в июле 1951 г. в южной части моря на двух станциях, в августе на нескольких станциях, а в 1952 г. в северо-восточном районе на станциях 22 и 23. В Таганрогском заливе в июле 1953 г. разница температуры воды составляла 2—3°C.

Наличие или отсутствие вертикальной стратификации в разные годы обуславливается ветровым режимом (табл. 1).

В 1952—1953 гг. в июле наблюдалась более ветреная погода, чем в 1951 г.

Таблица 1

Ветровой режим в баллах над Азовским морем во время рейсов летом 1951—1953 гг.

Дата	Число наблюдений при силе ветров в баллах				Процент общего числа наблюдений при силе ветров в баллах				Число наблюдений	Продолжительность рейса в днях
	0—1	2	3	4 и больше	0—1	2	3	4 и больше		
1951 г., июль . .	3	32	17	16	4	47	25	23	68	8
1951 г., август .	24	18	10	4	43	32	18	7	56	7
1952 г., июль . .	4	19	16	21	7	31	25	35	60	7
1953 г., июль . .	13	4	14	33	20	6	22	52	64	9

СОЛЕНОСТЬ

Основными факторами, определяющими соленость Азовского моря, являются: величина притока пресной воды с суши, количество выпадающих осадков на зеркало моря, испарение воды, обмен между Азовским и Черным морем. Большой приток пресной воды, главным образом, рек Дона и Кубани, обуславливает характерную особенность для Азовского моря — значительно пониженную против Черного моря соленость.

Сезонные колебания солености в воде Азовского моря выражены довольно ясно. Увеличение притока пресных вод по всему морю, особенно летом, вызывает понижение солености.

В Азовском море вдоль прибрежных зон вода имеет пониженную соленость. В западной части моря это связано с круговым течением Азовского моря, идущим из Таганрогского залива против часовой стрелки, а в восточной части моря — с пресными водами Кубани. Соленость в центральном и южном районах несколько повышена вследствие поступления более соленой черноморской воды.

В Таганрогском заливе соленость особенно сильно меняется под влиянием стока Дона и течений. Весной в апреле—мае при сгонных ветрах

восточная часть залива, как правило, заполнена почти пресной водой. По мере продвижения от устья Дона к западу соленость постепенно возрастает.

Соленость Азовского моря и особенно Таганрогского залива определяют не только течения и влияние пресных вод, но также и режим ветров.

Вертикальное распределение солености в Азовском море отличается почти полной однородностью от поверхности до дна. Лишь при длительных штилевых погодах, преимущественно в южной части моря у Керченского пролива, в районе Темрюка и у входа в Таганрогский залив, соленость у дна может быть на 2—3‰ выше, чем на поверхности. Однако эти различия солености быстро исчезают под действием ветра.

В апреле 1952 г. по сравнению с апрелем 1951 г. в северной, восточной и центральной частях Азовского моря наблюдалось осолонение, в южном и западном районах соленость понижалась, но в среднем по всему морю соленость увеличивалась на 0,19‰, а в Таганрогском заливе — на 0,52‰. В 1953 г. по сравнению с 1952 г. соленость в апреле увеличилась по всему морю в среднем на 0,64‰. Соленость в Таганрогском заливе осталась прежней.

В июле 1952 г. соленость повысилась по всему морю в среднем на 0,41‰ по сравнению с 1951 г.: в северной части в среднем на 0,56‰, в западной — на 0,98‰, в Таганрогском заливе в среднем на 2,0‰. Такое увеличение солености в 1952 г. вызвано резким сокращением весенних паводковых вод Дона, несмотря на то, что паводок Кубани в этом году был сравнительно высоким.

В июле 1953 г. повышение солености по всему морю составило в среднем 0,32‰ по сравнению с 1952 г. и 0,72‰ по сравнению с 1951 г.

Анализ воды в Таганрогском заливе в это же время показывает сильное опреснение — на 2,3‰ по сравнению с 1952 г. и на 0,28‰ по сравнению с 1951 г.

Таким образом в результате маловодных 1949 и 1950 гг. и значительного забора воды на заполнение Цимлянского водохранилища в 1952 и 1953 гг. соленость воды Азовского моря все время повышается.

В Таганрогском заливе соленость за эти годы изменялась следующим образом. В 1949 и 1950 гг. вследствие низкого паводка Дона в заливе соленость повысилась, в 1951 г. произошло опреснение, особенно в восточной части залива, в 1952 г. вновь наблюдалось весьма значительное повышение солености во всех районах залива, а в 1953 г. соленость понизилась.

КИСЛОРОД

Содержание и распределение кислорода в воде Азовского моря является результатом взаимодействия целого ряда разнородных факторов, вследствие чего кислородный режим в Азовском море является наиболее изменчивым [6]. Насыщение кислородом воды Азовского моря резко колеблется: от высоких степеней пересыщения до следов или даже до полного отсутствия (от 0 до 180% O_2).

В летний период, во время цветения фитопланктона, насыщение кислородом воды по вертикали может быть довольно равномерным или, напротив, показывает резко выраженную стратификацию.

Весной 1951 г. и особенно 1953 г. в придонных слоях было отмечено несколько случаев пересыщения воды кислородом. В летний период почти всюду наблюдался максимум кислорода в поверхностном слое воды, где находился также и максимум фитопланктона.

В апреле и июле 1951 г. в западной и восточной частях моря было обнаружено несколько случаев максимума кислорода на глубине 5 м. Видимо, это было вызвано распределением фитопланктона на этой же глубине.

Во время штилевой погоды и нарушения аэрации содержание кислорода в придонных слоях воды иногда доходит до нуля в результате расхода его на окисление отмершего планктона. Недостаток кислорода вызывает заморы, которые чаще всего наблюдаются в центральной и предприливной частях моря [5, 12].

В июле 1951 и 1952 гг. нами были отмечены дефицит кислорода, расслоение температуры и солености в толще воды на нескольких станциях (табл. 2).

Таблица 2

Стратификация температуры, солености и кислорода в воде Азовского моря в июле и августе 1951 и 1952 гг.

Дата	Июль 1951 г.				Июль 1952 г.		Август 1951 г.	
Номера станций	2		3		44		4	
Горизонт	поверхностный	придонный	поверхностный	придонный	поверхностный	придонный	поверхностный	придонный
Разница температуры поверхностного и придонного слоев	-1,77		-2,2		-2,8		-1,8	
Разница солености поверхностного и придонного слоев	+3,39		+0,32		+0,02		+0,24	
pH	8,50	8,29	8,50	8,29	8,60	8,18	8,62	8,29
Насыщение кислорода (в %)	98	9	102	34	100	3	108	17

Продолжение

Дата	Август 1951 г.							
Номера станций	6		8		22		24	
Горизонт	поверхностный	придонный	поверхностный	придонный	поверхностный	придонный	поверхностный	придонный
Разница температуры поверхностного и придонного слоев	-0,8		-0,04		-1,1		-1,61	
Разница солености поверхностного и придонного слоев	+1,12		+0,63		+0,63		+0,02	
pH	8,70	7,90	8,70	7,90	8,48	8,00	8,70	8,18
Насыщение кислорода (в %)	108	0	108	0	81	11	129	31

Примечание. Знак минус обозначает меньше, чем на поверхности; знак плюс обозначает больше, чем на поверхности.

М. В. Федосов в своей работе [11] подробно разбирает случаи стратификации температуры и солености в толще воды Азовского моря и указывает, что вертикальное расслоение воды по плотности является основной предпосылкой, обуславливающей дефицит кислорода в нижних слоях водной толщи моря.

Дефицит кислорода в придонном слое наблюдается, главным образом, в зоне илистых грунтов Азовского моря, где полностью исчезает кислород и распад органического вещества проходит в анаэробных усло-

виях. При распаде белка в этих условиях образуется большое количество сероводорода, который также может являться причиной гибели донных организмов.

Г. Г. Винберг [3], ссылаясь на работы Прескотта и Стефенса, указывает, что у сине-зеленых водорослей резко выражена токсичность и при большой концентрации их происходит быстрая гибель рыб, даже в присутствии большого количества кислорода. Кроме того, сильное развитие водорослей приводит к гибели рыб не вследствие ночного дефицита кислорода, а в результате обратной причины — особенно сильного дневного пересыщения им, вызывающего газовую эмболию жаберных и других кровеносных сосудов.

Наибольшее насыщение кислорода в море наблюдалось: в апреле 1951 г. в западной, центральной и южной частях моря от 100 (8,13 мл/л) до 139% (11,9 мл/л) в поверхностном слое и от 84 (6,00 мл/л) до 123% (10,74 мл/л) в придонном. Высокое содержание кислорода, особенно в западной части моря, обуславливается мощным развитием фитопланктона при относительно низкой температуре воды. В апреле 1953 г. высокое содержание кислорода наблюдалось почти по всему морю в период массового развития весеннего фитопланктона.

В Таганрогском заливе наблюдается неполное насыщение воды кислородом на большинстве станций от 100 (7,26 мл/л) до 85% (6,13 мл/л) в поверхностном слое и от 91 (6,62 мл/л) до 80% (5,95 мл/л) в придонном слое. Это совпадает с весенним паводком Дона. В 1952 г. река выносила много мути, поднятой земляными работами, которая поглощала кислород из воды больше обычного.

Наибольшее количество кислорода в июле и августе наблюдалось в 1951 г. в северной части моря в поверхностном слое около г. Осипенко (станции 23 и 24) от 125 (6,93 мл/л) до 134% (7,85 мл/л) и в западной части от 122 до 138%. В восточной и южной частях содержание кислорода было меньше, от 97 до 98%. В придонном слое в западной части моря было до 116% (6,83 мл/л) кислорода (станция 37), в южной части содержание кислорода резко снизилось (станции 8 и 2) с 5 (0,33 мл/л) до 9% (0,48 мл/л).

В июле 1952 и 1953 гг. насыщение кислородом воды было более низким по всему морю. По вертикали содержание кислорода было более равномерное вследствие ветрового перемешивания. В придонном слое в июле 1952 г. (станция 44) в северо-западном районе было 3% (0,16 мл/л), в июле 1953 г. — 38% насыщения кислородом.

В июле 1951 г. по сравнению с 1952 и 1953 гг. было повышенное содержание кислорода и, судя по количеству случаев пересыщения кислородом воды, процессы фотосинтеза протекали значительно интенсивнее (табл. 3 и рис. 2 а, б).

В июле 1952 г. на станции 44 депрессия кислорода охватила небольшой слой воды от дна. Пробы воды, взятые по вертикали на различной глубине, показывают:

0,1 м	от 0,16 мл/л, или 3% O ₂
0,5 м	„ 3,4 мл/л, или 58% O ₂
1 м	„ 5,26 мл/л, или 90% O ₂

Таким образом, обеднение воды кислородом на станции 44 захватило лишь слой воды ниже 0,5 м от дна. Следовательно, на 0,5 м от дна имеется уже достаточное количество кислорода для жизни рыб.

В июле 1951, 1952 и 1953 гг. вследствие непродолжительного периода застоя снижение содержания кислорода у дна охватило небольшую площадь и не причинило существенного вреда донному населению, так как анаэробные процессы не успели достигнуть большого развития.

Совершенно иное было отмечено в августе 1951 г. — большое пересыщение воды кислородом в поверхностном слое служило признаком интен-

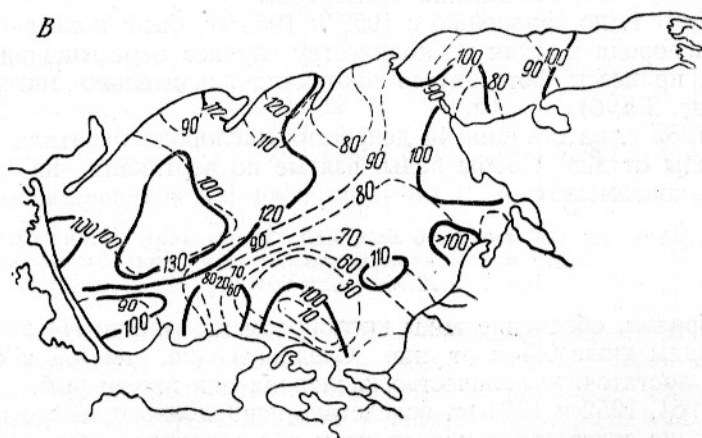
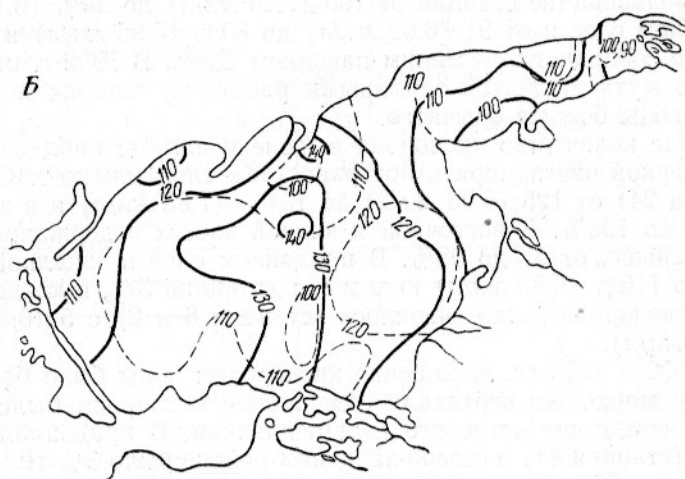
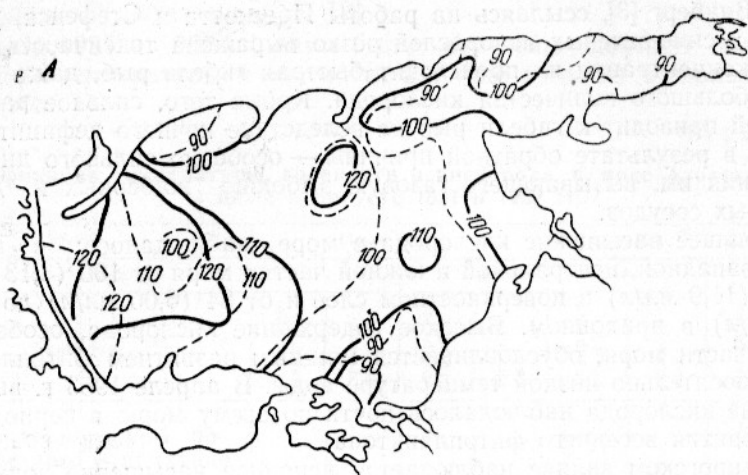


Рис. 2а. Насыщение воды кислородом в процентах:
 А—13—23 апреля 1951 г.; Б—10—20 апреля 1953 г.; В—10—22 июля 1951 г.

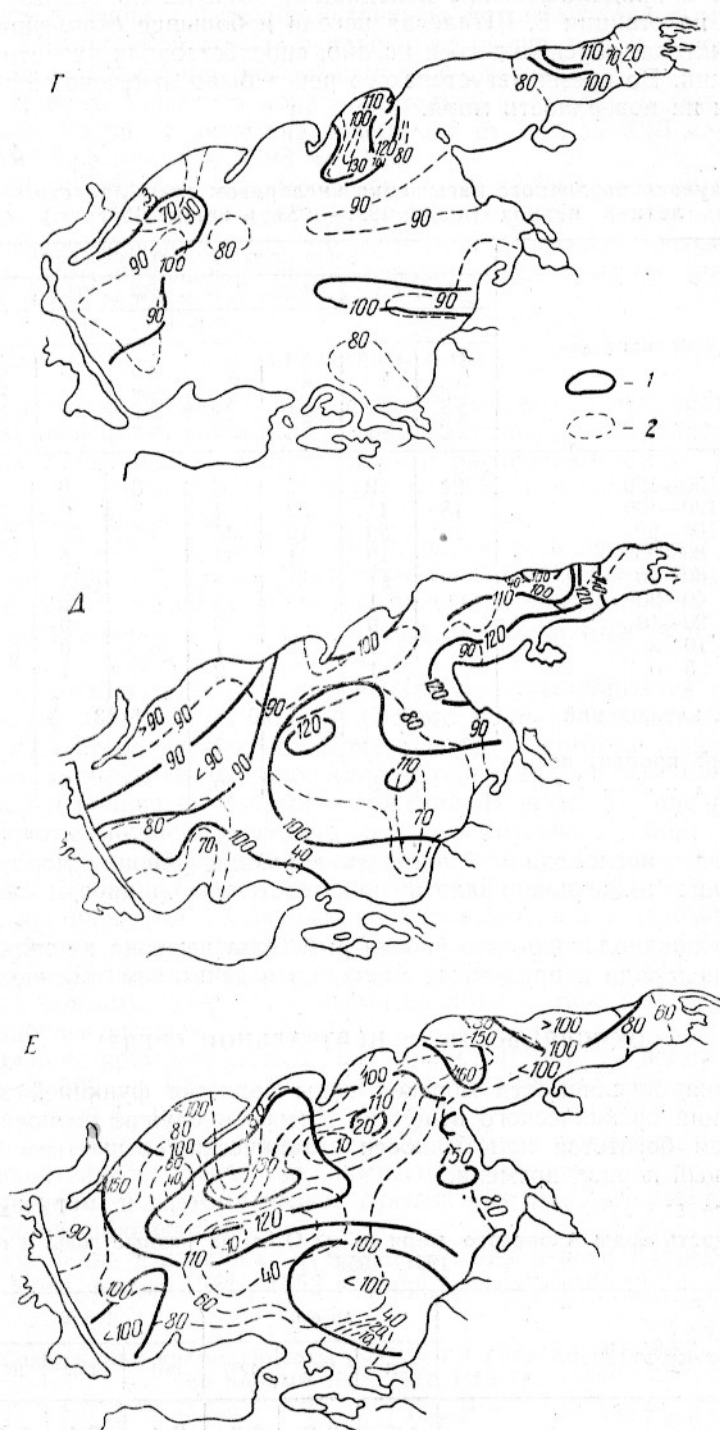


Рис. 26. Насыщение воды кислородом в процентах:

1—поверхностный слой; 2—придонный слой.

Г—20 июля—5 августа 1952 г.; Д—12—24 июля 1953 г.; Е—20—29 августа 1951 г.

сивного фотосинтеза, в то же время было обнаружено резкое снижение кислорода в придонном слое, доходившее до нуля по разрезу Керчь—Осипенко на станции 6. Штилевая погода и большие скопления отмершего планктона, опускающегося на дно, способствовали развитию заморных явлений. Во время августовского рейса было отмечено много погибшей рыбы на поверхности моря.

Таблица 3

Число случаев различного насыщения кислородом воды Азовского моря за летний период (июль 1951—1953 и август 1951 гг.)

Насыщение воды кислородом в %	Число случаев от всех наблюдений							
	1951 г. VII		1951 г. VIII		1952 г. VIII		1953 г. VII	
	Горизонт							
	поверхно- стный	придон- ный	поверхно- стный	придон- ный	поверхно- стный	придон- ный	поверхно- стный	придон- ный
150—120	21	2	7	0	3	0	1	0
120—100	18	13	22	1	5	3	20	0
100—80	10	20	10	15	35	35	34	39
80—60		10	1	11		5		15
60—40		1		4		1		0
40—20		1		3		0		1
20—10		0		3		0		0
10—5		1		1		0		0
5—0		1		2		1		0
Число всех наблюдений . .	49		40		43		55	
Наименьший процент насы- щения		5		0		3		38

Депрессия кислорода наблюдалась в разных районах моря, но распространение ее ограничивалось приблизительно радиусом около 10 миль.

Можно предположить, что гибель рыб была вызвана не только недостатком кислорода в придонных слоях, но и действием токсических веществ [3].

ОКИСЛЯЕМОСТЬ (В НЕИТРАЛЬНОЙ СРЕДЕ)

Величина окисляемости морской воды является функцией величины концентрации органического вещества в море и служит относительным показателем богатства или бедности органическим веществом моря в определенный период времени.

Таблица 4

Окисляемость воды Азовского моря (в мг O_2/l) за разные годы и сезоны 1951—1953 гг.

Районы	Апрель			Июль			Август
	1951	1952	1953	1951	1952	1953	1951
Северный	1,9	2,2	2,9	2,4	2,5	2,4	2,7
Южный	1,7	2,2	3,1	2,2	2,8	—	2,6
Восточный	2,2	2,0	3,2	2,3	2,3	2,4	2,5
Западный	2,1	2,3	3,2	2,3	2,7	2,4	2,7
Центральный	1,7	2,6	3,0	2,4	2,5	2,3	2,3
Средняя для моря	1,9	2,3	3,1	2,3	2,5	2,4	2,6
Таганрогский залив	2,5	3,0	3,5	2,5	2,6	3,2	2,6

Наиболее высокая окисляемость ($3,1 \text{ мг O}_2/\text{л}$) наблюдалась в апреле 1953 г., что связано с высоким развитием фитопланктона в море в это время. В Таганрогском заливе окисляемость выше, чем в море, и увеличивается при дальнейшем продвижении на восток.

Окисляемость Азовского моря значительно выше, чем в других морях. В Северном Каспии в июле она колеблется от $1,14$ до $2,10 \text{ мг O}_2/\text{л}$, а в Аральском море от $0,7$ до $0,98 \text{ мг O}_2/\text{л}$.

Высокая величина окисляемости в воде Азовского моря по сравнению с другими морями объясняется высокой продукцией фитопланктона в море. Большое значение имеет также и малая глубина Азовского моря, где вновь синтезирующееся органическое вещество легко распространяется от верхних слоев по всей толще воды.

КРЕМНЕКИСЛОТА

Распределение кремнекислоты в поверхностных слоях воды определяется двумя факторами: неравномерным влиянием поверхностного речного стока в различных участках моря и распределением и развитием диатомового фитопланктона. Сезонные колебания в содержании кремнекислоты выражены довольно ясно.

Весной 1951, 1952 и 1953 гг. они определялись различной интенсивностью развития диатомового фитопланктона. Содержание кремнекислоты весной 1951 г. по всему морю колебалось от 400 до $800 \text{ мг Si}/\text{м}^3$, оно было несколько ниже в 1952 г. — от 240 до $400 \text{ мг Si}/\text{м}^3$ и в 1953 г. от 300 до $400 \text{ мг Si}/\text{м}^3$.

Летом (июль) содержание кремнекислоты увеличивается по сравнению с весной. Обогащение воды Азовского моря кремнекислотой происходит за счет стока речных вод Дона и Кубани, которые несут большие количества кремнекислоты, процессов регенерации ее из планктонных организмов и подачи из донных отложений. В июле по распределению кремнекислоты можно проследить круговое течение в море, несущее опресненные воды. Опреснение совпадает с прохождением паводковых вод Дона и Кубани. Соответственно течению паводковых вод распределяется и кремнекислота. Содержание кремнекислоты в наиболее опресненных районах было значительно больше, чем в центральной и южной частях моря. За последние четыре года паводок Дона в 1951 г. был наибольшим и поэтому содержание кремнекислоты в море в этом году было также наиболее высокое.

Содержание кремнекислоты летом (июль) 1951 г. по всему морю колебалось от 800 до $1300 \text{ мг}/\text{м}^3$, в 1952 — от 440 до $600 \text{ мг Si}/\text{м}^3$ и в 1953 г. — от 600 до $900 \text{ мг Si}/\text{м}^3$.

В течение всего года в воде Азовского моря кремнекислоты содержится значительное количество, намного превышающее потребление ее фитопланктоном, и поэтому нельзя считать этот элемент лимитирующим продукцию фитопланктона.

Распределение и содержание кремнекислоты в воде Азовского моря (апрель, июль, август 1951—1953 гг.) приведено в табл. 5.

Таблица 5

Содержание кремнекислоты ($\text{мг Si}/\text{м}^3$) в воде Азовского моря
по данным 1951, 1952, 1953 гг.

Район	Горизонт	Апрель			Июль			Август
		1951	1952	1953	1951	1952	1953	1951
Северный	Поверхностный	600	330	580	1120	610	750	980
	Придонный	540	340	580	1200	660	900	1000
Южный	Поверхностный	540	280	420	890	470	800	1540
	Придонный	490	290	460	830	570	620	1350

Район	Горизонт	Апрель			Июль			Август
		1951	1952	1953	1951	1952	1953	1951
Западный	Поверхностный	770	270	400	980	380	830	1200
	Придонный	800	324	460	900	440	980	1300
Восточный	Поверхностный	410	330	390	1622	560	840	1800
	Придонный	426	400	440	1064	620	960	1900
Центральный	Поверхностный	690	240	620	810	440	770	1240
	Придонный	730	240	640	950	480	840	1300
Среднее по морю		600	360	490	1008	523	829	1361
Таганрогский залив	Поверхностный	850	750	1200	1450	1300	2000	1550
	Придонный	880	750	900	1470	1200	2000	1550

ФОСФОР (МИНЕРАЛЬНЫЙ И ОРГАНИЧЕСКИЙ)

Содержание минерального фосфора в воде Азовского моря подвержено значительным колебаниям в течение года.

В зимние месяцы, при отсутствии жизнедеятельности фитопланктона, содержание его увеличивается до 30 мг Р/м^3 , а весной иногда на большей части площади моря падает до аналитического нуля.

В апреле 1951 г. малые количества фосфатов были обнаружены лишь в восточной части Азовского моря и в районе Таганрогского залива, увеличиваясь к устью Дона.

Продолжительность ледового сезона в Азовском море в 1950/51 г., слабое перемещение всей толщи воды, замедленное поступление биогенов из грунтов и слабое поступление их с малым речным стоком из-за маловодных паводков 1950 года вызвали обеднение фосфатами воды моря.

Интенсивное развитие фитопланктона в западной половине моря и слабая минерализация органических соединений при низкой температуре воды привели к полному истощению фосфатов в воде этой части моря.

В восточной части моря содержание фосфатов в этот период было несколько выше. Весеннее цветение фитопланктона в этом районе наступило несколько раньше, чем в западной части моря, и в период наших наблюдений заканчивалось. Процессы минерализации отмершего планктона вследствие более высокой температуры проходили здесь более интенсивно, чем потребление фосфатов фитопланктоном, и этим объясняется наличие фосфора в воде.

В апреле 1952 г. в северном и западном районах содержание фосфатов достигает в среднем 16 мг Р/м^3 во всей толще воды, в восточном районе — в среднем около 13 мг Р/м^3 , в южном и центральном районах всего лишь в среднем от 9 до 7 мг Р/м^3 .

В Таганрогском заливе содержание фосфатов в среднем равно 14 мг Р/м^3 , постепенно увеличиваясь к восточной части до 55 мг Р/м^3 .

Количество органического фосфора в апреле 1952 г. по всему морю составляло в среднем 27 мг Р/м^3 и значительно увеличивалось в восточной части Таганрогского залива, достигая 153 мг Р/м^3 .

В апреле 1953 г. весеннее цветение диатомовых в Азовском море было проявлено довольно ярко. Показателями интенсивности цветения являются высокое содержание кислорода, высокая величина окисляемости и высокое содержание органических форм азота и фосфора.

Содержание фосфатов в это время по всему морю было равно $8-10 \text{ мг Р/м}^3$. Содержание органического фосфора значительно выше, чем весной 1952 г., и в среднем колебалось от 48 до 72 мг Р/м^3 .

Средние величины содержания минерального и органического фосфора (в мг/м³) в 1951—1953 гг.

Месяцы		Апрель									Июль								
Год		1951			1952			1953			1951			1952			1953		
Район	Горизонт	минеральный	органический	общий	минеральный	органический	общий	минеральный	органический	общий	минеральный	органический	общий	минеральный	органический	общий	минеральный	органический	общий
Северный	Поверхностный	0	—	—	15	29	44	8	72	80	6	—	—	4	45	49	2	40	42
	Придонный				16	29	45	11	69	80	7	—	—	5	47	52	3	33	35
Южный	Поверхностный	1	—	—	7	24	31	10	57	67	9	—	—	4	54	58	4	42	46
	Придонный				9	23	32	10	50	60	11	—	—	6	53	59	6	44	50
Западный	Поверхностный	0	—	—	16	25	41	9	48	57	7	—	—	3	47	50	2	22	24
	Придонный				17	40	57	10	58	68	9	—	—	5	59	64	5	24	29
Восточный	Поверхностный	2	34	36	8	23	31	8	64	72	7	44	51	4	45	49	2	36	38
	Придонный	3	34	37	19	31	50	8	49	57	9	40	49	4	50	54	2	44	46
Центральный	Поверхностный		35	35	9	24	33	8	68	76	8	41	49	3	40	43	3	40	43
	Придонный	0	36	30	9	23	32	7	67	74	7	44	51	4	38	42	4	40	44
Среднее по морю		1	33	34	12	27	39	9	60	69	8	42	50	3	48	51	3	36	39
Таганрогский залив	Поверхностный	11	41	52	14	105	119	21	105	126	28	51	79	29	65	94	14	51	65
	Придонный	11	32	43	14	112	126	23	78	101	30	55	85	31	59	90	11	54	65
Среднее по заливу		11	36	47	14	108	113	22	91	113	29	53	82	30	62	92	12	53	65

В апреле 1953 года содержание фосфора в Таганрогском заливе значительно больше, чем в 1951 г., и в среднем составляло 22 мг Р/м³ фосфатного фосфора и 90 мг Р/м³ органического фосфора (табл. 6).

Фосфаты поступали в воду вследствие регенерации их в процессе разложения органического вещества грунта при ветровом перемещении воды.

С летним увеличением фотосинтетической деятельности происходит усиленное потребление фосфатов фитопланктоном, однако в июле 1951 г. все же отмечалось значительное количество фосфатов — от 6 до 9 мг Р/м³ в поверхностных и от 7 до 11 мг Р/м³ в придонных слоях воды Азовского моря. Вода Азовского моря обогащается фосфатами за счет процесса минерализации отмершего планктона и приноса их донскими и кубанскими водами.

Некоторое уменьшение фосфатов в июле 1952 и 1953 гг., повидимому, объясняется уменьшением стока Дона, вызванного пополнением Цимлянского водохранилища.

При сравнении величины содержания фосфатов за апрель и июль 1951—1953 гг. со среднееголетними в воде Азовского моря (без Таганрогского залива) отмечено отклонение в сторону уменьшения: в июле 1952 г. в два раза, в 1953 г. в три раза (табл. 7).

Таблица 7

Содержание фосфатов (в мгР/м³) в разные годы (среднееголетние величины минерального фосфора взяты по средним данным 1937—1940 гг.)

Месяц	Среднееголетнее	1951 г.	1952 г.	1953 г.
Апрель	6,1	0,7	12,5	8,0
Июль	9,3	8,0	4,0	3,0

Содержание органического фосфора в воде Азовского моря довольно высоко и колеблется в апреле в среднем от 27 до 60 мг Р/м³, а в июле от 36 до 48 мг Р/м³.

Отношение минерального фосфора к органическому в воде Азовского моря (без Таганрогского залива) в апреле 1952 г. равно 1:3, в 1953 г. 1:6. Более высокие показатели отношения отражают повышенные процессы фотосинтетической деятельности в 1953 г.

В июле 1951 и 1952 гг. содержание органического фосфора несколько выше, чем в 1953 г. (см. табл. 6).

В июле 1953 г. содержание органического фосфора, повидимому, снизилось в связи с качественным изменением речной воды Дона в результате трансформации ее в водохранилищах.

Отношение минерального фосфора к органическому в воде Азовского моря в июле 1952 и 1953 гг. составляет 1:11.

АЗОТИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Солевой аммиак является соединением, до известной степени характеризующим интенсивность процессов разложения органического вещества.

В глубоких водоемах содержание аммиака в поверхностных горизонтах выше, чем на глубине, в результате более интенсивных процессов разложения органического вещества в зоне фотосинтеза. Исключение представляет Черное море, где количество аммиака сильно увеличивается с глубиной.

В отношении содержания аммиака Азовское море относится к водоемам со специфическими чертами.

Мелководность, высокая биологическая продуктивность и быстрый распад органического вещества определяют высокое содержание аммиачных солей. Концентрация аммиачных солей иногда достигает 500 мг N/м^3 и выше.

Возможно, что в периоды полного отсутствия нитратов солевой аммиак является основным источником азотистого питания водорослей (Купер, 1937). Несомненно также, что в процессе нитрификации бактерии используют аммиак. Поэтому при рассмотрении колебаний содержания его в воде Азовского моря можно считать основной причиной увеличения аммиака распад органического вещества, а причиной уменьшения — процессы нитрификации и потребление фитопланктоном.

Сравнение средних величин аммиака за весенний и летний периоды 1951, 1952, 1953 гг. в воде Азовского моря показывает наибольшие величины его в 1951 г.

В апреле 1951 г. содержание аммиака колебалось от 90 до 350 мг N/м^3 , причем в северной и западной частях моря содержание его было значительно выше, чем в южной и центральной.

В апреле 1952 г. распределение аммиака было более равномерным по всему морю и содержание его колебалось от 46 до 72 мг N/м^3 . В 1953 г. содержание аммиака было несколько выше в восточной части и в среднем составляло $70\text{—}100 \text{ мг N/м}^3$.

В июле 1951 г. содержание аммиака в воде возрастало в среднем до 327 мг N/м^3 , в 1952 г. в это же время — до 224 мг N/м^3 . В 1953 г. содержание аммиака было ниже, чем в предыдущие годы, и в среднем составляло $70\text{—}103 \text{ мг N/м}^3$.

В августе 1951 г. содержание аммиачного азота в среднем равнялось 375 мг N/м^3 , причем на некоторых станциях наблюдались очень высокие величины — до 1000 мг N/м^3 . Такое высокое содержание аммиачных солей Азовского моря указывает на повышенную интенсивность процессов разложения органического вещества во время цветения моря.

В летний период в воде Азовского моря наблюдается полное отсутствие нитратного и нитритного азота. Отсутствие нитратов в весенне-летний период, вероятно, вызвано тем, что процессы нитрификации идут менее интенсивно, чем процессы образования аммиака, и бурно развивающийся фитопланктон нацело потребляет их предпочитая всем другим формам связанного азота.

Весной (апрель) 1951 г. нитраты и нитриты по всему морю наблюдались в пределах от 16 до 44 мг N/м^3 (N—NO_3) и от 2 до 4 мг N/м^3 (N—NO_2), причем в северной и западной больше, чем в восточной и южной частях.

В 1952 г. эти соединения азота не были отмечены.

В 1953 г. в это же время нитраты наблюдались по всему морю от 15 до 80 мг N/м^3 . Нитриты встречались только в восточной части моря в количестве 1 мг N/м^3 .

Колебания концентраций нитратного и нитритного азота в разные годы объясняются различным ходом процесса нитрификации в самом море в зависимости от гидрометеорологических условий.

Органического азота в воде Азовского моря содержится довольно много: в апреле 1952 г. наблюдалось в среднем 660 мг N/м^3 , в 1953 г. 640 мг N/м^3 . Летом содержание органического азота снижается по сравнению с весной. В июле 1952 г. наблюдалось в среднем 560 мг N/м^3 , а в 1953 г. — 490 мг N/м^3 (табл. 8).

Отношение минерального азота к органическому составляло в апреле 1952 г. в среднем 1 : 12, в 1953 г. 1 : 6.

Различия в отношении минерального азота к органическому, наблюдающиеся весной в разные годы, можно отнести за счет колебаний минерального азота при сравнительно малых колебаниях органического.

Отношение минерального азота к органическому в июле, по данным

Таблица 8

Средние данные по содержанию минеральных форм ($N-NH_4$, $N-NO_2$, $N-NO_3$) и органического азота (в $мг/д^3$) с 1951 по 1953 гг.

Месяцы		Апрель												Июль												Август		
Годы		1951				1952				1953				1951				1952				1953				1951		
Район	Горизонт	NH_4	NO_2	NO_3	органический	NH_4	NO_2	NO_3	органический	NH_4	NO_2	NO_3	органический	NH_4	NO_2	NO_3	органический	NH_4	NO_2	NO_3	органический	NH_4	NO_2	NO_3	органический	NH_4	NO_2	NO_3
Северный	Поверхностный . . .	220	4	33	—	51	0	0	846	74	0	15	600	370	0	0	—	380	0	0	610	80	2	1	470	460	0	0
	Придонный	160	4	32	—	58	0	0	—	71	0	23	550	360	0	0	—	310	0	0	610	80	2	1	470	370	0	0
Южный	Поверхностный . . .	90	3	22	—	46	0	0	869	75	1	26	670	460	0	0	500	148	0	0	650	80	0	1	560	270	0	0
	Придонный	140	3	21	—	57	0	0	655	69	0	32	690	480	0	0	—	190	0	0	600	70	0	0	590	270	0	0
Западный	Поверхностный . . .	170	4	16	815	68	0	0	722	100	1	45	770	340	0	0	600	180	0	0	520	83	2	—	470	610	0	0
	Придонный	120	4	8	700	46	0	0	653	130	1	29	670	310	0	0	—	160	0	0	572	82	1	—	570	660	0	0
Восточный	Поверхностный . . .	350	4	36	—	47	0	0	746	82	1	4	710	250	0	0	—	250	0	0	560	60	0	—	360	100	0	0
	Придонный	150	4	44	—	72	0	0	885	79	0	23	530	230	0	0	—	203	0	0	540	80	0	—	380	90	0	0
Центральный	Поверхностный . . .	120	2	19	780	51	0	0	745	91	0	21	620	290	0	0	720	190	0	0	500	90	1	0	540	440	0	0
	Придонный	120	2	39	000	48	0	0	613	109	0	80	570	380	0	0	620	240	0	0	424	100	—	—	470	410	0	0
Среднее по морю		149	3	27	720	54	0	0	660	88	—	30	640	327	0	0	620	225	0	0	560	80	1	0	490	370	0	0
Таганрогский залив	Поверхностный . . .	150	7	23	—	4	0	0	627	108	3	84	800	480	0	0	840	360	0	0	830	150	2	58	650	440	1	12
	Придонный	140	5	22	—	77	0	0	682	106	3	60	800	490	0	0	810	360	0	0	810	160	3	27	660	360	5	14
Среднее по заливу		145	6	22	—	40	0	0	654	107	3	67	800	486	0	0	820	360	0	0	820	155	2	42	655	400	3	13

1952 и 1953 гг., составляло 1 : 3 и 1 : 6. Процессы разложения органических веществ в 1952 г. проходили более энергично, чем в 1953 г.

Наши наблюдения над биогенным речным стоком Дона за трехлетний период (1951—1953 гг.) показывают, что концентрации общего и органического азота и фосфора довольно высоки. Однако, по нашим наблюдениям над стоком Дона в 1953 г., в июле произошло некоторое снижение органического азота и фосфора вследствие снижения в паводковых водах Дона, проходящих через плотину из Цимлянского водохранилища, взвешенных веществ.

Проба, взятая в мае 1953 г. ниже плотины Цимлянского водохранилища, показала, что вода имеет высокую прозрачность, равную 1,5 м. В предыдущие годы до зарегулирования стока Дона прозрачность его воды была 0,2—0,3 м и содержание азота и фосфора в 1951 и 1952 гг. было значительно больше, чем в 1953 г. (табл. 9).

Таблица 9

Содержание азота и фосфора (в мг/м³) в воде Азовского моря, Таганрогского залива и речного стока Дона в 1951—1953 гг.

Район	Месяц	Фосфор						Азот					
		1951		1952		1953		1951		1952		1953	
		общий	органический	общий	органический	общий	органический	общий	органический	общий	органический	общий	органический
Азовское море	Апрель	34	33	39	27	69	60	920	720	710	660	750	640
	Июль	50	42	51	48	39	36	950	620	780	560	570	490
Таганрогский залив	Апрель	47	36	122	108	113	91	—	—	700	654	980	800
	Июль	82	53	92	62	65	53	1300	820	1200	620	850	655
Речной сток Дона: у хутора Донского в среднем	Апрель	196	93	246	118	262*	130	2152	2030	1742	1390	1533*	1190
	Май												
у Цимлянской плотины	Май					165	90					600	310

* Речной сток в 1953 г. был в основном Северного Донца.

ВЫВОДЫ

1. Различие в вертикальном распределении температуры в разные годы вызывается преимущественно ветровым режимом. Наиболее резко выраженная температурная стратификация наблюдалась в июле и августе 1951 г. В июле 1952 и 1953 гг. вследствие наиболее сильной ветровой деятельности, распределение температуры по вертикали в толще воды было более равномерным.

2. В Азовском море, и особенно в Таганрогском заливе, соленость сильно колеблется в зависимости от направления течений, от величины речного стока и от направления и силы ветра.

В 1949 и 1950 гг. при значительном уменьшении стока Дона соленость воды Азовского моря увеличилась.

В Таганрогском заливе в 1949—1950 гг. из-за низкого паводка Дона соленость повысилась, в 1951 г., когда был более сильный паводок Дона, произошло опреснение, особенно в восточной его части, в 1952 г. отмечено весьма значительное повышение солености во всех районах залива, в 1953 г. — понижение.

3. Содержание растворенного кислорода в воде Азовского моря весьма велико. Весной в большей части моря отмечено пересыщение воды кислородом во всей ее толще, достигающее до 130%.

Летом (июль—август) верхние слои воды в большей части моря были пересыщены кислородом. В это же время у дна наблюдалось снижение кислорода, доходившее иногда до критического минимума для животных. В августе 1951 г. количество кислорода в придонных слоях снизилось до нуля, чему способствовали длительный штиль и большое количество отмершего фитопланктона, опускающегося на дно.

4. В Азовском море окисляемость (от 2—3 мг O_2/l) воды значительно выше, чем в Каспийском (1,14—2,10 мг O_2/l) и Аральском (0,9—0,7 мг O_2/l) морях. Большая окисляемость в Азовском море определяется высокой продукцией фитопланктона. При малой глубине моря процессы фотосинтеза охватывают всю толщу воды до дна.

5. Содержание кремнекислоты в воде Азовского моря резко меняется по сезонам. Весной, во время цветения диатомовых, наблюдается уменьшение содержания от 360 до 600 мг Si/m^3 , летом содержание ее увеличивается до 1000 мг Si/m^3 . Летнее увеличение вызвано стоком Дона и Кубани, распространяющимся к этому времени на всю площадь Азовского моря. Однако речной сток является существенным, но не определяющим фактором в летнем повышении кремния в море. Основными причинами повышения содержания кремния являются процессы регенерации кремния планктонных организмов и подачи из донных отложений.

6. Сезонные колебания содержания фосфатного фосфора в Азовском море выражены весьма ясно. Зимой, при замедленной жизнедеятельности фитопланктона, содержание фосфатов увеличивается, а весной в большинстве районов моря падает иногда до аналитического нуля.

В апреле 1951 г. небольшие количества фосфатов от 0 до 2 мг P/m^3 были обнаружены только в восточной части моря и в Таганрогском заливе (11 мг P/m^3), в остальных частях они отсутствовали вследствие потребления фитопланктоном. В эти сезоны 1952 и 1953 гг. были обнаружены значительные количества фосфатов (от 9 до 12 мг P/m^3) во всех районах моря, что обусловлено большими запасами фосфатов в море, накопленных в течение зимы при слабом ледовом покрове и сильном ветровом перемешивании.

Летом (июль, август) фосфаты отмечены по всему морю. Присутствие их в воде Азовского моря обусловлено не только процессом минерализации отмершего планктона, но также приносом их водами рек Дона и Кубани.

В последние годы (1951—1953) при зарегулировании стока Дона наблюдается некоторое уменьшение фосфатов в воде Азовского моря.

Содержание органического фосфора в воде Азовского моря (38—50 мг P/m^3) по сравнению с Каспийским (21—28 мг P/m^3) и Белым (24—34 мг P/m^3) морями довольно велико. Среднее содержание органического фосфора весной составило 30 мг P/m^3 , летом отмечено увеличение до 45 мг P/m^3 .

В июле 1953 г. содержание органического фосфора несколько уменьшилось по сравнению с предыдущими годами.

7. Содержание аммонийного азота в воде Азовского моря весьма значительно, причем летом (в среднем 300 мг N/m^3) выше, чем весной (в среднем 90 мг N/m^3).

Нитраты и нитриты в сравнительно небольших количествах были обнаружены только весной (апрель) 1951 и 1953 гг., а в 1952 г. они не отмечены.

В июле эти элементы отсутствовали.

Содержание органического азота в воде Азовского моря довольно высоко — в среднем 600 мг N/m^3 . Весной содержание его (в среднем

670 мг N/м³) значительно выше, чем летом (в среднем 550 мг N/м³). Это, повидимому, объясняется усиленными процессами аммонификации с повышением температуры воды.

В июле 1953 г. содержание органического азота было меньше, чем в предыдущие годы.

Колебания в содержании соединений азота и фосфора в воде Азовского моря обусловлены различными величинами биомассы планктона, а также количественным и качественным изменением стока Дона.

Уменьшение азота и фосфора в воде Азовского моря в июле 1953 г. произошло, повидимому, из-за уменьшения этих элементов в речной воде в результате трансформации ее в Цимлянском водохранилище.

В заключение автор выражает глубокую благодарность проф. С. В. Бруевичу за ценные указания по работе.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Бруевич С. В., Методика химической океанографии, изд. Управления ТМС, 1923.
2. Бруевич С. В., Стандартные методы гидрохимических определений в море, Пищепромиздат, 1938.
3. Винберг Г. Г., Случай летнего замора рыб в озере, «Природа», 1951, № 2.
4. Горшкова Т. И., Химический состав грунтовых растворов Азовского моря и Таганрогского залива (напечатано в этом сборнике).
5. Дацко В. Г., О причинах заморов в Азовском море, Труды АзчерНИРО, вып. 15, Крымиздат, 1951.
6. Книпович Н. М., Гидрологические исследования в Азовском море, Труды Азово-Черноморской научно-промысловой экспедиции, вып. 5, 1932.
7. Мордухай-Болтовской Ф. Д., Влияние гидротехнической реконструкции Дона на биологию Азовского моря, Труды Всесоюзного гидробиологического общества, т. V, изд. АН СССР, 1953.
8. Пицык Г. К., О фитопланктоне Азовского моря, Труды АзчерНИРО, вып. 15, Крымиздат, 1951.
9. Скопинцев Б. А., Перманганатный метод определения органического вещества в морской воде, Труды ГОИН, № 10 (22), 1948.
10. Трофимов Д. В., Фотометрическое изучение дифениламиновой реакции и применение ее для определения малых количеств нитритов, «Журнал прикладной химии», т. X, 1936, № 4.
11. Федосов М. В., Причины возникновения дефицита кислорода в Азовском море (напечатано в этом сборнике).
12. Федосов М. В., Химическая основа кормности Азовского моря и прогноз ее изменений в связи с гидростроительством на реках (напечатано в этом сборнике).
13. Федосов М. В. и Виноградова Е. Г., Основные черты гидрохимического режима Азовского моря (напечатано в этом сборнике).