

В Южном Каспии пересыщение воды  $\text{CaCO}_3$  в 2,5—3 раза превышает равновесное.

Пересыщение вод карбонатом кальция как в средней, так и в южной частях Каспийского моря наблюдается только в поверхностном слое (рис. 63). В средней части моря иногда уже на глубине около 30 м насыщение воды  $\text{CaCO}_3$  ниже равновесного (0,8). В южной части глубина слоя, пересыщенного  $\text{CaCO}_3$ , увеличивается до 60 м. Таким образом, приведенные материалы показывают, что летом вода средней и южной частей моря пересыщена карбонатом кальция от поверхности до слоя воды с максимальными градиентами температуры. Ниже этих глубин насыщенность  $\text{CaCO}_3$  уменьшается. Ко дну она падает в средней части моря до 0,4 и в южной — до 0,5<sup>1</sup>.

## Глава V

### РЕЖИМ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Из многочисленных компонентов солевого состава морской воды, представленных в ней в малых концентрациях (микрокомпоненты), важное значение имеют соединения фосфора, азота и кремния, или, как их обычно называют, биогенные вещества. Они определяют биологическую продуктивность и кормовую промышленную базу моря.

Режим биогенных веществ подчинен закономерным изменениям во времени и пространстве, зависящим от биохимических и гидрологических процессов, протекающих в море. Очень часто биогенные элементы служат более тонкими индикаторами динамики и происхождения водных масс, чем, например, соленость и другие макрокомпоненты.

Биогенные элементы входят в состав морской воды в виде различных соединений. Фосфор встречается в виде минерального соединения — ортофосфорной кислоты (ион  $\text{PO}_4'''$ ) и, кроме того, входит в состав органических веществ. Кремний находится в морской воде в виде кремневой кислоты (ион  $\text{SiO}_3''$ ), а также может давать коллоиды поликремневых кислот. Азот присутствует в море в нескольких формах связанного азота: нитратный (ион  $\text{NO}_3'$ ), нитритный (ион  $\text{NO}_2'$ ) и аммонийный (ион  $\text{NH}_4'$ ).

<sup>1</sup> К данным этого раздела следует относиться с осторожностью и выводы его считать предварительными, нуждающимися в экспериментальной проверке. По наблюдениям С. В. Бруевича (1936), воды открытой глубоководной части Южного Каспия пересыщены средним карбонатом кальция. В настоящей работе получены другие выводы. Возможно, что снижение насыщенности глубинных вод Каспия карбонатом кальция вызвано глубокими изменениями в газовом режиме и химических условиях среды в толще воды.

Значительная часть азота находится в органическом веществе, в продуктах распада белков, где он определяется, как альбуминоидный азот.

Минеральные соединения биогенных элементов являются конечными продуктами разложения органического вещества, когда происходит полная минерализация и регенерация соединений фосфора и азота. Потребление биогенных элементов происходит в верхних слоях моря; процессы разложения органического вещества и регенерации биогенных элементов протекают во всей толще воды, но главным образом в глубинных слоях, где накапливаются остатки организмов.

Соединение фосфора и азота при усиленном их потреблении лимитируют развитие фитопланктона и таким образом могут ограничивать жизнедеятельность организмов. В этом отношении кремнекислота отличается от них высоким содержанием в море, достигающим тысяч микрограммов в одном литре воды и редко падающим ниже 100 мкг Si/л. Потребление нитратного азота нередко более интенсивное, чем потребление фосфора. При полном исчезновении нитратов присутствие фосфатов еще можно обнаружить, хотя абсолютное содержание фосфора в морской воде обычно ниже, нежели содержание нитратного азота.

Содержание биогенных элементов сильно изменяется по сезонам. Весной и летом в период развития фотосинтеза фосфаты и нитраты потребляются планктоном, что иногда приводит к полному истощению этих элементов в верхних слоях воды до следов и даже до аналитического нуля. Обедненные биогенными веществами верхние горизонты обогащаются за счет нижележащих слоев в результате вертикальной циркуляции. Значительное количество биогенных веществ поступает со стоком речных вод, которые обычно относительно богаты биогенными соединениями.

Осенью и зимой, когда ослабевает или даже прекращается жизнедеятельность фитопланктона, содержание биогенных элементов в верхних слоях увеличивается за счет их регенерации и поступления из глубинных слоев в процессе зимней вертикальной циркуляции вод.

### Фосфаты

Фосфаты являются наиболее важным гидрохимическим компонентом, характеризующим биологическую продуктивность моря. В химическом отношении их соединения наиболее устойчивы по сравнению с соединениями других биогенных элементов, особенно азотистых. Содержание фосфатов в морской воде в пересчете на элементарный фосфор редко превышает 60—100 мкг/л. В Каспийском море максимальное количество фосфора за очень редкими исключениями не превышает 60 мкг/л. Концентрация фосфатов существенно изменяется в разное время года, поэтому

рассматривать их режим так же, как и других биогенных элементов, целесообразно по сезонам.

Как видно из табл. 121 и 122, на всех разрезах в верхней фотосинтетической зоне (от поверхности до 25—50 м) содержание фосфатов понижено, и в отдельных случаях (Южный Каспий) падает до аналитического нуля. Ниже 25—50 м количество фосфатов начинает постепенно возрастать, интенсивность увеличения фосфатов с глубиной понижается. В отдельных случаях во впадинах у дна отмечено даже уменьшение фосфатов по сравнению с вышележащими горизонтами (Средний Каспий, зимой на глубине 750 м).

Такой характер распределения фосфатов по глубине объясняется тем, что зона 0—100 м обеднена фосфатами в результате потребления их фитопланктоном; ниже идет непрерывное накопление и окисление падающего сверху органического вещества и регенерация фосфатов. Глубже 400—500 м этот процесс несколько замедляется в связи со сравнительно небольшим содержанием кислорода. Вертикальное распределение фосфатов на разрезах иллюстрировано в Среднем Каспии на мелководном разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак и на глубоководном разрезе Дивичи — бухта Кендырли. На первом разрезе наименьшее количество их отмечено весной и летом, 3—5 мкг Р/л, наибольшее — зимой и осенью, до 15 мкг Р/л. Изолинии на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак зимой, а иногда и поздней осенью имеют вертикальное направление, обусловленное зимней циркуляцией; кроме того, такую картину могут создавать течения в водах с разной плотностью. Очень хорошо это заметно на зимнем профиле в районе, расположенном к востоку от о. Чечень до Мангышлака, со значениями фосфатов от следов до 15 мкг Р/л (рис. 64).

Ход фосфатов в глубоководных районах на примере разрезов о. Дивичи — бухта Кендырли (IV) в Среднем Каспии и о. Куринский Камень — о. Огурчинский (VIII) в Южном ясно показывает увеличение их с глубиной от 5 мкг Р/л на поверхности до 50—60 мкг Р/л у дна. В Южном Каспии нередко наблюдается подъем изолиний высокого содержания фосфатов в восточной части (рис. 65). Это можно объяснить подъемом глубинных, обогащенных фосфатами вод. Иногда отмечается опускание обедненных фосфатами вод на глубины. Довольно часто изолинии имеют куполообразную форму, поднимаясь в средней части разреза. Различное направление изолиний свидетельствует о протекающих в воде гидрологических процессах.

Данные по разрезу о. Жилой — маяк Куули характеризуют режим фосфатов в Апшеронском районе. Этот район, как уже упоминалось, отличается большой активностью гидрометеорологических процессов, обуславливающих интенсивную подвижность вод и перемешивание их в некоторые сезоны до дна. Так, зимой

Вертикальное распределение фосфатов (мкг  $P_{PO_4^{3-}}$  /л) в Среднем Каспии. Средние данные 1958—1963 гг.

Горизонт, м	Разрезы				Среднее	Разрезы				Среднее	
	I	II	IV	VI		I	II	IV	VI		
Зима						Весна					
0	10,5	16,6	11,5	16,2	13,7	6,3	—	4,5	7,4	6,1	
10	7,0	(36,4)	9,8	14,5	10,4	5,7	—	—	4,7	5,2	
25	5,0	12,3	12,0	11,0	10,1	3,0	—	3,6	5,1	3,9	
50		—	14,2	14,8	14,5		—	9,5	6,8	8,2	
75		—	13,9	18,8	16,3		—	13,5	12,9	13,2	
100		—	14,8	16,6	15,7		—	19,1	18,3	18,7	
150			22,5	22,4	22,4			25,1	23,0	24,0	
200			24,0	23,1	23,6			26,7	28,2	27,4	
300			26,3		26,3			27,7		27,7	
400			—		—			36,6		36,6	
500			22,5		22,5			38,7		38,7	
600			20,0		20,0			44,2		44,2	
700			—		—			34,7		34,7	
750			16,0		16,0			46,6		46,6	
Лето						Осень					
0	4,5	11,9	6,3	10,7	8,3	7,8	3,1	7,3	2,3	5,1	
10	5,2	10,0	—	6,6	7,3	9,5	4,2	—	0,9	4,9	
25	3,5	8,0	3,4	4,8	4,9	—	4,7	6,6	1,9	4,4	
50	—	8,1	6,5	12,0	8,8		7,9	9,4	3,6	6,9	
100			8,8	23,9	8,8		—	10,9	8,0	9,4	
150			10,7	12,8	11,8			—	14,5	14,5	
200			17,6	(24,1)	17,6			17,6	16,2	16,9	
300			24,5		24,5			15,6		15,6	
400			26,7		26,7			22,2		22,2	
500			32,6		32,6			37,5		37,5	
600			39,6		(39,6)			36,8		36,8	
700			30,8		30,8			40,5		40,5	
750			33,2		33,2			44,3		44,3	

Вертикальное распределение фосфатов (мкг Р/л) в Южном Каспии.  
Средние данные 1958—1963 гг.

Горизонт, м	Разрезы				Среднее	Разрезы				Среднее
	VI	VII	VIII	IX		VI	VII	VIII	IX	
Зима						Весна				
0	16,2	—	9,6	9,0	11,6	7,4	0,6	6,0	2,6	4,1
10	14,5	—	9,4	8,2	9,7	4,7	0	—	1,6	2,1
25	11,0	—	6,8	10	9,3	5,1	0	2,9	1,5	3,6
50	14,8	—	6,0	9,9	10,2	6,8	0	3,7	2,0	3,1
100	16,6	—	12,2	20,4	16,4	18,3	16,6	6,9	3,7	11,4
150	22,4	—	—	—	22,4	23,0	—	19,2	17,7	20,0
200	23,1	—	19,0	26,3	22,8	28,2	32,1	18,5	20,2	24,8
300			21,6	31,5	26,6		44,6	34,2	34,2	37,7
400			27,7	29,9	28,8		46,7	36,8	32,0	38,5
500			23,1	31,6	27,4		42,9	38,8	30,3	37,3
600			—	—	—		—	35,3	—	35,3
700			27,5	25,6	26,6		—	—	—	—
750			24,2	30,8	27,5		46,6	40,6	37,8	41,7
800			—	36,2	36,2		—	43,1	44,0	43,6
Лето						Осень				
0	10,7	6,1	12,8	6,7	9,1	2,3	—	0,9	—	1,6
10	6,6	3,9	—	5,9	5,5	0,9	—	—	—	—
25	4,8	—	8,3	5,2	6,1	1,9	—	2,0	—	1,9
50	12,0	6,1	17,0	6,5	10,4	3,6	—	2,7	—	3,2
100	(23,9)	19,1	21,6	11,7	17,5	8,0	—	6,6	—	7,3
150	12,8	—	15,2	—	14,0	14,5	—	—	—	14,5
200	24,1	32,6	32,5	35,6	31,2	16,2	—	15,7	—	15,9
300		34,1	36,5	32,0	34,2		—	20,1	—	20,1
400		—	40,6	32,1	36,0		—	26,1	—	26,1
500		38,5	36,6	32,3	36,0		—	30,2	—	30,2
600		48,4	43,1	—	46,0		—	38,0	—	38,0
700		—	47,8	—	48,0		—	46,0	—	46,0
750		46,9	57,2	—	52,0		—	—	—	—
800		—	55,4	—	55,0		—	—	—	—



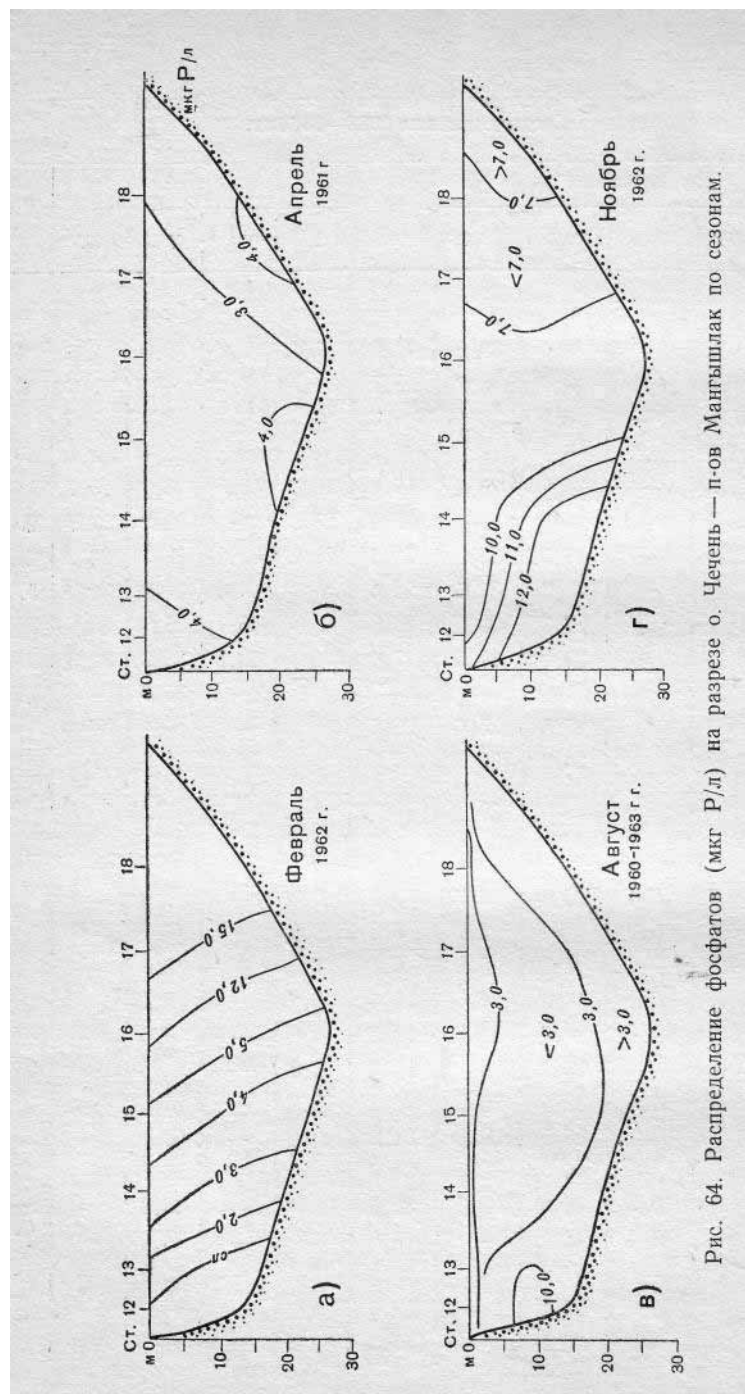


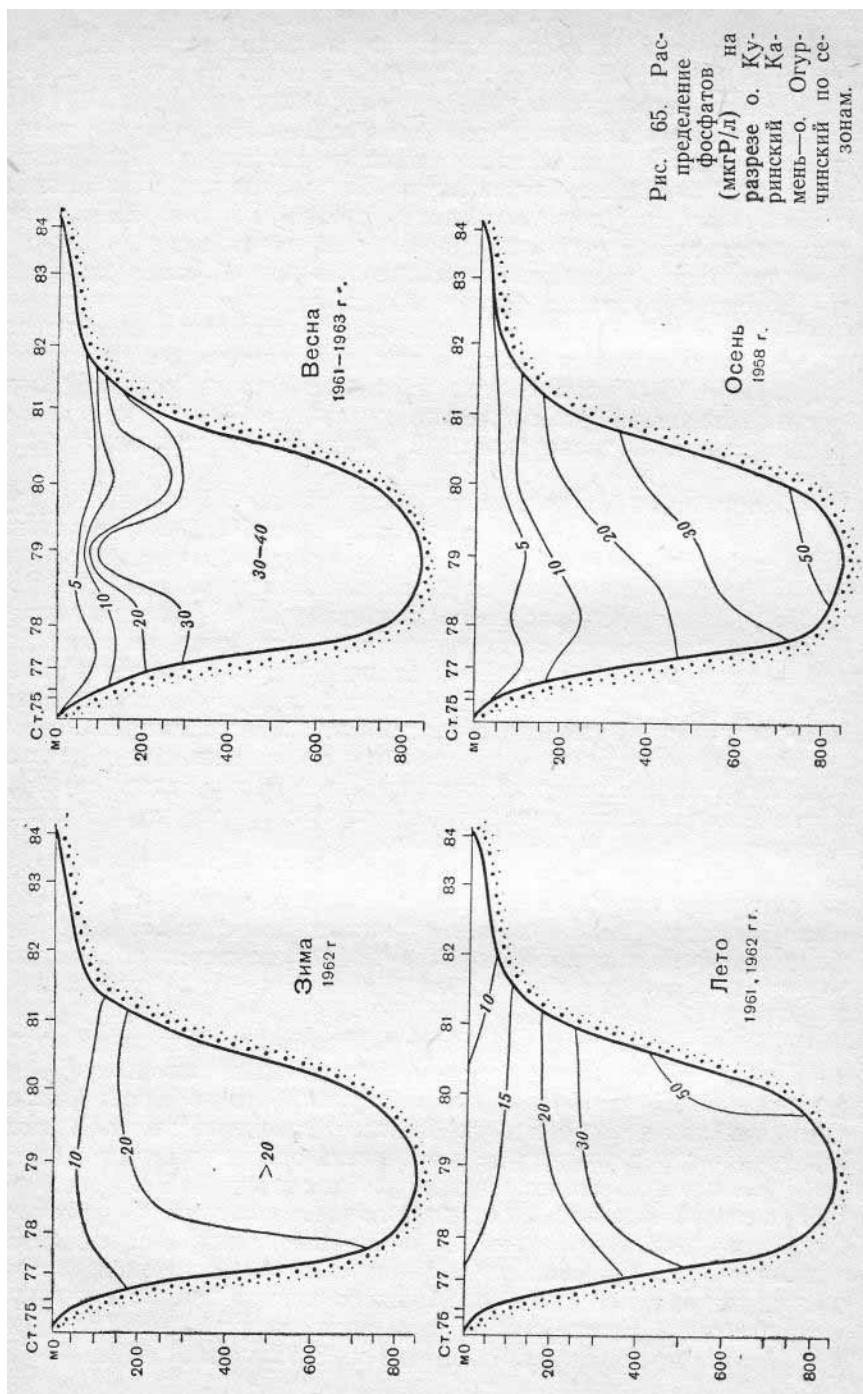
Рис. 64. Распределение фосфатов (мкг Р/л) на разрезе о. Чечень — п-ов Мангышлак по сезонам.

в распределении фосфатов наблюдается такая пестрая картина, что даже не представляется возможным провести изолинии. Сезонные изменения прослеживаются весной и летом (рис. 66). На верхних горизонтах в это время года фосфаты зачастую исчезают, что указывает на интенсивное развитие фитопланктона. Изолинии весной и осенью идут с наклоном от западного побережья к восточному, что может указывать, с одной стороны, на поступление с запада биогенных веществ с речным стоком и, с другой, на интенсивное развитие фотосинтеза и потребление фосфатов на востоке в условиях более высоких здесь температур воды. Летом изолинии симметрично поднимаются от центральной части разреза к побережьям как на запад, так и на восток. Очевидно, потребление фосфатов больше в открытой части моря в связи с фотосинтезом. На этом профиле на глубине 10—25 м отчетливо выделяется и подповерхностный минимум содержания фосфатов.

Сравнительно однородная концентрация фосфатов (5—15 мкг Р/л) наблюдается на поверхности зимой. Весной с развитием жизнедеятельности абсолютное количество фосфатов на большей части акватории моря понижается и только на некоторых участках отмечено небольшое, до 10 мкг/л, их повышение. Наиболее пестрое распределение наблюдается на поверхности летом, когда бурно развиваются биохимические процессы в море; особенно это выражено в южной части в связи с более высокими температурами воды на поверхности. Содержание фосфатов в придонных слоях мало различается по временам года. В результате разложения органического вещества и регенерации фосфатов они накапливаются у дна, особенно летом в Южном Каспии.

Для сравнения режима фосфатов в Среднем и Южном Каспии подсчитаны средневзвешенные количества элементарного запаса фосфатов (в мкг Р/л) по глубинным зонам (табл. 123). Под элементарным запасом фосфатов подразумевается абсолютное содержание их в колонке любой заданной высоты с основанием 1 дм<sup>2</sup>.

Как в Среднем, так и в Южном Каспии ясно видно различие в содержании фосфора в верхнем деятельном слое воды до 100 м и нижнем слое от 100 м до дна. Верхний слой обеднен фосфатами, так как здесь они потребляются фитопланктоном. В нижних горизонтах в результате разложения органического вещества фосфаты накапливаются. В деятельном слое воды Южного Каспия во все сезоны, кроме лета, наблюдается меньшее содержание фосфатов, чем в Среднем Каспии, что, очевидно, объясняется большим их потреблением в связи с высокой интенсивностью биохимических процессов в условиях повышенных температур воды в южной части моря. Толща воды ниже 100 м обогащена фосфатами, причем в большей степени в Южном Каспии.





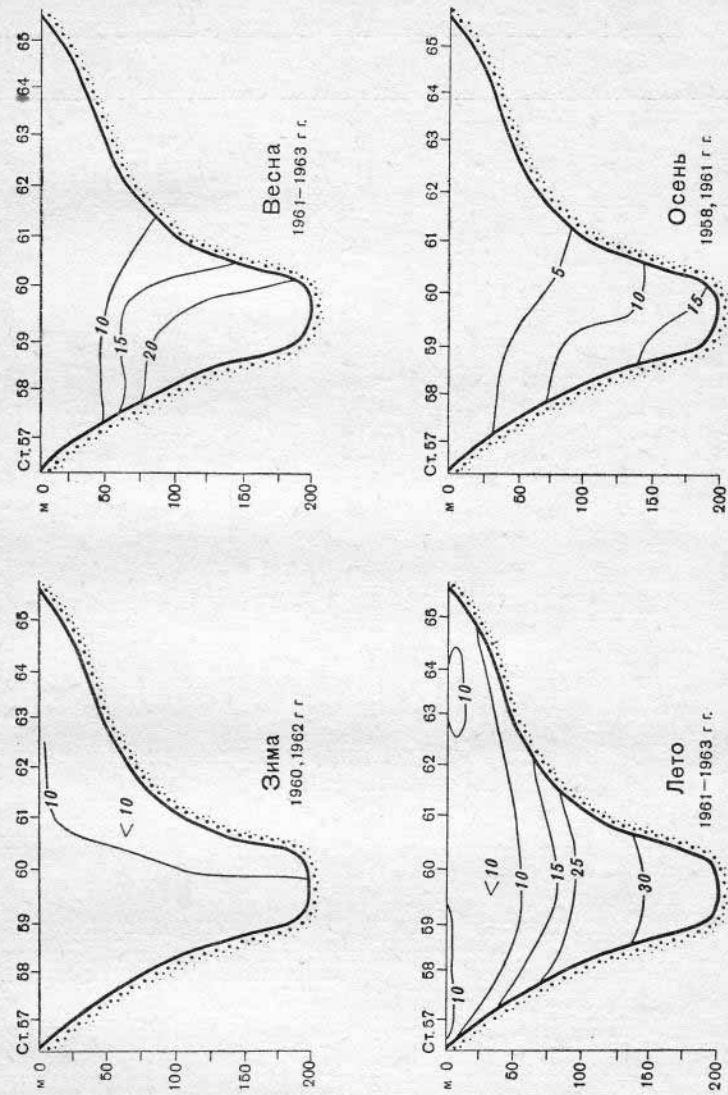


Рис. 66. Распределение фосфатов (мкгР/л) на разрезе о. Жилой — маяк Куули по сезонам.

Таблица 123

## Элементарный запас фосфатов (мкг Р/л) по вертикали

Зона, м	Средний Каспий				Южный Каспий			
	зима	весна	лето	осень	зима	весна	лето	осень
0—10	120	56	78	50	106	31	73	44
10—25	153	69	92	69	142	42	87	—
25—50	308	151	171	141	244	—	205	64
50—100	755	672	440	404	665	360	700	262
Всего . . .	1 336	948	781	664	1 157	518	1 065	370
100—150	952	1 070	515	595	970	785	788	545
150—200	1 150	1 285	735	785	1 130	1 120	1 130	760
200—300	2 490	2 760	2 106	1 620	2 470	3 120	3 270	1800
300—400	4 880	3 210	2 506	1 890	2 770	3 810	3 510	2310
400—500	—	3 760	2 960	2 980	2 810	3 790	3 600	2810
500—600	2 120	4 150	6 340	3 710	5 400	3 630	4 100	3410
600—700	2 700	3 950	—	3 860	—	5 775	4 700	4200
700—750	—	2 030	1 600	2 120	1 352	—	2 500	4200
750—800	—	—	—	—	1 590	2 132	2 675	—
Всего . . .	14 292	22 215	16 761	17 560	18 492	24 162	26 273	200,35

## Средневзвешенные величины фосфатов

0—100	13	9,5	7,8	6,6	12	5,2	11	3,7
100—800	22	34	26	27	26	34	38	29
0—800	21	31	23,4	24,3	24,5	31	34	26

Таблица 123 наглядно иллюстрирует колебания элементарного запаса фосфатов и их концентрацию по отдельным зонам. Наиболее однородное распределение по вертикали отмечается зимой, особенно в Среднем Каспии, что объясняется лучшим перемешиванием вод в это время года.

Общая картина режима фосфатов представляется в следующем виде. Деятельный слой воды до 50—100 м подвержен влиянию многих факторов гидрологического и биохимического характера. В нем протекают процессы фотосинтеза, развивается фитопланктон, затрачиваются биогенные вещества, концентрация их падает и может достигать аналитического нуля. В глубинных слоях преобладают обратные процессы, связанные с окислением и разложением органических тканей до минеральных продуктов, которые концентрируются в придонных горизонтах.

Наибольшее накопление фосфатов наблюдается в глубинах Южного Каспия, в средней части моря запасы их меньше. Это вполне естественно, так как в Среднем Каспии вертикальная

циркуляция и перемешивание вод происходит интенсивнее и до дна. В результате осуществляется подъем вверх глубинных, обогащенных биогенами вод, и толща воды становится относительно однородной не только по содержанию фосфатов, но и по другим гидрохимическим показателям.

Чтобы проследить изменения в режиме фосфатов в многолетнем аспекте, сравнивалось их содержание за различные периоды (табл. 124).

Таблица 124

Содержание фосфатов (мкг Р/л) по сезонам

Горизонт, м	Средний Каспий				Южный Каспий			
	зима		лето		зима		лето	
	1934	1962	1934	1962	1934	1962	1934	1962
0	4,2	14	0,1	7,9	1,0	12	0,3	9,1
10	4,2	10	0,2	7,3	1,2	10	0,1	5,5
25	4,8	10	0,4	4,6	1,3	9,3	0,1	6,1
50	6	14	3,8	7,5	1,6	10	2	10
100	9	16	11	14	11	16	11	19
200	27	24	24	16	24	23	24	31
400	38	26	35	27	37	29	41	36
600	53	20	44	25	50	—	49	46
800	75	16	52	33	76	28	—	55
800	25	18	19	16	78	36	65	—

В 1934 г. содержание фосфатов в поверхностном слое в летнее время выражалось ничтожными величинами. Содержание их в толще воды до 100 м было меньше, чем в настоящее время. Ниже 100—200 м и до дна, наоборот, содержание фосфатов резко увеличивалось и было значительно больше, чем теперь.

При сопоставлении наших материалов за последние годы с данными 1937—1941 гг. (ГОИН, Иванов) картина получилась несколько иная: в верхних слоях до 200 м значения оказались близкими, а с 300 м до дна раньше они были выше (табл. 125).

Все эти изменения связаны с газовым режимом и динамикой вод. Как показали исследования режима кислорода, циркуляция вод по данным 1934 г. достигала слоя 100—200 м, который служил как бы барьером, препятствующим дальнейшему обмену вод. К 1941 г. условия изменились в сторону усиления турбулентного перемешивания вод и фосфаты из зоны их аккумуляции начали поступать в верхние, обедненные биогенами слои. В настоящее время распределение фосфатов по вертикали довольно равномерно, особенно в Среднем Каспии. В Южном Каспии летом глубинные воды обогащены фосфатами.

Между содержанием фосфатов и содержанием кислорода в воде существует определенная количественная зависимость, которая прослеживается на кривых, иллюстрирующих обратный ход этих компонентов по глубине (рис. 67).

Таблица 125

Среднее годовое содержание фосфатов (мкг Р/л)

Горизонт, м	Средний Каспий			Южный Каспий		
	1934 г.	1937—41 гг.	1958—63 гг.	1934 г.	1937—41 гг.	1958—63 гг.
0	—	7,0	8,3	—	5,0	6,6
10	—	—	7,0	—	—	5,8
25	—	7,0	5,8	—	5,0	5,2
50	—	9,0	9,6	—	6,0	6,7
100	10	17	13	11	10	13
200	25	22	21	24	26	24
300	—	31	24	—	31	30
400	36	35	28	39	37	32
500	—	38	33	—	42	33
600	48	44	34	49	47	40
700	—	48	35	—	59	40
800	63	—	35	76	60	45
800	—	—	—	72	—	—

Эта зависимость была отмечена и по данным 1934—1943 гг. (ГОИН, Иванов). По средним многолетним величинам фосфора и кислорода для разрезов Дивичи — бухта Кендырли и о. Куринский Камень — о. Огурчинский построены графики связи. Для глубин 100—500 м для первого разреза и 200—600 м для второго обнаружены связи, выраженные прямой линией. Выше и ниже этих глубин расположение точек не подчинялось линейному закону. Методом наименьших квадратов выведены уравнения зависимости фосфора и кислорода, которые имели следующий вид:

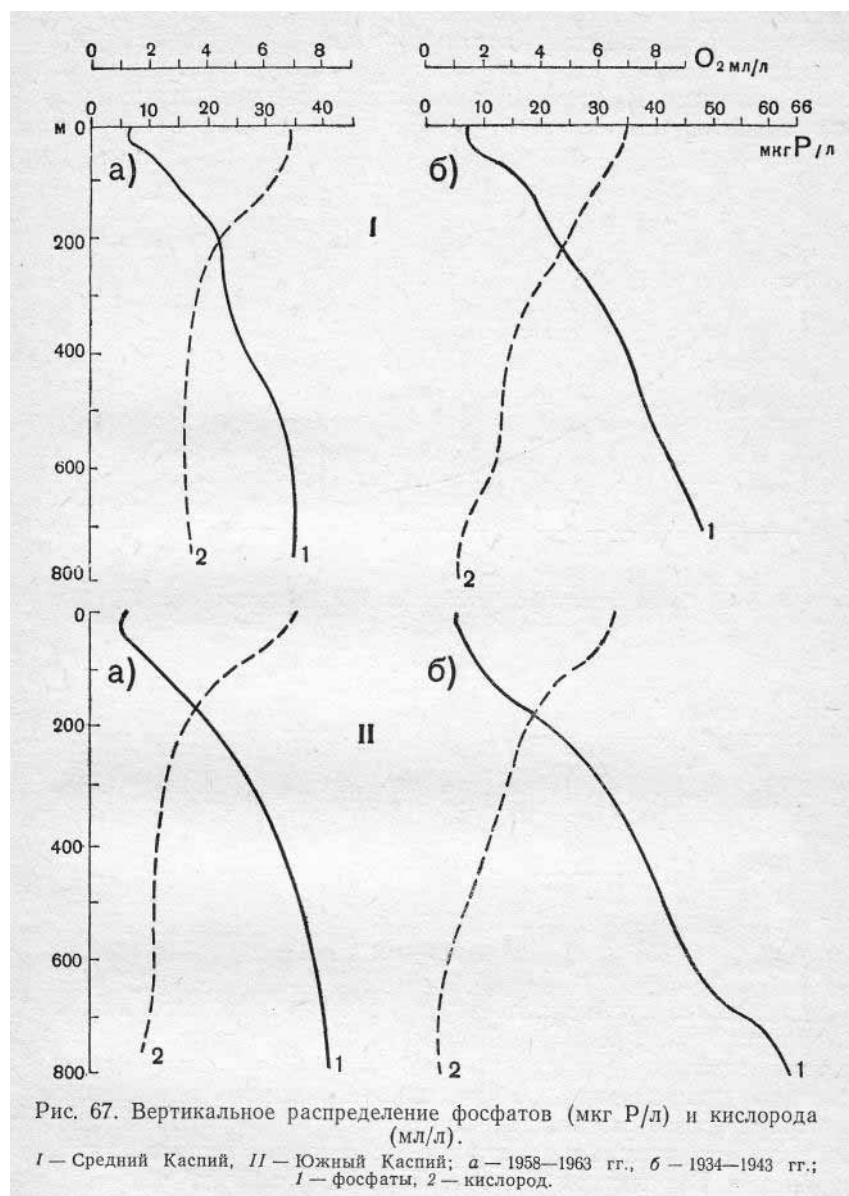
для разреза Дивичи — бухта Кендырли

$$O_2 \text{ мл/л} = 8,27 - 0,15P \text{ мг/м}^3,$$

для разреза о. Куринский Камень — о. Огурчинский

$$O_2 \text{ мл/л} = 7,06 - 0,13P \text{ мг/м}^3.$$

Нами на основании данных по содержанию кислорода и фосфатов за 1958—1963 гг. построены кривые связи фосфора и кислорода, которые выражены не прямой, как это было ранее, а гиперболами (рис. 68). Для построения кривых взяты так же, как и в 1934—1943 гг., средние многолетние величины на глуро-





ководных разрезах Дивичи — бухта Кендырли и о. Куринский Камень — о. Огурчинский для глубин ниже 100 м и до дна. Верхняя толща воды до 100 м не принималась в расчет, так как поступление кислорода из атмосферы при перемешивании и в результате фотосинтеза нарушает закономерную зависимость между элементами в этой зоне. Выведены уравнения, которые получили следующий вид:

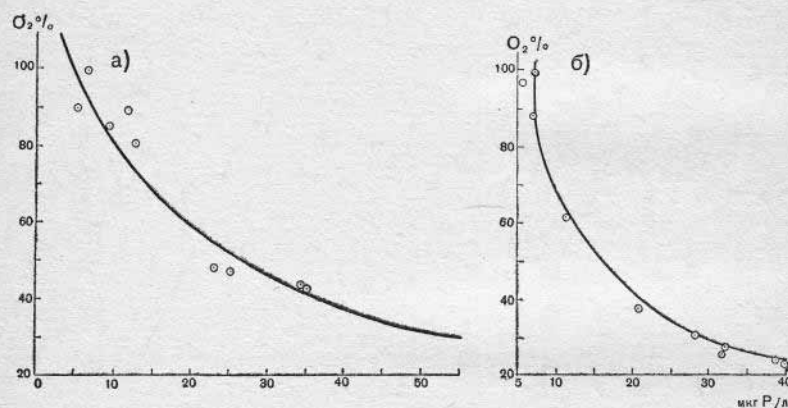


Рис. 68. Связь между фосфатами (мкгР/л) и кислородом ( $O_2\%$ ).  
а — Средний Каспий, б — Южный Каспий.

для Среднего Каспия (разрез Дивичи — бухта Кендырли)

$$P \text{ мкг/л} = \frac{2165}{O_2 \text{ мл/л}} - 16,5 \text{ или } O_2 \text{ мл/л} = \frac{2165}{P \text{ мкг/л} + 16,5},$$

для Южного Каспия (разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский).

$$P \text{ мкг/л} = \frac{1071}{O_2 \text{ мл/л}} - 5 \text{ или } O_2 \text{ мл/л} = \frac{1071}{P \text{ мкг/л} + 5}.$$

### Кремний

Количество кремнекислоты (ион  $SiO_3^{''}$ ) колеблется в морской воде в широких пределах. Минимальные концентрации в редких случаях составляют меньше 100 мкг Si/л, максимальные — иногда превышают 3000 мкг/л. Источником кремнекислоты в море служит материковый сток, так что по распределению и содержанию кремния в верхнем слое можно судить о распространении речных вод в море. Придонные воды могут обогащаться кремнием в процессе обмена с грунтами.

В северной части Среднего Каспия (разрез о. Чечень — п-ов Мангышлак) содержание кремния на поверхности увеличивается

от зимы к лету, что связано с количеством поступающих в разные сезоны речных вод (табл. 126). Распределение кремния на поверхности во всем Среднем Каспии в холодное и теплое время

Таблица 126

Вертикальное распределение кремния в Среднем Каспии. Средние данные 1958—1962 гг.

Горизонт, м	Разрезы						Среднее	Разрезы						Среднее
	I	II	III	IV	V	VI		I	II	III	IV	VI		
Зима														
0	101	217	—	291	—	257	216	116	—	91	147	115	117	
10	92	236	—	299	—	284	225	95	—	113	147	123	119	
25	62	200	—	287	—	317	216	89	—	111	186	120	126	
50		233	—	523	—	351	437		—	246	242	196	228	
75		350	—	611	—	246	402		—	312	—	277	295	
100			—	743	—	658	700		—	409	402	573	461	
150			—	1025	—	1385	1205			610	1720	875	1068	
200			—	1350	—	1550	1450			933	1000	1406	1113	
300			—	1280			1280			2000	1440		1720	
400			—	1350			1350			2680			2680	
500			—	1405			1405			2790			2790	
600			—	—			—			2860			2860	
700			—	—			—			3330			3330	
Лето														
0	321	383	202	109	74	179	210	422	224	322	—	216	296	
10	249	448	158	180	98	166	216	387	211	292	—	224	278	
25	399	510	213	227	127	240	286	458	230	350	—	241	320	
50		564	401	191	186	484	365		260	433	—	394	362	
75		378	—	203	—	577	386		—	—	—	—	—	
100			408	370	550	912	560		—	496	—	935	716	
150			274	448	—	996	573			—	—	1095	1095	
200			348	734	250	2247	895			687	—	1185	936	
300			630	642	2000		1090			797	—		797	
400			—	700			—			1570			1570	
500			1575	1365			1470			1275			1275	
700				—			—			2705			2705	
750				1900			1900			2920			2920	
Осень														

года различно. Зимой обогащена кремнием западная часть, колебания до 500 мкг/л отмечены на прибрежных участках за счет стока Волги и других рек (Сулак, Самур). Влияние фотосинтетического фактора на содержание кремния в этом сезоне ограничено. В восточной части кремния меньше и часто встречаются только его следы.

Распределение кремния в поверхностных водах в весенне-летний период обуславливается главным образом фотосинтезом. Кремний интенсивно потребляется планктоном и абсолютное количество его становится меньше, чем зимой, особенно заметно это в западной части моря (200—300 мкг Si/л). В восточной части, несмотря на большое развитие здесь диатомовых водорослей, содержание кремния повышенное — до 500 мкг/л, что объясняется выходом здесь глубинных вод на поверхность в теплое время года.

В центральной части Среднего Каспия концентрация кремния в поверхностных водах колеблется в зависимости от сезона в пределах 200—300 мкг/л.

В глубоководной части Среднего Каспия (разрез Дивичи — бухта Кендырли) кремний увеличивается по вертикали и достигает 3000 мкг/л, а в отдельных случаях и больше (рис. 69). Большие градиенты в содержании кремния наблюдаются в зоне 200—500 м (в зависимости от сезона), что обуславливается, очевидно, глубиной распространения вертикальной циркуляции.

В Апшеронском районе (разрез о. Жилой — маяк Куули) кремний колеблется от следов на поверхности до 2000 мкг/л у дна (200 м). Летом обнаружены следы кремния во всем фотическом слое (рис. 70). Другие биогенные элементы находятся здесь также в малом количестве. Видимо, для развития планктона используются в значительной степени и соединения кремния.

Обращают на себя внимание летние материалы по содержанию кремния в районе центрального желоба (глубина 200 м) Апшеронского порога и его южного склона. Придонные воды здесь содержат максимальное для открытой части моря количество кремния до 3000 мкг/л, а по отдельным наблюдениям и до 4000 мкг/л. Так, в августе 1961 г. на ст. 60 на разрезе о. Жилой — маяк Куули количество кремния составляло 3920 мкг/л. Источником кремния здесь могут служить донные отложения в процессе обмена их с придонным слоем воды. По данным геологов (Кленова, 1962), на Апшеронском пороге существует «отрицательная седиментация», т. е. размыв поверхностных грунтов. Этот процесс особенно интенсивен в центральной части (глубокий желоб) и на восточной его стороне. Размыв дна обусловлен большими скоростями компенсационных течений (Г. В. Ржеплинский, 1955). Осадки в центральной части Апшеронского порога представлены песком и илистым песком силикатного происхождения. Нерастворимый в соляной кислоте остаток составляет 70% и более. Тонкая придонная мусть, растворяясь в воде, обогащает ее кремнекислотой.

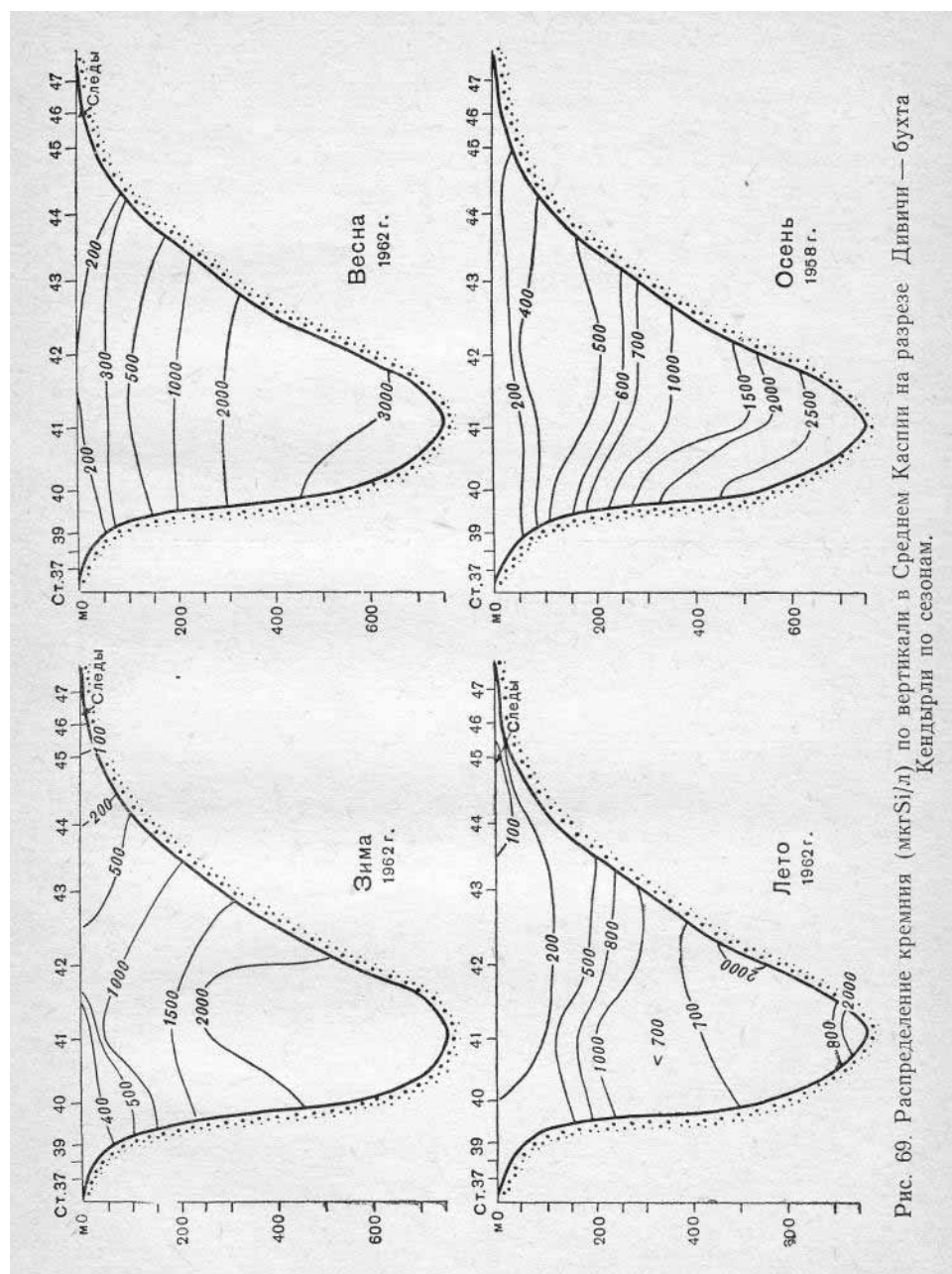


Рис. 69. Распределение кремния ( $\text{mgSi/l}$ ) по вертикали в Среднем Каспии на разрезе Дивичи — бухта Кендырли по сезонам.

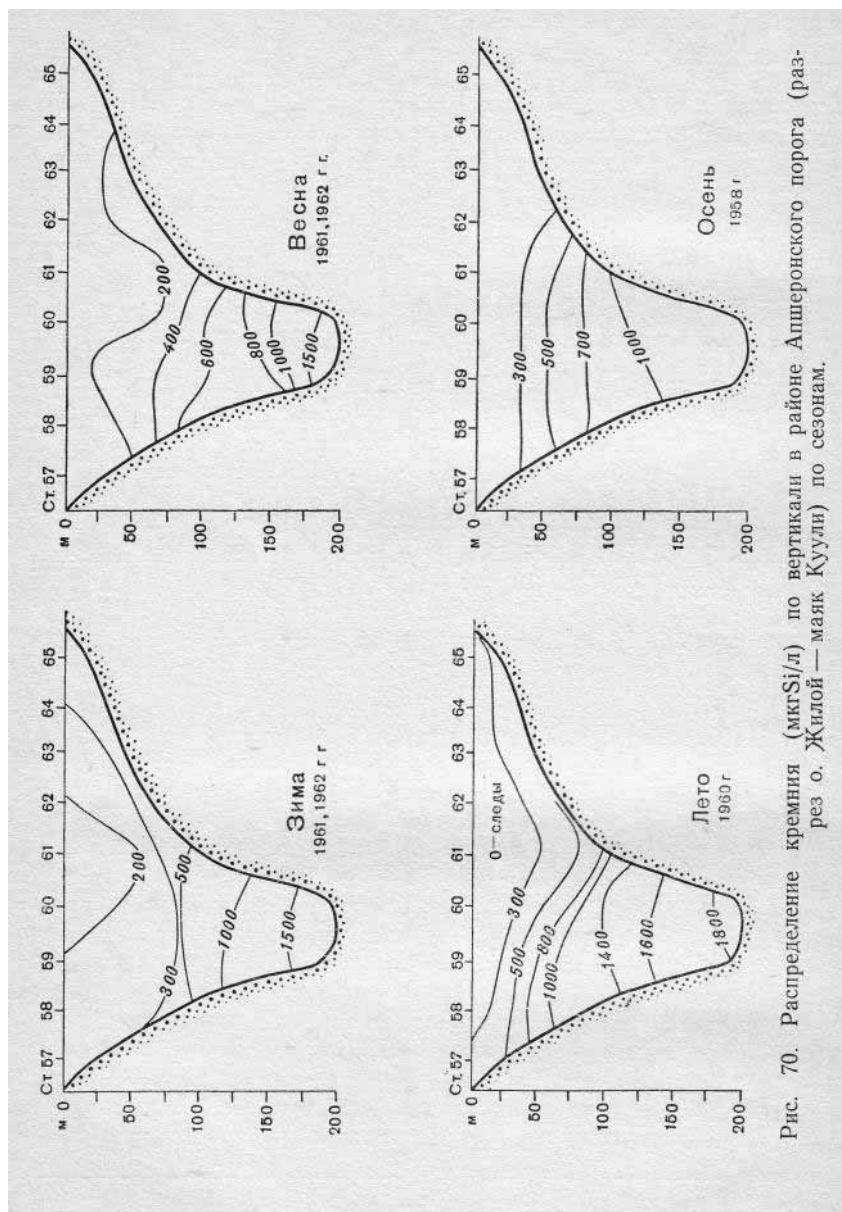


Рис. 70. Распределение кремния (мкгSi/л) по вертикали в районе Апшеронского порога (разрез о. Жилой — маяк Куули) по сезонам.



Распределение кремния в Южном Каспии (разрез о. Куринский Камень — о. Огурчинский), в общем, сходно с распределением в Среднем; особенных изменений по сезонам нет

Таблица 127

Вертикальное распределение кремния в Южном-Каспии.  
Средние данные 1958—1962 гг.

Горизонт, м	Разрезы			Среднее	Разрезы			Среднее
	VI	VIII	IX		VI	VIII	IX	
Зима					Весна			
0	257	211	205	224	115	172	55	114
10	284	236	197	239	123	168	41	110
25	317	254	169	247	120	158	43	107
50	351	254	124	243	196	141	36	124
75	246	—	—	246	277	234	—	256
100	658	463	433	518	573	359	225	386
150	1385	1097	—	1240	875	590	935	800
200	1550	—	931	1240	1406	1046	837	1090
300		1196	1034	1115		1350	1150	1250
400		1302	1238	1270		1730	1270	1500
500		1364	1240	1300		1510	1904	1707
600		—	—	—		1615	—	1615
750		1400	1333	1366			2160	2160
Лето					Осень			
0	179	179	222	194	216	226	—	221
10	166	103	161	143	224	229	—	226
25	240	250	110	200	241	241	—	241
50	484	176	325	328	394	299	—	346
75	577	337	—	457	—	—	—	—
100	912	481	333	575	935	555	—	745
150	996	544	—	770	1095	—	—	1095
200	(2247)	910	1034	1397	1185	668	—	926
300		1390	1670	1530		1074	—	1074
400		1501	1737	1620		1326	—	1326
500		1643	1193	1418		1703	—	1703
600		1854	—	1854		2222	—	2222
700		1640	—	1640		2340	—	2340
750		—	2200	2200		2717	—	2717
800		2000		2000		—	—	—
850						2655	—	2655

(табл. 127). Содержание кремния равномерно увеличивается по глубине, наибольшее накопление его на дне происходит осенью, 2500 мкг Si/л (рис. 71).

В южной части моря повышенное содержание кремния (400 мкг/л) на поверхности отмечено в районах, близких

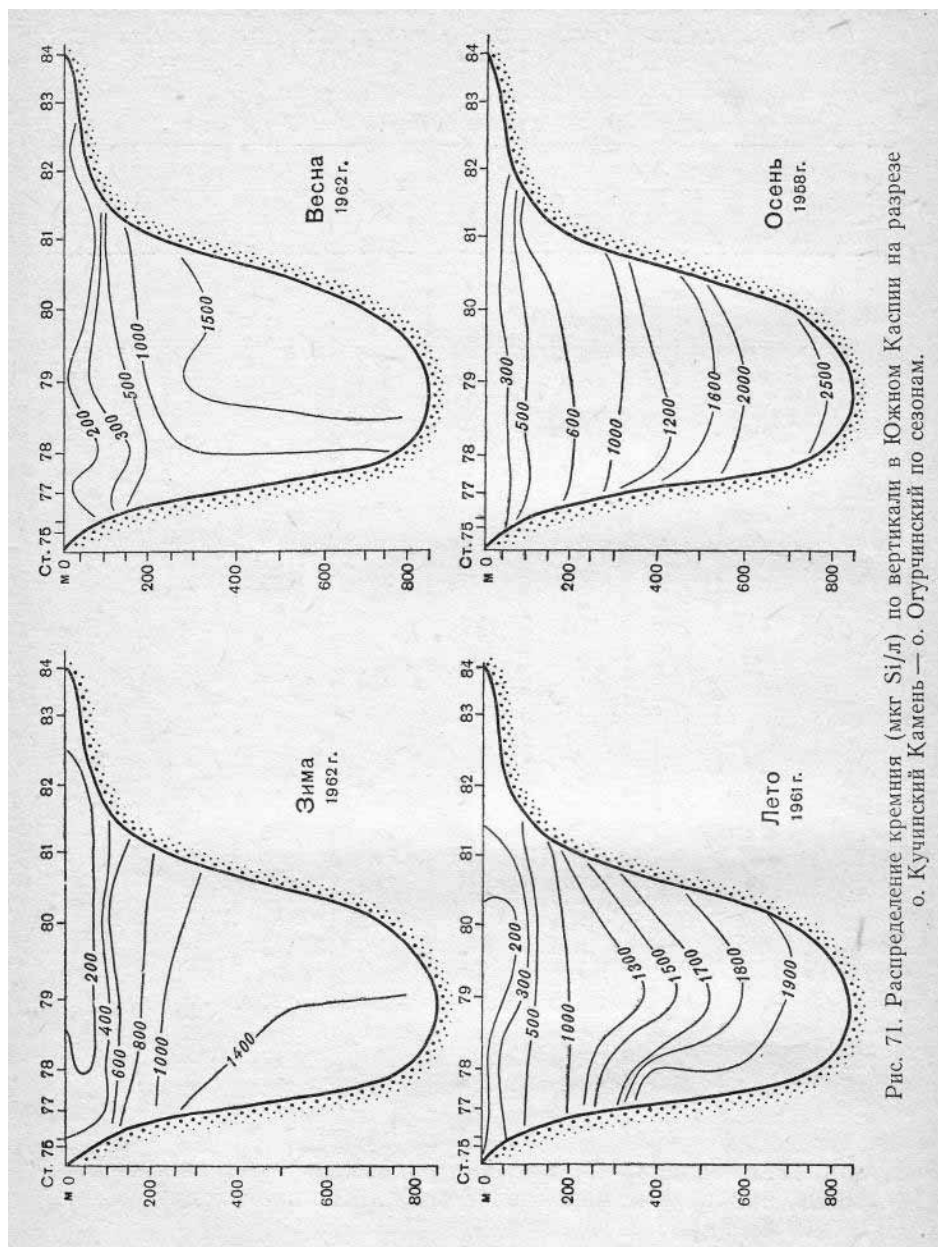


Рис. 71. Распределение кремния ( $\mu\text{г Si/l}$ ) по вертикали в Южном Каспии на разрезе о. Куинский Камень — о. Огурчинский по сезонам.

к предустьевому пространству Куры, за счет стока речных вод. Необходимо отметить, что наблюдения на стандартных разрезах не отражают полной картины гидрохимического режима в устьевых областях. Так, по данным детальной съемки Куринского взморья, проведенной Бакинской ГМО в феврале 1962 г., на ближайших к южному рукаву Куры станциях содержание кремния достигает 1000 мкг/л.

Несколько повышенное содержание кремния (200—300 мкг/л) наблюдается в юго-восточной части Южного Каспия. Как раз здесь находится банка Грязный Вулкан, продукты извержения которой могут увеличивать количество кремнекислоты в воде. В центральной части Южного Каспия также наблюдается обогащение воды кремнием по сравнению с окраинными мелководными районами моря. И опять так же, как и зимой, на предустьевом пространстве Куры отмечены максимальные количества кремния, достигающие на взморье против выходной части русла реки 5000 мкг Si/л (данные апрельской съемки 1962 г., выполненной БГМО).

Сравнение средних многолетних данных содержания кремния по частям моря показывает, что содержание его в Среднем Каспии больше, чем на соответственных горизонтах в Южном (рис. 72). Это объясняется поступлением кремния с речным стоком прежде всего в Средний Каспий. Режим кремнекислоты, безусловно, зависит от развития диатомовых водорослей, так как последние потребляют кремний для построения своих скелетных частей. Но, к сожалению, за неимением одновременных наблюдений за диатомеями не представляется возможности учесть этот важный биологический фактор. Трудно также проследить изменения в содержании и распределении кремнекислоты во времени, т. е. по периодам, так как отсутствуют достаточно надежные и полные материалы за прежние годы. Прежде всего необходимо отметить разную методику обработки проб.

Концентрация кремния в воде Каспийского моря повышена по сравнению с другими морями и океаном. В Аральском (также замкнутом) море содержание кремния значительно меньше: от 60 до 800 мг/м<sup>3</sup>, в среднем только 250 мг/м<sup>3</sup> (Блинов, 1956). В распределении кремния в толще воды, по выражению Бли-

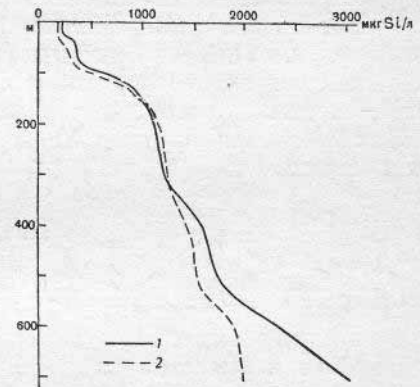


Рис. 72. Распределение кремния (мкг Si/л) по глубине в Среднем и Южном Каспии.

1 — Средний Каспий, 2 — Южный Каспий.

нова, наблюдается «обратная стратификация» по сравнению с обычной, а именно — наибольшее количество силикатов приходится в Аральском море на поверхностный слой воды, у дна кремния меньше. Он объясняет это интенсивным потреблением кремния равномерно по всей вертикали и на всей акватории моря, что обусловлено большой прозрачностью вод и проникновением солнечной энергии до дна; на поверхности количество кремния постоянно пополняется речным стоком. Сезонный ход содержания кремния в Аральском море также иной, чем в Каспийском, а именно, содержание кремния увеличивается от весны к осени в связи с сокращением речного стока.

Сопоставить режим силикатов так же, как и других биогенных веществ, в Каспийском море с их режимом в Черном и Балтийском морях нельзя, так как условия глубинных слоев воды в последних восстановительные, способствующие накоплению соединений при почти полном отсутствии вертикального перемешивания.

### Нитраты

Из всех форм связанного азота наиболее важное значение в море имеют нитраты (ион  $\text{NO}_3'$ ). Они интенсивно потребляются фитопланктоном, поэтому при развитии фотосинтетической деятельности количество их в поверхностных слоях быстро истощается и падает до аналитического нуля. При распаде органических остатков нитратный азот регенерируется, причем этот процесс происходит более сложно, чем, например, регенерация фосфатов. Схематически процесс разложения органического вещества до конечной формы окисления азота ( $\text{NO}_3'$ ) можно представить следующим образом: органическое вещество  $\rightarrow$  альбуминоидный азот  $\rightarrow$  аммиачный азот  $\rightarrow$  азот нитритный  $\rightarrow$  азот нитратный. Наиболее активно этот процесс протекает в слоях воды, где имеется большое скопление органических остатков, т. е. ниже зоны фотосинтеза.

Наличие нитратов в зоне фотосинтеза весной и летом свидетельствует о непрерывном пополнении их из нижних слоев, т. е. о хорошем водообмене между верхними слоями, где идет потребление нитратов, и нижними, где они концентрируются в результате регенерации. В таких случаях нитраты могут служить показателями скорости вертикального перемешивания водных масс.

Следует отметить, что до сих пор не существует достаточно надежной и простой методики определения нитратов, что ограничивает исследование режима этого важного компонента морской воды. Дифениламинный метод требует применения чистой концентрированной серной кислоты, которую можно получить перегонкой серной кислоты, имеющейся в продаже. Эта операция очень затруднительна и не всегда возможна.

В Каспийском море определение нитратов проводилось на перекисной серной кислоте с применением дифенилбензидина вместо дифениламина. Результаты получены вполне надежные. Для зимы и весны имеются единичные съемки 1961—1962 гг.; более полные сборы сделаны в летнее время (табл. 128 и 129).

Таблица 128

Вертикальное распределение нитратов (мкг N/л) в Среднем Каспии по разрезам I, II, III, IV, V. Средние данные 1960—1962 гг.

Горизонт, м	Зима			Весна				Лето					
	I	IV	Среднее	I	IV	V	Среднее	I	II	III	IV	V	Среднее
0	32	63	48	12	8,0	сл.	6,7	2,3	0	3,7	10	сл.	3,2
10	38	52	45	2,5	8,0	"	3,5	сл.	1,9	5,8	7,0	"	2,9
25	60	35	48	20	17	10	12,3	2,0	3,1	7,0	5,0	—	3,5
50	—	40	40	—	40	10	25	—	23	5,6	7,0	3,0	12,2
100	—	65	65	—	60	23	42	—	—	12	34	9,0	15
150	—	75	75	—	—	—	—	—	—	34	68	4,0	35
200	—	76	76	—	—	40	40	—	—	44	78	17	46
300	—	77	77	—	—	30	30	—	—	76	80	40	65
400	—	75	75	—	—	—	—	—	—	—	85	—	85
500	—	75	75	—	—	—	—	—	—	(100)	65	—	82
600	—	75	75	—	—	—	—	—	—	—	65	—	70
700	—	70	70	—	—	—	—	—	—	—	60	—	60

Таблица 129

Вертикальное распределение нитратов (мкг N/л) в Южном Каспии по разрезам VI, VII, VIII, IX. Средние данные 1960—1962 гг.

Горизонт, м	Зима			Весна			Лето				
	VI	VIII	Среднее	VI	IX	Среднее	VI	VII	VIII	IX	Среднее
0	18	12	15	29	4,0	16	2,9	5,0	0,6	0,3	2,2
10	17	12	14	18	5,0	12	0	20	сл.	2,5	5,6
25	6,5	12	9,2	сл.	5,0	2,5	сл.	35	—	2,5	9,4
50	29	12	20	5,0	3,0	4,0	7,3	27	1,2	0,5	9,0
100	42	24	33	10,0	30	20	41	21	18	15	24
200	—	35	35	60	45	52	61	55	42	50	52
300	—	48	48	—	60	60	—	30	68	44	47
400	—	53	53	—	46	46	—	37	38	44	40
500	—	32	32	—	53	53	—	—	17	20	18
700	—	52	52	—	46	46	—	—	30	12	21
800	—	60	60	—	—	—	—	—	10	10	10

Содержание нитратов увеличивается с глубиной; у дна при наличии кислорода они могут накапливаться.

С. В. Бруевич (1937) отмечает наибольшее содержание нитратов в году и равномерное распределение их в толще воды



в Среднем Каспии зимой. Такой ход по вертикали объясняется, с одной стороны, тем, что нет потребления нитратов в холодное время года, и, с другой, поступлением их из глубинных слоев в процессе интенсивной зимней вертикальной циркуляции и турбулентного перемешивания вод. В Южном Каспии в этот сезон содержание нитратов в верхних слоях значительно меньше, что свидетельствует об их потреблении, следовательно, о жизнедеятельности фитопланктона. Наименьшее количество нитратов как

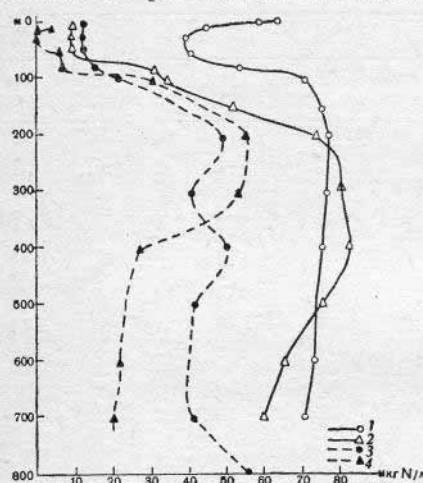


Рис. 73. Распределение нитратов (мкгN/л) по глубине.

В Среднем Каспии зимой (1) и летом (2), в Южном Каспии зимой (3) и летом (4).

в Среднем, так и в Южном Каспии отмечено летом в связи с расходом их на питание организмов. В зоне фотосинтеза, приблизительно до 100 м, количество нитратов близко к нулю и только иногда достигает 5 мкгN/л. Ниже, до 200 м, количество их постепенно увеличивается; на средних горизонтах, 200—500 м, нитраты достигают максимума: 85 мкгN/л в Среднем Каспии и 50—60 мкгN/л в Южном. Различие в содержании нитратов у дна в Среднем и Южном Каспии объясняется значительно меньшим содержанием кислорода в глубинах Южного Каспия, в силу чего процессы разложения органического вещества здесь замедлены. Вертикальное распределение нитратов иллюстрировано на профилях для разных разрезов и сезонов (рис. 73 и 74). На профилях глубоководных разрезов Дербент — мыс Песчаный и Дивичи — бухта Кендырли в Среднем Каспии и о. Куринский Камень — о. Огурчинский и Ленкорань—Белый Бугор в Южном летом ясно прослеживаются максимальные концентрации нитратов на глубине 200—500 м. Этот обогащенный нитратами слой воды получил название нитратной подзоны (Бруевич). Формирование его обуславливается усиленной минерализацией органических остатков, падающих из зоны фотосинтеза; ниже 500 м этот процесс ослабевает из-за недостатка кислорода.

Чтобы проследить динамику нитратов во времени, нами сопоставлены данные за 1961—1962 гг. с данными, полученными Бруевичем за 1934 г. (табл. 130). Как видно из табл. 130, распределение нитратов в толще воды стало более равномерным. Особенно это относится к зимнему сезону. Нитратная подзона ранее была ярко выражена как в Среднем, так и в Южном Кас-

пий.

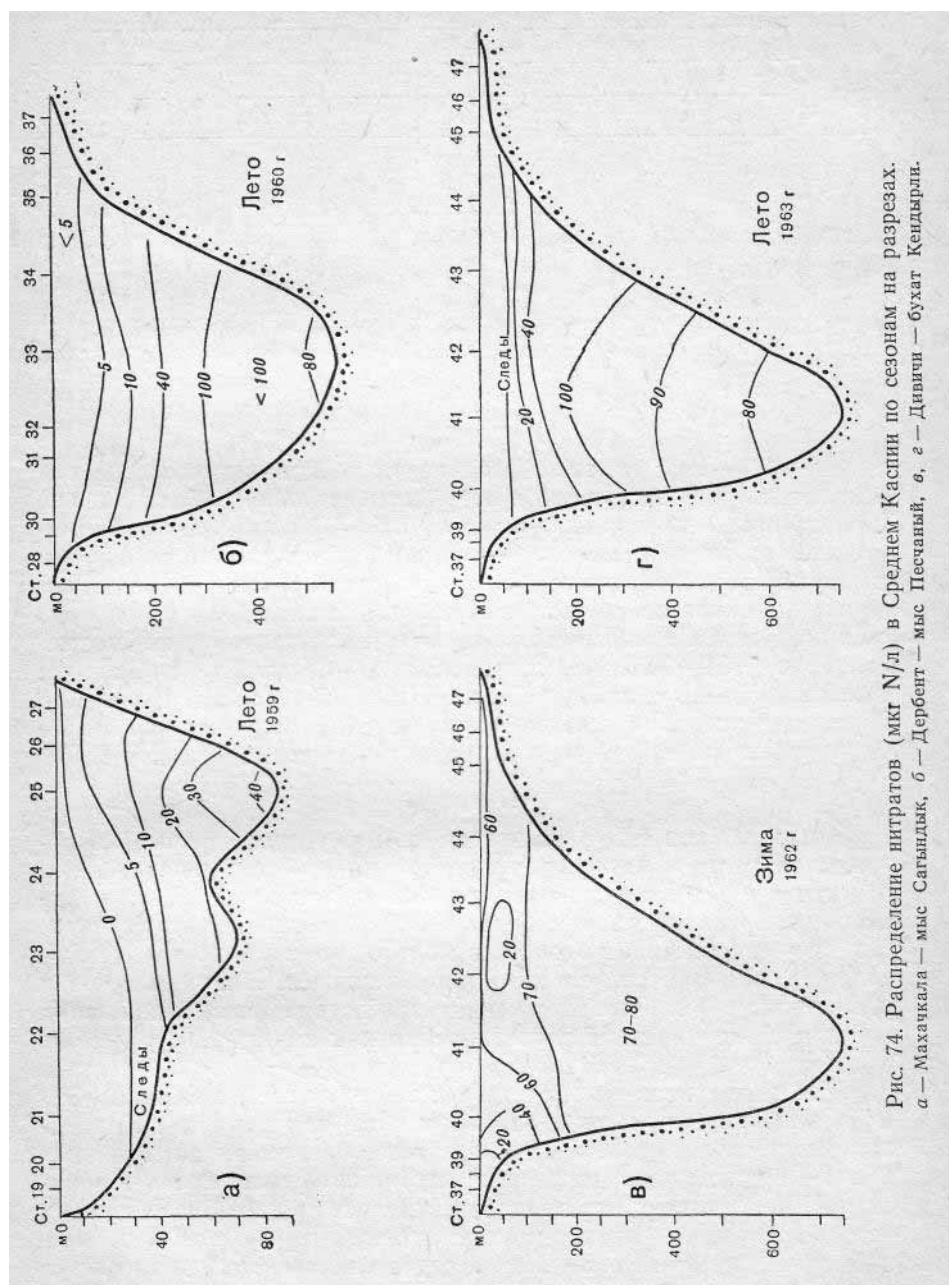


Рис. 74. Распределение нитратов (мг N/л) в Среднем Каспии по сезонам на разрезах.  
а — Махачкала — мыс Сагындык, б — Дербент — мыс Песчаный, г — Дивичи — бухта Кендырли.

Таблица 130

**Распределение нитратов (мкг N/л) в разные периоды**

Горизонт, м	Средний Каспий				Южный Каспий			
	зима		лето		зима		лето	
	1934 г.	1962 г.	1934 г.	1962 г.	1934 г.	1962 г.	1934 г.	1962 г.
0	13	48	0	3,2	0	12	0	0,4
10	13	45	0	2,9	0	12	0	следы
25	13	48	0	3,5	0	12	0	следы
50	13	40	5	12,2	13	12	0	0,8
100	123	65	78	15	73	24	83	16
200	110	76	148	46	140	35	161	46
400	—	75	126	85	126	53	161	41
600	(47)	75	64	70	38	—	64	21
700	—	70	—	60	—	52	0	10
800	(7)	—	—	—	0	60	0	—
800	—	—	—	—	0	—	0	—

пии, в 1961—1962 гг. зимой она почти не наблюдалась. Летние максимумы нитратов в это время более сглажены. Если раньше максимальные величины достигали 150—160 мкгN/м<sup>3</sup>, то в настоящее время они колеблются около 85 мкгN/л в средней части моря и 50 мкгN/л в южной. В придонных горизонтах впадин содержание нитратов понижалось до нуля, в последние годы этого не обнаружено. Минимальное количество нитратов у дна, отмеченное в 1961—1962 гг., составляет 70—60 мкгN/л в Среднем Каспии и 50—10 мкгN/л в Южном (рис. 75). Все эти изменения в режиме нитратов вполне согласуются с современным более однородным по вертикали распределением кислорода и рН.

#### Нитриты

Нитриты (ион NO<sub>2</sub>' ) являются промежуточной формой окисления азота при минерализации органического вещества. Они относятся к очень неустойчивым химическим соединениям и быстро подвергаются дальнейшему окислению, переходя в нитраты. Поэтому содержание нитритов в морской воде или незначительно (следы), или они совсем не обнаруживаются. Нитриты хорошо усваиваются фитопланктоном, но вследствие своей ничтожной концентрации практического значения как кормовой продукт не имеют.

Режим нитритов в море подвержен сезонным изменениям. Зимой они присутствуют в деятельном слое, так как нет потребления их фитопланктоном и, кроме того, благодаря зимней конвекции нитриты поднимаются из глубинных слоев. Е. Н. Черновская (1965) считает, что появление нитритов в верхнем слое воды связано с поступлением зимой из нижних горизонтов аммонийных солей, которые окисляются в деятельном слое до нитритов и нитратов.

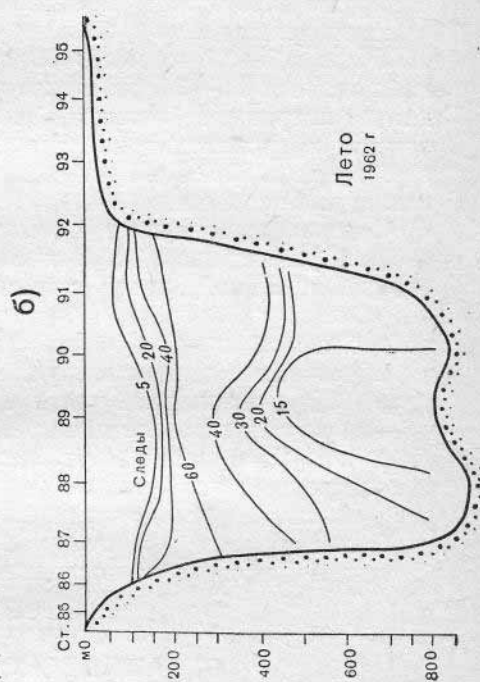
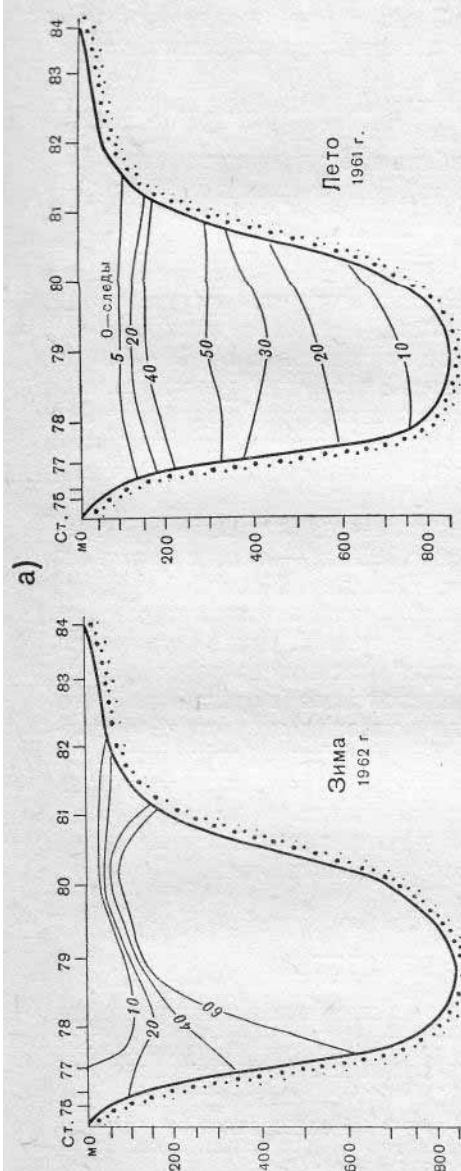


Рис. 75. Распределение нитратов (мг N/л) в Южном Каспии по сезонам на разрезах о. Куринский Камень — о. Огурчинский (а) и Ленкорань — Белый Бугор (б).