

## ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ ВОДНЫХ МАСС СЕВЕРНОГО КАСПИЯ

Канд. хим. наук М. В. ФЕДОСОВ, Л. А. БАРСУКОВА

Анализ многочисленных данных о газовом (кислородном) режиме водных масс Северного Каспия с учетом ранее проведенных исследований показывает, что в основном воды Северного Каспия хорошо аэрируются.

Активная реакция воды (рН) свидетельствует о том, что даже в придонных слоях водоема в основном не происходит накопления свободной углекислоты или других газообразных продуктов распада орга-

Таблица 1

Средние величины рН и процент насыщения кислородом воды различных районов предустьевое пространство р. Волги (за период навигации)

Районы	1935 г.		1936 г.		1937 г.		1938 г.		1939 г.	
	рН	O <sub>2</sub>	рН	O <sub>2</sub>	рН	O <sub>2</sub>	рН	O <sub>2</sub>	рН	O <sub>2</sub>
Западный . . . .	8,52	96	8,62	106	8,59	98	8,62	104	8,54	94
Центральный . .	8,50	94	8,55	97	8,52	101	8,52	103	8,44	94
Восточный . . .	8,56	93	8,50	101	8,65	102	8,50	104	8,65	96
Средняя величина за год										
	8,53	94	8,56	102	8,59	101	8,56	106	8,53	94

Таблица 2

Средние величины рН и процент насыщения кислородом воды различных районов Северного Каспия (в среднем по годам за период навигации)

Разрезы	1935 г.		1936 г.		1937 г.	
	рН	O <sub>2</sub>	рН	O <sub>2</sub>	рН	O <sub>2</sub>
Четыре бугра—Чеченский буй	8,31	101	8,48	97	8,38	100
Забурунье—о-в Кулалы . . . .	—	—	8,44	96	8,36	101
Забурунье—о-ва Колпинные . .	8,37	99	9,42	93	8,33	97
О-в Камынин—п-ов Бузачи . .	8,35	96	8,40	98	8,34	99
Поперечный разрез западной части Северного Каспия . . .	8,30	109	8,45	98	8,36	104
Средние величины за год						
	8,33	101	8,44	96	8,35	100

## Продолжение

Разрезы	1938 г.		1939 г.		1949 г.		1950 г.	
	pH	O <sub>2</sub>	pH	O <sub>2</sub>	pH	O <sub>2</sub>	pH	O <sub>2</sub>
Четыре бугра—Чеченский буй	8,43	102	8,27	102	—	—	—	—
Забурунье—о-в Кулалы . . . .	8,39	100	8,28	96	8,46	98	8,51	91
Забурунье—о-ва Колпинные . .	8,35	101	8,28	95	8 56	96	8,92	98
О-в Камынин—п-ов Бузачи . .	8,36	98	8,27	97	8,57	96	8,49	97
Поперечный разрез западной части Северного Каспия . . .	8,43	101	8,32	96	—	—	—	—

Средние величины за год

8,39	100	8,29	97	—	—	—	—
------	-----	------	----	---	---	---	---

нического вещества. Несмотря на то что значительная часть донных отложений в восточной части Северного Каспия содержит сульфиды, как это было установлено в 1934 г., в придонных слоях воды в теплое время года в открытой части моря не обнаруживалось признаков дефицита кислорода. В наиболее глубокой зоне восточной части Северного Каспия (Уральская бороздина) не было обнаружено даже в подледный период дефицита кислорода, понижения активной реакции (pH) и следов сероводорода. И в дальнейшие годы основные водные массы Северного Каспия в отношении газового режима находились круглый год в благоприятном состоянии, обеспечивавшем жизнедеятельность населяющих море водных организмов и рыб.

В табл. 1—3 и на рисунке приводятся материалы по газовому режиму Северного Каспия за ряд лет.

В то же время в Северном Каспии имеют место случаи резкого падения содержания кислорода и накопления углекислоты в придонных слоях воды. В Северном Каспии следует различать три основных случая образования неблагоприятного газового режима.

1. В зимний, подледный, период биологически неблагоприятный кислородный режим создается в прибрежных мелководьях, лежащих между северным берегом и подводными отмелями, расположенными вдоль берега, и в мелководном районе между о-вом Кулалы и материковым берегом Бузачи—Мангышлак, который изобилует зарослями фитобентоса.

Основной причиной возникновения в этих районах в зимний период неблагоприятного газового режима является образование ледового покрова, изолирующего водную толщу от атмосферного воздуха. У северного побережья вода над подводными отмелями иногда промерзает почти до дна, в результате чего водообмен подледных водоемов с открытой частью моря почти полностью прекращается.

Накопление большого количества органического вещества за счет значительных масс отмирающего фитобентоса и его распад увеличивают интенсивность потребления кислорода из водной толщи, что создает в этих водоемах при отсутствии поступления кислорода из атмосферы дефицит его. Распадающееся органическое вещество служит источником углекислоты и других газообразных продуктов распада.

Над песчанистыми грунтами наблюдается полная насыщенность воды кислородом. Над илистыми грунтами, наоборот, наступает кислородная депрессия и происходит накопление углекислоты. Данные по

Таблица 3

Величины рН и среднее содержание растворенного в воде кислорода  
в различных районах Северного Каспия в 1954 г.

Районы моря и разрезы моря	Июнь			Август		
	O <sub>2</sub>		рН	O <sub>2</sub>		рН
	мл/л	%		мл/л	%	
Юго-западный мелководный район . . . . .	5,73	96	8,16	8,97	147	8,62
	5,33	92		6,07	100	
Северо-восточный мелководный район . . . . .	5,85	106	8,48	5,92	97	8,63
	5,90	107		6,01	99	
Предустье р. Волги . . . . .	5,98	101	8,28	6,12	103	8,67
	5,66	96		6,47	109	
Предустье р. Урала . . . . .	5,35	99	8,41	5,80	102	8,53
	5,41	100		5,77	106	
Восточный мелководный район . . . . .	5,50	98	8,48	5,82	96	8,48
	5,21	94		6,42	111	
Разрез Четыре бугра—Чеченский буй . . . . .	6,11	101	7,91	5,96	103	8,44
	5,86	96	8,35	3,78	66	8,37
Разрезы:						
Забурунье о-в Кулалы . . . . .	5,58	102	8,40	5,85	99	8,51
	5,43	96	8,32	5,81	99	8,52
Забурунье о-ва Колпинные . . . . .	5,83	100	8,42	5,44	97	9,46
	5,72	98	8,11	5,79	96	8,45
о-в Камынин—п-ов Бузачи . . . . .	5,59	97	8,40	5,87	95	8,54
	5,51	96	8,37	5,88	95	8,52
О-в Чечень—п-ов Мангышлак . . . . .	6,61	117	8,37	6,05	107	8,59
	6,17	87	8,08	4,91	82	8,22
О-в Тюлений—о-в Кулалы . . . . .	6,04	105	8,47	5,93	103	8,62
	5,50	98	8,40	4,40	76	8,45
Центральный глубоководный район . . . . .	5,59	101	8,39	5,85	101	8,00
	5,41	90	8,38	4,77	83	8,52
Западный глубоководный район . . . . .	5,98	98	8,40	5,96	101	8,69
	5,50	90	8,33	4,96	84	8,52
Уральская бороздина . . . . .	5,87	100	8,36	5,76	96	8,54
	5,75	98	8,22	5,71	94	8,52

Примечание. Числитель—поверхность; знаменатель—дно.

неблагоприятному газовому режиму в зимнее время в Северном Каспии приводятся в табл. 4.

2. Неблагоприятный газовый режим водных слоев наблюдается в летний период.

В летнее время в местах стыка волжских струй с водами Северного и Среднего Каспия образуется два слоя воды, различных по плотности и расположенных один над другим, вследствие чего придонный слой изолируется от атмосферного воздуха.

Основной причиной возникновения в этих местах дефицита кислорода является специфический гидрологический режим соприкасающихся здесь двух водных масс: опресненной воды сверху и морской воды снизу.

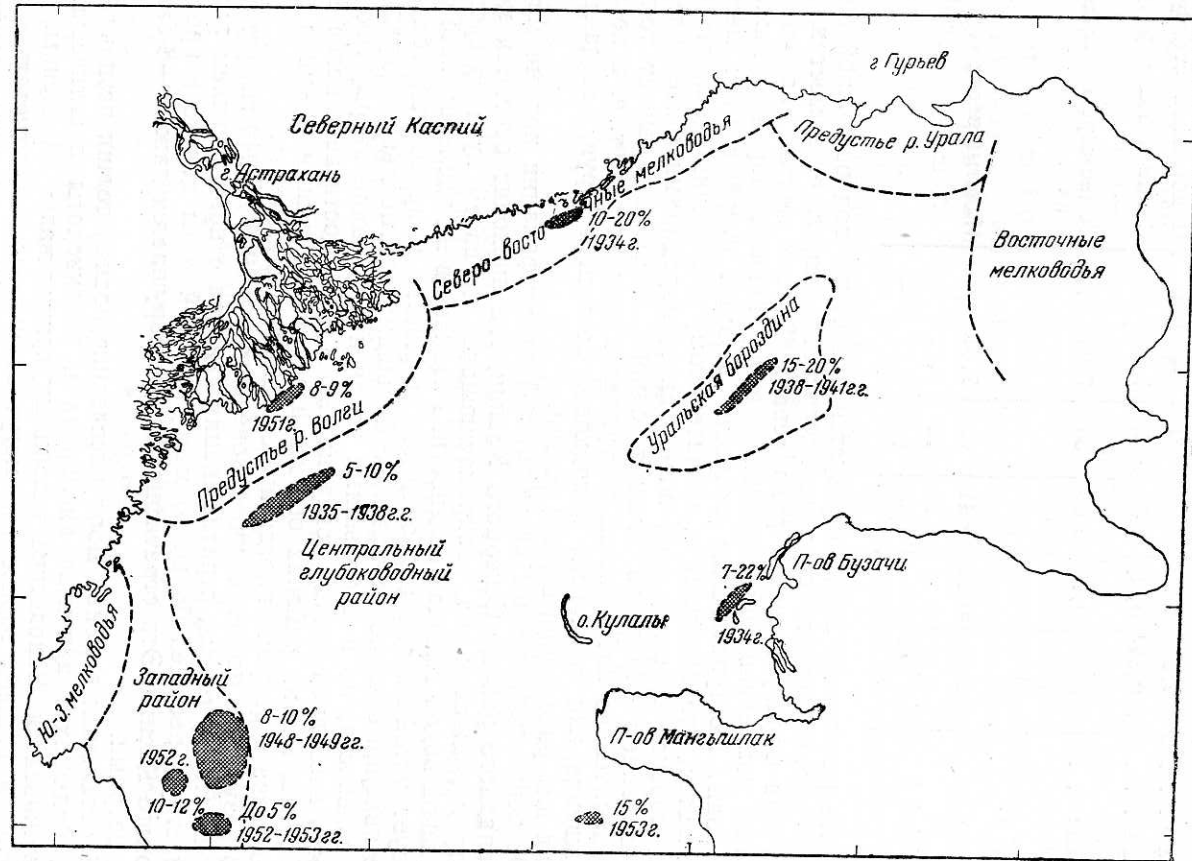


Схема распределения кислорода у дна в различные годы (в % насыщения).

Таблица 4

Газовый подледный режим в Северном Каспии

Дата	Глубина в м	Горизонт в м	Содержание кислорода		рН	H <sub>2</sub> S в мг/л (в воде)	Примечание
			в мл	в %			
1934 г.							
7 февраля . . . . .	2,5	0	2,09	22	—	0	Прибрежная станция
8 февраля . . . . .	0,85	0,75	0,65	7	7,23	0	Серый песок с ракушкой
25 февраля . . . . .	0,85	0,75	3,66	38	7,83	1,6	Темно-серый жидкий ил
1941 г.							
3 февраля . . . . .	0,45	0,4	6,41	66	7,63	—	Илистый песок
	1,20	0	8,85	90	8,11	—	То же
	1,20	1,1	8,79	89	8,11	—	"

Такое расслоение воды образуется при стыке вод различной плотности в местах резкого снижения морского дна, т. е. в местах, где рельеф дна образует своего рода «свал». В этих местах появляется встречное компенсационное течение, затрудняющее аэрацию нижних слоев воды. Поступательная скорость водных струй в этих местах уменьшается, что приводит к значительному осаждению даже мелких частиц морской взвеси в этой зоне. Такое гидродинамическое явление с образованием обратного течения, однако, возможно бывает только при сравнительно интенсивном поступлении речных вод, т. е. в период прохождения над «свалами» паводковой волжской струи, создающей условия для расслоения водной толщи.

Особенно подвержены вертикальной стратификации водные массы юго-западного района Северного Каспия, где проходит основная мощная струя волжских вод, соприкасающаяся на своем пути со среднекаспийской водой высокой солености. Различие в их удельном весе способствует устойчивости кислородного дефицита в придонной области. Такое явление связано не только с большими вертикальными градиентами солености, но и с большими градиентами температуры, так как разность последней между поверхностью и дном достигает иногда 10—12°. Грунты в этих районах обычно изобилуют мягкими илами с примесью песка и ракушки, иногда имеют запах сероводорода.

В результате исследований, проведенных в 1948 и 1949 гг., установлено, что такая резкая стратификация связана с прохождением паводковой струи, несущей большую массу пресной воды далеко в пределы Северного Каспия. Эта стратификация не нарушается даже 5—6-балльными ветрами.

В остальных районах моря расслоение водной толщи незначительно, и больших градиентов кислорода и углекислоты практически не обнаруживается. Вследствие указанных причин воды, обедненные кислородом, в нижних горизонтах могут сдвигаться или исчезать совершенно в зависимости от величины стока р. Волги, степени смешения вод, характера грунтов, рельефа дна и гидрометеорологических условий моря. Так, например, в конце августа 1934 г. на границе Северного и Среднего Каспия наблюдался в придонном слое дефицит кислорода, доходивший до 78—96%, и значительный градиент величины рН (0,42—0,86). В этом же районе в середине 1952 г. дефицит кислорода у дна был сравнительно незначительным (30%), как и градиент величины рН (0,18).

Оба года (1934 и 1952) характеризуются почти одинаковой величиной волжского стока, но значительно различаются по характеру «волжской струи», проходящей из Северного Каспия в Средний в западной зоне границы раздела этих частей Каспийского моря.

Различие в состоянии волжской струи при выходе ее из Северного Каспия в Средний следует объяснить резким различием уровня моря в эти годы, т. е. различной интенсивностью подпора волжской струи со стороны морских вод. Действительно, в 1934 г. в наблюдаемой зоне волжская струя уже в значительной мере смешалась с водами Северного Каспия до величины солености 8,5‰. В 1952 г. при значительно более низком уровне моря, а следовательно, и меньшей интенсивности подпора морскими водами речной струи, Л. А. Барсукова наблюдала в том же месте волжскую струю, резко обособленную от встречных вод, идущих из Среднего Каспия. Такое перераспределение водных масс в Северном Каспии происходит под влиянием ветра [5]. Средняя соленость струи была около 1,3‰, соленость морской воды примерно 10‰.

Вследствие этого в 1952 г. зона большого дефицита кислорода сместилась к западу, ближе к острову, где и было обнаружено только 1,16 мл O<sub>2</sub>/л и градиент рН достигал 0,73.

**Условия образования дефицита кислорода в нижнем слое воды в юго-западном районе Северного Каспия**

Градиент температуры (Δt) воды в °С . . . . .	4,6	12,6	0,2	12,4	2,8	9,9	9,4
Градиент солености (ΔS) в ‰ . . . . .	7,54	11,30	0	6,02	6,59	9,45	7,64
Процент насыщения кислородом придонного слоя . . . . .	37	25	65	28	55	51	51
Градиент рН . . . . .	0,65	0,31	0,20	0,67	0,41	0,53	0,58

В мелководном юго-западном районе, защищенном островом от открытого моря, наблюдался дефицит кислорода и при отсутствии значительного градиента температуры и солености. Большое количество отложившегося на дне органического вещества и отсутствие течений обусловили при сильном прогреве всего слоя воды наблюдавшийся дефицит кислорода:

Градиент температуры воды в °С . . . . .	2,5
Градиент солености в ‰ . . . . .	0,24
Процент насыщения воды кислородом у дна . . . . .	9
Градиент рН . . . . .	0,82

**Гидрологические разрезы на границе Северного и Среднего Каспия**

1934 г. август							
Градиент температуры воды в °С . . . . .	0,7	0,1	0,7	0,1	1,1	0,2	0,1
Градиент солености в ‰ . . . . .	0	2,45	2,77	0	0,67	0	0
Насыщение воды кислородом у дна в % . . . . .	113	49	45	105	22	89	88
Градиент рН . . . . .	0,04	0,37	0,51	0,0	0,42	—	—
1952 г. август							
Градиент температуры воды в °С . . . . .	0	0,4	0,9	0,2	0	0	
Градиент солености в ‰ . . . . .	0,2	2,97	0,12	0,24	0	0,12	
Насыщение воды кислородом у дна в % . . . . .	100	112	70	98	86	97	
Градиент рН . . . . .	0,18	0,14	0,10	—	0	0	

Величина наступившего дефицита кислорода зависит в основном от стока р. Волги и гидрометеорологических условий моря и имеет стойкий, но непродолжительный характер. Уже в конце июня, когда струя пресных паводковых вод в море ослабевает (табл. 5), двухслойное состояние водной толщи в местах стыка речных вод с морскими исчезает и насыщение нижнего слоя воды кислородом восстанавливается.

Таблица 5

Образование и исчезновение дефицита кислорода в районах стыка паводковой волжской воды с морскими водами (1948 г.)

Квадрат	Горизонт взятия пробы в м	O <sub>2</sub> в мл/л	
		середина июня	конец июня
373	0	6,73	7,39
373	6,5	1,28	6,60
401	0	6,50	7,28
401	7,5	2,67	6,83
422	0	6,35	6,83
422	10,5	2,45	7,22
440	0	5,69	7,05
440	13,5	1,74	6,83
460	0	6,04	7,16
460	11,0	1,74	8,51

В связи с уменьшением водоносности отдельных рукавов дельты, их обмелением, уменьшением скоростей течения в них, а также вследствие сильного летнего прогрева, усилившегося за последние годы, в этой зоне предустья были обнаружены места с неблагоприятным газовым режимом.

В прежние годы в этой зоне не наблюдалось признаков неблагоприятного газового режима, так как сильные течения в этих местах и меньшая зарастаемость в те годы растительностью не способствовали образованию застойных водных пространств.

3. Неблагоприятный газовый режим наблюдается в авандельтовых участках предустья, култуках, ильменях, изобилующих водной растительностью. Летние высокие температуры воздуха способствуют сильному прогреву авандельтовых мелководий, играющих немаловажную роль в воспроизводстве рыбных запасов Волго-Каспийского района.

В основном дефицит кислорода наблюдается в прибрежных зарослях морских островов, в глубине зарослей водной растительности и в плохопроточных култуках и ильменях, где водообмен затруднен и почти полностью отсутствуют течения. В этих зарослях происходит обогащение воды углекислотой, смещение рН в кислую сторону [1] и наступает острый дефицит кислорода в период с июля по сентябрь [2, 3].

В результате недостатка кислорода и высокого содержания углекислоты ухудшаются условия обитания молоди рыб и даже наблюдаются случаи ее гибели.

Для обеспечения благоприятного газового режима в дельте и авандельте р. Волги необходимо прочищать авандельту или хотя бы бороздины авандельты от водной растительности.

В 1954 г., в отличие от предыдущих лет, нами определялось биохимическое потребление кислорода на 160 станциях Северного Каспия в течение 2 и 4 суток. Полученные данные приведены в табл. 6, а районы наблюдений — на рисунке.

Таблица 6

Биохимическое потребление кислорода (в мл/л) в водах Северного Каспия в 1954 г.

Районы моря и разрезы	Июнь		Август	
	2 суток	4 суток	2 суток	4 суток
Юго-западный мелководный район . . . . .	1,13	1,55	1,42	1,72
	0,90	1,25	0,51	1,58
Предустье р. Волги . . . . .	1,40	1,90	0,98	1,58
	1,64	2,25	1,52	1,74
Предустье р. Урала . . . . .	0,57	0,70	0,43	0,60
	0,41	0,86	0,24	0,88
Северо-восточный мелководный район . . . . .	0,69	0,93	0,52	0,78
	0,98	1,06	0,28	0,77
Восточный мелководный район	0,34	0,34	0,32	0,33
	0,35	0,57	0,72	1,09
Разрезы:				
Четыре бугра—Чеченский буй . . . . .	1,03	1,02	0,99	1,58
	0,55	0,49	1,09	1,74
Забурунье—о-в Кулалы . . . . .	0,49	0,49	0,59	0,77
	0,14	0,57	0,28	0,77
Забурунье—о-ва Колпинные . . . . .	0,46	0,56	0,31	0,44
	0,95	0,69	0,24	0,43
О-в Камынин—п-ов Бузачи . . . . .	0,37	0,78	0,24	0,63
	0,26	0,78	0,20	0,63
О-в Чечень—п-ов Мангышлак . . . . .	0,88	1,23	0,79	1,11
	0,78	1,28	0,77	1,09
О-в Тюлений—о-в Кулалы . . . . .	0,38	0,86	0,95	1,49
	0,42	0,73	0,74	1,33
Центральный глубоководный район . . . . .	0,69	0,90	0,80	1,43
	0,62	0,67	1,03	1,43
Западный глубоководный район . . . . .	1,01	1,26	0,87	1,80
	1,08	1,27	0,96	2,02
Уральская бороздина . . . . .	0,39	0,48	0,26	0,45
	0,35	0,59	0,20	0,49

Биохимическое потребление кислорода является хорошим показателем присутствия больших или меньших количеств органических веществ, требующих для того или иного вида окислительных процессов больших или меньших количеств кислорода. Для оценки полученных данных была подсчитана степень использования кислорода на окислительные процессы, т. е. количество кислорода в % от общего содержания его в данном районе, израсходованного на окислительные процессы в воде в течение 2 и 4 суток (табл. 7).



Таблица 7

Степень использования кислорода вод Северного Каспия на окислительные процессы в них (в % от имеющегося кислорода в мл/л) в 1954 г.

Районы моря и разрезы	Июнь		Август	
	2 суток	4 суток	2 суток	4 суток
Юго-западный мелководный район . . . . .	20	27	16	19
	17	25	6	20
Предустье р. Волги . . . . .	23	32	16	26
	29	40	23	27
Предустье р. Урала . . . . .	11	13	7	10
	8	16	4	15
Северо-восточный мелководный район . . . . .	12	16	9	13
	17	18	5	13
Восточный мелководный район	6	6	6	6
	7	11	11	17
Разрезы:				
Четыре бугра—Чеченский буй . . . . .	17	17	17	27
	9	нет данных	29	46
Забурунье—о-в Кулалы . . . . .	8	9	10	13
	8	11	6	18
Забурунье—о-ва Колпинные . . . . .	8	10	5	8
	4	12	4	7
О-в Камынин—п-ов Бузачи . . . . .	7	14	4	11
	5	14	3	11
О-в Чечень—п-ов Мангышлак	13	19	13*	18*
	13	20	16	22
О-в Тюлений—о-в Кулалы . . . . .	6	14	16*	25*
	8	13	17	30
Центральный глубоководный район . . . . .	12	15	14*	24*
	11	12	22	21
Западный глубоководный район . . . . .	17	21	15	30
	20	23	19	43
Уральская бороздина . . . . .	7	8	5	8
	11	12	4	9

\* Высокие цифры за счет западных станций.

Полученные данные прежде всего позволяют отметить, что в большинстве случаев основная доля кислорода расходовалась на окислительные процессы в первые 2 суток, особенно на поверхности водной толщи. В придонной же области в ряде случаев основная доля кислорода расходовалась не в первые 2 суток, а на 3—4-е сутки.

Далее следует, что максимальные количества кислорода как в июне, так и в августе 1954 г. расходовались на окислительные процессы в районе волжского стока: в западных мелководном и глубоководном районах (предустье р. Волги и разрез Четыре бугра—Чеченский буй). Наконец, можно отметить, что в более мелководных районах Северного Каспия кислорода на окислительные процессы расходовалось в июне

больше, чем в августе; в глубоководных районах, наоборот, расход кислорода в августе значительно превышал расход его в июне, особенно в придонной области. Так, например, на разрезе Четыре бугра — Чеченский буй расход кислорода в придонной области повысился с 9 до 29%, а на разрезе о-ов Тюлений — о-ов Кулалы — с 13 до 30% общей величины содержания кислорода в воде. Такое перераспределение максимума биохимического потребления кислорода хорошо согласуется с перемещением водных масс, обогащенных речным стоком, в глубь моря. С этим связано развитие фитопланктона в море и его последующий распад.

### ВЫВОДЫ

1. Газовый режим вод Северного Каспия в основном характеризуется высоким содержанием кислорода.

2. В Северном Каспии, однако, наблюдаются случаи резкого падения содержания кислорода, приводящие к заморным явлениям.

3. Следует различать три основных случая возникновения дефицита кислорода в воде Северного Каспия:

зимой неблагоприятный для водных организмов кислородный режим образуется подо льдом в прибрежных мелководных районах;

летом в местах стыка волжских струй с морскими водами наблюдается расслоение водной толщи на два слоя, причем нижний слой воды изолирован от атмосферного кислорода. В этих местах (главным образом в юго-западном районе Северного Каспия, на свалах) у дна возникает дефицит кислорода;

неблагоприятный газовый режим наблюдается в авандельтовых участках взморья, а также в култуках и ильменах дельты р. Волги в летне-осенний период вследствие сильного поглощения растворенного кислорода водной растительностью.

4. Очистка дельтовых и авандельтовых участков от водной растительности — мера борьбы с дефицитом кислорода в этих водоемах.

5. Летний дефицит кислорода на свалах наблюдается чаще в годы большого стока р. Волги, но зависит также и от ветрового режима в этой части моря. Возникает он в местах резкой температурной и солевой стратификации водной толщи.

6. Дефицит кислорода в Северном Каспии имеет сезонный характер. Летний дефицит на свалах бывает обычно непродолжительным.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Барсукова Л. А., Гидрохимический режим волжской авандельты в районе Кировского банка, Труды Каспийского филиала ВНИРО, т. XII, Астрахань, 1952.
2. Бруевич С. В., Гидрохимия Среднего и Южного Каспия (по работам 1934 г.), Труды по комплексному изучению Каспийского моря, вып. 4, АН СССР, 1937.
3. Бруевич С. В., Гидрохимический облик Каспийского моря в 1938 г., Элементы химического баланса Каспийского моря, АН СССР, 1941.
4. Бруевич С. В. и Аничкова Н. И., Химия речного стока в Каспийское море, Элементы химического баланса Каспийского моря, АН СССР, 1941.
5. Винецкая Н. И., Современное состояние гидрологического режима Северного Каспия (напечатано в настоящем сборнике).
6. Винецкая Н. И. и Барсукова Л. А., Биогенный сток Волги, гидрохимический режим и продукция органического вещества Северного Каспия, Аннотации к работам, выполненным ВНИРО, Сборник 5, М., 1957.
7. Иванов К. И., Основные черты гидрохимического режима предустьевого пространства р. Волги и северной части Каспийского моря, Труды ГОИН, вып. 4 (16), Гидрометиздат, 1948.
8. Федосов М. В., Биохимическое потребление кислорода грунтами Северного Каспия и их относительная регенеративная способность, Труды ГОИН, вып. 10 (28), Гидрометиздат, 1948.
9. Федосов М. В., Детали гидрохимии Северного Каспия и дельты Волги, Доклады ВНИРО, вып. 1, М., 1952.
10. Федосов М. В., Особенности гидрохимии Северного Каспия подо льдом, Доклады ВНИРО, вып. 1, М., 1952.